

SPRAWOZDANIE Z REALIZACJI ZADAŃ STATUTOWYCH IFPiLM w roku 2018

Andrzej Gałkowski
Jerzy Wołowski



Rada Naukowa IFPiLM

22 marca 2019

Wstęp

W 43. roku swojej działalności IFPiLM zatrudniał 78 pracowników (stan na 31 grudnia 2018), a wśród nich:

- 5 profesorów
- 4 profesorów IFPiLM
- 26 doktorów
- 16 asystentów naukowych
- 3 inżynierów

Do pracy w IFPiLM zostało przyjęte 7 osób (w tym 1 profesor tytularny).

Z Instytutu odeszło 17 osób, w tym 14 na emeryturę.

Instytut kontynuował prace badawcze i rozwojowe w czterech podstawowych grupach:

- Badania fuzji laserowej i oddziaływań laser-materia
- Badania i modelowanie plazmy w układach MCF (EUROfusion)
- Badania plazmy w układzie *plasma focus*
- Kosmiczne sterowniki plazmowe

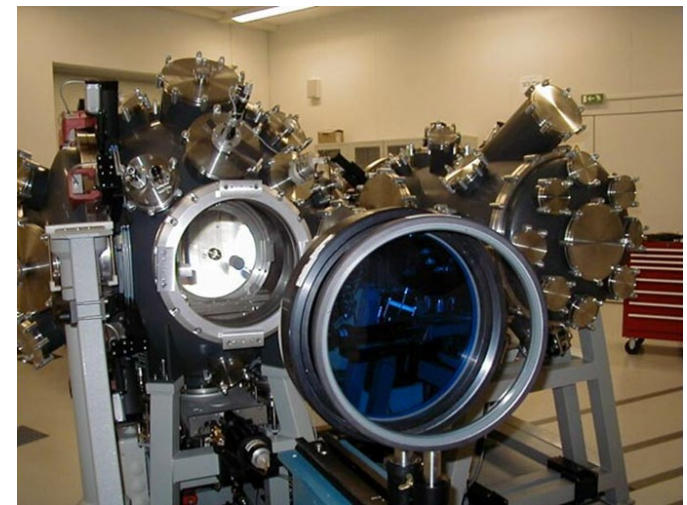


Finansowanie

Kierunek	Środki zagraniczne	MNiSW (+NCN)	Inne	Razem	Dotacja statutowa
Plazma laserowa	251 (6%)	610 (10%)	-	861(8%)	2 919 (22%)
EUROfusion	3 338 (83%)	4 838 (79%)	-	8 176 (79%)	
Plasma focus	77 (2%)	683 (11%)	-	760 (8%)	
Napędy satelitarne	338 (9%)	-	-	338 (3%)	
Usługi LSWA	-	-	237(100%)	237 (2%)	
RAZEM	4 004 (100%)	6 131(100%)	237 (100%)	10 372 (100%)	13 356 (100%)

Badania fuzji laserowej i oddziaływań laser-materia

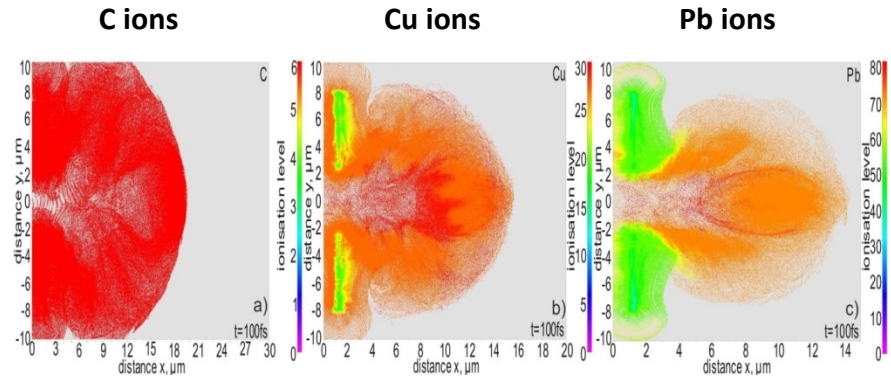
- Badania oddziaływań laser–plazma i laserowej akceleracji materii (NCN, ELI-PL, XFEL)
- Badania związane z nowymi wariantami fuzji inercyjnej (HIPER, COST i ToIFE)
- Badania namagnetyzowanych strumieni plazmowych z udziałem polaro-interferometrii (LaserLab oraz EUROfusion)



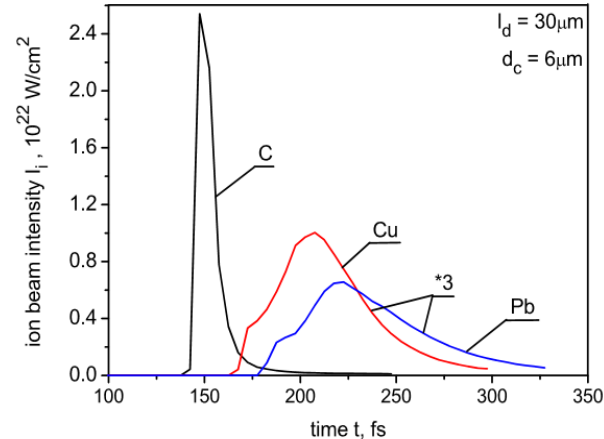
- Projekt NCN HARMONIA 2014/14/ST7/NCN: Impulsy elektromagnetyczne inicjowane oddziaływaniem lasera wielkiej mocy z tarczą
- Projekt ToIFE-EUROfusion: Badania najnowszych wariantów realizacji laserowej syntezy termojądrowej
- Projekt COST Action MP 1208: Rozwój badań fizyki plazmy laserowej i fuzji inercyjnej związany z badaniami w układzie NIF
- Project LaserLab – PALS-2368: Space-time measurements of spontaneous magnetic field in correlation with the electron and ion emission from the ablative plasma on the PALS laser in the context of ICF application

Prace związane z europejskim projektem Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics

- Opracowano zaawansowany wielowymiarowy kod komputerowy typu *particle-in-cell* umożliwiający symulacje oddziaływań laser-tarcza i laserowej akceleracji jonów przy ultra-relatywistycznych natężeniach impulsu laserowego przewidywanych dla laserów infrastruktury ELI.
- Zbadano numerycznie własności mechanizmu akceleracji i własności wiązek jonów o różnych liczbach atomowych przyspieszanych multi-PW laserem ELI-NP.
- Zademonstrowano możliwość wytworzenia multi-PW laserem ELI-NP ultra-intensywnych, femtosekundowych wiązek ciężkich jonów (Pb i Th) o parametrach nieosiągalnych w akceleratorach konwencjonalnych. Takie wiązki jonów stwarzają możliwość prowadzenia badań w nowych, niedostępnych do tej pory obszarach fizyki jądrowej i fizyki wysokich gęstości energii, między innymi badania procesów fizycznych odpowiedzialnych za powstanie ciężkich pierwiastków we wszechświecie.



Rozkłady stopnia jonizacji wiązek jonów o różnych masach wytwarzanych multi-PW laserem ELI



Femtosekundowe impulsy jonowe o bardzo dużym natężeniu wytwarzane multi-PW laserem ELI-NP

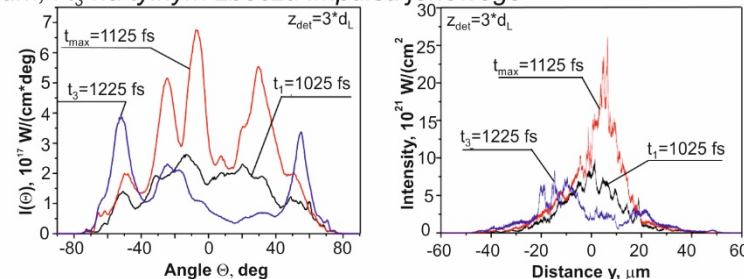
Prace związane z projektem EUROfusion: Towards Inertial Fusion Energy (ToIFE)

Wykorzystując kod komputerowy typu *particle-in-cell* zbadano własności wiązki jonów węgla przyspieszanych laserem ultrafioletowym KrF w warunkach adekwatnych dla tzw. szybkiego zapłonu jonowego (SZJ) plazmy DT utrzymywanej inercyjnie.

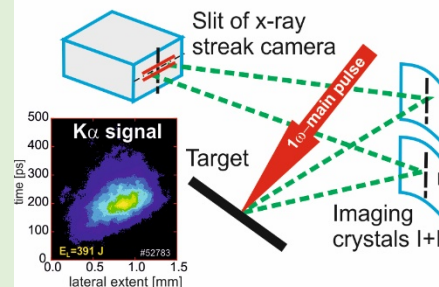
Prowadzono czasowe pomiary emisji szybkich elektronów za pomocą 2D zobrazowania linii $K\alpha$ z Cu, pomiary interferometryczne oraz pomiary spektroskopowe i jonowe za pomocą innych diagnostyk dostępnych na PALS. Uzyskane z pomiarów $K\alpha$ informacje o: populacji, energii i konwersji szybkich elektronów, a także parametrach plazmy z innych diagnostyk będą podstawą do identyfikacji mechanizmów absorpcji promieniowania laserowego odpowiedzialnych za transport energii do fali uderzeniowej z udziałem szybkich elektronów.

Zastosowano 3-kadrową interferometrię kompleksową do optymalizacji warunków pracy tarcz CC, żeby uzyskać maksymalny prąd w cewce sprzężonej z kondensatorem tarczy CC, biorąc pod uwagę 4 konfiguracje uziemienia i oświetlenia. Zadawalające wyniki (sygnał Faradaya w cewce skorelowany z SPM w tarczy CC) uzyskano tylko dla jednej konfiguracji. W przypadku innych konfiguracji sygnał z cewki nie był obserwowany z powodu degradacji kryształu TGG przez promieniowanie X z plazmy.

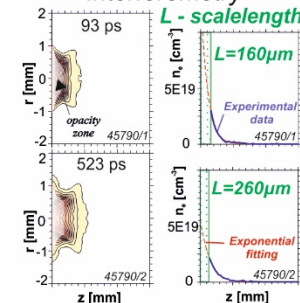
Rozkład kątowy i przestrzenny natężenia wiązki jonów w strefie bliskiej w 3 chwilach: t_1 -na przednim zboczach, t_{max} -w maksimum, i t_3 -na tylnym zboczach impulsu jonowego



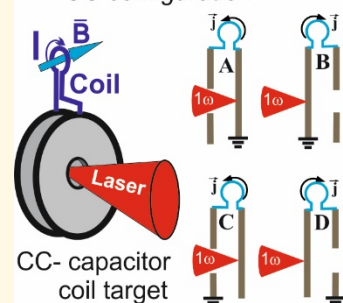
Time measurements of $K\alpha$ emission



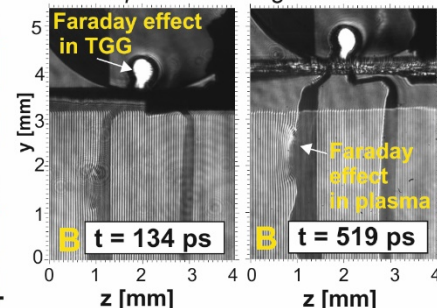
Interferometry



CC configuration

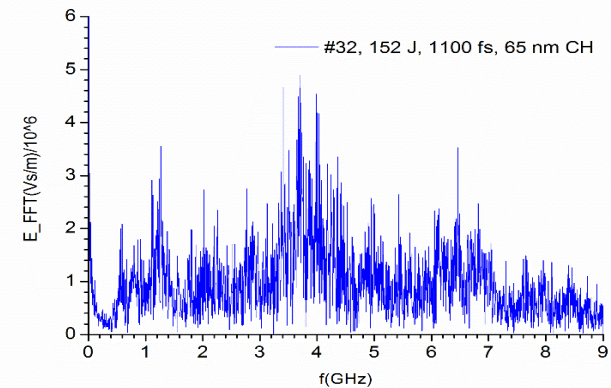


Complex interferograms

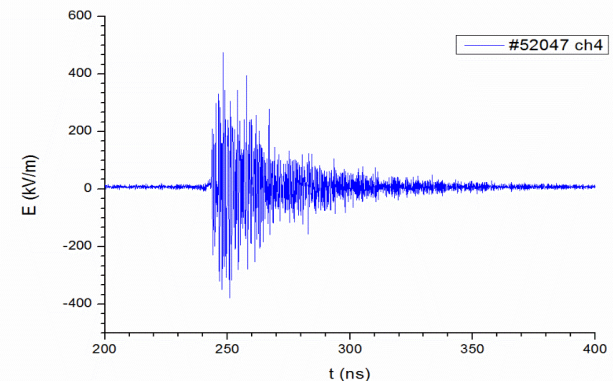


Prace związane z projektem NCN HARMONIA : Impulsy elektromagnetyczne inicjowane oddziaływaniem lasera z tarczą w układach laserowych wielkiej mocy

- Zbadano charakterystyki silnych impulsów elektromagnetycznych (IEM) wytwarzanych przy oddziaływaniu lasera z tarczą stałą w szerokim zakresie parametrów lasera i tarczy
- Wykazano możliwość występowania bardzo silnych pól elektrycznych, do kilkuset kV/m oraz występowanie w widmie IEM istotnej składowej o częstotliwości multi-GHz.
- Zmierzono ładunek elektryczny deponowany na tarczach o różnych grubościach, w tym tarczach wykorzystywanych do laserowej akceleracji protonów i jonów.
- Stwierdzono znaczną powtarzalność IEM sugerującą, że IEM są jednoznacznie zdeteminowane przez parametry oddziaływania laser-tarcza.



