



# CENTRUM SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA

WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ  
I ENERGETYKI POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ



**NAUKA I BADANIA  
Z POLITECHNIKĄ  
KOSZALIŃSKĄ**

## KATALOG – PREZENTACJA CENTRUM SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA

Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Energetyki  
Politechniki Koszalińskiej / Koszalin 2022

### Publikacja wydana pod auspicjami:

dr hab. Danuty Zawadzkiej, prof. PK,  
Rektor Politechniki Koszalińskiej

### Koncepcja i produkcja:

Biuro Komunikacji Społecznej Politechniki Koszalińskiej

### Redaktor wydania:

Piotr Pawłowski

### Teksty:

Piotr Pawłowski, Jarosław Jurkiewicz

### Wstęp i konsultacja:

dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK

### Zdjęcia:

Justyna Horków, Adam Paczkowski,  
Marcin Torbiński, dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK

### Layout, skład, tkanie, projekt okładki:

Magdalena Piłaszewicz

**Wydawca:** Politechnika Koszalińska,  
75-453 Koszalin, ulica Śniadeckich 2, tel. 94 34 78 500

**Druk:** Polimer Koszalin

Copyright © by Politechnika Koszalińska  
Wszelkie prawa zastrzeżone



### Wydawnictwo dostępne jest w wersji pdf na stronie:

tu.koszalin.pl oraz w zasobach Biblioteki Głównej  
Politechniki Koszalińskiej.

Kopiowanie, rozpowszechnianie, przedruk i publikacja informacji zawartych w niniejszym wydawnictwie, w jakiegokolwiek formie, także elektronicznej, do celów komercyjnych i prywatnych, bez zgody wydawcy i autorów tekstów, ale z podaniem źródła pochodzenia, jest jak najbardziej wskazane. Zdjęcia i inne elementy składające się na układ graficzny stron są chronione prawem autorskim.

## Spis treści:

5 |

### Wstęp

6-15 |

Centrum Szybkiego Prototypowania.  
Poznaj potencjał wytwarzania przyrostowego

16-23 |

Druk 3D z metalu, czyli inżynieria przyszłości

24-57 |

### Oferta

26 |

Stacjonarny system do mikrotomografii komputerowej mikrotomograf BRUKER SKYSCAN 1275

27 |

Dyfraktometr rentgenowski  
PANALYTICAL EMPYREAN

28-31 |

Drukarka 3D do selektywnego stapiania laserowego proszków metalicznych COHERENT CREATOR

32-35 |

Drukarka 3D do wytwarzania części metodą proszków spiekanych Exone Innovent+

36 |

Analizator termiczny NETZSCH STA 449 F3  
Jupiter FTIR Perseus

37-39 |

Wielofunkcyjna maszyna wytrzymałościowa  
ZWICK Z400E z napędem elektromechanicznym

40-43 |

ModelMaker H120 i MCAx S

44-49 |

ATOMIZER do produkcji proszków metali ATO Lab

50 |

Skaner 3D GOM ARAMIS Adjustable  
Base 12M Essential

51 |

Pomiary mikroskopem sił atomowych

54 |

Pomiary mikroskopem konfokalnym

55 |

Pomiar skaningowym mikroskopem elektronowym





**CENTRUM  
SZYBKIEGO  
PROTOTYPOWANIA**



**Dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK**  
**Prorektor ds. nauki**

**Szanowni Państwo,**

oddaję do rąk Państwa wydawnictwo, które jest wizytówką, a równocześnie prezentacją, kierowanego przeze mnie, Centrum Szybkiego Prototypowania (CSP) Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Cztery lata funkcjonowania laboratorium to dobry czas na pierwsze podsumowanie. Wchodzimy w rok piąty i jubileuszowy z nadzieją, że z ofertą CSP dotrzemy do jak najszerszego grona odbiorców i potencjalnych partnerów ze środowiska biznesu.

W momencie projektowania i powstania, Centrum było przedsięwzięciem pionierskim w skali tego regionu kraju, a i teraz wciąż pozostaje źródłem nowatorskich zmian w produkcji i odzwierciedleniem praktycznego wykorzystania nowych technologii. Cieszę się, że nasze badania i doświadczenia wspierają podmioty, które stawiają na rozwiązania innowacyjne i poszukują nowych form optymalizacji kosztów. Wychodzimy im naprzeciw

z ofertą dostosowaną do potrzeb firm rozwijających się dynamicznie.

