

Możliwości Badań Materiałowych w Narodowym Centrum Badań Jądrowych

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Marcin Kardas

Dyrektor ds. Innowacji i Wdrożeń

Jacek Jagielski, Łukasz Kurpaska, Jarosław Jasiński

Centrum Doskonałości NOMATEN

Laboratorium Badań Materiałowych

NCBJ w skrócie

Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ):

1. Posiada **reaktor doświadczalno-produkcyjny MARIA**, z którego wiązki są wykorzystywane do **produkcji radiofarmaceutyków, badań materiałowych**, biologicznych i technologicznych
2. Prowadzi badania naukowe, prace rozwojowe i wdrożeniowe w obszarze powiązanym z **fizyką i technologiami jądrowymi** oraz plazmowymi, fizyką materiałową
3. Wytwarza **urządzenia do akceleracji cząstek** oraz **detektory**, które mają zastosowanie w gospodarce i medycynie
4. Świadczy **usługi badawcze i konsultingowe m.in. w zakresie energetyki jądrowej, elektroniki, inżynierii materiałowej i radiofarmacji** na rynku krajowym i zagranicznym
5. Prowadzi prace projektowe, związane z **budową pierwszego w Polsce reaktora wysokotemperaturowego HTGR**, który umożliwi m.in. wykorzystanie ciepła w procesach technologicznych



Struktura i podstawowe dane o NCBJ



Departament Eksploatacji
Obiektów Jądrowych
Reaktor MARIA

Departament Badań
Podstawowych

Departament Aparatury
i Technik Jądrowych

Departament Fizyki
Materiałów

Centrum Doskonałości
Materiałów
Wielofunkcyjnych
NOMATEN

Zakład Aparatury Jądrowej
HITEC

Ośrodek Radioizotopów
POLATOM

Interdyscyplinarny
Zakład Analiz Energetycznych
IDEA

Centrum Informatyczne
Świerk CIŚ

Park Naukowo-
Technologiczny „Świerk”

Prawie 70 lat tradycji (1955 – rok powstania Instytutu)
ok. **1200** pracowników
ok. **350 mln** przychodów rocznie

Osiągnięcia naukowe:

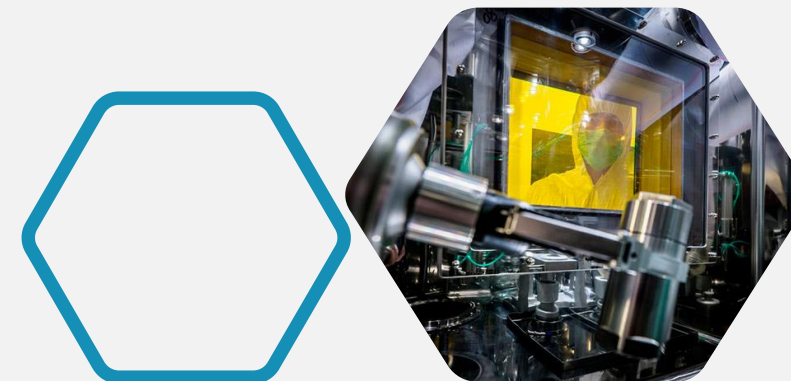
ok. 500 recenzowanych publikacji, ponad 16000
cytowań rocznie

Projekty:

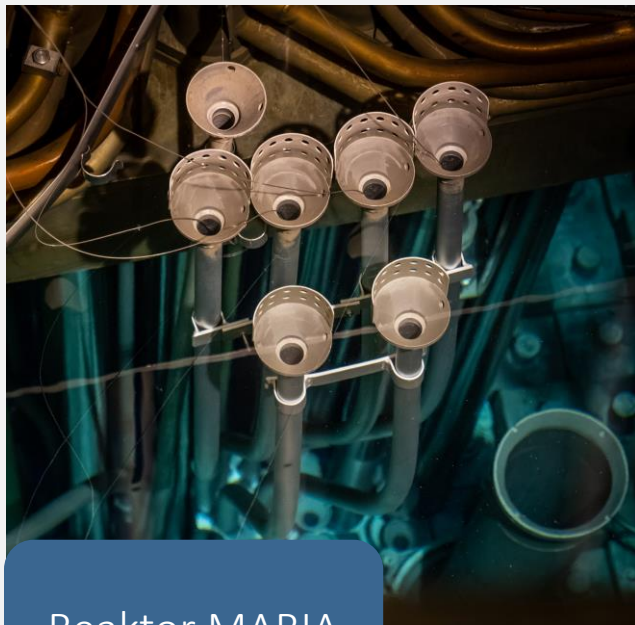
ponad 100 rocznie: NCN, NCBR, FNP, RPO, H2020,
Euratom, MNiSW, projekty B+R komercyjne
Success rate projektów europejskich: 30%

Współpraca:

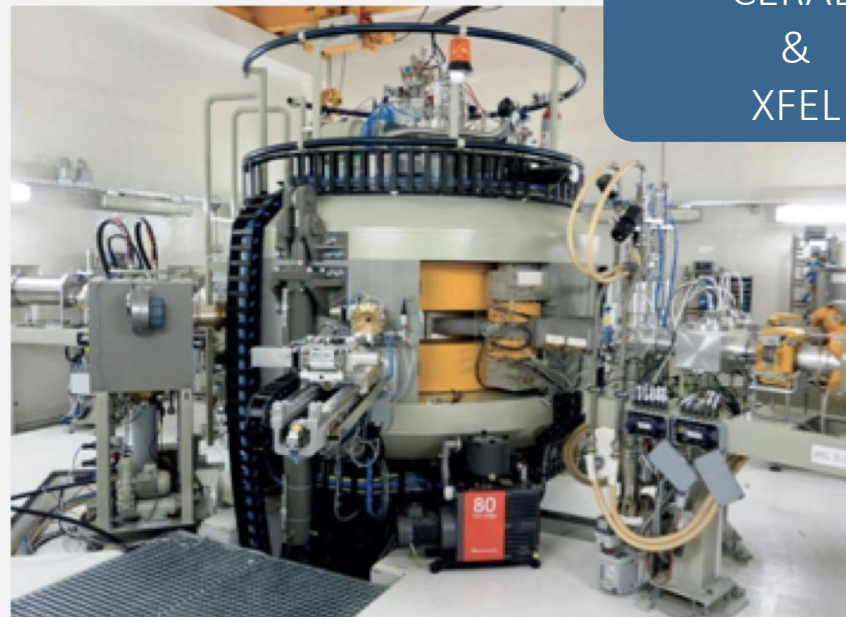
JRC Collaboration Partner, CERN, DESY, Grenoble,
JParc, FAIR, Julich, ESS, JINR, T2K, XFEL)



Duże projekty inwestycyjne NCBJ



Reaktor MARIA



CERAD
&
XFEL



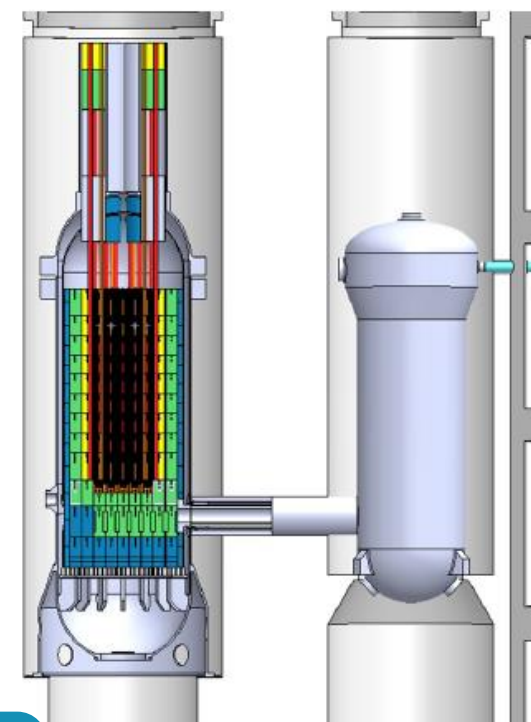
Centrum
Dokonałości
NOMATEN



NOMATEN
Centre of Excellence in Multifunctional Materials
for Industrial and Medical Applications



Wielka
Infrastruktura
Badawcza



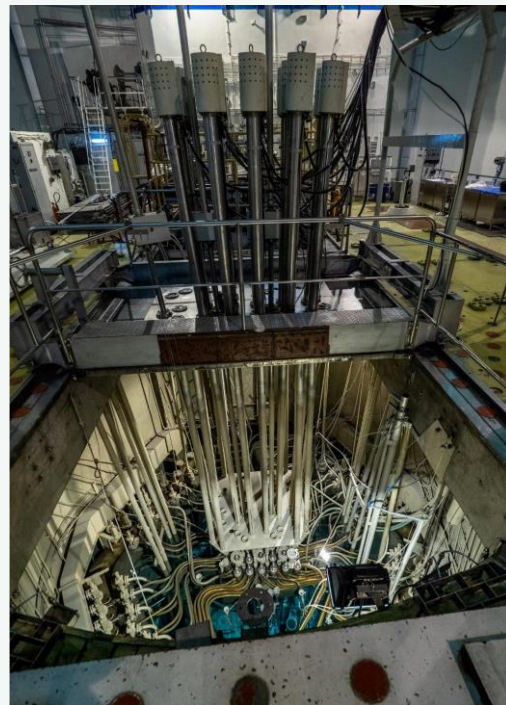
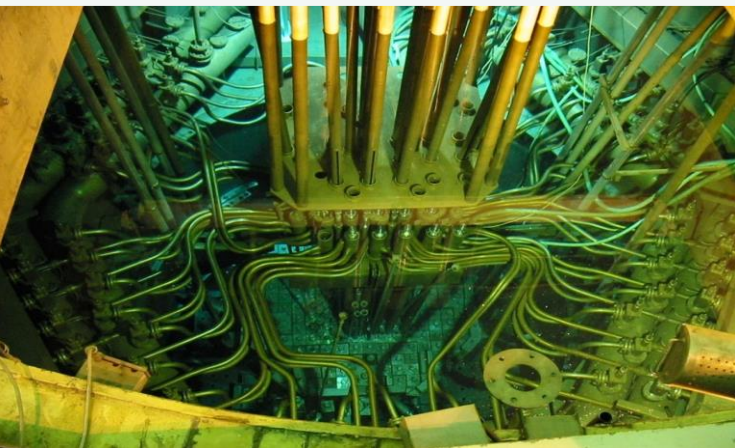
Projekt HTGR



Badawczy reaktor jądrowy MARIA

Research reactor MARIA

*as scientific tool for medicine,
material testing,
nuclear research...*



Zbudowany w 1974 roku
Modernizowany 1992, 2011,
2017, 2024....

Reaktor typu basenowego
moderowany H_2O , Be
30 MW mocy termicznej

strumień neutronów:

termicznych: $4 \cdot 10^{14}$ n/cm²s

szybkich: $2 \cdot 10^{14}$ n/cm²s



Reaktor
MARIA

Zastosowanie reaktora MARIA :

- ✓ Produkcja radioizotopów – POLATOM
- ✓ Testowanie paliwa i materiałów konstrukcyjnych dla sektora energetyki jądrowej
- ✓ Modyfikacja materiałów neutronami
- ✓ Badania w zakresie fizyki neutronowej i fizyki materii skondensowanej
- ✓ Radiografia neutronowa
- ✓ Analiza aktywacji neutronów
- ✓ Wiązki neutronów dla medycyny
- ✓ Szkolenia w dziedzinie fizyki i technologii reaktorów

Badawczy reaktor jądrowy MARIA

Zbudowany w 1974 roku
Modernizowany 1992, 2011,
2017, 2024....