Widmo częstotliwości IEM generowanego z ultra-cienkiej (65nm) tarczy CH oświetlonej ps impulsem lasera Vulcan PW o energii 150 J.



Natężenie pola elektrycznego IEM generowanego z tarczy CH 125um oświetlonej sub-ns impulsem lasera PALS o energii 600 J.

Badania namagnetyzowanych strumieni plazmowych z udziałem polaro-interferometrii w ramach LaserLab

Zbudowano i uruchomiono dwie diagnostyki:

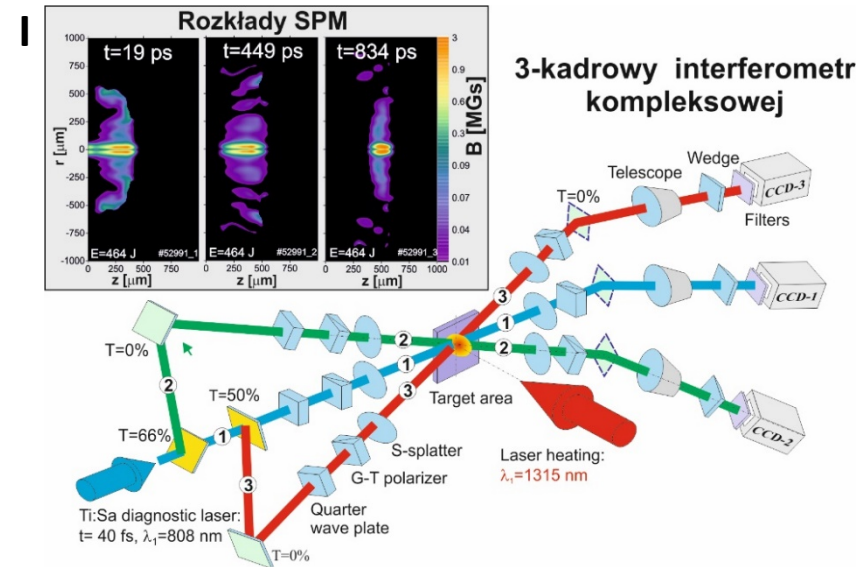
- 3-kadrowy interferometer kompleksowy do pomiaru SPM,
- 14-kanałowy spektrometr magnetyczny elektronów do pomiaru rozkładów kątowych energii szybkich elektronów.

Opracowano i implementowano metodologie:

- amplitudowo-fazowej analizy interferogramów kompleksowych oraz
- rekonstrukcji widm energii elektronów z wielokanałowego spektrometru.

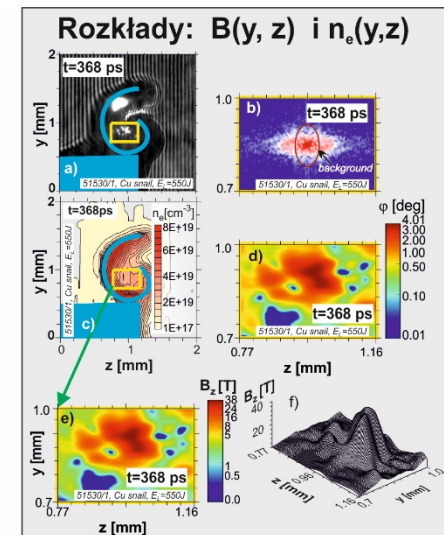
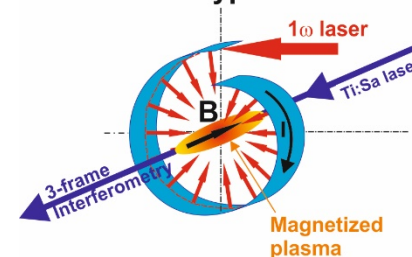
Uzyskane wyniki:

- Rozkłady pola magnetycznego i koncentracji elektronów dla tarcz z Cu i Al, na podstawie których obliczane będą rozkłady prądu. W połączeniu z parametrami emisji elektronów i jonów uzyskanych z innych diagnostyk pozwoli to poznać procesy absorpcji promieniowania laserowego odpowiedzialne za transport energii z udziałem szybkich elektronów, co istotne dla zastosowanie w koncepcji SI ICF.
- Rozkłady $B(y,z,t)$ i $n_e(y,z,t)$ oraz informacje o parametrach emisji elektronów i jonów z innych diagnostyk potwierdziły ideę formowania namagnesowanych strumieni plazmowych poprzez radialną implozję w tarczach ślimakowych (typu „snail”).



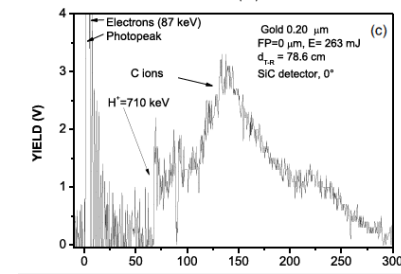
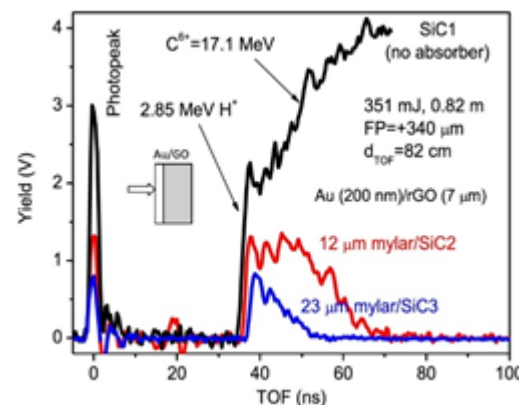
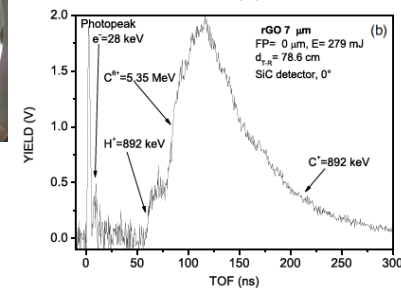
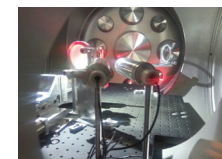
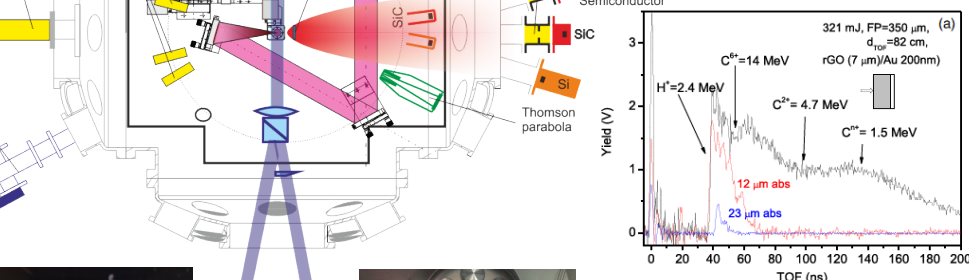
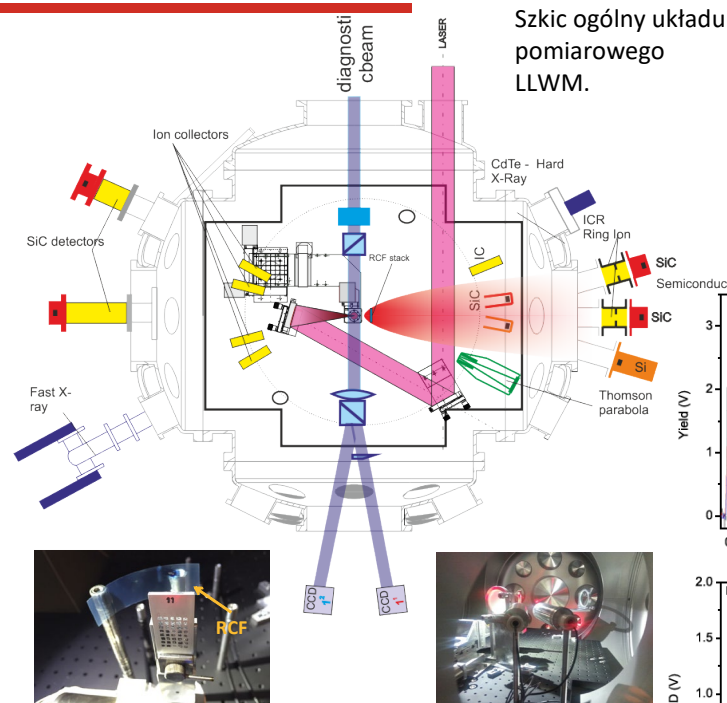
II

Idea formowania namagnetyzowanej plazmy za pomocą tarcz typu -snail



Badania emisji jonów (protonów) w LLWM

- Prace zrealizowane we współpracy z University of Messina, Włochy
- Zastosowanie tarcz z tlenku grafenu pokrytych warstwami metalicznymi dla optymalizacji gęstości elektronowej inicjującej akcelerację
- Uzyskanie za pomocą metody TNSA protonów o energii **2.85 MeV** dla tarczy pokrytej filmem Au
- Zastosowanie filtra mylarowego dla lepszej selekcji wysokoenergetycznych protonów
- Perspektywy dalszego rozwoju poprzez zastosowanie tarcz o innych parametrach

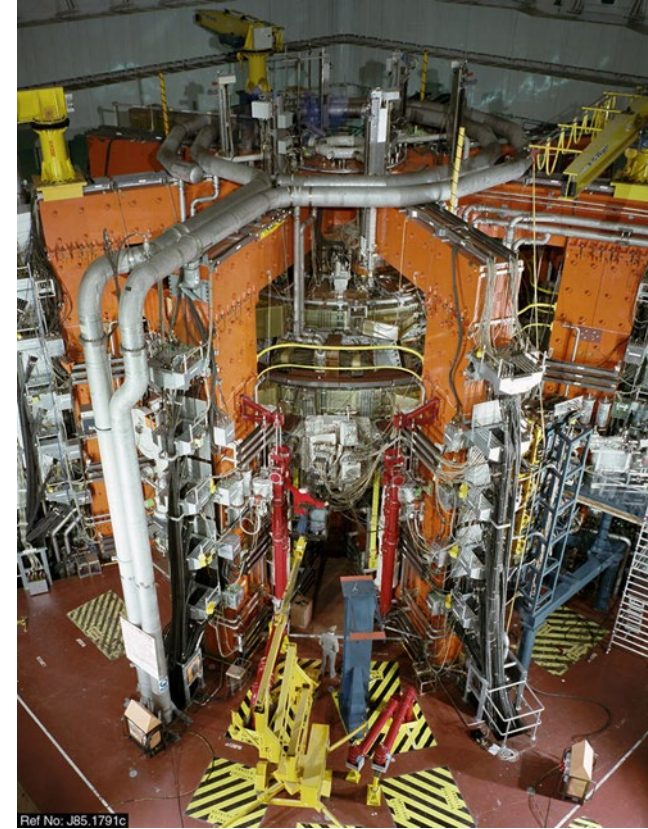


Podsumowanie efektów 2018

- Za pomocą relatywistycznego kodu typu PIC wykazano możliwość wytworzenia petawatowym laserem ELI ultraintensywnych, femtosekundowych wiązek ciężkich jonów (jonów toru) o parametrach nieosiągalnych w akceleratorach konwencjonalnych
- Na podstawie pomiarów spontanicznych pól magnetycznych (SPM) w plazmie laserowej w połączeniu z symulacjami 2D za pomocą kodu MHD stwierdzono, że za generację SPM odpowiedzialne są szybkie elektrony wytwarzane w wyniku absorpcji rezonansowej
- Z użyciem lasera o mocy 10 TW w Laboratorium Laserów Wielkiej Mocy w IFPiLM zbadano laserową akcelerację jonów złota do energii rzędu 10 MeV. Badania służą przygotowaniom diagnostyki jonowej do badań z użyciem lasera ELI-Beamlines budowanego w laboratorium koło Pragi (Republika Czeska)

Badania i modelowanie plazmy w układach MCF (EUROfusion)

- Rozwój i zastosowanie programów numerycznych modelujących procesy fizyczne w układach typu tokamak i stellarator
- Badanie procesów oddziaływania impulsów laserowych z materiałami w kontekście opracowania diagnostyki do usuwania zanieczyszczeń i monitorowania składu ściany reaktora
- Rozwój i zastosowanie diagnostyk miękkiego promieniowania rentgenowskiego w układach z magnetycznym utrzymaniem gorącej plazmy
- Badania plazmy w układach tokamaka JET, ASDEX Upgrade i TCV z zastosowaniem diagnostyk spektroskopowych, CXRS i bolometrii
- Rozwój i zastosowanie diagnostyki neutronów i promieniowania elektromagnetycznego (X, γ) dla układów z magnetycznym utrzymaniem plazmy oraz dla impulsowych generatorów plazmy typu *plasma focus*



EUROfusion Grant Agreement (Horyzont 2020): Scientific and technological research for the European Atomic Energy Community