Niniejsze wydawnictwo składa się z dwóch części. Pierwsza ma charakter informacyjno-publicystyczny i zawiera wszystkie wiadomości niezbędne do bliższego i pełniejszego poznania produkcji przyrostowej. Druga jest w istocie ofertą usług świadczonych przez Centrum Szybkiego Prototypowania. Warto zapoznać się z obydwoma częściami, żeby dowiedzieć się, na czym, w przypadku druku 3D z metalu, polega połączenie ewolucji z rewolucją.

Zapraszam do lektury.

**dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK**

**Prorektor ds. nauki Politechniki Koszalińskiej  
Koordynator Centrum Szybkiego Prototypowania  
Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Energetyki**



## CENTRUM SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA

### POZNAJ POTENCJAŁ WYTWARZANIA PRZYROSTOWEGO

Od 2018 r. na Wydziale Mechanicznym funkcjonuje Centrum Szybkiego Prototypowania, które zajmuje się drukiem 3D z metalu. Jednym z inicjatorów jego powstania, a obecnie koordynatorem pracy laboratorium jest dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK, prorektor ds. nauki Politechniki Koszalińskiej.

Centrum, w którym powstają metalowe trójwymiarowe komponenty, jest jedynym tego rodzaju ośrodkiem na Pomorzu. Poza rozwijaniem umiejętności studentów, ofertę swoją kieruje również do przedsiębiorców zainteresowanych szybkim tworzeniem elementów niezbędnych do produkcji, wymiany części, wprowadzania innowacji i rozwoju najbardziej postępowych gałęzi przemysłu.

Prof. Błażej Bałasz jest absolwentem Politechniki Koszalińskiej, od początku związanym z Wydziałem Mechanicznym (WM). Zanim w 2020 r., został prorektorem ds. nauki na kadencję czteroletnią, był prodziekanem ds. nauki WM (w latach 2012-2016), a później dziekanem (w latach 2016-2020).

#### **Od studenta do prorektora**

Studia magisterskie na kierunku mechanika i budowa maszyn ukończył w 1994 r. Rozpoczął pracę na stanowisku asystenta, prowadząc badania do rozprawy doktorskiej obronionej w 2003 r. Kolejne lata działalności badawczej Błażeja Bałasa zwieńczone zostały uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie: budowa i eksploatacja maszyn.

W latach 2003-2006 był dyrektorem Centrum Transferu Wiedzy w koszalińskim Parku Naukowo-Technologicznym. W latach 2003-2007 pełnił funkcję kierownika studiów podyplomowych: Sieci komputerowe – projektowanie i zarządzanie. Na co dzień jest związany z Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych WM.

Zainteresowania naukowe prof. Błażeja Bałasa koncentrują się wokół zagadnień związanych z Przemysłem 4.0, a w szczególności: wykorzystaniem dużych zbiorów danych do diagnostyki maszyn i urządzeń,





modelowaniem i symulacją procesów przemysłowych i projektowaniem procesów technologicznych.

W swoim dorobku naukowiec ma ponad 100 publikacji. Ponadto był kierownikiem lub wykonawcą w 12 projektach badawczych. W Centrum Szybkiego Prototypowania (CSP), wspólnie z zespołem doświadczonych specjalistów, prowadzi prace badawczo-rozwojowe nad rozwojem technologii addytywnego wytwarzania części maszyn z proszków metali, mających zastosowanie w budowie maszyn, energetyce i inżynierii biomedycznej.