Komory gorące ^{131}I



Komory gorące ^{90}Y i ^{177}Lu



Eksport do 80 krajów świata
~100% polskiego rynku
(z wyjątkiem PET)

17 mln pacjentów

Radiofarmaceutyki
dopuszczenie do obrotu jako
produkty lecznicze

Certyfikowany system
zapewnienia jakości:

ISO: PN-EN ISO 9001:2015-10
cGMP and GLP



Linia produkcyjna
generatorów $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Linia produkcyjna
roztworów iniekcyjnych
 ^{131}I -Hipuran, ^{131}I -MIBG



I-131



Mo-99

:
POLATOM
ałów konstrukcyjnych
owej
eutronami
eutronowej i fizyki

w
ycyny
i technologii



Centrum Projektowania i Syntezy
Radziofarmaceutyków
Ukierunkowanych Molekularnie

Poszerzenie zakresu dostępnych radionuklidów:

^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{22}Na , ^{44}Sc , ^{47}Sc , ^{74}As , ^{64}Cu , ^{67}Cu , ^{67}Ga , ^{68}Ge , ^{81}Rb ,
 ^{82}Sr , ^{86}Y , ^{89}Zr , $^{94\text{m}}\text{Tc}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{109}Cd , ^{111}In , ^{123}I , ^{124}I , ^{201}Tl , ^{211}At , ^{225}Ac ,

Nowe techniki obrazowania:

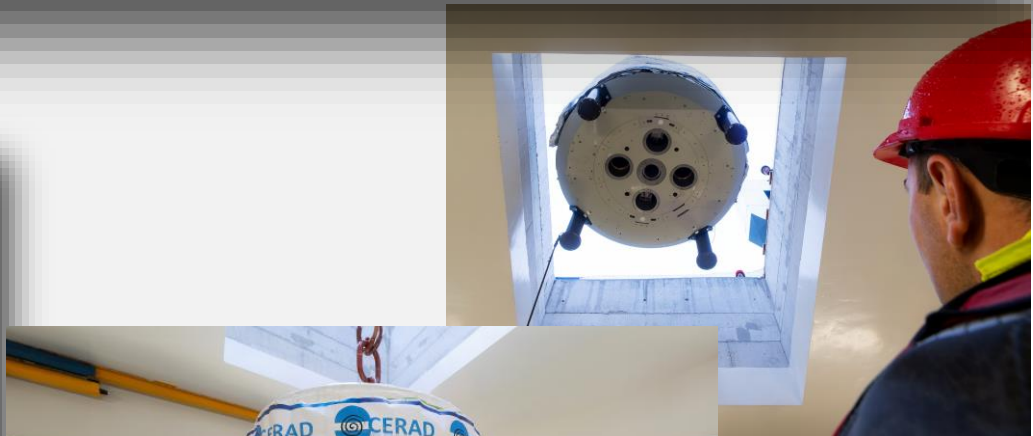
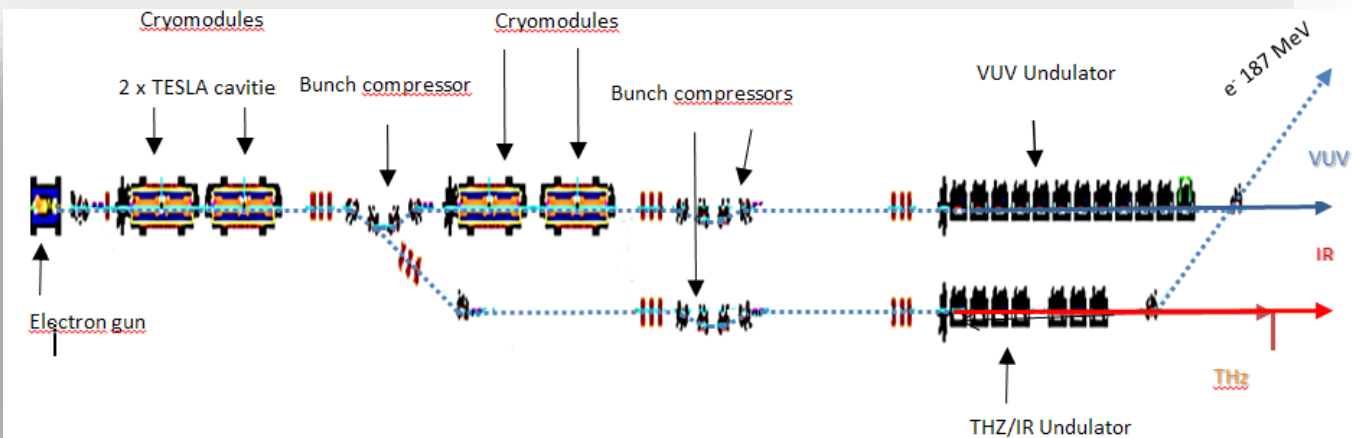
Skanery multimodalne, laboratoria syntezy chemicznej i laboratoria
biochemiczne.

Cyklotron 30 MeV

Przyspiesza protony i cząstki
alfa do energii 30 MeV oraz
deuterony do energii 15 MeV

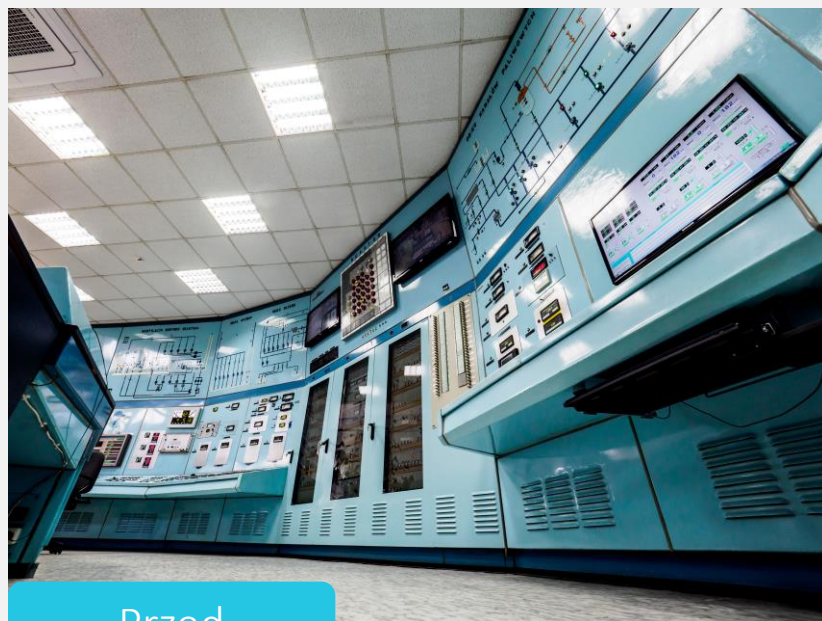
Koszt: ~ 144 mln zł
dofinansowanie: 73 mln zł

Koszt: ~ 200 mln zł
dofinansowanie: 120+30 mln zł

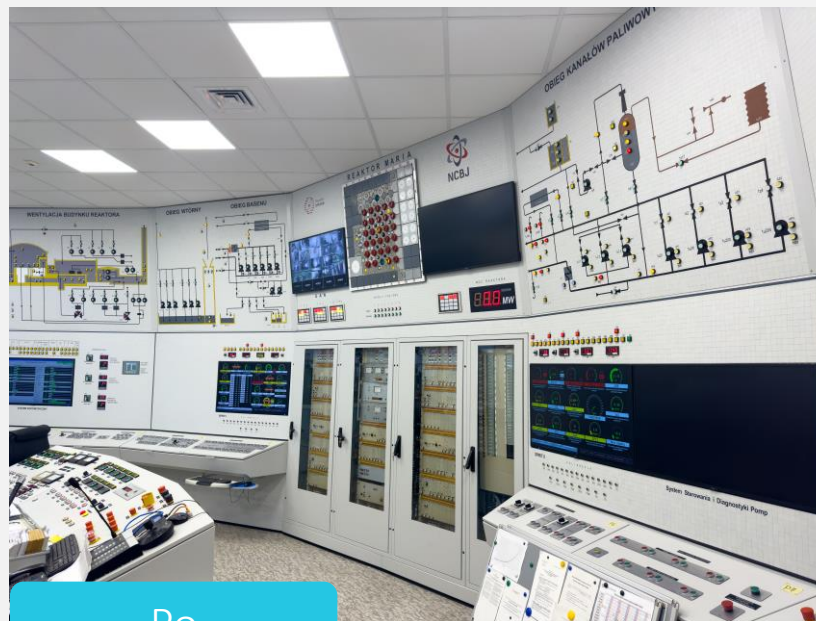


Duże projekty inwestycyjne – modernizacja reaktora MARIA

- Układy zasilania energią elektryczną
- Układy sterowania i zabezpieczeń
- Układ wentylacji
- Układy dozymetryczne
- Obiekty technologiczne: zbiorniki, awaryjne ostrzeganie, chłodnia wentylatorowa
- Aktywne nowe kanały do badań materiałowych !



Przed

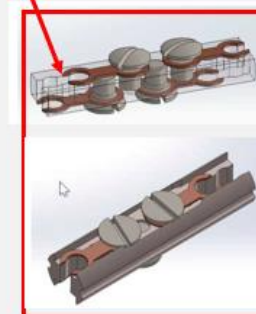


Po



Napromieniowanie stopów metali
w rdzeniu reaktora MARIA

Uchwyt na
próbki TEM



Pojemnik Al

Ekstrakcja próbki TEM za pomocą FIB

Kanał reaktora MARIA

Nowe urządzenia neutronowe do badań NDT w reaktorze MARIA – MARIA Neutron Laboratory

Dyfraktometry neutronowe do badań NDT



H1	Thermal neutron	Spectrometer
H2	Flat Cone	Diffraction
H3	Residual	Stress Analysis Diffraction
H4	Two-Axis	Diffraction
H5	Four-Circle	Diffraction
H6	Focusing	Diffraction

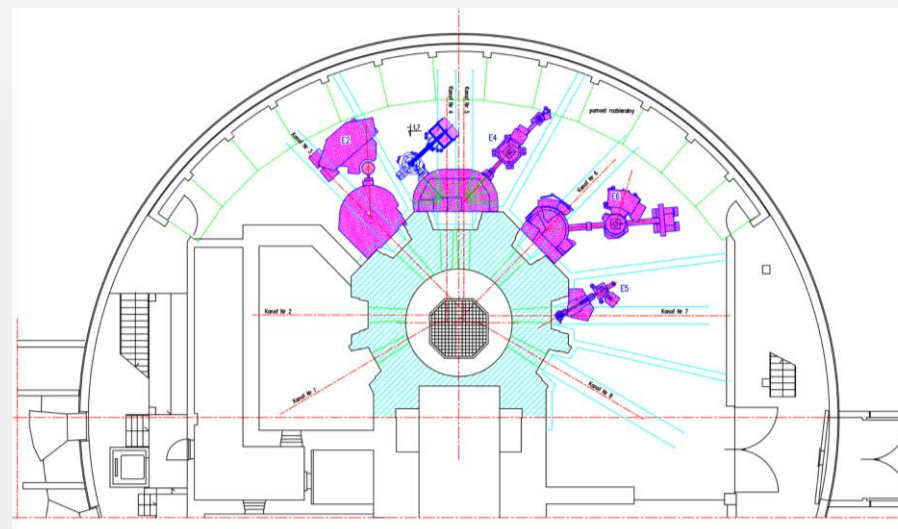


NR łopatk turbin silnika lotniczego

Source: IAEA-TECDOC-1604

NR Dyszy
silników
wysokoprężnych

Source:
IAEA-TECDOC-1604



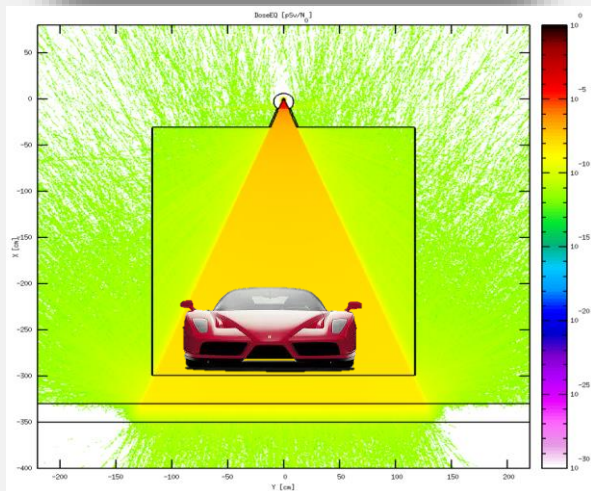
Wizualizacja hali eksperymentalnej reaktora MARIA po modernizacji

Badania materiałowe z nową infrastrukturą neutronową

- ✓ Radiografia neutronowa NR do badań NDT gotowych elementów, np. analiza mikropęknięć w elementach stalowych, porowatości po odlewaniu, kontrola jakości spawów itp.
- ✓ Analiza naprężeń wewnętrznych i szczątkowych w krystalicznych materiałach
- ✓ Określanie struktury atomowej i magnetycznej krystalicznych ciał stałych, gazów, cieczy lub materiałów amorficznych
- ✓ Pomiary elementów o wysokiej teksturze



CANIS Accelerator



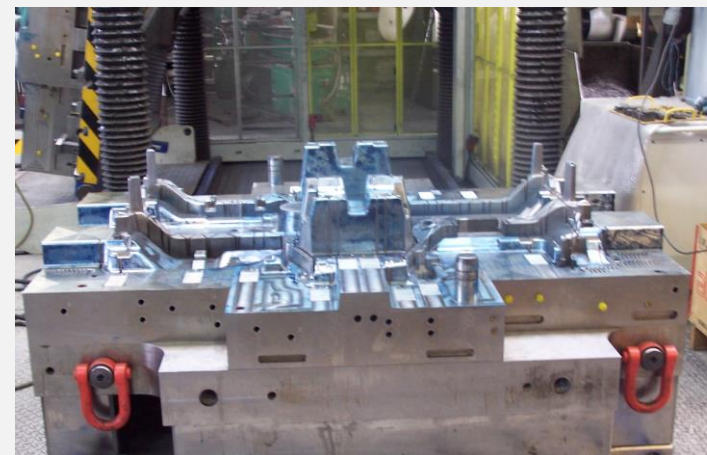
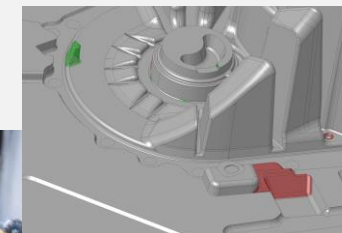
*Możliwości prześwietlania konstrukcji
z zastosowaniem skanerów RTG:*