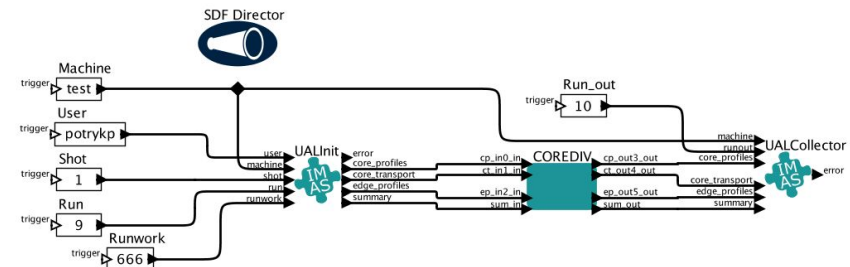
Rozwój i zastosowanie programów numerycznych modelujących procesy fizyczne w układach typu tokamak

Rozwój:

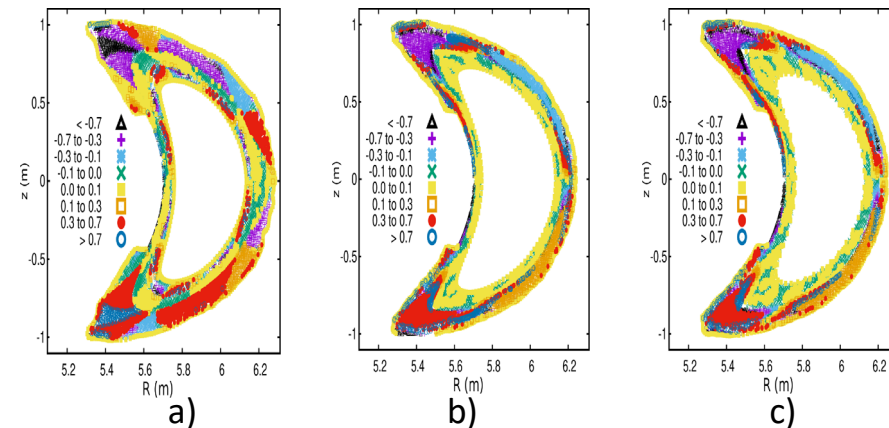
- Do kodu FINDIF dodano rozwiązywanie równań dla gęstości plazmy n i jej prędkości przepływu ($v_{||}$) wzdłuż linii pola magnetycznego. Rozpoczęto prace w celu zrównoleglenia kodu FINDIF (na poziomie OpenMP – obliczeń wieloprocessorowych przy współdzielonej pamięci).
- Dokonano integracji kodu COREDIV z platformą IMAS i uruchomiono kod COREDIV w środowisku Kepler'a

Zastosowania:

- Przeprowadzono za pomocą kodu TECXY symulacje plazmy brzegowej w zaawansowanych konfiguracjach dywertorowych (Advanced Divertor Configuration) dla reaktora termojądrowego DEMO. Analizowano użycie ciekło-metalicznego dywertora (Li, Sn) w reaktorze DEMO.
- Przeprowadzono analizy stacjonarnych reżimów pracy reaktora DEMO i CFETR za pomocą kodu COREDIV.
- Dokonano samouzgodnionej analizy transportu plazmy w tokamaku JT60 SA: analiza scenariusza nr 5
- Przeprowadzono symulacje komputerowe wspomagające analizę danych eksperymentalnych z wyładowań na tokamakach: JET ILW, ASDEX-U, TCV



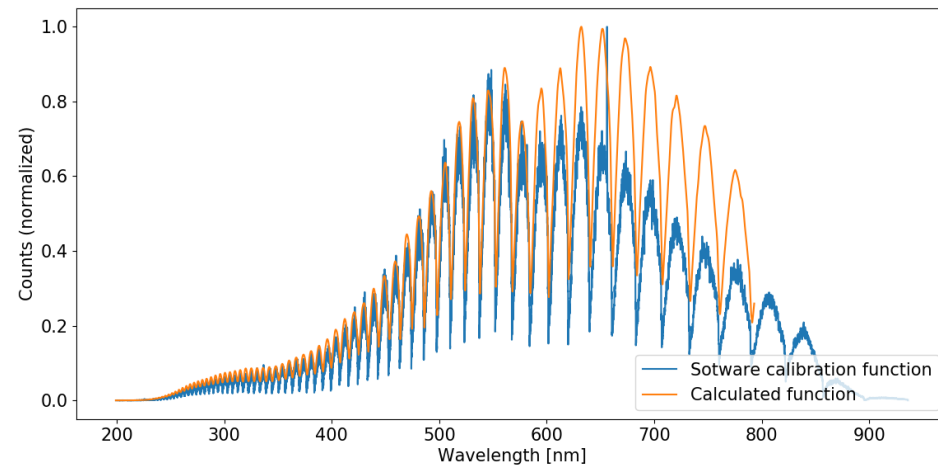
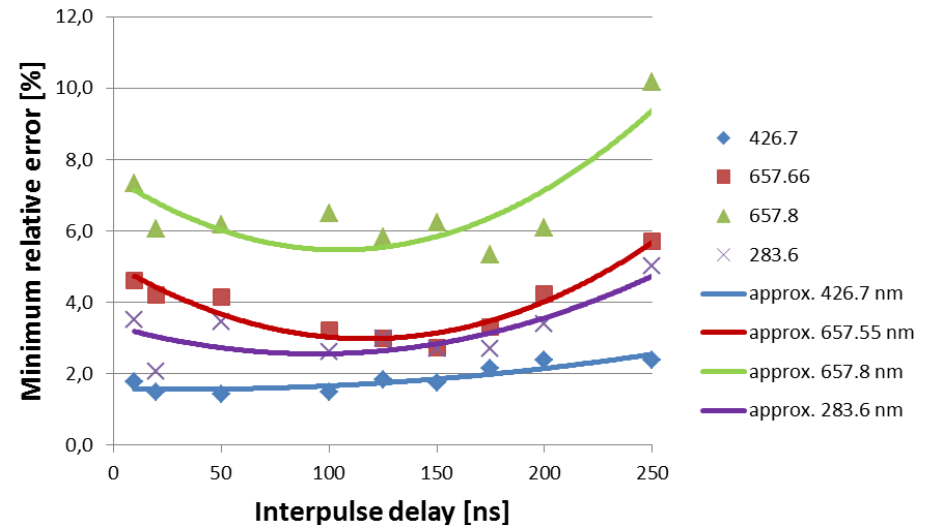
Kepler workflow s kodem COREDIV



Rozkład prędkości plazmy (w sensie liczby Macha M danej jako stosunek prędkości wzdłuż pola do lokalnej prędkości dźwięku) na przekr. 0° dla standardowego pola magnetycznego (a), dla pola z silnym lustrem magnetycznym: $\beta=0\%$ (b) i $\beta\approx 0.84\%$ (c)

WPPFC: Preparation of efficient PFC operation for ITER and DEMO

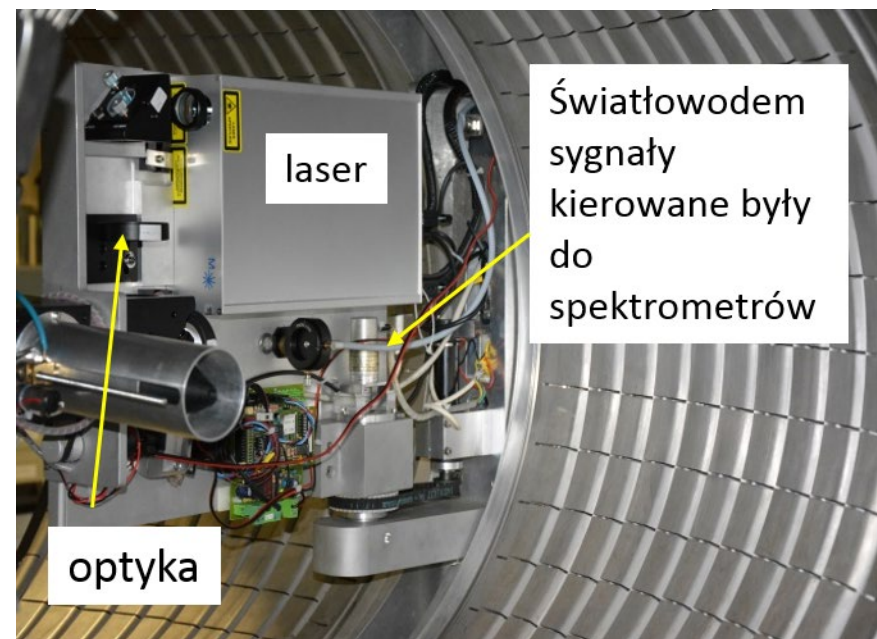
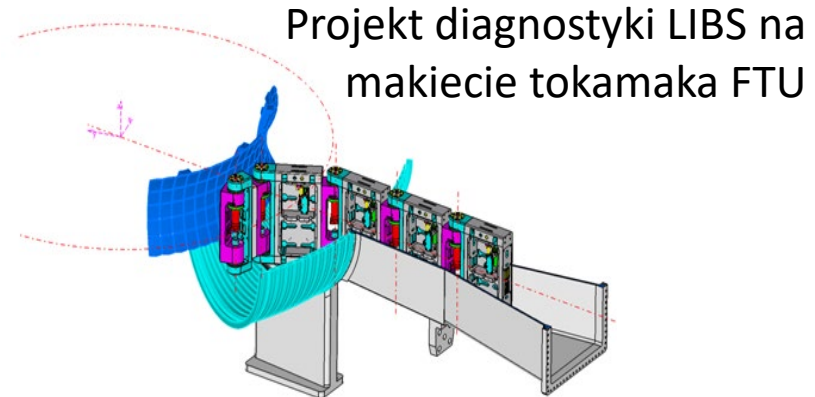
- Dokonano szczegółowej analizy wpływu opóźnienia międzyimpulsowego w metodzie dwuimpulsowej LIBS i czasu obserwacji na intensywność sygnału, SNR, SBR i błędy względne pomiarów
- Dokonano optymalizacji parametrów impulsów laserowych oraz obserwacji plazmy dla różnych ciśnień
- Dokonano znacznej poprawy kalibracji natężeniowej widm w porównaniu z kalibracją dostarczoną przez producenta w oprogramowaniu, zwłaszcza w pomiarach linii izotopów wodoru



Porównanie sprzętowej i wyznaczonej laboratoryjnie funkcji kalibracji

WPMST2: Implementation of the LIBS measurements at atmospheric pressure conditions during long-term maintenance using the Multi-Purpose Deployer

- Wspólnie z ENEA Frascati udanego przeprowadzono eksperyment LIBS na makiecie tokamaka FTU, polegający na jednoczesnej obserwacji plazmy za pomocą dwóch spektrometrów o uzupełniających się możliwościach
- Uzyskano spójne wyniki w dziedzinie długości fali jednocześnie obserwowanej przez dwa spektrometry,
- Dzięki uzyskaniu informacji w szerokim zakresie spektralnym możliwe było wyznaczenie parametrów plazmy,
- Potwierdzono możliwość stosowania metody LIBS na zdalnie sterowanym ramieniu w FTU

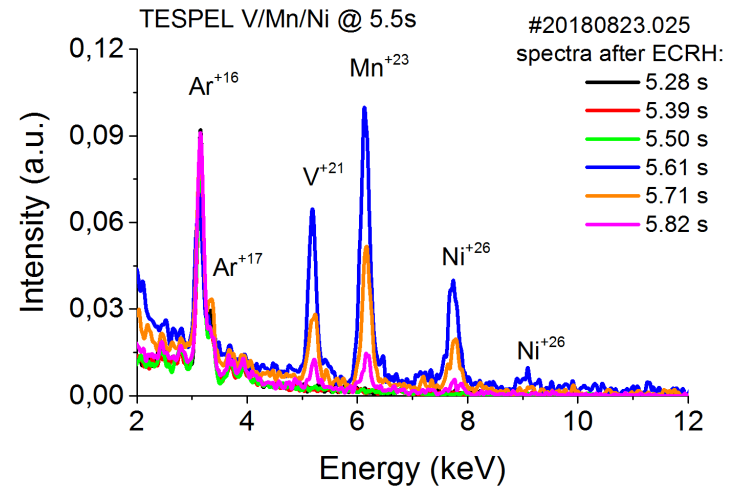


Wnętrze makiety FTU z układem do LIBS

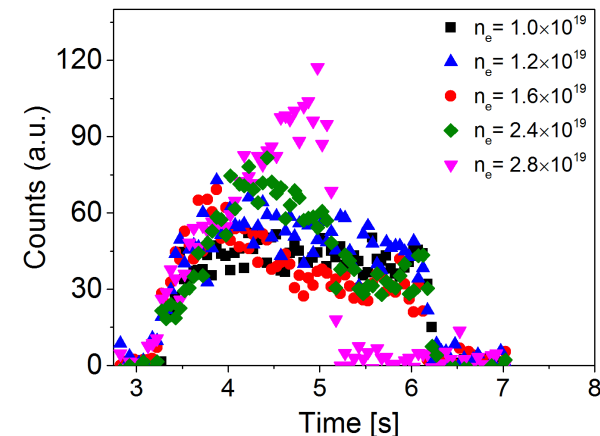
WPS1: Preparation and Exploitation of W7-X campaigns

- Pracownicy IFPiLM uczestniczyli aktywnie w kampanii eksperymentalnej na W7-X OP1.2b przy obsłudze i wstępnej analizie danych
- Zoptymalizowano ustawienia diagnostyki PHA co umożliwiło obserwację zanieczyszczeń plazmy o wyższym Z
- Pracownicy IFPiLM brali udział w kolejnej kampanii eksperymentalnej na LHD. Analizy danych pokazały akumulację zanieczyszczeń dla plazmy deuterowej dla wysokich n_e
- Przygotowano dokumentację techniczną i rysunki wykonawcze do zakupu komory systemu CO monitor przewidzianego do instalacji na W7-X w 2020r.