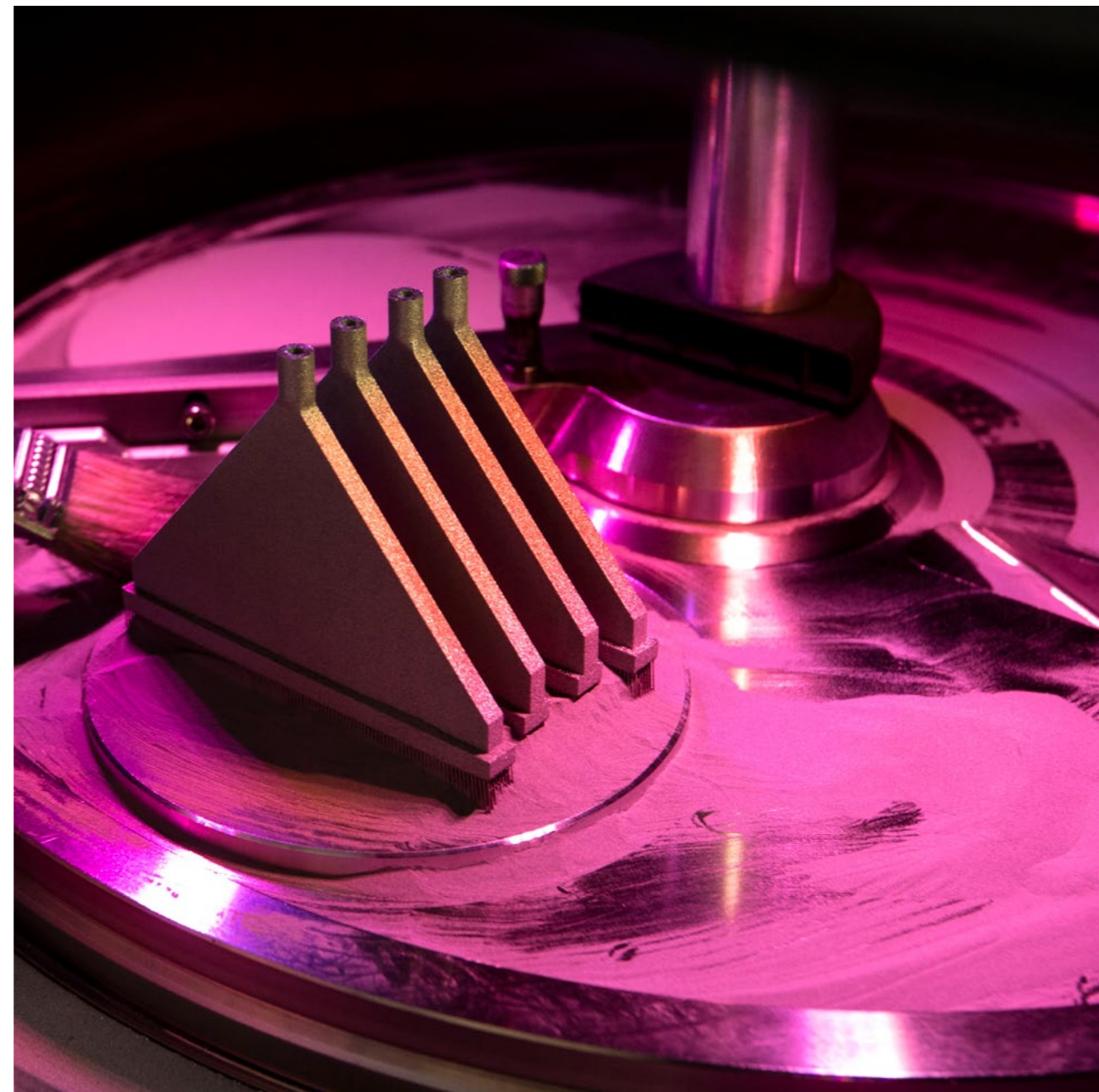
#### **Duży potencjał i ogromne możliwości**

Podstawową misją Wydziału Mechanicznego, najstarszej jednostki dydaktycznej uczelni, jest przeprowadzenie w rozwoju techniki, w zakresie: inżynierii mechanicznej, automatyki, robotyki, mechatroniki i cybernetyki, energetyki, inwestycji i wdrożeń przemysłowych, zarządzania i inżynierii produkcji oraz techniki rolniczej i inżynierii żywności, poprzez badania

naukowe, kształcenie akademickie, upowszechnianie wiedzy, transfer technologii. Misją wydziału jest także współpraca międzynarodowa, krajowa i regionalna w zgodzie ze standardami międzynarodowymi oraz poziomem współczesnej cywilizacji.

Poza zaangażowaniem w CSP, prof. Błażej Bałasz jest koordynatorem innego ważnego projektu, czyli Konstelacji Wiedzy – portalu zawierającego i prezentującego informacje o działalności naukowej Politechniki Koszalińskiej. Konstelacja Wiedzy to promocja sukcesów naukowców reprezentujących środowisko akademickie i samej uczelni, element motywujący studentów i absolwentów do pracy i działania oraz inspirująca prezentacja potencjału szkoły, adresowana do przedsiębiorców.

Prof. Błażej Bałasz przyznaje, że od dawna druk 3D z metalu postrzegał jako, nawet nie tyle technologię przyszłości, ile teraźniejszości i współczesnej myśli inżynierskiej, rozumianej jako algorytm wiedzy, wy-





obraźni i możliwości technicznych już dostępnych urządzeń do produkcji przyrostowej. Powstanie centrum właściwie było więc kwestią czasu, a nie wizji, założenia czy dostępu do źródeł finansowania.