*Konstrukcje wielkogabarytowe i gotowe
elementy np. wymienniki ciepła*

Bloki silników

Matryce wielkogabarytowe

Odlewy i komponenty stalowe



Projekt B+R prześwietlania matryc do odlewania ciśnieniowego stopów Al i Mg (30 ton)

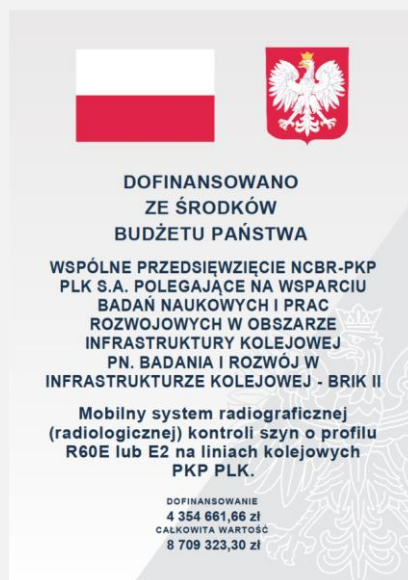
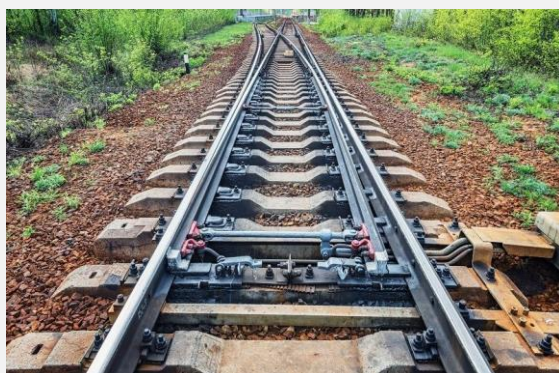
Departament Aparatury & Zakład Aparatury Jądrowej HITEC
i Technik Jądrowych



Projekt RAIL_x-ray

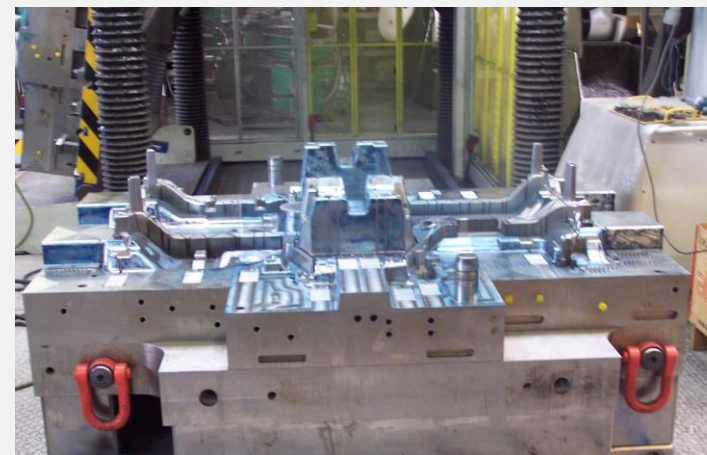
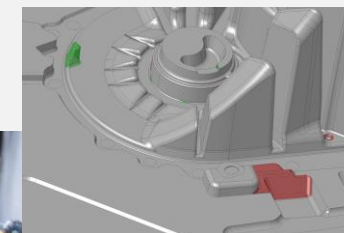
Mobilny system do radiograficznej (radiologicznej) kontroli szyn o profilu R60E1 lub E2 na liniach kolejowych PKP PLK

Celem projektu jest wykonanie prototypu i opracowanie metody wykonywania badań radiograficznych (radiologicznych) szyn 60E1 lub 60E2 na liniach kolejowych PKP PLK z uwzględnieniem aspektów innowacyjności w zakresie funkcjonalności i mobilności rozwiązania.



*Możliwości prześwietlania konstrukcji
z zastosowaniem skanerów RTG:*

*Konstrukcje wielkogabarytowe i gotowe
elementy np. wymienniki ciepła,
Bloki silników
Matryce wielkogabarytowe
Odlewy i komponenty stalowe*



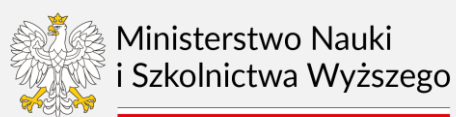
Projekt B+R prześwietlania matryc do odlewania ciśnieniowego stopów Al i Mg (30 ton)

PROJEKT HTGR

Projekt HTGR - wysokotemperaturowy reaktor chłodzony gazem

Grant z Ministerstwa Edukacji i Nauki w porozumieniu z Ministerstwem Klimatu i Środowiska

Całkowite dofinansowanie projektu: 60 MLN PLN do 31.01.2025 r.

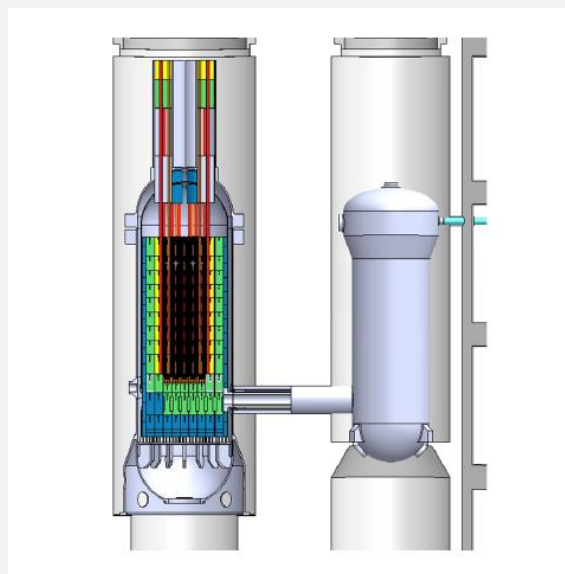


Celem projektu jest przygotowanie warunków do budowy badawczego reaktora wysokotemperaturowego chłodzonego gazem w Polsce oraz opracowanie podstawowego projektu takiego urządzenia na wstępnym poziomie szczegółowości. **Reaktor będzie stanowił bazę dla reaktorów komercyjnych wykorzystywanych w polskich zakładach przemysłowych**

Zadania w zakresie badań materiałowych:

Przygotowanie obiektów Laboratorium Badań Materiałowych z niezbędnymi akredytacjami i systemem zarządzania jakością wymaganymi do prowadzenia prac badawczych w procesie licencjonowania materiałów dla technologii HTGR

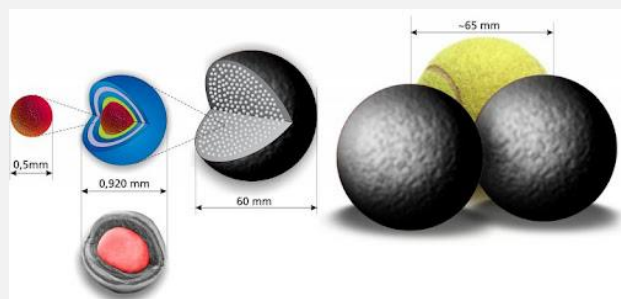
Testowanie materiałów, które mogą być wykorzystane do budowy HTGR pod kątem zgodności z wymaganiami technologii HTGR



Przekrój projektowanego reaktora HTGR-POLA.

Podstawowe parametry techniczne HTGR-POLA:

- ✓ Rdzeń reaktora typu pryzmatycznego składający się z sześciokątnych bloków.
- ✓ Maksymalna moc termiczna reaktora 30 MWt.
- ✓ Paliwo typu TRISO o wzbogaceniu 8-12%. Uszczegółowienie nastąpi w trakcie opracowywania projektu podstawowego po wykonaniu ostatecznych symulacji.
- ✓ Cykl paliwowy otwarty.
- ✓ Moderatorem jest grafit.
- ✓ Pierwotny obieg chłodzenia helem w wymuszonej cyrkulacji o ciśnieniu 6 MPa.
- ✓ Temperatura helu na wyjściu z reaktora 750 °C, na wejściu 325 °C.
- ✓ Wymiary zewnętrzne zbiornika ciśnieniowego reaktora: średnica 4,1 m i wysokość 12,3 m.
- ✓ Wtórny obieg chłodzenia wodno-parowy pod ciśnieniem 13,8 MPa.
- ✓ Pasywne i aktywne systemy bezpieczeństwa.
- ✓ Kontrola reaktywności poprzez system elementów regulacyjnych (pręty), mieszczące się na stałe w blokach paliwowych materiały redukujące reaktywność, oraz rezerwowe kapsuły redukujące reaktywność.
- ✓ Planowany czas użytkowania reaktora to 60 lat.
- ✓ Możliwa praca kogeneracyjna: maksymalna moc elektryczna brutto to 10 MWe, maksymalna moc wysokotemperaturowej pary wodnej o temperaturze 540 ° dla procesów przemysłowych 17 MWt z maksymalną wydajnością 25 t/h, maksymalna produkcja pary niskotemperaturowej dla celów komunalnych 16,5 MWt.



Paliwo TRISO do reaktora HTGR-POLA.



NOMATEN

Centre of Excellence in Multifunctional Materials
for Industrial and Medical Applications

Budowa Centrum Doskonałości NOMATEN finansowana z grantu
FNP MAB Plus oraz z prestiżowego grantu Komisji Europejskiej w ramach konkursu Teaming;
wartość projektu: 108 425 049 zł.,
w tym wartość dofinansowania dla NCBJ: 89 214 677 zł

Celem CoE NOMATEN jest wspieranie badań i rozwoju w zakresie wielofunkcyjnych materiałów do zastosowań przemysłowych i medycznych



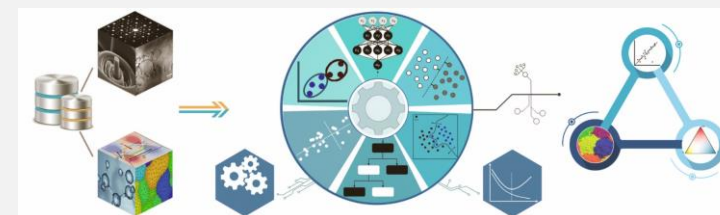
Centrum Doskonałości NOMATEN:

- Złożoność w materiałach funkcjonalnych
- Informatyka materiałowa
- Materiały funkcjonalne
- Analityka i charakteryzacja materiałów
- Nowatorskie radiofarmaceutyki

VTT

cea

	NCBJ	cea	VTT
WYBRANE OBSZARY EKSPERTYZY	• Stale wzmacniane dyspersyjnie tlenkami (ODS) • Rozwój radiofarmaceutyków • Badania prekliniczne	• Charakteryzacja próbek standardowych zgodnych z normami ASTM • PET/MRI • Badania kliniczne	• Starzenie się i kruchość materiałów • Charakteryzacja mikropróbek • Zarządzanie odpadami nuklearnymi • Diagnostyka molekularna
WYBRANA INFRASTRUKTURA	• Badawczy Reaktor Jądrowy MARIA • Komory gorące MRL • Centrum Informatyczne Świerk - superkomputer	• Laboratorium gorące LECI • Akcelerator JANNUS • System France Life Imaging	• Centrum Bezpieczeństwa Jądrowego (klasy A, B i C)



<https://nomaten.ncbj.gov.pl/>

LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁOWYCH

Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi prace naukowo-badawcze i diagnostyczne materiałów konstrukcyjnych nienapromienionych oraz napromienionych i ich połączeń spawanych stosując metody niszczące i nieniszczące.

Laboratorium posiada jedyne w Polsce komory gorące do badań materiałów napromienionych z zabezpieczeniem 100 Ci, 3,7 TBq – obecnie prace dotyczą głównie badań mechanicznych

Od ponad 30 lat Laboratorium posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) AB 025 oraz międzynarodowych organizacji działających w obszarze akredytacji, tj: EA MLA, IAF MLA oraz ILAC MRA oraz system jakość wg. ISO 17025 w zakresie:

- *Badania mechaniczne, badania metalograficzne wyrobów i materiałów konstrukcyjnych/ Mechanical tests, metallographic tests of construction products and materials*
- *Badania nieniszczące, wyrobów i materiałów konstrukcyjnych / Non-destructive tests of construction products and materials*

W skład LBM wchodzi 4 Pracownie:

- Pracownia Badań Nieniszczących NDT,
- Pracownia Badań Strukturalnych, Chemicznych i Korozyjnych,
- Pracownia Badań Mechanicznych
- Pracownia Komór Gorących.



Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi prace naukowo-badawcze i diagnostyczne materiałów konstrukcyjnych nienapromienionych oraz napromienionych i ich połączeń spawanych stosując metody niszczące i nieniszczące.

Laboratorium posiada jedyne w Polsce komory gorące do badań materiałów napromienionych z zabezpieczeniem 100 Ci, 3,7 TBq – obecnie prace dotyczą głównie badań mechanicznych

Od ponad 30 lat Laboratorium posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) AB 025 oraz międzynarodowych organizacji działających w obszarze akredytacji, tj: EA MLA, IAF MLA oraz ILAC MRA oraz system jakość wg. ISO 17025 w zakresie:

- *Badania mechaniczne, badania metalograficzne wyrobów i materiałów konstrukcyjnych/ Mechanical tests, metallographic tests of construction products and materials*
- *Badania nieniszczące, wyrobów i materiałów konstrukcyjnych / Non-destructive tests of construction products and materials*

Laboratorium Badań Materiałowych ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock		
Przedmiot badań/wyrób	Rodzaj działalności/badane cechy/metoda	Dokumenty odniesienia
Złącza spawane nienapromienione i napromienione	Makro- i mikrostruktura złączy spawanych Metoda mikroskopii optycznej	PN-EN ISO 17639:2022-07 PN-EN ISO 5817:2023-08
Metale i ich stopy nienapromienione	Własności mechaniczne: - wytrzymałość na rozciąganie – R_m - umowna granica plastyczności – $R_{p0.2}$ - wyraźna granica plastyczności – R_e - wydłużenie względne próbki A - przewężenie względne próbki Z Zakres: - siła F do 100 kN - Temperatura badania: pokojowa Próba rozciągania	PN-EN ISO 6892-1:2020-05 metoda B
	Własności mechaniczne: - wytrzymałość na rozciąganie – R_m - umowna granica plastyczności – $R_{p0.2}$ - wyraźna granica plastyczności – R_e - wydłużenie względne próbki A - przewężenie względne próbki Z Zakres: - siła F do 100 kN - Temperatura podwyższona do 1000 °C Próba rozciągania	PN-EN ISO 6892-2:2018-08 metoda B
	Własności mechaniczne: - wytrzymałość na rozciąganie – R_m - umowna granica plastyczności – $R_{p0.2}$ - wyraźna granica plastyczności – R_e - wydłużenie względne próbki A - przewężenie względne próbki Z Zakres: - siła F do 100 kN - temperatura obniżona do –40 °C Próba rozciągania	ISO 6892-3:2015 metoda B
Metale i ich stopy napromienione	Własności mechaniczne: - wytrzymałość na rozciąganie – R_m - umowna granica plastyczności – $R_{p0.2}$ - wyraźna granica plastyczności – R_e - wydłużenie względne próbki A - przewężenie względne próbki Z Zakres: - siła F do 100 kN - temperatura badania: pokojowa Próba rozciągania	PN-EN ISO 6892-1:2020-05 metoda B
Złącza spawane nienapromienione i napromienione	Własności mechaniczne: - największa siła F_m - wytrzymałość na rozciąganie – R_m	PN-EN ISO 6892-1:2020-05 metoda B PN-EN ISO 5178:2019-04 PN-EN ISO 4136:2022-12

Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi prace naukowo-badawcze i diagnostyczne materiałów konstrukcyjnych nienapromienionych oraz napromienionych i ich połączeń spawanych stosując metody niszczące i nieniszczące.

Laboratorium posiada jedyne w Polsce komory gorące do badań materiałów napromienionych z zabezpieczeniem 100 Ci, 3,7 TBq – obecnie prace dotyczą głównie badań mechanicznych

Od ponad 30 lat Laboratorium posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) AB 025 oraz międzynarodowych organizacji działających w obszarze akredytacji, tj: EA MLA, IAF MLA oraz ILAC MRA oraz system jakość wg. ISO 17025 w zakresie:

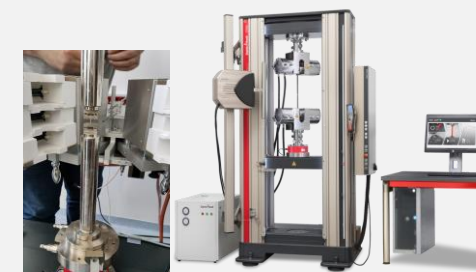
- *Badania mechaniczne, badania metalograficzne wyrobów i materiałów konstrukcyjnych/ Mechanical tests, metallographic tests of construction products and materials*
- *Badania nieniszczące, wyrobów i materiałów konstrukcyjnych / Non-destructive tests of construction products and materials*

Przedmiot badań/wyrób	Rodzaj działalności/badane cechy/metoda	Dokumenty odniesienia
Metale i ich stopy oraz złącza spawane nienapromienione i napromienione	Twardość HRC, HRA, HRBW Skala: C, A, B Metoda Rockwella	PN-EN ISO 6508-1:2016-10
	Twardość HV Zakres: HV 5, HV 10, HV 30 Metoda Vickersa	PN-EN ISO 6507-1:2018-05
	Twardość HBW Zakres: HBW 2,5/187,5 Metoda Brinella	PN-EN ISO 6506-1:2014-12
Metale i ich stopy nienapromienione i napromienione	Odporność materiału na pękanie: - współczynnik intensywności naprężeń K_{Ic} - krytyczny współczynnik intensywności naprężeń K_{Ic} - K_{Ic} Zakres: - obciążenie statyczne do 100 kN, - obciążenie dynamiczne ± 50 kN, - rozwarcie próbki do 4 mm Próba rozciągania lub zginania	ASTM E399-22
	Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych da/dN metoda stałej amplitudy obciążeń (ΔK - increasing) Zakres: - obciążenie statyczne do 100 kN, - obciążenie dynamiczne ± 50 kN, - rozwarcie próbki do 4 mm Próba rozciągania lub zginania	ISO 12108:2018
	Rozwarcie szczeliny - δ Krytyczna wartość rozwarcia szczeliny - δ_c metoda CTOD Zakres: - obciążenie statyczne do 100 kN, - obciążenie dynamiczne ± 50 kN, - rozwarcie próbki do 4 mm Próba rozciągania lub zginania	BS 7448-1:1991
Złącza spawane materiałów metalowych	Niedoskonałości kształtu oraz nieciągłości powierzchniowe zewnętrzne Metoda wizualna	PN-EN ISO 17637:2017-02
Wyroby i materiały metalowe	Nieciągłości powierzchniowe zewnętrzne otwarte na badaną powierzchnię Metoda penetracyjna	PN-EN ISO 3452-1:2021-12
Złącza spawane materiałów i wyrobów ferromagnetycznych	Nieciągłości powierzchniowe i podpowierzchniowe Metoda magnetyczno-proszkowa	PN-EN ISO 17638:2017-01
Złącza spawane materiałów metalowych	Nieciągłości wewnętrzne Metoda ultradźwiękowa	PN-EN ISO 17640:2019-01
Wyroby i materiały metalowe	Grubość Zakres: (1,5 - 100) mm Metoda ultradźwiękowa	PN-EN ISO 16809:2019-08

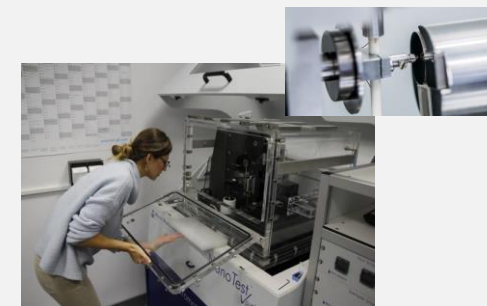
LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁOWYCH

Laboratorium Badań Materiałowych & Centrum Doskonałości NOMATEN oferuje badania i rozwiązywanie problemów inżynierskich przy użyciu zaawansowanej i unikalnej infrastruktury badawczej w następujących obszarach

- *Consulting w zakresie materiałoznawstwa, inżynierii powierzchni, korozji materiałów, technologii obróbki cieplnej i cieplno-dyfuzyjnej stopów metali*
- *Analizy zniszczeniowe stali i stopów metali i badania jakości materiałów*
- *Badania nieniszczące materiałów i złączy spawanych wg. akredytowanych procedur*
- *Charakterystyka makro- i mikrostruktury oraz analizy metalograficzne z wykorzystaniem technik LM, SEM i TEM (EDS, EBSD, FIB, charakterystyka in-situ, TEM / Analizy wysokotemperaturowe do 1000°C*
- *Analiza fazowa dyfrakcji rentgenowskiej (GI-XRD, wysokotemperaturowa XRD do 1200°C)*
- *Standardowe testy mechaniczne materiałów z akredytowanymi procedurami i standardami ASTM, ISO, BS*
- *Testy mechaniczne zminiaturyzowanych próbek (testy statyczne i dynamiczne > temperatura pokojowa i do 1000°C, testy rozciągania, Small Punch Test CTOD*
- *Badanie twardości (Rockwell, Brinell, Vickers) zgodnie z ASTM, ISO,*
- *Badanie nanotwardości (temperatura pokojowa i do 850°C)*



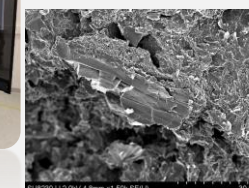
Badania wytrzymałościowe do 1000 st.C



Badania nanotwardości do 850 st.C



*Charakteryzacja materiałów
SEM, FIB, EBSD, EDS, HR-STEM*

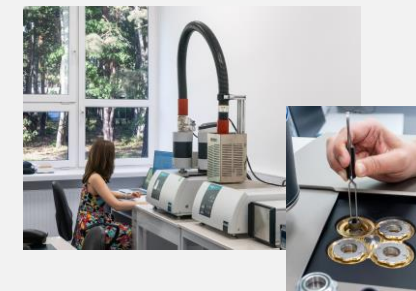


LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁOWYCH

Laboratorium Badań Materiałowych & Centrum Doskonałości NOMATEN oferuje badania i rozwiązywanie problemów inżynierskich przy użyciu zaawansowanej i unikalnej infrastruktury badawczej w następujących obszarach

- *Badanie właściwości termicznych materiałów TG, DSC, rozszerzalność cieplna, przewodność i dyfuzyjność itp.*
- *Skład chemiczny i analizy pierwiastkowe (OES, XRF, LA-ICP-MS, LIBS)*
- *Testy polaryzacyjne (LSV, CV) zgodnie z normami ASTM (szybkość korozji [mm/rok], tendencja do korozji wżerowej)*
- *Testy elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS) (testowanie powłok/systemów malarskich, warstw tlenkowych, monitorowanie korozji)*
- *Testy korozji w mikroskali (skaningowy mikroskop elektrochemiczny (SECM) wyposażony w moduły Shear-Force i High-Res)*
- *Modyfikacja powierzchni materiałów za pomocą technik implantacji jonów*
- *Synteza warstw ochronnych i powłok (PVD, Sol-Gel, techniki elektrochemiczne)*
- *Analiza cienkich warstw i powłok za pomocą spektroskopii Ramana (obrazowanie Ramana, pomiary wysokotemperaturowe do 1000°C)*
- *Rozwiązania sztucznej inteligencji (AI) do kontroli jakości materiałów i procedur zatwierdzania mikrostruktury*

Analiza termiczna do 1600 st.C



Spektroskopia Ramana do 1000 st.C

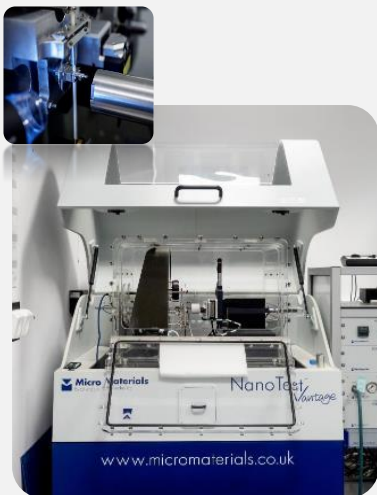


Charakteryzacja materiałów TEM in-situ do 1000 st. C

Unikatowość Laboratorium – Charakteryzacja materiałów od nano- do makroskali do 1200°C

NOMATEN Xray Lab + NOMATEN SEM/TEM

Nanoindentacja



Mikroskopia SEM/EDS/EBSD/FIB



Analiza XRD/GID



Mikroskopia HR TEM



Mini-mechanika MSSTT



Specjalizacja → pomiary in-situ w wysokich temperaturach

Całkowita wartość nakładów na nową infrastrukturę badawczą – ok 10 M EUR / Projekt HTGR + Centrum NOMATEN