Przykład zarejestrowanego widma PHA w eksperymencie z TESPElem

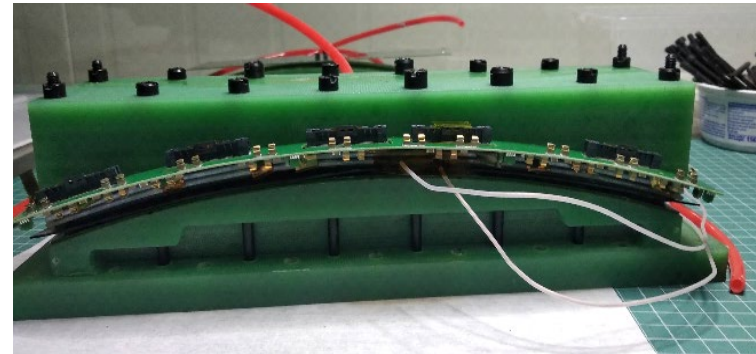


Zmiany intensywności linii FeXXIV w plazmie D na LHD dla różnych n_e



WPENR: Development of soft X-ray GEM based detecting system for tomographic tungsten focused transport monitoring

- Sfinalizowano i zoptymalizowano konstrukcję detektora poziomego dla diagnostyki tomograficznej na WEST o zakrzywionej powierzchni detekcji
- W porcie tokamaka zainstalowano detektor pionowy o płaskiej powierzchni detekcji. Pod koniec roku dokonano jego testów w trakcie wyładowań plazmy.
- Wykonano prototypowy detektor GEM-owy, w którym po raz pierwszy na świecie użyto aluminiowych folii GEM-owych
- W 2018r. Wspólnie z Politechniką Warszawską otrzymano patent na wynalazek P-417461 pt. Sposób i układ do separacji nakładających się impulsów.



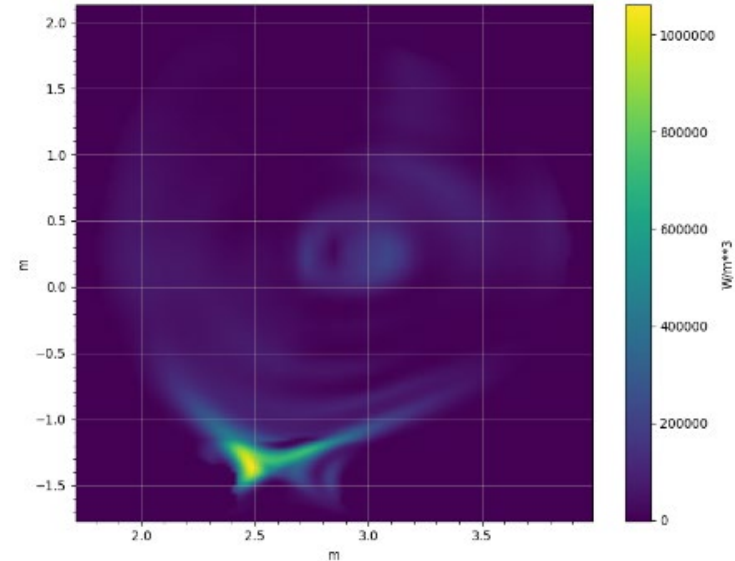
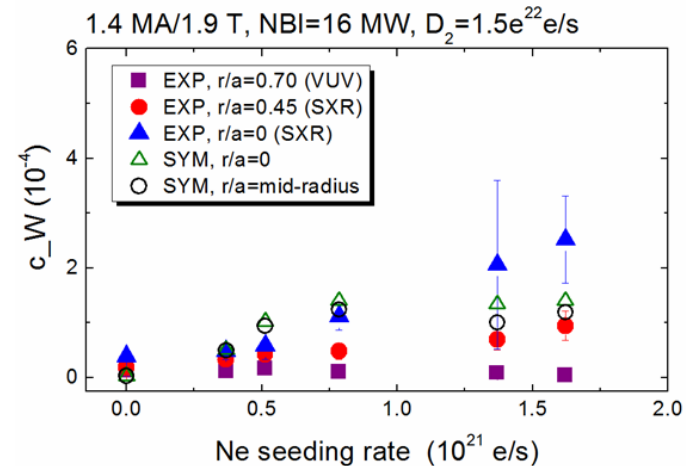
Zdjęcie detektora o zakrzywionej powierzchni



System detekcji zainstalowany w porcie pionowym tokamaka WEST

WPJET1: JET Campaigns

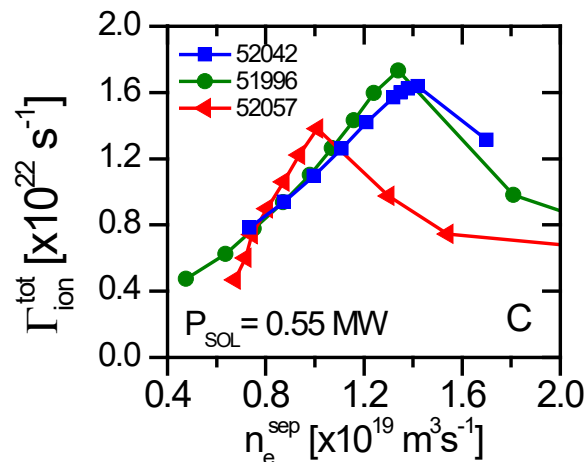
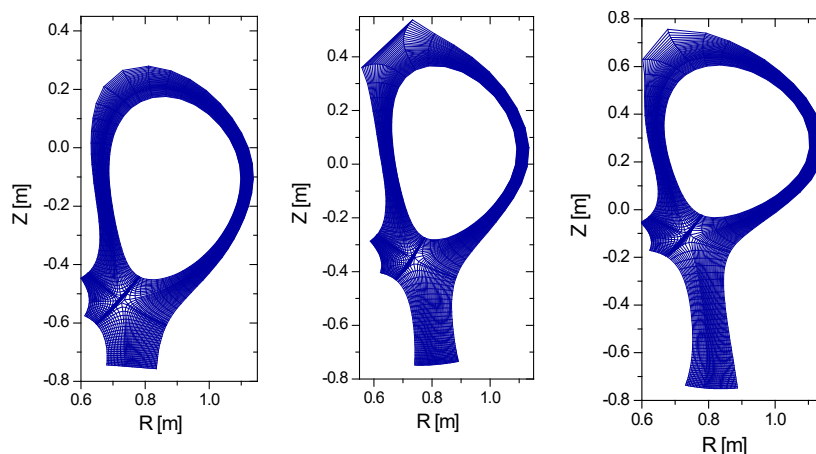
- W 2018 naukowcy z IFPiLM uczestniczyli w kampaniach analiz i modelowania na tokamaku JET
- W 2018 r. pracownicy IFPiLM uczestniczyli w szkoleniu na operatora VSO (Viewing System Operator), w szkoleniach dotyczącym obsługi kodów numerycznych JOEREK oraz ETS, a także w szkoleniu dotyczącym obsługi programu EFIT do rekonstrukcji pola magnetycznego w JET
- Przeprowadzono rekonstrukcje bolometryczne dla różnych wyładowań plazmy
- Dokonano licznych analiz wyładowań z poprzednich kampanii



WPMST1: Medium-Size Tokamak Campaign

- W ramach udziału w kampanii eksperymentalnej na tokamaku TCV po raz pierwszy do modelowania plazmy został użyty i dostosowany nieliniowy kod magneto-hydrodynamiczny JOEREK
- Kontynuowano optymalizację wydajności trzy-jonowego scenariusza grzania ICRH na ASDEXie
- Zaobserwowano emisję prędkich jonów ^3He , które przyczyniają się do lepszego utrzymania plazmy poprzez zwiększoną temperaturę elektronów

Siatki obliczeniowe dla różnych konfiguracji charakteryzujące się różnymi odległościami pomiędzy X-point i zewnętrzną płytą.



Strumień jonów plazmy padający na płytę dla różnych konfiguracji pola magnetycznego.

WPJET3 – NC14, Kalibracja systemu diagnostyk neutronowych JET dla energii 14 MeV

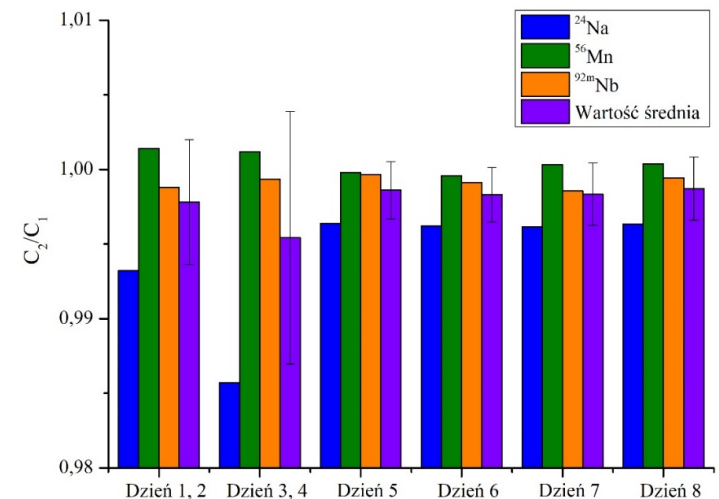
Głównym celem kalibracji „in-vessel” diagnostyk neutronowych tokamaka JET, wykonanej za pomocą 14-MeV generatora neutronów, było wyznaczenie współczynników kalibracyjnych dla komór rozszczepieniowych (system KN1) oraz współczynników aktywacyjnych dla Al oraz Nb (system KN2) dla plazmy DT.

Przeprowadzono analizę danych eksperymentalnych zebranych podczas kampanii charakterystycznych generatora neutronów oraz w trakcie kalibracji „in-vessel” diagnostyk neutronowych tokamaka JET z zastosowaniem 14-MeV generatora neutronów. Głównym celem tej analizy było porównanie dwóch niezależnych metod wyznaczania wydajności emisji generatora neutronów na podstawie wyników pomiarów aktywacyjnych.

Wydajność emisji generatora neutronów dla pierwszej metody (C_1) była wyznaczana w oparciu o szybkość reakcji jądrowych dla próbek aktywacyjnych, obliczonej za pomocą kodu MCNP, przekrój czynny na daną reakcję jądrową pochodzący z biblioteki IRDFF (v.1.05) oraz zaprojektowane specjalnie do tego celu narzędzie numeryczne.

Druga metoda (C_2) była oparta o symulacje numeryczne przeprowadzone za pomocą kodu FISPACT-II.

Porównanie wyników dla obu metod dla przypadku kalibracji „in-vessel” diagnostyk neutronowych tokamaka JET



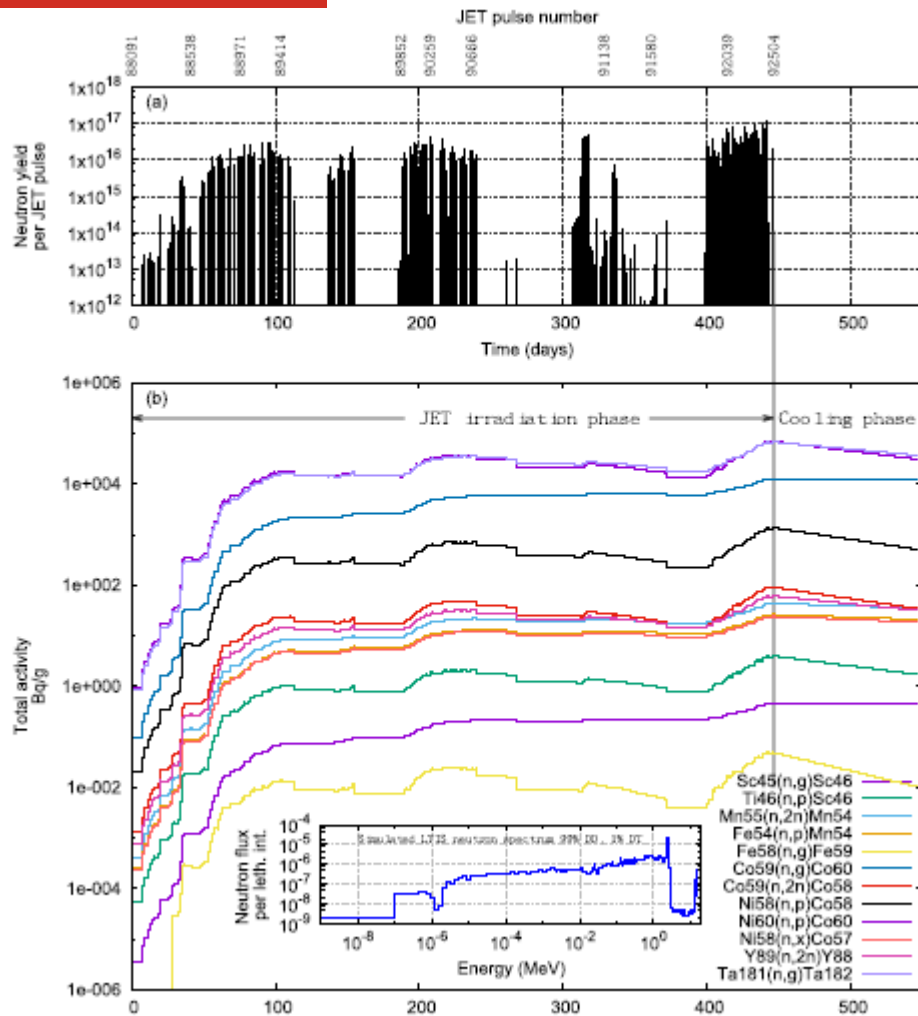
Największe rozbieżności pomiędzy wartościami wydajności emisji generatora neutronów wyznaczonymi dwiema metodami zanotowano dla radionuklidu ^{24}Na i były one mniejsze od 1,5%.

WPJET3 – ACT, Pomiary aktywacji neutronami materiałów przewidzianych do budowy tokamaka ITER

Przeprowadzono serię analiz z wykorzystaniem kodu FISPACT-II mających na celu wyznaczenie spodziewanej aktywności właściwej produktów reakcji jądrowych powstających w różnych próbkach, napromieniowanych w trakcie kampanii DD na tokamaku JET (która to kampania przesunięta została na 2019 rok). Stąd porównanie wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi możliwe będzie dopiero w drugiej połowie 2019 roku.

Przygotowano również zestawy próbek aktywacyjnych, które zostaną napromieniowane w trakcie kampanii DT oraz TT w pozycji eksperymentalnej KN2 3U. W skład każdego zestawu wchodzić będą następujące próbki: Al, Fe, Nb.

Przeprowadzono kalibrację detektorów promieniowania gamma będących na wyposażeniu laboratoriów zaangażowanych w realizację projektu ACT. Kalibrację wykonano za pomocą jednakowego źródła promieniowania gamma zawierającego następujące radionuklidy: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{85}Sr , ^{54}Mn , ^{133}Ba , ^{60}Co , ^{203}Hg , ^{137}Cs oraz ^{88}Y

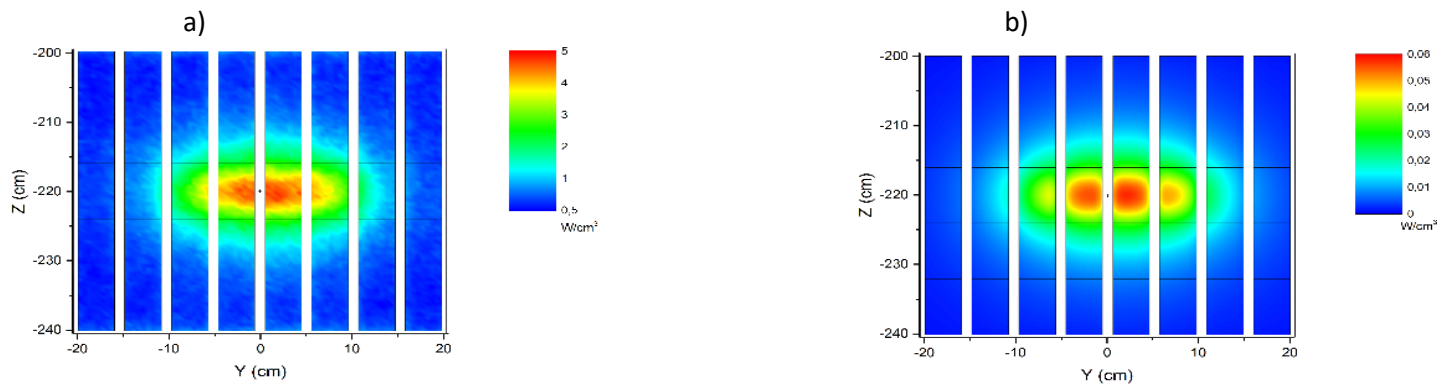


Spodziewana radioaktywność produktów powstających w próbkach aktywowanych w trakcie kampanii DD na tokamaku JET i wyznaczona za pomocą kodu FISPACT-II

WPENS –Early Neutron Source

Nuclear analyses as requested for the design optimization of STUMM

- Obliczenia transportu neutronów dla potrzeb urządzenia STUMM (Start-Up Monitoring Module) projektowanego przez Instytut Fizyki Jądrowej (IFJ) w ramach *Conceptual design of STUMM*
- Zadanie to wykonywano za pomocą kodu MCNP5 z użyciem dystrybuowanych w ramach projektu WPENS modelu geometrycznego urządzenia DONES oraz dodatkowo kodu McDeLicious symulującego źródło neutronów w urządzeniu DONES
- Kontynuowano obliczeniach grzania jądrowego wewnątrz STUMM dla potrzeb projektowanego systemu chłodzenia



Przestrzenny rozkład grzania jądrowego neutronami a) oraz promieniowaniem gamma b) w obszarze STUMM

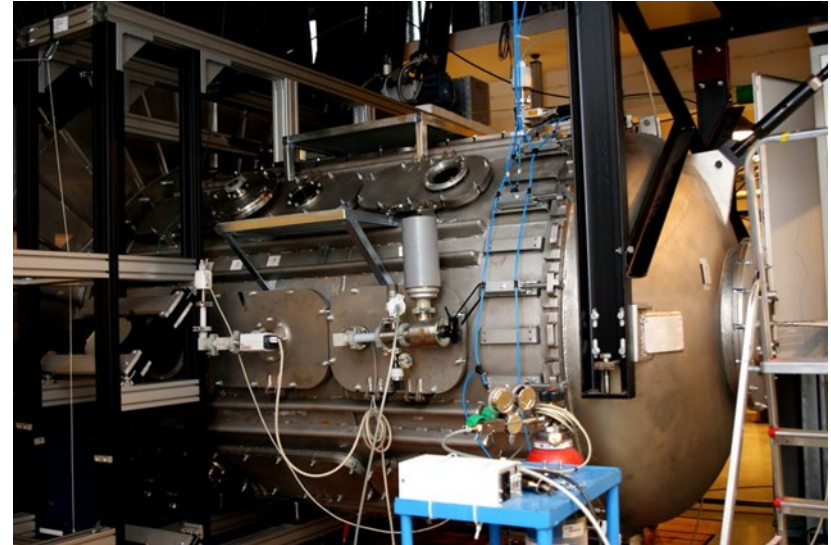
- Naukowcy z IFPiLM wzięli udział w eksperymencie na tokamaku FTU we Frascati, stosując metodę LIBS opracowaną w IFPiLM w celu monitorowania i określania składu powierzchni dywertora w urządzeniach fuzyjnych
- Ważne wyniki badań plazmowych na stellaratorze W7-X uzyskane z udziałem zespołu z IFPiLM zostały opublikowane w „Nature Physics”. Współautorkami tego artykułu są dr A. Chomiczewska (*de domo* Czarnecka) i dr M. Kubkowska z IFPiLM
- Zespół z IFPiLM uczestniczył w modelowaniu nieliniowych zjawisk w plazmie w tokamaku TCV w Szwajcarii przy użyciu kodu 3D MHD JOEREK. Wykonano symulacje generacji efektu ELM typu II, które mogą służyć optymalizacji działania reaktorów fuzyjnych

- Na tokamaku ASDEX-Upgrade w Garching wykonano wspólne badania efektów nieliniowych z zastosowaniem tzw. nowego tryjonowego grzania plazmy antenami ICRF. Stwierdzono możliwość występowania prędkich jonów He3 przyczyniających się do lepszego utrzymania plazmy poprzez zwiększoną temperaturę elektronów
- Na tokamaku WEST (Francja) zainstalowano i uruchomiono detektor gazowy typu GEM i uzyskano wstępne wyniki zgodne z innymi rezultatami. Opracowano też pierwszy na świecie detektor GEM z foliami Al lepiej przystosowany do badań w układach tokamak
- Wspólnie z IFP w Pradze opracowano oryginalny kod służący do tomografii neutronowej gęstej i gorącej plazmy z wykorzystaniem Radialnej Kamery Neutronowej (RNC). Urządzenie jest przeznaczone do diagnostyki tokamaka ITER

- Kalibracja systemu diagnostyk neutronowych JET dla energii 14 MeV
- Pomiary aktywacji neutronami materiałów przewidzianych do budowy tokamaka ITER
- Współpraca z IFJ PAN Kraków dot. obliczeń neutronowych dla STUMM (*Start-Up Monitoring Module*)

Badania plazmy w układzie *plasma focus*

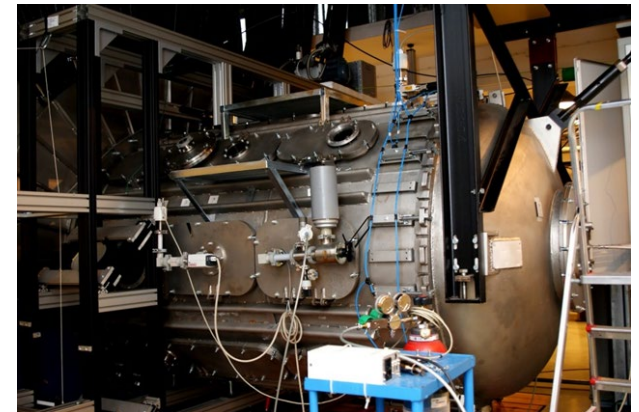
- Badanie procesów oddziaływania plazma-ściana w reaktorach termojądrowych (projekty MAEA)
- Badania eksperymentalne procesów fizycznych w plazmie komprimowanej polem magnetycznym w urządzeniu PF-1000U (program ICDMP)



Dodatkowo Instytut realizował
prace usługowe wykonywane przez Laboratorium
Symulowanych Wyładowań Atmosferycznych
(przychód w roku 2018: 237 kPLN; w roku 2017 – 34 kPLN)

Badania plazmy w układzie *plasma focus*: projekty powiązane

- Projekty Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA)
 - Application of the PF-6 device in the Radiation Material Sciences for the Goals of Inertial Fusion Beyond Ignition and for Additional Spin-off Applications
 - Development of Quasi-State (Repetitive) Compact Fusion Neutron Sources Based on Plasma-Focus Concept
- Program Międzynarodowego Centrum Gęstej Plazmy Namagnetyzowanej
 - Środki Fundacji Wspierania ICDMP
 - Specjalne Urządzenie Badawcze



Badanie procesów plazma-ściana w reaktorach termojądrowych (projekt MAEA)

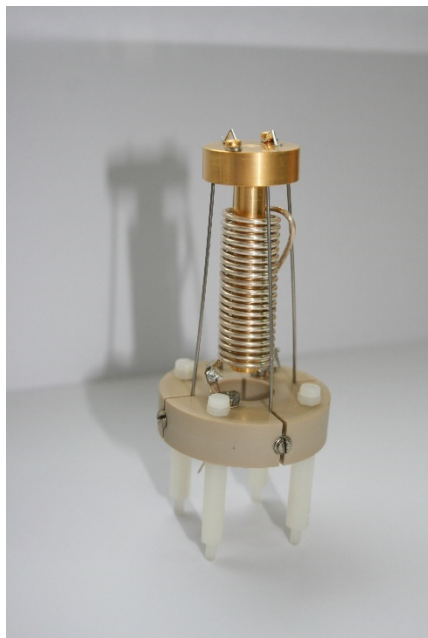
Udział w badaniach porównawczych prowadzonych dla identycznych próbek materiałów poddawanych obciążeniom termicznym w różnych ośrodkach naukowych biorących udział w programie CRP (tzw. *round robin tests*). Ośrodkami tymi były:

- Instytutem Metalurgii i Badań Materiałowych im. Bajkowa w Moskwie,
- Instytutem Fizyki Plazmy Ukraińskiej Akademii Nauk w Charkowie,
- Wydziałem Matematyki i Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu w Tallinie.

Dotychczasowe badania oddziaływania strumieni plazmy oraz intensywnych wiązek jonów z powierzchniami różnych materiałów prowadzone były w temperaturze pokojowej (20-22°C). Przewiduje się, że w realnych warunkach ciągłej pracy reaktora fuzyjnego temperatura wewnętrznej powierzchni komory reaktora wynosiła będzie 500-600°C, co w znaczący sposób zmieni zjawiska zachodzące w materiałach poddanych obciążeniom.