Charakteryzacja mikrostruktury - NOMATEN SEM/TEM Lab

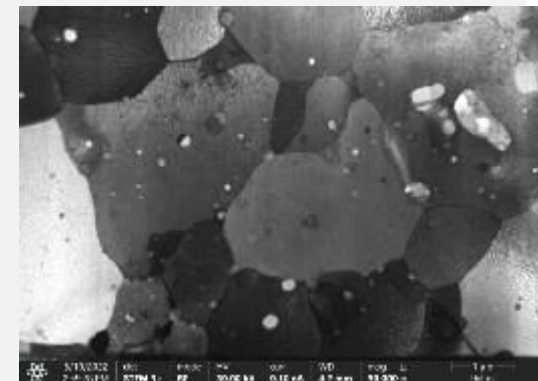
Mikroskop SEM Helios 5 UX DualBeam (Thermo Fisher Scientific)

Skaningowy mikroskop elektronowy o ekstremalnie wysokiej rozdzielczości (XHR) (FE SEM) wyposażony w:
technologię FIB (Focused Ion Beam)
EDS (spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii)
EBSD (dyfrakcja elektronów wstecznie rozproszonych)

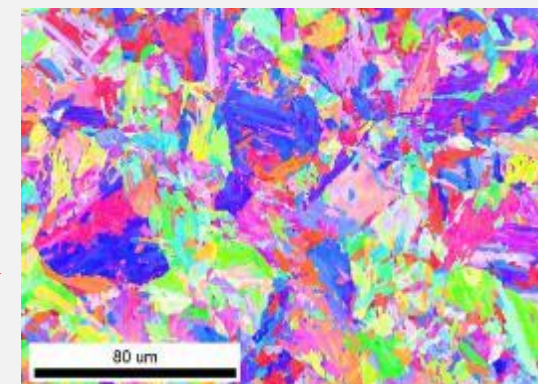
System precyzyjnego wytrawiania wiązką jonów

System PECS II i PIPS II (Gatan) do polerowania powierzchni i usuwania bez uszkodzeń za pomocą dwóch szerokich wiązek argonu. Metoda ta jest skuteczna w produkcji wysokiej jakości próbek do obrazowania SEM i mapowania EDS do analizy EBSD, do obserwacji STEM, TEM itp.

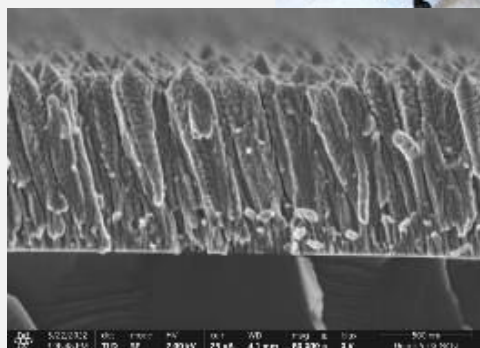
Mikroskopia SEM



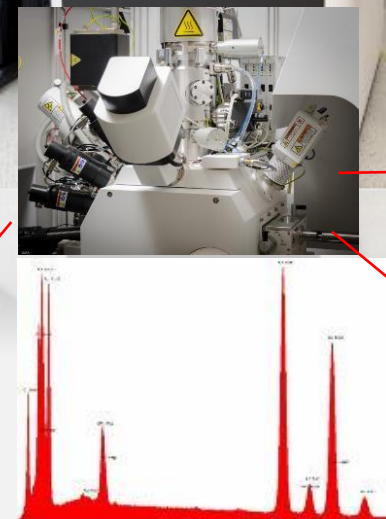
Obrazowanie STEM
Detektor STEM 3+



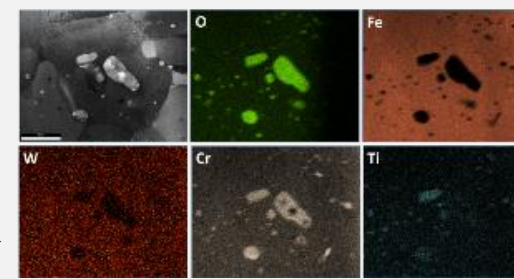
Mapowanie orientacji kryształów
Kamera Hikari Super EBSD, 1400 fps
Działanie do 100 pA/5kV



Wysoka rozdzielczość obrazowania SEM Napięcie przyspieszające: 350V - 30kV Rozdzielczość: 0,6 nm (2 - 15kV), 0,7 nm (1 kV) Detektory: ETD, TLD, ICD, MD, ICE



Analiza składu chemicznego EDSSystem
Octane Elite Plus EDS Detektor SSD,
pow: 30mm², rozdzielczość: 125eV, Si3N4



Charakteryzacja mikrostruktury - NOMATEN SEM/TEM Lab

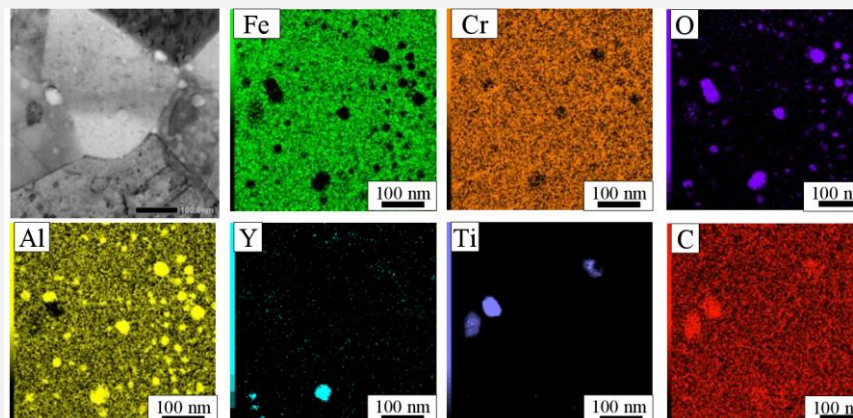
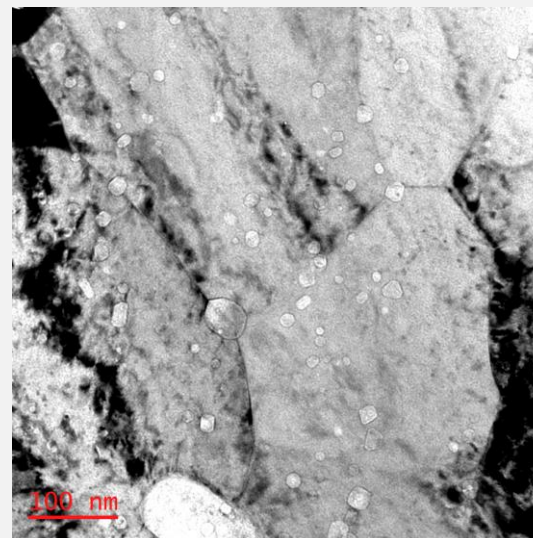
Mikroskopia TEM

Transmisyjny mikroskop elektronowy TEM - Mikroskop JOEL F200 TEM z detektorami STEM, HAADF, EDS, BEI, BF i ABF

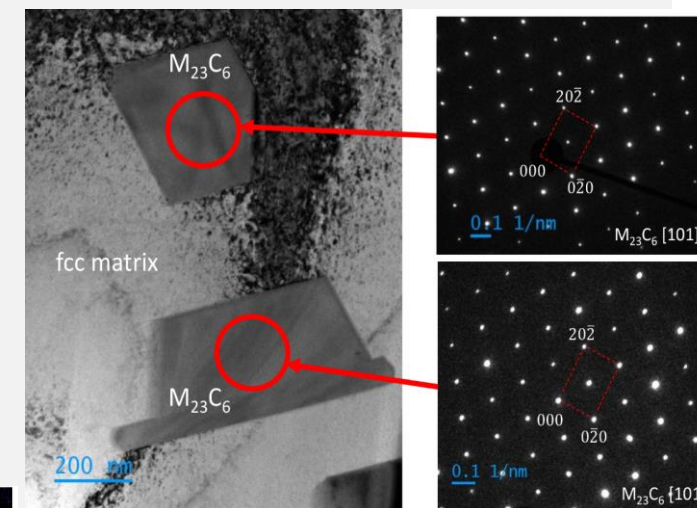
Wyposażony w uchwyty do rozciągania in-situ w wysokiej temperaturze HT do 1000°C



Analizy składu chemicznego STEM-EDS nanometrycznych cząstek tlenków i wydzieli w stopie FeCrAl-Y2O3-Ti ODS



Inconel617 wyprodukowany w technologii 3D we współpracy z University of Sheffield - Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre)

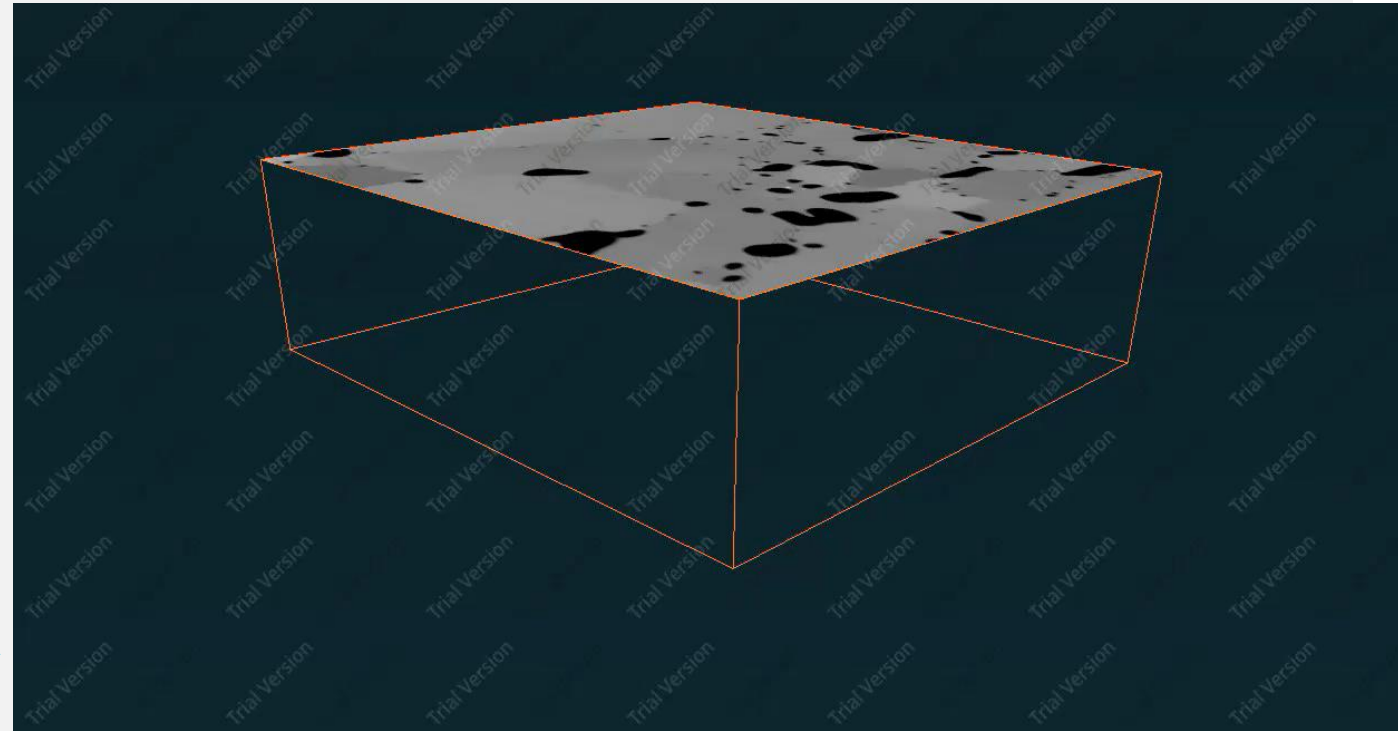
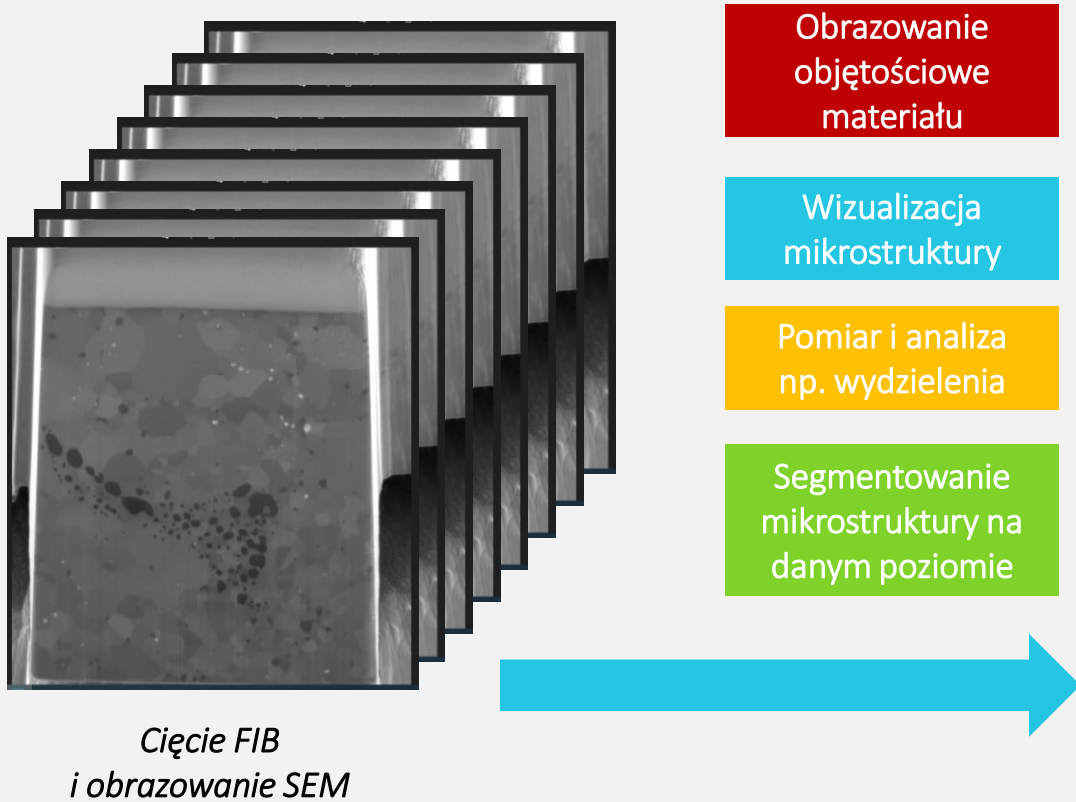