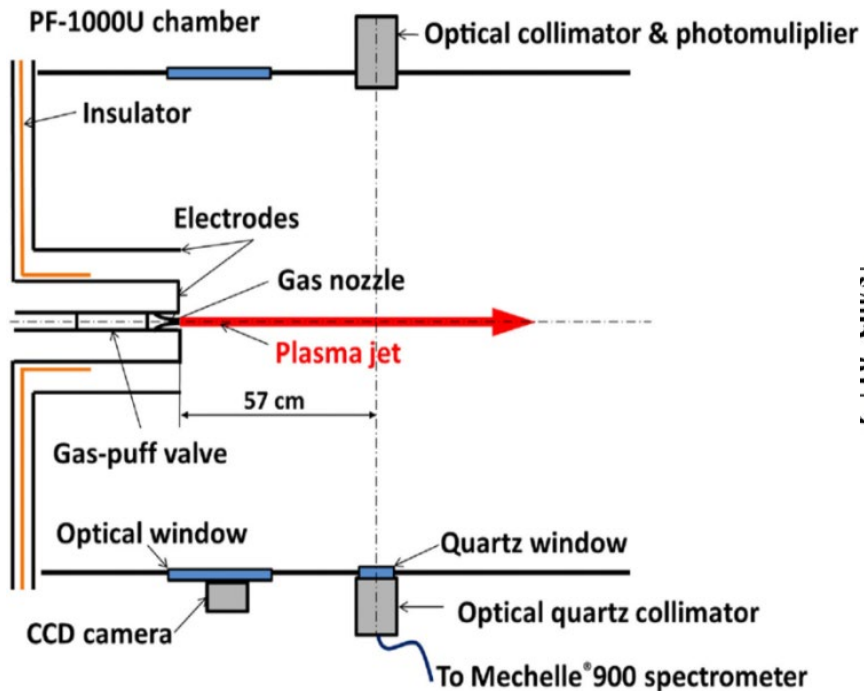
Indukcyjny układ podgrzewający tarczę do temperatury 500-600°C

Komora próżniowa, w której testowano efektywność grzania tarcz

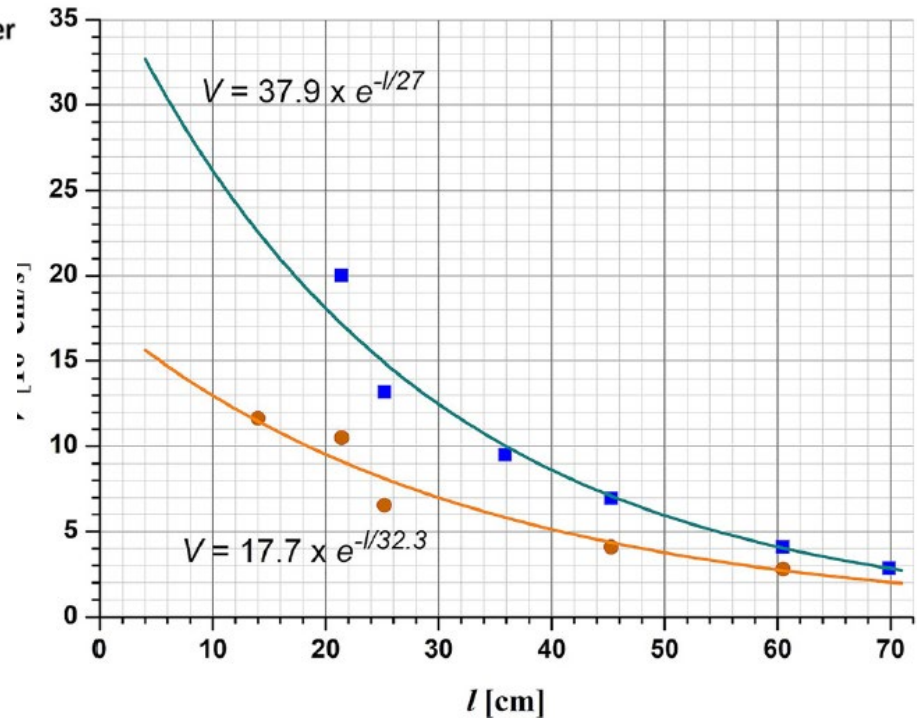


Badania eksperymentalne procesów fizycznych w plazmie komprimowanej polem magnetycznym w urządzeniu PF-1000U (program ICDMP)

Wpływ warunków gazowych (w komorze oraz w gas-puff) na parametry „jetów plazmowych” generowanych w PF-1000U.



Schemat układu pomiarowego



Wykresy prędkości osiowej propagacji zaburzenia („jeta”) w funkcji odległości (l) liczonej od końca elektrod, dla stałego ciśnienia wynoszącego 1,2 hPa D2 (niebieski), i z dodatkowym puffingiem (czerwony).

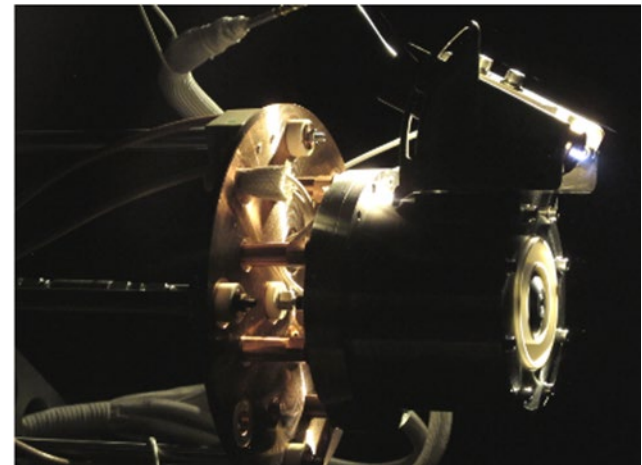
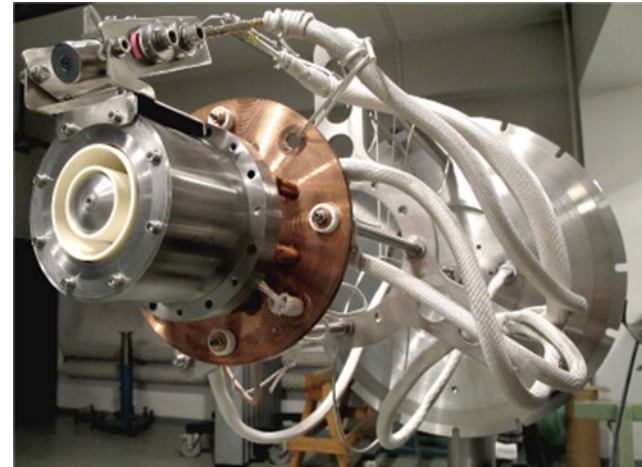
Podsumowanie efektów 2018

- W ramach *round robin tests* badane były własności stopów wolframu (próbki wyprodukowane zostały przez HC Starck Hermsdorf GmbH): (i) HPM1850 - W stop zawierający 1%Fe oraz 2%Ni; (ii) HPM1810 – W, stop zawierający 1.5%Fe oraz 3.5%Ni, (iii) HPM1800 – W, stop zawierający 1.5%Fe oraz 3.5%Ni
- Zbadano wpływ antyanody oraz kształtu czoła anody (wkładki stożkowe) na dynamikę powstawania i rozwoju niestabilności MHD sznura plazmowego, powstawanie plazmoidów oraz emisję promieniowania jonizującego
- Badano produkty bezneutronowej reakcji proton-bor z wykorzystaniem diody krzemowej typu PIN zainstalowanej na osi układu PF-1000U
- Wykorzystano układ PF-1000U jako impulsowe źródło neutronów do testowania nowych diagnostyk neutronowych opartych na itrze
- Kontynuowano badania podstawowe dotyczące poznania mechanizmu generacji neutronów w urządzeniach typu *plasma focus* oraz możliwych metod prowadzących do uzyskania maksymalnej emisji neutronów dla zadanej energii zgromadzonej w baterii kondensatorów
- W ramach badania dżetów plazmowych (symulacja zjawisk astrofizycznych): zbudowano układ rejestracji czterech kadrów diagnostyki cieniowej w obszarze 40 cm przed czołem anody. Zainstalowano sześćioelementową sondę do rejestracji dwóch składowych pola w trzech pozycjach od osi układu PF. Rejestrowane obrazy korelowano z sygnałami nowej sondy magnetycznej

Kosmiczne sterowniki plazmowe

- Budowa układu eksperymentalnego i badania optymalizacyjne plazmowego silnika Halla małej mocy ($\sim 300\text{W}$) oraz teoretyczne i numeryczne modelowanie fizyki procesów w takim silniku

ESA Contract No.
4000122415/17/NL/GE: 0.5kW
class HET for operation at high
voltage with krypton propellant



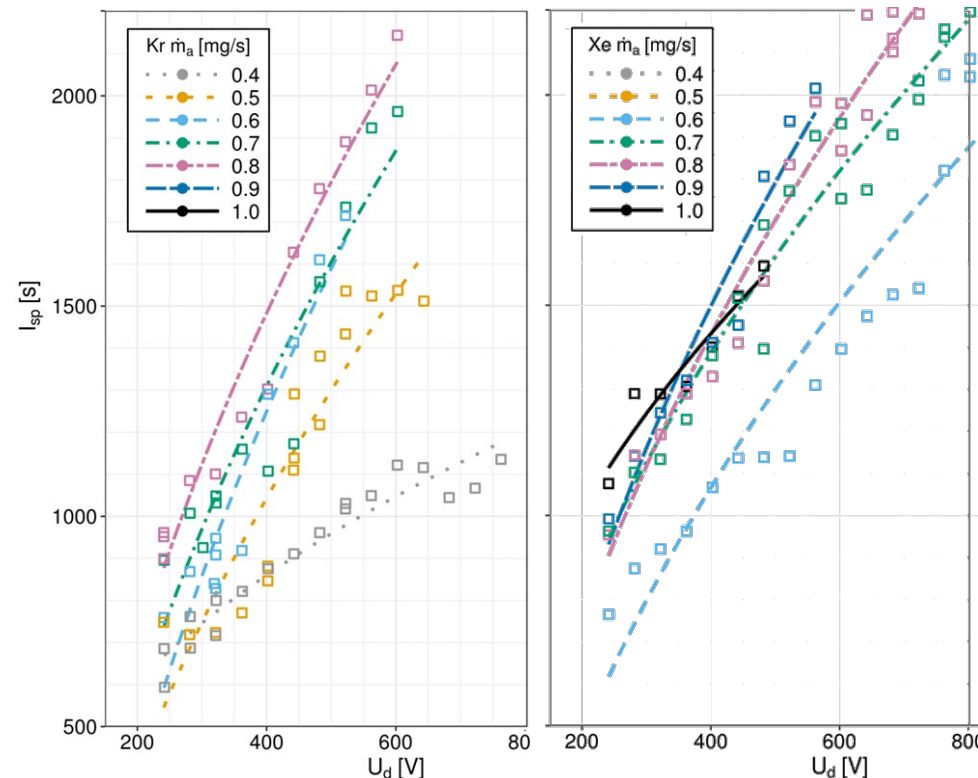
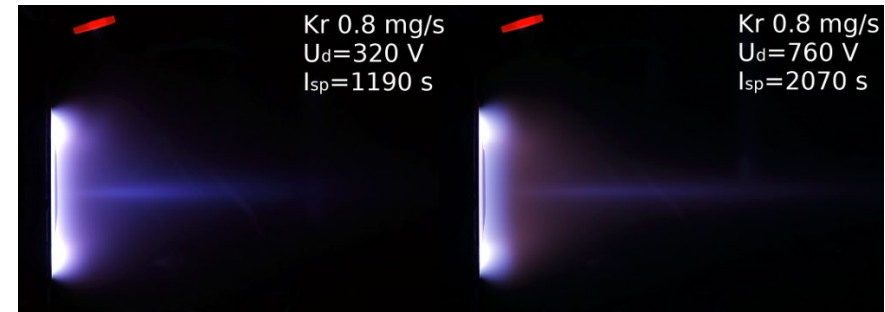
Badania optymalizacyjne silników plazmowych

Projekt HIKHET (ESA):

- W szerokim zakresie parametrów przetestowano wersję *kick-off* silnika Halla o mocy nom. 500 W, przystosowaną do pracy z wysokim napięciem
- Stwierdzono, że zwiększenie impulsu właściwego z typowej wartości 15 km/s do 21-22 km/s jest możliwe zarówno dla ksenonu jak i kryptonu. Trzeba jednak, zmniejszyć wydatek masowy paliwa, aby zachować założony reżim termiczny silnika (bezpieczeństwo!). Z punktu widzenia misji zwiększenie impulsu właściwego jest istotne dla poprawy budżetu masy misji, co pozwala np. na zwiększenie czasu jej trwania
- Na podstawie modelowania metodą elementów skończonych zaproponowano nową konfigurację pola B dla wersji docelowej silnika

Silnik L μ PPT

- Opracowano model teoretyczny wczesnej fazy rozwoju wyładowania w ablacyjnym silniku plazmowym. Model ma posłużyć do optymalizacji konstrukcji takiego mikrosilnika zasilanego niełatwą cieczą polimerową (program rozwoju opracowanego w IFPiLM mikrosilnika L μ PPT)



Podsumowanie efektów 2018

- Przeprowadzono badania wydajności silnika dla dwóch rodzajów paliwa (ksenon i krypton), w szerokim zakresie wydatków masowych (1.0–0.6 mg/s) i napięć pracy (od 200 do 900 V) oraz przy różnej konfiguracji elementów silnika (zmiana położeń katody oraz anody, testowanie dwóch kształtów izolatorów).
- Opracowano i wytworzono diagnostykę plazmowa w postaci kubka Faradaya: powstanie manipulatora dla diagnostyk zapewniającego dwa stopnie swobody (ruch radialny i kątowy), instalacja kubka na tym ramieniu, testy kalibracyjne
- Przeprowadzono badanie konfiguracji obwodu magnetycznego w celu optymalizacji topografii pola magnetycznego wewnątrz silnika za pomocą modelowania metodą elementów skończonych w programach FEMM i ANSYS Maxwell
- Udoskonalono model teoretyczny wczesnej fazy wyładowania w silniku LμPPT
- Dla studentów 3 roku Wydziału Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej przeprowadzono wykład kursowy pt. Elektryczne napędy reaktywne dla pojazdów kosmicznych

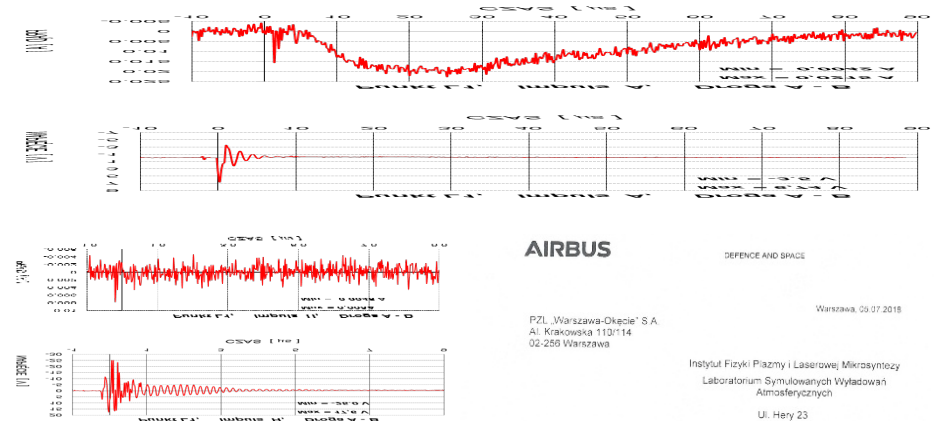
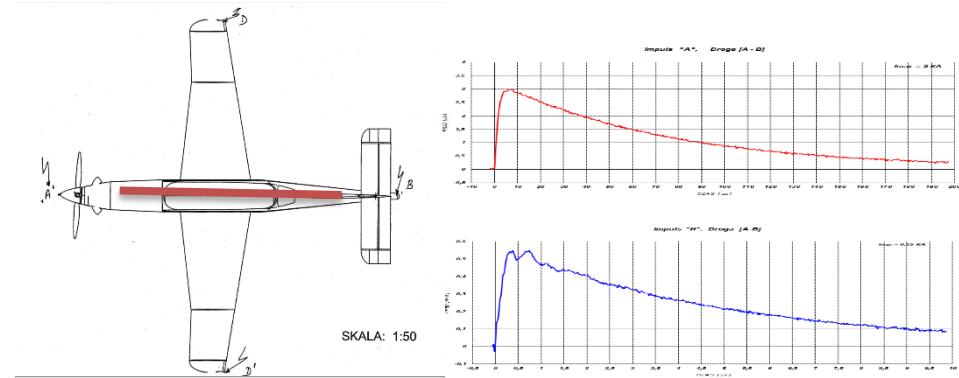
Badanie odporności samolotu ORLIK na wyładowanie atmosferyczne

Przeprowadzenie badań określających poziom napięć i prądów indukowanych przez wyładowanie atmosferyczne dla samolotu PZL-130 TC-II ORLIK z awioniką SANDEL, spełniających wymagania programu określonego przez PZL Warszawa-Okęcie (zał. do umowy nr 5266/Z5/2018)



Określenie zakresu prac

Drogi przepływu prądu	4
Liczba punktów pomiarowych	8
Rodzaje wymuszeń (typu A i H)	2
Rodzaje pomiarów (prądowe i napięciowe)	2
Statystyka pomiarów	3 (+2)
łącznie	384 (640)



Stwierdził: Janie Dyrektor,

Wyrażamy serdeczne podziękowanie za sprawne przeprowadzenie oraz dostarczenie sprawozdania z próby niezbędnej do określenia odporności systemu awionicznego samolotu PZL-130 TC-II ORLIK na zakłócenia spowodowane udarzeniem pioruna, przeprowadzonej na podstawie naszego Programu Prób nr PP-130/OB/01/2017.

Pragniemy przy tym wyrazić wdzięczność za uwzględnienie naszej prośby o przyspieszoną realizację próby, która wynikała z napiętego harmonogramu realizacji kontraktu dotyczącego realizacji biuletynu technicznego dla Sił Powietrznych na 16 samolotach PZL-130 TC-II ORLIK.

Serdecznie dziękuję za wzorcowe przygotowanie merytoryczne, doskonałą organizację przedsięwzięcia oraz zyciową atmosferę.

2 pomiarów

Witold
WITOLD WITOLD
WITOLD WITOLD

Publikacje w czasopismach

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Całkowita liczba publikacji	44	39	83	87	79	76	74
Zmiana [%]		-11%	113%	5%	-9%	-4%	-3%
Punkty za publikacje dla IFPiLM	924,5	892	1528,5	1937,5	1380,5	1450,5	1541,25
Zmiana [%]		-4%	71%	27%	-29%	5%	6%

Publikacje według czasopism

Czasopismo	Punktacja	L. artykułów	Punkty dla IFPiLM
FUSION ENGINEERING AND DESIGN	30	6	172,5
PHYSICS OF PLASMAS	30	6	167,5
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS	30	6	165
NUCLEAR FUSION	40	6	160
PROCEEDINGS OF SPIE	15	10	150
LASER AND PARTICLE BEAMS	25	4	85
JOURNAL OF FUSION ENERGY	20	4	80
JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES	15	5	75
JOURNAL OF INSTRUMENTATION	25	3	62,5
CONTRIBUTIONS TO PLASMA PHYSICS	15	4	56,25
SCIENTIFIC REPORTS	40	1	40
RADIATION MEASUREMENTS	35	1	35
PHYSICS LETTERS A	30	1	30
EPS 2018	15	3	30
JOURNAL OF ELECTRON SPECTR. AND RELATED PH.	25	1	25
RADIATION PHYSICS AND CHEMISTRY	25	1	25
MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY	30	1	22,5
NATURE PHYSICS	45	1	22,5

Prezentacje konferencyjne

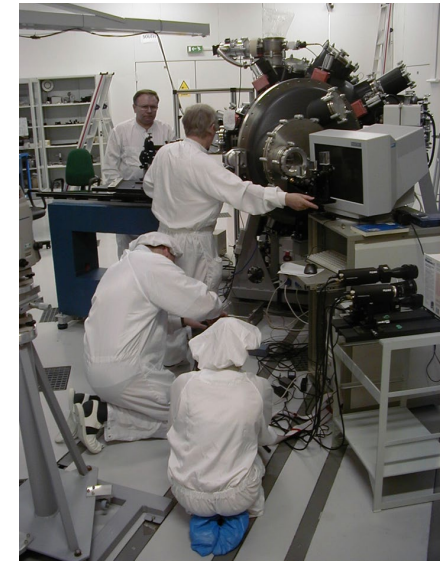
- W roku 2018 pracownicy naukowcy Instytutu przedstawili referaty na 18 konferencjach i szkołach, w tym:
 - 7 wykładów zaproszonych
 - 40 komunikatów ustnych i plakatów

Referaty zaproszone

- 35th European Conference on Laser Interaction with Matter (ECLIM), 22-26.10.2018, Greece, Rethymno, Crete
 - **J. Badziak:** Towards ultra-intense ultra-short ion beams driven by a multi-PW laser
- International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion ICPPCF-2018, 10-13.09.2018 Charków, Ukraina
 - **A. Chomiczewska:** Studies of impurities behaviour for the optimization of plasmas and heating scenarios at tokamaks in perspective for ITER
 - **M. Kubkowska:** W7-X plasma diagnostics for impurity transport studies
- III Akademickie Forum Energii Jądrowej, 16-18.05.2018, Kraków, Polska
 - **N. Krawczyk:** Synteza termojądrowa - energia przyszłości
- 14th Kudowa Summer School "Towards Fusion Energy", 04-08.06.2018, Kudowa-Zdrój
 - **T. Pisarczyk:** Application of the polaro-interferometry to measure of the electron density and spontaneous magnetic fields in laser-produced plasma experiment
 - **M. J. Sadowski:** Progress in Studies and Applications of Plasma-Focus and Z-Pinch Devices
 - **Z. Peradzyński, K. Makowski, J. Kurzyna:** The Early Stage of the Plasma Discharge in the Pulsed Plasma Thrusters

Udział w pracach badawczych za granicą

1. Laboratorium PALS w Pradze
2. Laboratorium CELIA w Uniwersytecie w Bordeaux
3. Laboratorium JET w Culham
4. Laboratorium TCV w Lozannie
5. Laboratorium W7-X w Greifswaldzie
6. Laboratorium LHD, NIFS w Toki, Japonia
7. Laboratorium WEST, Cadarache, Francja
8. Laboratorium ASDEX Upgrade w Garching
9. Intense Laser Irradiation Laboratory w Pizie
10. Uniwersytet w Szeged
11. Rutherford Appleton Laboratory w Didcot
12. Udział w Integrated Tokamak Modelling Code Camps, w ramach Kontraktu Badawczego EUROfusion
13. Udział w projekcie EAST, Chiny
14. Udział w projekcie JT-60SA, Japonia
15. Udział w analizach numerycznych dla projektu ITER, Cadarache, Francja
16. Udział w analizach numerycznych dla stelleratora W7-X oraz H1, Canberra, Australia



Czas realizacji badań w ośrodkach zagranicznych

Tokamaki JET i MAST (Wielka Brytania)	435 dni
Tokamaki TCV (Szwajcaria), WEST (Francja) i COMPASS (Czechy)	210 dni
Inne tokamaki w Europie i Chinach	109 dni
Stellarator W7-X (Niemcy) i heliotron LHD (Japonia)	248 dni
Oddziaływania laser-materia w laboratoriach PALS (głównie), CELIA, RAL, Instytut w Pizie, Uniwersytet w Szeged	256 dni
Badania materiałowe z użyciem układu <i>plasma focus</i> BORA w Trieście	8 dni
Razem	1266 dni $\approx$ 4 lata

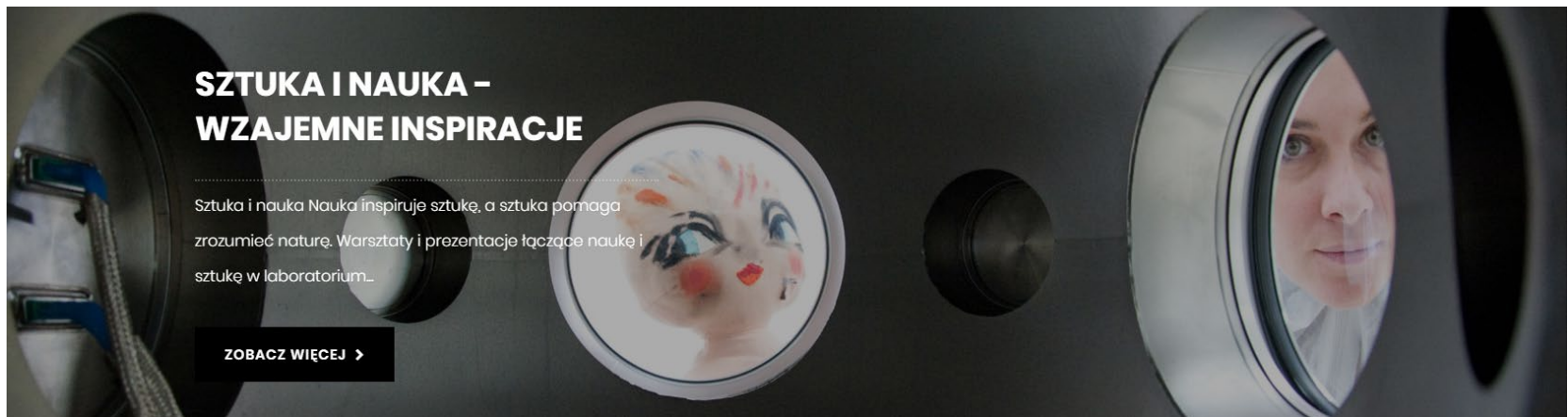
Organizacja konferencji i spotkań roboczych

- Kudowa Summer School „Towards Fusion Energy” 2018
 - 16 wybitnych wykładowców
 - 29 młodych naukowców (troje wyróżnionych nagrodami za 15 min. prezentacje, wśród nich Maciej Jakubczak z IFPiLM)
- ICDMP Workshop and ISC Meeting
 - Udział wzięli naukowcy z 13 krajów (Bułgaria, Republika Czeska, Estonia, Francja, Indie, Malezja, Niemcy, Rosja, Singapur, Stany Zjednoczone, Ukraina, Włochy oraz Polska)



Popularyzacja fizyki i osiągnięć IFPiLM

- A. IFPiLM wziął udział w III Astro Pikniku w Podzamczu Chęcińskim koło Kielc, którego organizatorem było Centrum Nauki Leonarda da Vinci
- B. Warszawski Festiwal Nauki – pokazy pod nazwą „Promieniowanie wśród nas” i „Laboratorium koncentratora plazmowego *plasma focus* PF1000U”
- C. Stałym nurtem popularyzacji wiedzy są Warsztaty artystyczno-naukowe pod nazwą 'Stany skupienia – nauka i sztuka', organizowane wspólnie przez IFPiLM i Teatr GO – Fundacja Proscenium