Obraz TEM i wzory SAED węglika $M_{23}C_6$ w wytwarzanym addytywnie stopie Inconel 617

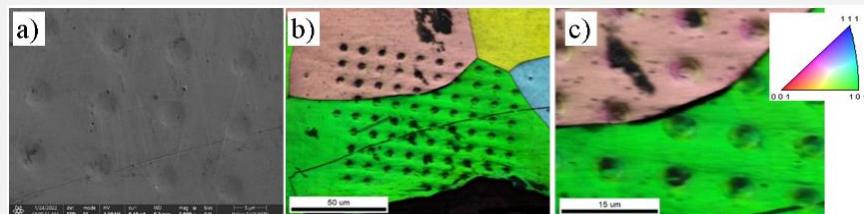
Charakteryzacja mikrostruktury - NOMATEN SEM/TEM Lab

Rekonstrukcja 3D SEM-FIB

Zrekonstruowana mikrostruktura materiału – model objętościowy



Badanie wpływu napromieniowania jonowego i temperatury na właściwości stali ferrytyczno-martenzytycznych (F/M)



Próbki: Fe9%Cr; Fe9%Cr-NiSiP, Eurofer 97, Fe9%Cr-ODS

Napromieniowanie jonowe w HZDR do 8 MeV jonów Fe, 5 dpa, temp 300 i 450 st. C
Techniki NI w rT i HT; SEM+FIB/EBSD i TEM; XRD wys. temp. i symulacja MD.

Analiza sprężystości w oparciu o Herta wykazała, że pierwszy pop-in jest zwykle spowodowany inicjacją plastyczności

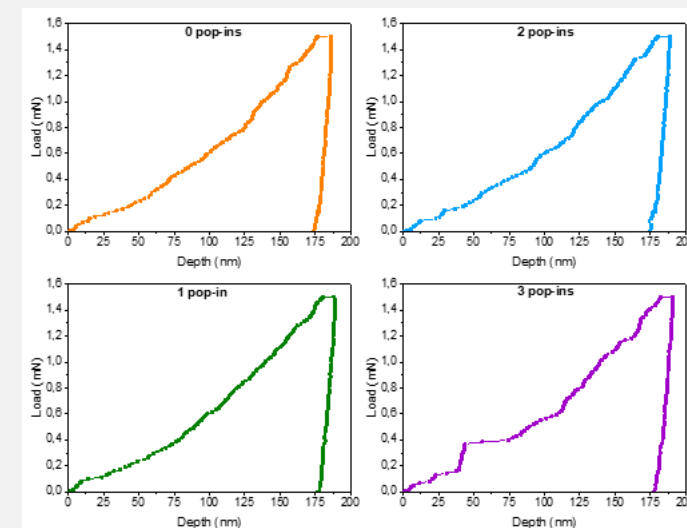
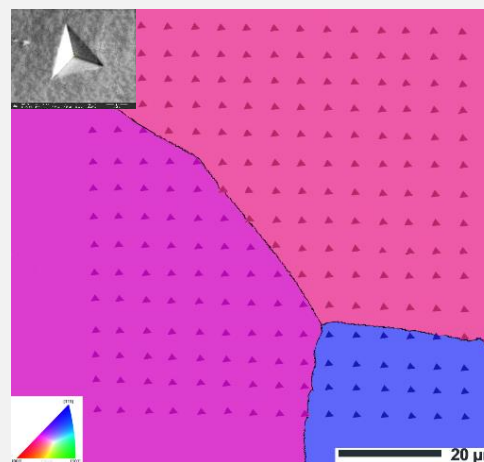
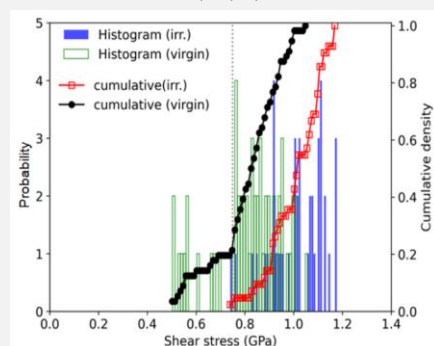
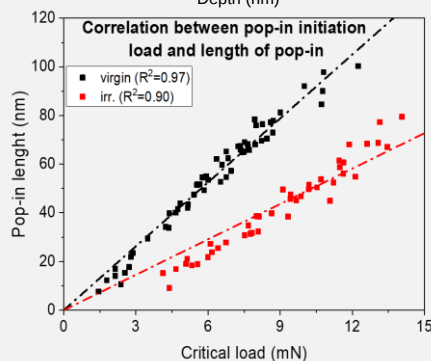
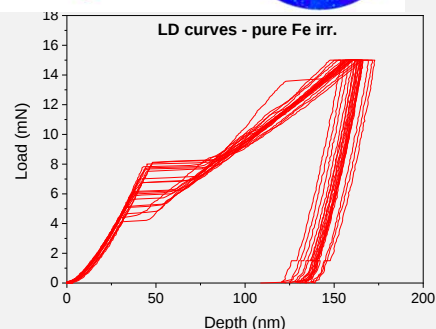
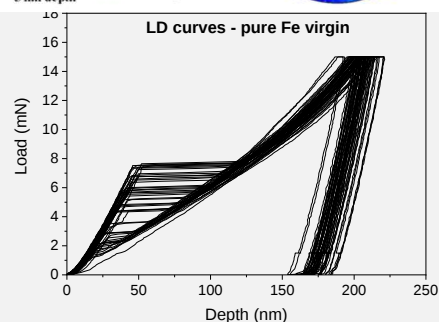
Obliczone naprężenie ścinające wynosi około 3 GPa (wytrzymałość teoretyczna).

Atomy międzywęzłowe, takie jak C, wpływają na zachowanie pop-in poprzez blokowanie wcześniej istniejących dyslokacji.

Mechanizmy do rozważenia: zarodkowanie dyslokacji w sąsiednim ziarnie, odblokowanie przypiętych przez atomy C dyslokacji w gb, transfer poślizgu?

Czy widzimy wpływ orientacji kryształu?

Nanoindentacja sferyczna ($R_i=25\mu\text{m}$)



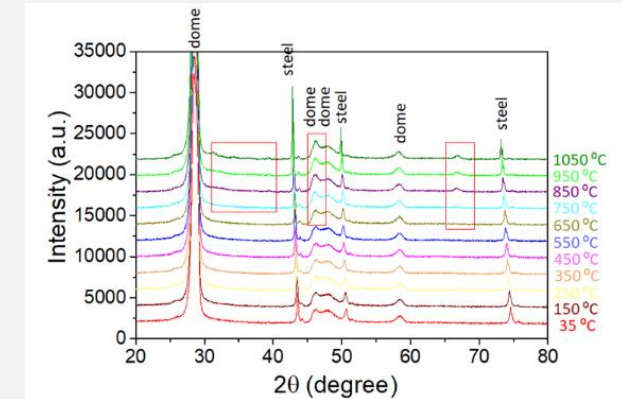
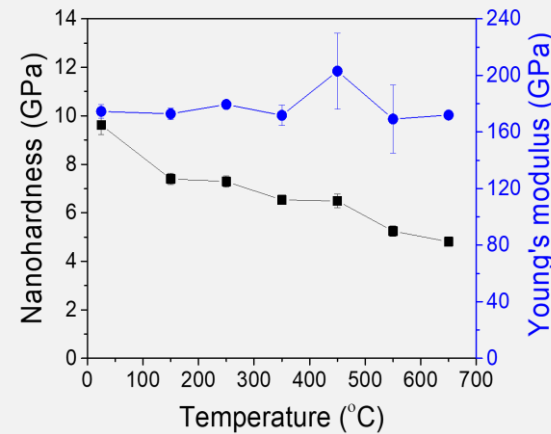
Badanie właściwości funkcjonalnych amorficznych powłok Al_2O_3 do zaawansowanych zastosowań jądrowych

PROBLEM

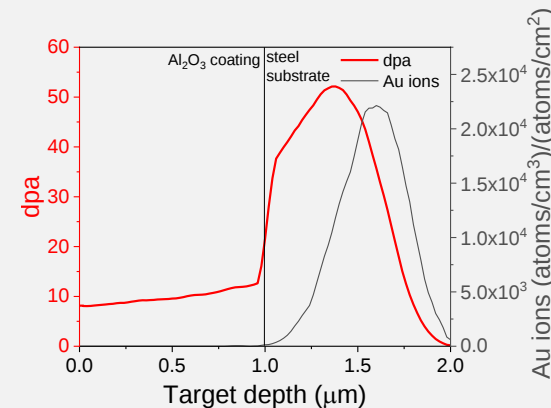
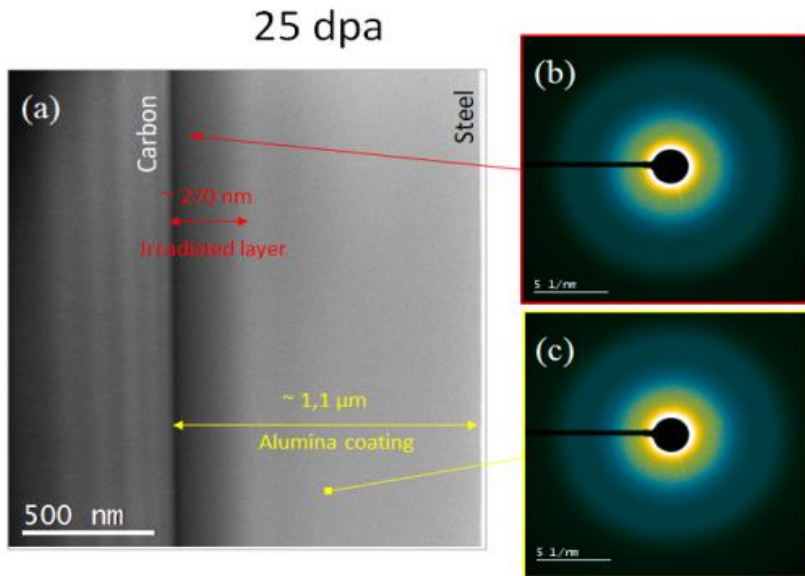
Dostępne materiały, takie jak stale nierdzewne (np. 316L, 15-15Ti, T91, HT9) nie nadają się do stosowania w środowisku chłodziwa LFR → potrzeba powłoki odpornej na korozję i promieniowanie

Warunki pracy LFR FC : do 600 °C, do 200 dpa, LL/LBE

Właściwości wysokotemperaturowe



Odporność na promieniowanie o wysokiej temperaturze



Układ powłoka-podłoże jest dobrze dopasowany mechanicznie w wysokiej temperaturze.

Materiał przechodzi serię przemian fazowych (krystalizacja termiczna powyżej 650 °C). Synergiczny wpływ wysokiej temperatury i promieniowania na krystalizację.

Badania mechaniczne

Statyczne i dynamiczne testy wytrzymałościowe próbek standardowych i zminiaturyzowanych

Standardowa
maszyna
wytrzymałościowa
INSTRON



Piec dzielony z trzema strefami grzewczymi
Maksymalna temperatura próbki: 1000°C

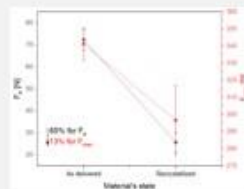
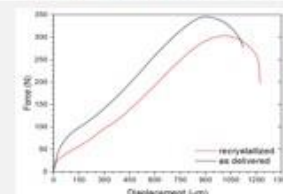


Komora testowa temperatury
z modulem chłodzącym
Zakres temperatur:
od -150°C do +350°C

BADANIA STANDARDOWE



SPT Small Punch Test:
Próbki: dyski $\varnothing 3 \times 0,25$ mm
Stempel: Kulka $\varnothing 1$ mm
Temperatura testu: pokojowa



Dział testów mechanicznych realizuje:

Próby rozciągania

Próby ściskania

Badanie odporności na pękanie K_{IC} ,
krytycznej CTOD, J_{IC} (CT25, SENB)

Wyznaczanie szybkości wzrostu pęknięć
zmęczeniowych da/dN

Próby udarowości

Small Punch Test (SPT)

Wszystkie testy zgodne z systemem
ISO 17025 oraz międzynarodowymi
normami ISO, ASTM, BS



AB 025

MINI-MECHANIKA

Maszyny do testów statycznych i dynamicznych -
zminiaturyzowane próbki



Zwick/Roell Z20 AllroundLine



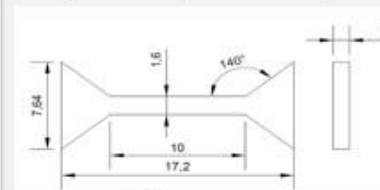
Zwick/Roell Vibrophore 25

Testy Mini-Mechaniczne

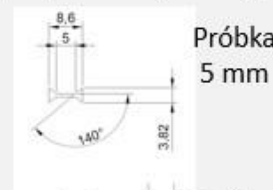
Próba rozciągania
i ściskania

Temperatura do 1000°C
Odporność na pękanie
mini-CTOD

Trzy rozmiary zminiaturyzowanych próbek – p.rociągania



Próbka 10 mm



Próbka
5 mm



Próbka
2.5 mm



Zwick/Roell Mini-Młot
udarowości Charpy V 25J

Testy mini-udarowości w temperaturze otoczenia,
niskiej (do -90°C) i podwyższonej (do 300°C)

Zgodnie z :

ASTM E2248 (zminiaturyzowane próbki Charpy V)
ISO 14556 (oprzyrządowana metoda badania karbu V
Charpy'ego - próbki zminiaturyzowane)

Zwick/Roell Młot udarowościowy
Charpy V 450J

Unikatowość Laboratorium – Testy wytrzymałościowe próbek zminiaturyzowanych do 1000°C

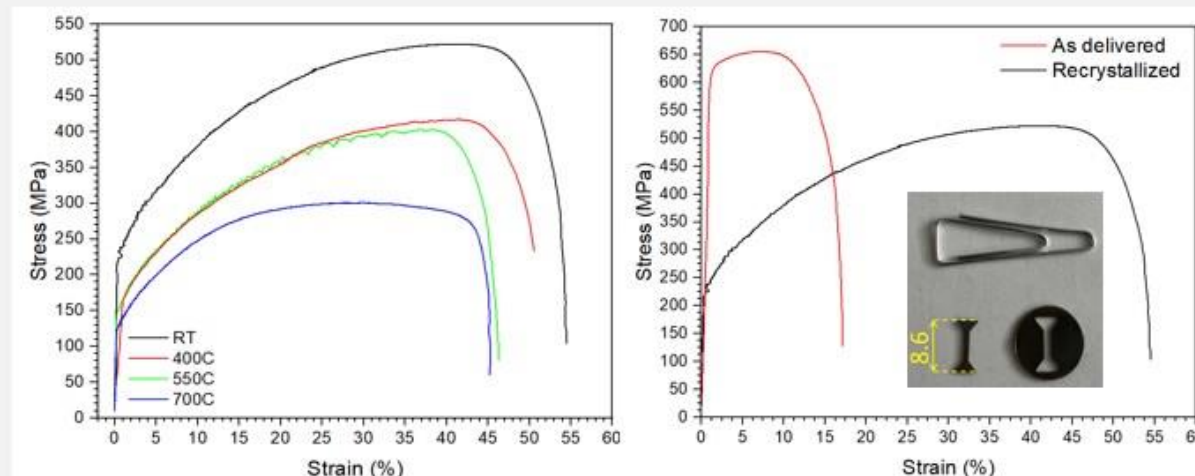
Konfiguracja urządzenia do testowania w wysokiej temperaturze



Ekstensometr laserowy (DIC)

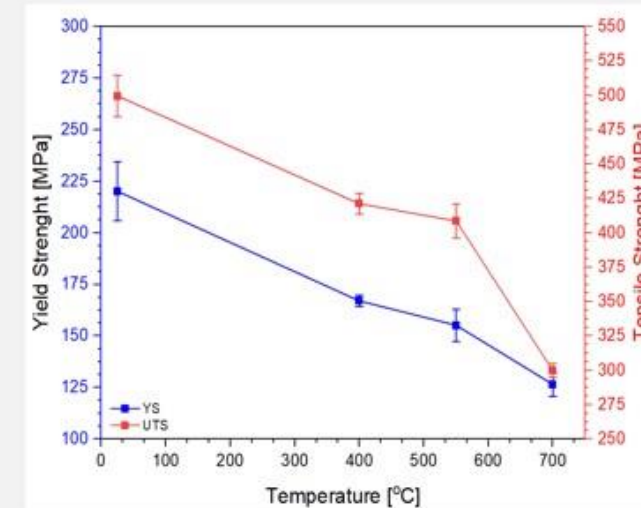


Badania próbek stopów FeCrAl-ODS do 700 st. C



Limit maszyny do testowania w wysokiej temperaturze

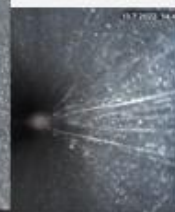
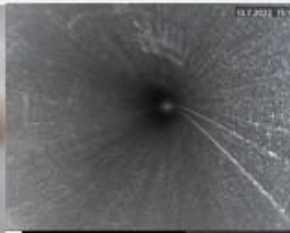
	Grubość próbki 0.6 mm	Grubość próbki 1.2 mm
600°C	520 N	2150 N
800°C	500 N	2100 N
1000°C	290 N	1200 N



Badania Nieniszczące NDT



Badania NDT rur bezszwowych AISI 316L dla komponentów reaktora ITER
System chłodzenia pierwszej ściany - zlecone przez dostawcę ITER – BIMO TECH



Accredited NDT tests realized according to:

EN 9001:2015 Specyfikacja techniczna X2CrNiMo17-12-2,
(nr 1.4404) Rura do zastosowania w systemach chłodzenia

Dostawa paneli pierwszej ściany (FW) o normalnym
strumieniu ciepła dla systemu końców ITER

Test wizualny VT – kontrola wizualna powierzchni

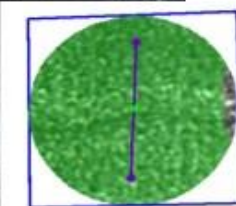
zewnątrznej / wewnętrznej Ultradźwiękowy test grubości

JTT – grubość ścianki Pomiary bezpośrednie - wymiary rur

Magnetic Permeability Test
according to IEC 60404-15 and ASTM A342M



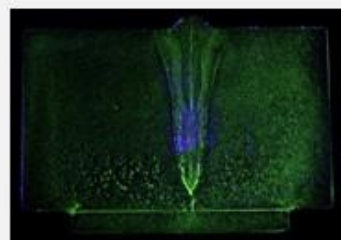
Pomiary głębokości efektów ciągnięcia
zimno Analizowane przez
wideoendoskop VT



**EUROFER 97 spawany wiązką elektronów we współpracy
z Karlsruher Institut für Technologie**



Badanie ultradźwiękowe UT



Badania magnetyczno-proszkowe MT

Akredytowane badania
nieniszczące
Polskie Centrum
Akredytacji
Numer akredytacji AB 025



**Dział badań nieniszczących realizuje
testy w następujących obszarach:**

Metoda badań wizualnych (VT)

Metoda badań penetracyjnych (PT)

Metoda magnetyczno-proszkowa (MT)

Metoda ultradźwiękowa (UT)

Metoda Eddy-current (ET)

Badania przenikalności magnetycznej



MTMenter Visual IQ - Waygate Technologies

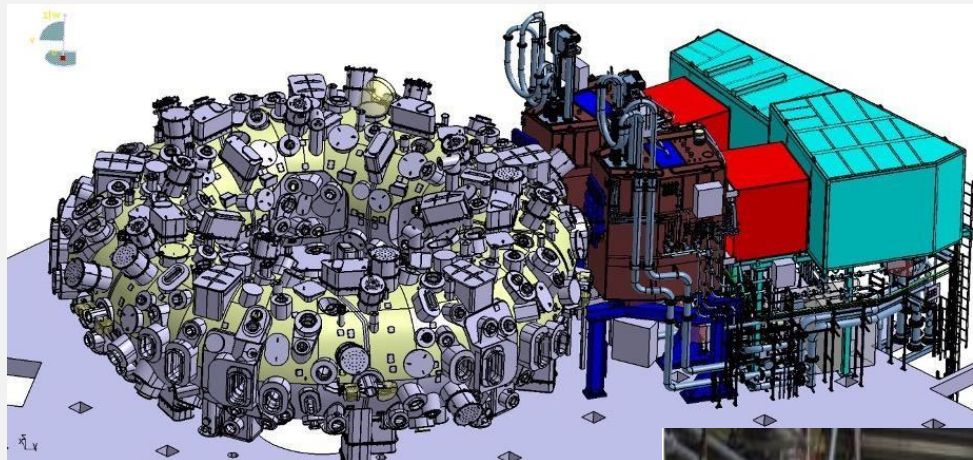


Faerster
MAGNETOSCOPE 1.069



Olympus OMNISCAN MX2

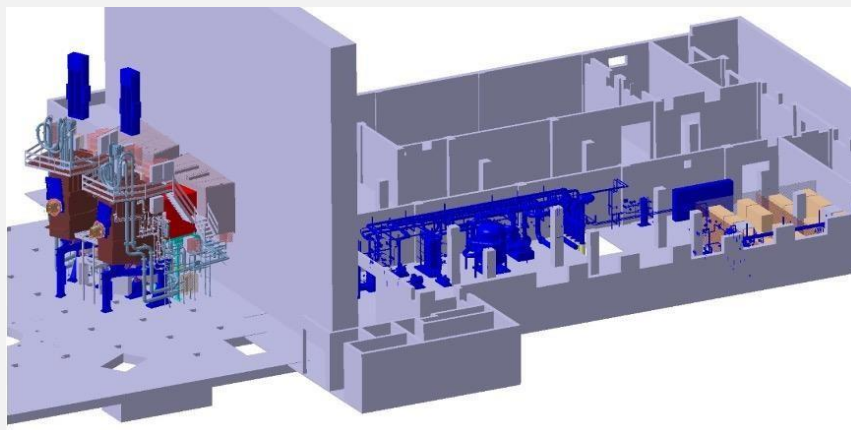
Udział w projekcie (Wendelstein 7-X Greifswald, Niemcy) – badania nieniszczące realizowane przez Laboratorium LBM



- ✓ Optymalizacja procesów spawania konstrukcji i rur
- ✓ Realizacja badań przenikalności magnetycznej złączy spawanych ze stali austenitycznej 316L
- ✓ Realizacja badań NDT VT i UT konstrukcji spawanych
- ✓ Badania i ocena VT spoin wewnątrz rurociągów z zastosowaniem Videoboroskopu



Stellarator (Max Planck)



LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁOWYCH

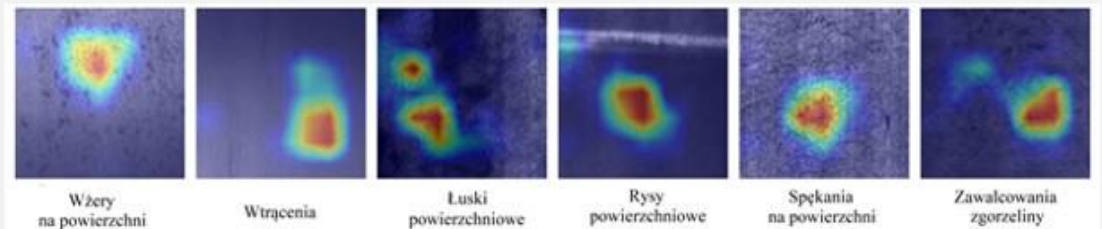
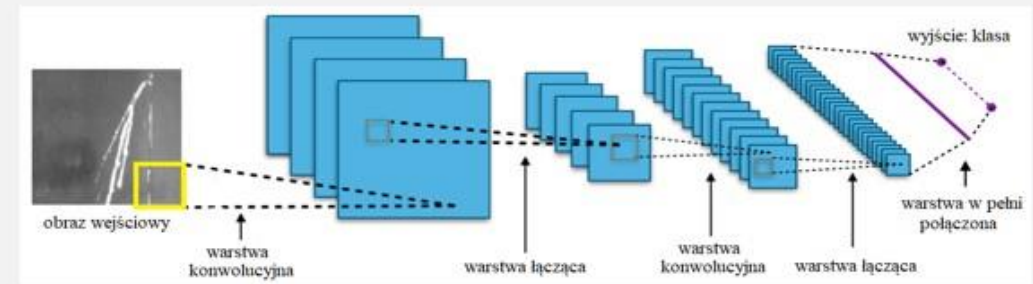
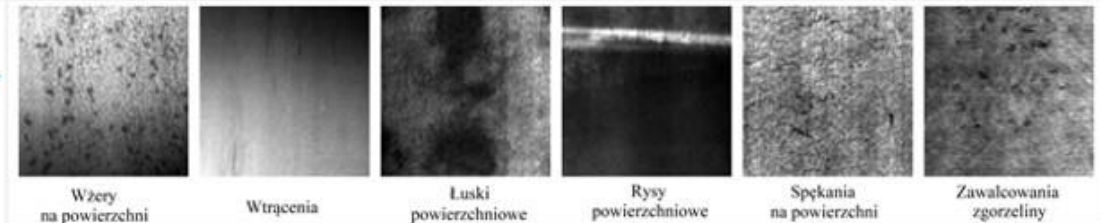
Uczenie maszynowe (AI Machine Learning) Identyfikacja defektów na powierzchni stali



Rzeczywista klasa defektu

	Zwalcowania zgorzeliny	Wżery na powierzchni	Wytrącenia	Spękania na powierzchni	Łuski powierzchniowe	Rysy powierzchniowe
Zwalcowania zgorzeliny	95.0 %	0.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Wżery na powierzchni	0.0 %	100.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Wytrącenia	0.8 %	0.0 %	96.7 %	0.8 %	0.0 %	1.7 %
Spękania na powierzchni	4.2 %	0.0 %	0.0 %	95.0 %	0.8 %	0.0 %
Łuski powierzchniowe	0.0 %	0.0 %	0.0 %	1.7 %	98.3 %	0.0 %
Rysy powierzchniowe	1.7 %	0.0 %	4.2 %	0.0 %	0.8 %	93.3 %
	Zwalcowania zgorzeliny	Wżery na powierzchni	Wytrącenia	Spękania na powierzchni	Łuski powierzchniowe	Rysy powierzchniowe

Klasa defektu przewidywana przez model uczenia maszynowego

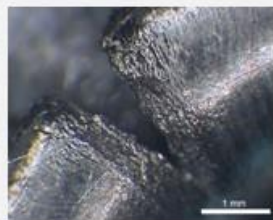
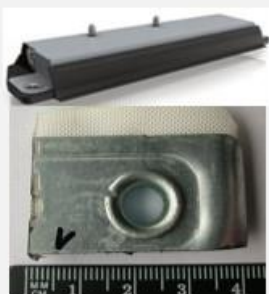
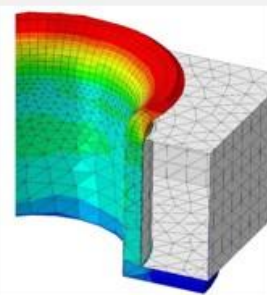
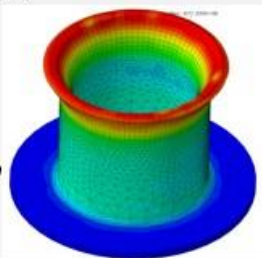


Inne zastosowania Uczenia Maszynowego (AI Machine Learning) w tym głębokie, konwolucyjne lub sieci neuronowe:

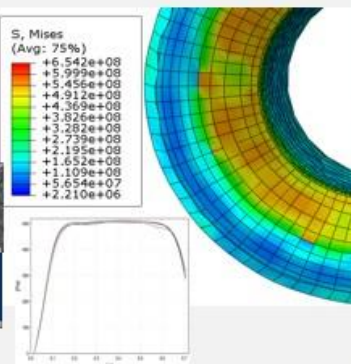
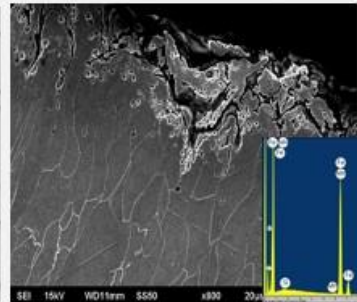
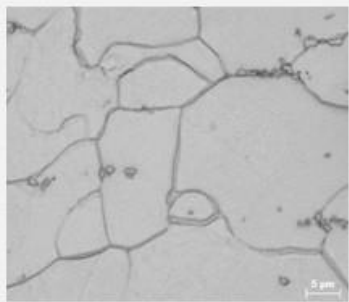
- ✓ Automatyczna klasyfikacja i segmentacja mikrostruktur na podstawie obrazów OM i SEM,
- ✓ Optymalizacja spawania laserowego

Analiza zmęczenia materiałów dla przemysłu motoryzacyjnego**Problem do rozwiązania: Pękanie nitów rurowych do mocowania modułów poduszek powietrznych ochrony nóg**

- Zanalizowaliśmy siłę zacisku za pomocą złożonej analizy MES procesu nitowania
- Zrealizowaliśmy analizę metalograficzną stali niskowęglowej E215, obserwacje makroskopowe, LM i SEM oraz analizę EDS
- Wykazaliśmy, że chłodzenie materiału (rur do produkcji nitów) po obróbce cieplnej było realizowane nieprawidłowo - trzeciorzędowy cementyt po granicach ziaren
- Dobraliśmy odpowiednie parametry obróbki cieplnej dla rur stalowych i oszacowaliśmy optymalną siłę zacisku

Analiza MES procesu
nitowania - siła zacisku

Obserwacja makroskopowa obszaru przełomu i pęknięcia nitów



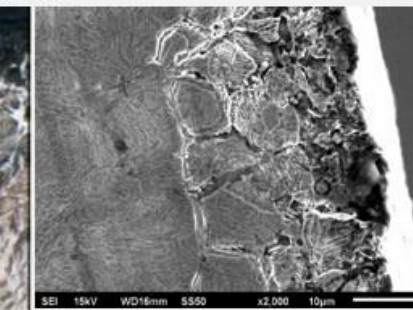
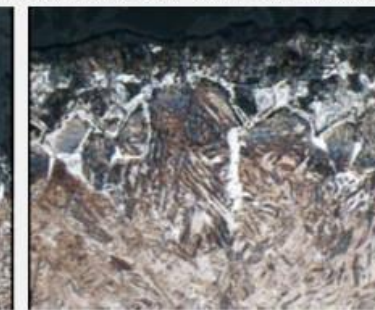
Analiza mikrostruktury stali niskowęglowej E215 - cementyt trzeciorzędowy po granicach ziaren

Optymalizacja obróbki cieplno-chemicznej – nawęglanie stali 20MnCr5**Problem do rozwiązania: Eliminacja błędów w procesie nawęglania przegubów krzyżaków wałów napędowych**

- Analizowaliśmy parametry nawęglania krzyżaka wału napędowego
- Zrealizowaliśmy analizę metalograficzną stali 20MnCr5 po nawęglaniu / obserwacje makroskopowe, LM i SEM
- Potwierdziliśmy, że materiał został nieprawidłowo nawęglony (zbyt wolne przechłodzenie podczas procesu) - siatka ferrytu po granicach ziaren i wyspy bainityczno-martenzytyczne na powierzchni.
- Dobraliśmy odpowiednie parametry nawęglania oraz prędkość nagrzewania i chłodzenia podczas obróbki cieplnej - krzyżak spełnił wymagania testów dynamicznych / nie zaobserwowano efektów pittingu



Obserwacja makroskopowa krzyżaka wału napędowego po testach dynamicznych zgodnie z systemem kontroli jakości producenta - widoczne efekty pittingu



Analiza mikrostruktury stali niskostopowej 20MnCr5 - widoczne wady po procesie nawęglania / siatka ferrytowa na górnej powierzchni krzyżaka / źle dobrana prędkość przechłodzenia podczas nawęglania

**CENTRUM
DOSKONAŁOŚCI
MANHAZ**



- Badania dotyczące bezpieczeństwa i ryzyka awarii instalacji przemysłowych w kontekście ochrony zdrowia i środowiska naturalnego
- Badania dotyczące oddziaływania na środowisko instalacji przemysłowych oraz innych form działalności człowieka
- Zintegrowane analizy ryzyka instalacji przemysłowych
- Badania zagrożeń poważnymi awariami wynikającymi z lokalizacji zakładów podwyższonego ryzyka
- Badania w zakresie oceny podatności infrastruktury krytycznej na działania niepożądane (np. ataki terrorystyczne)
- Badania zabezpieczeń przed wybuchem w instalacjach przemysłowych
- Komputerowe systemy zarządzania sytuacją kryzysową po awaryjnych uwolnieniach niebezpiecznych substancji chemicznych
- Systemy informujące w czasie rzeczywistym o zagrożeniach poważnymi awariami
- Narzędzia do zarządzania ryzykiem związanym z transportowaniem substancji niebezpiecznych z wykorzystaniem infrastruktury drogowej, sieci kolejowej i rurociągów
- Systemy do oceny zagrożeń i poziomu ryzyka generowanego przez składowiska odpadów oraz instalacje spalania i utylizacji odpadów

**LABORATORIUM
POMIARÓW
DOZYMTRYCZNYCH**



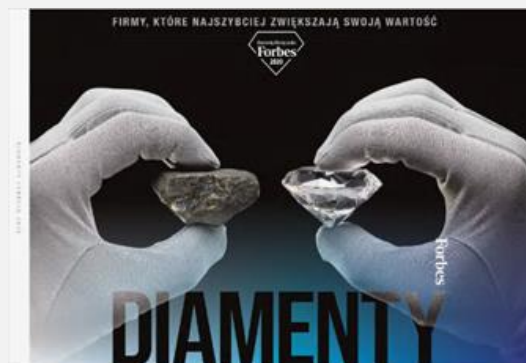
- Monitoring środowiska i nadzór radiologiczny (w tym analizy próbek środowiskowych i dozymetryczne pomiary operacyjne), ocena wpływu na otoczenie
- Wzorcowanie (kalibracja) dozymetrycznej aparatury kontrolno-pomiarowej promieniowania gamma i neutronowego, a także mierników skażeń powierzchniowych alfa- i beta- promieniotwórczych
- Monitoring narażenia wewnętrznego personelu
- Utrzymanie i rozwój wzorcowych pól promieniowania jonizującego
- Kontrola ruchu i ewidencji źródeł i odpadów promieniotwórczych
- Oznaczanie stężenia aktywności radonu (^{222}Rn) w powietrzu metodą detektorów pasywnych

Możliwości realizacji projektów B+R

- Identyfikacja wyzwań technologicznych i propozycji rozwiązań
- Opracowanie założeń/ źródeł finansowania wspólnych projektów
- Przygotowanie wniosków projektowych
- Realizacja projektów badawczo-rozwojowych
- Wspieranie transferu technologii
- Włączanie w krajowe i międzynarodowe projekty
- Promocja nowoczesnych rozwiązań technologicznych w Polsce i zagranicą



Diamenty Forbesa dla NCBJ jako Instytutu najszybciej zwiększającego swoją wartość w ciągu ostatnich trzech lat działalności – projekty i działalność B+R



Dwie Kryształowe Brukselki:
NCBJ i dr Jacek Gajewski



Podziękowania



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation programme under grant agreement No 857470



European
Commission

Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation



Foundation for
Polish Science



Ministerstwo
Aktywów Państwowych
Ministry of State Assets



Mazovia Marshall Office
Mazovia.
heart of Poland

Wsparcie infrastrukturalne i badawcze dla Narodowego Centrum Badań Jądrowych Laboratorium Badań Materiałowych jest zapewniane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w porozumieniu z Ministerstwem Klimatu i Środowiska w ramach projektu HTGR - wysokotemperaturowy reaktor chłodzony gazem



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

„Dofinansowanie z przedsięwzięcia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego ”Wsparcie działalności Centrów Doskonałości utworzonych w ramach programu Horyzont 2020”

Dziękujemy za uwagę

Marcin.Kardas@ncbj.gov.pl

Jacek.Jagielski@ncbj.gov.pl

Lukasz.Kurpaska@ncbj.gov.pl

Jaroslaw.Jasinski@ncbj.gov.pl