Nagrody i stypendia Dyrektora

- Nagroda II stopnia
 - Naukowa
 - Dr Agata Chomiczewska
 - Techniczna
 - Janina Pokorska
 - Jerzy Król
 - Organizacyjna
 - Anna Rowicka
- Stypendia doktorskie
 - Ewa Łaszyńska
 - Włodzimierz Stępniewski
 - Agnieszka Zaraś-Szydłowska



- Młodzi naukowcy
 - Dr Marta Gruca
 - Maciej Jakubczak
 - Katarzyna Mikszuta

Wydarzenia

- Pod względem kwoty środków finansowych otrzymywanych z UE IFPiLM zajął 4. pozycję wśród wszystkich krajowych instytutów badawczych
- Instytut przystąpił do Asocjacji pod nazwą Laserlab-Europe AISBL
- A. Chomiczewska i M. Kubkowska współautorkami artykułu pt. „Magnetic configuration effects on the Wendelstein 7-X stellarator” opublikowanego w „Nature Physics”
- IFPiLM wspólnie z PW uzyskał patent na wynalazek pt. „Sposób i układ do separacji nakładających się impulsów”
- Spotkanie informacyjne dotyczące budowy tokamaka DTT we Włoszech oraz możliwości współpracy polsko-włoskiej w ramach tego projektu
- Wizyta delegacji Instytutu Fizyki Plazmy Chińskiej Akademii Nauk (ASIPP) w IFPiLM

Top 20 polskich IB

Nazwa	Liczba uczestnictw w projektach	Dofinansowanie KE
INSTYTUT UPRAWY NAWOZENIA I GLEBOZNAWSTWA, PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	5	2,94
NARODOWE CENTRUM BADAN JADROWYCH	15	2,67
INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH	6	2,66
INSTYTUT FIZYKI PLAZMY I LASEROWEJ MIKROSYNTEZY IM. SYLWESTRA KALISKIEGO	1	2,19
PAŃSTWOWY INSTYTUT WETERYNARYJNY - PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	6	2,12



Podsumowanie 2010-2018 (rozwój naukowy)

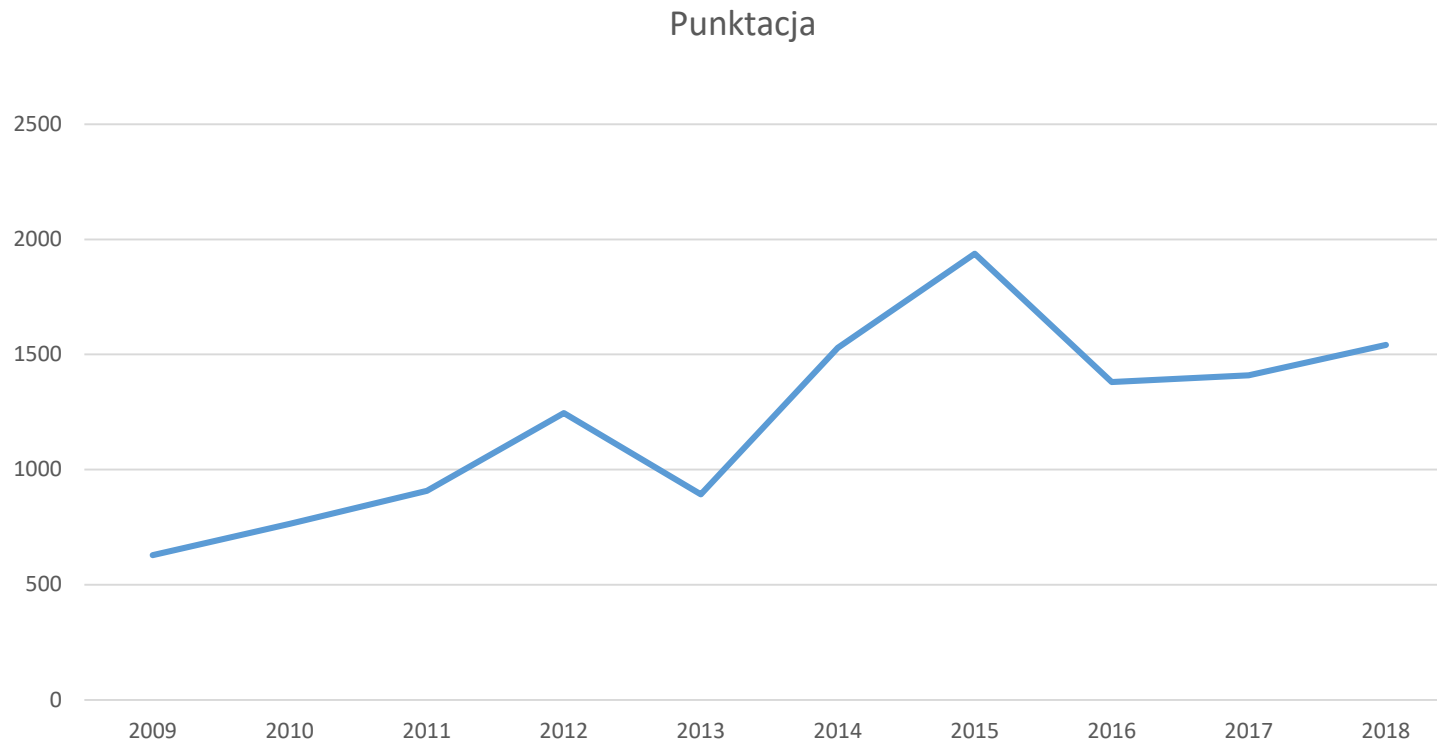
- Rozwój kadry
 - 9 doktoratów, 1 habilitacja, 2 profesury
 - Otwartych 5 przewodów doktorskich i 2 postępowania habilitacyjne
- Publikacje

	2010	2018	Zmiana
Całkowita liczba publikacji	34	74	218%
Punkty za publikacje dla IFPiLM	762	1541	202%

Publikacje 2009-2018



Publikacje 2009-2018



Ewaluacje KEJN

- 2010-2013: Kategoria A i trzecie miejsce (na 10) w GWO SI3EG (energetyka i górnictwo, instytuty badawcze tylko)
- 2014-2017: Kryterium *Wartość naukowa* – 1. miejsce wśród wszystkich instytutów badawczych; kryterium *Inne osiągnięcia* – 1. miejsce w GWO (wynik 86/100)

Laboratoria i budynki

Nowe i zmodernizowane laboratoria

- Plazmowe Laboratorium Napędów Satelitarnych (zbudowane od podstaw dzięki funduszom Programu Ramowego UE i własnym)
- Laboratorium Laserów Wielkiej Mocy (zmodernizowane dzięki funduszom strukturalnym Mazowsza i własnym)
- Laboratorium PF-1000U (zmodernizowane dzięki funduszom NCBiR)

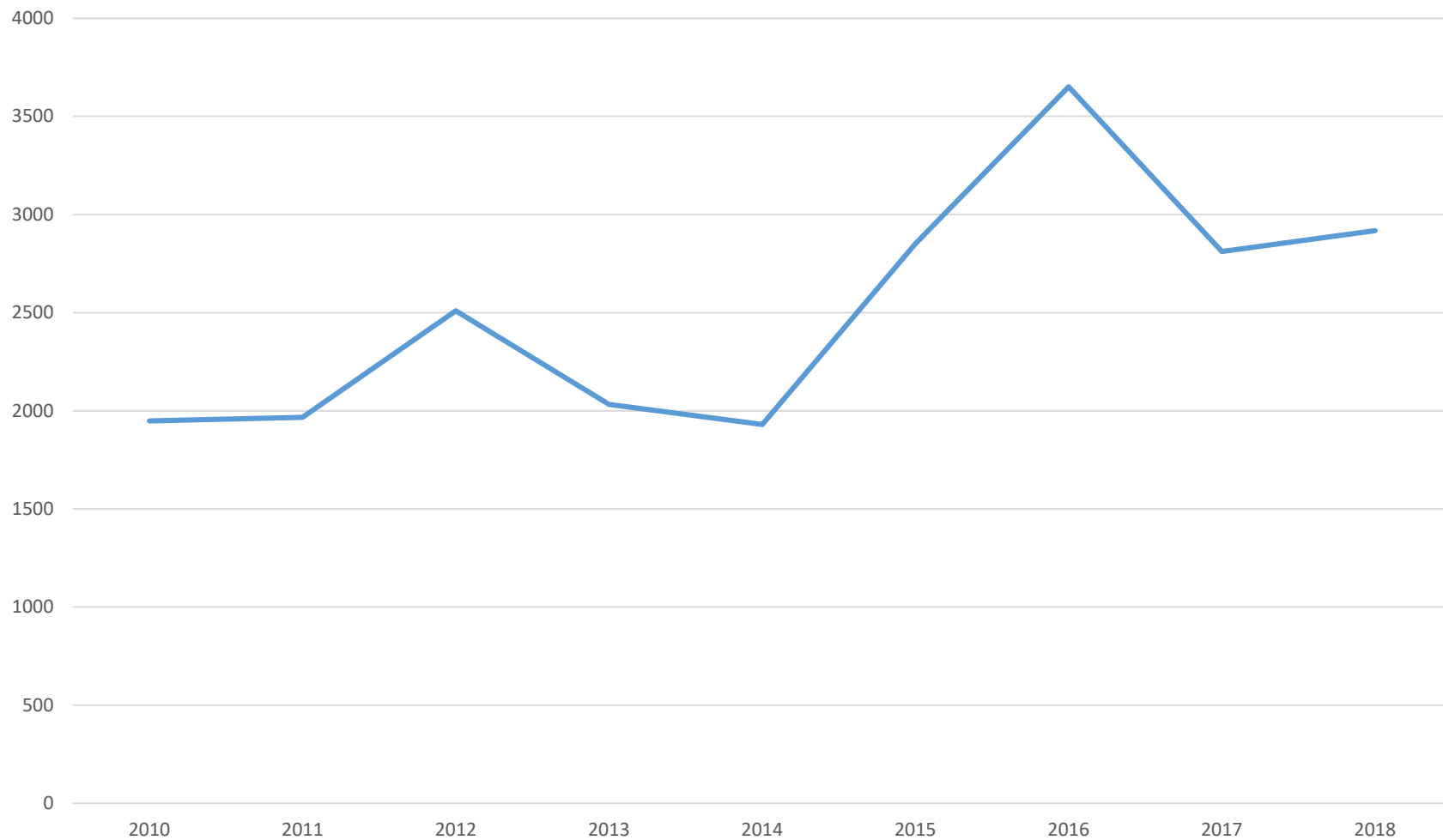
Remonty

- Duża hala eksperymentalna: dach, termoizolacja, elewacja (środki inwestycyjne MNiSW)
- Budynek L: pomieszczenia i korytarz (fundusze strukturalne Mazowsza i środki własne)
- Budynek administracyjny: elewacja (środki własne)

Inne

- Odzyskanie dotacji na SPUB dla PF-1000U (w roku 2011)

Dotacja statutowa (kPLN)



Ranking udziału IB w H2020 (według KPK PB UE)



Top 20 polskich IB



Nazwa	Liczba uczestnictw w projektach	Dofinansowanie KE
INSTYTUT UPRAWY NAWOZENIA I GLEBOZNAWSTWA, PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	5	2,94
NARODOWE CENTRUM BADAN JADROWYCH	15	2,67
INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH	6	2,66
INSTYTUT FIZYKI PLAZMY I LASEROWEJ MIKROSYNTEZY IM. SYLWESTRA KALISKIEGO	1	2,19
PANSTWOWY INSTYTUT WETERYNARYJNY - PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	6	2,12
INSTYTUT METALI NIEŻELAZNYCH	6	2,12
INSTYTUT ENERGETYKI	8	1,90
INSTYTUT LOTNICTWA	8	1,65
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW PIAP	6	1,62
PANSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY - PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	11	1,54
NAUKOWA I AKADEMICKA SIĘĆ KOMPUTEROWA - PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	2	1,15
INSTYTUT EKOLOGII TERENÓW UPZEMYSŁOWIONYCH	4	1,02
INSTYTUT FARMACEUTYCZNY	1	0,82
INSTYTUT NAFTY I GAZU	2	0,74
Przemysłowy Instytut Motoryzacji	2	0,57
CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY - PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	3	0,49
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROSLIN - PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	3	0,48
INSTYTUT POMNIK CENTRUM ZDROWIA DZIECKA	2	0,48
INSTYTUT LOGISTYKI I MAGAZYNOWANIA	4	0,44
INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI PANSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY	2	0,43

Zatrudnienie (w etatach)

	2010	2018
Dyrekcja	1	1
Naukowi	39	46
Badawczo-techniczni	3	4
Inżynieryjno-techniczni	16	9
Administracyjno-ekonomiczni	15	13
Obsługi i inni	5	4
Zatrudnienie razem	79	77

Środki pieniężne (w tysiącach)

	31.12.2010			31.12.2018	
	Euro	USD	PLN	Euro	PLN
PLN			291		3 873
Euro	462		1 829	1 328	5 712
USD		19	57		
Lokaty w PLN			13 260		5 000
Razem	462	19	15 437	1 328	14 585

Wynagrodzenia

	PWMwGN	IFPiLM/PWMwGN
2010	3 225 zł	
Ogółem		134%
w tym:		
naukowi		150%
inżynieryjno- techniczni		107%
administracyjni		126%
2018	4 585 zł	
Ogółem		181%
w tym:		
naukowi		205%
inżynieryjno- techniczni		119%
administracyjni		129%