#### Wsparcie resortów i Unii Europejskiej

Początki CSP prof. Błażej Bałasz tak wspomina: – Na naszym wydziale pojawiła się idea pozyskania specjalistycznej aparatury do badań nad rozwojem technologii wytwarzania przyrostowego, z wykorzystaniem proszków różnych rodzajów metali, począwszy od stali chirurgicznej, poprzez tytan aż po stopy aluminium. Mając tak doskonałą bazę, jaką jest zaplecze Politechniki Koszalińskiej, postanowiliśmy spróbować i – jak widać – udało się wszystko, co sobie założyliśmy.

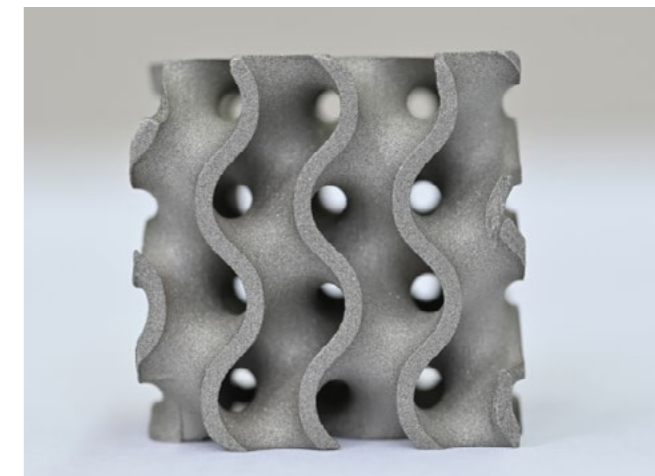
W ten sposób powstał projekt uruchomienia nowej pracowni na Wydziale Mechanicznym – Centrum Szybkiego Prototypowania – umożliwiającej prowadzenie badań w zakresie technologii przyrostowych i wytwarzania części maszyn z proszków metali. Za-

mysł naukowców trafił na podatny grunt i uzyskał wsparcie finansowe z funduszy unijnych i ze środków ówczesnego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (obecnie: Ministerstwo Edukacji i Nauki).

Zakup aparatury był możliwy dzięki projektowi: „Centrum Szybkiego Prototypowania”, którego całkowity koszt wyniósł 3,6 miliona złotych. Znaczną część tej wartości, czyli blisko 2,2 miliona złotych, dofinansowała Unia Europejska z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego 2014-2020. Dofinansowanie ministerialne sięgnęło 288 tysięcy złotych.

#### Dla niej nie ma rzeczy niemożliwych!

Dzięki realizacji projektu w jednym z budynków WM powstał nowoczesny ośrodek badawczo-wdrożeniowy, umożliwiający – jak czytamy w założeniach jego budowy – „prowadzenie badań z zakresu technik przyrostowych, modelowania i symulacji mechanizmów



i procesów odkształceń, badań wytrzymałościowych oraz inżynierii odwrotnej z wykorzystaniem laserowego skanera 3D”.

Produkcja przyrostowa to proces tworzenia trójwymiarowych części z metalu na podstawie pliku cyfrowego. W praktyce wygląda to analogicznie do druku 3D z innych materiałów, czyli filamentów. Nosi obrazową nazwę produkcji przyrostowej, ponieważ obejmuje nakładanie cienkich warstw materiału jedna na drugą.

Technologia przyrostowa jest ściśle związana ze znaną od kilkudziesięciu lat technologią wytwarzania części maszyn poprzez prasowanie proszków metali i wykonywanie odlewów. Pozwala na wytwarzanie z metalu tak samo funkcjonalnych części jak produkowane innymi metodami tradycyjnymi, typu: frezowanie, odlewanie czy skrawanie.

Nowatorska, coraz bardziej popularna, a przede wszystkim doskonale sprawdzająca się w sytuacjach awarii, usterek i uszkodzeń drobnych i większych czę-

ści do maszyn i urządzeń, technologia pozwala na uzyskanie elementów o złożonym kształcie, których wytworzenie przy użyciu tradycyjnych metod odlewania, obróbki maszynowej czy obróbki ubytkowej, byłoby bardzo utrudnione, a w niektórych sytuacjach wręcz niemożliwe.

#### Produkcja warstwa po warstwie

Centrum Szybkiego Prototypowania ma przede wszystkim unikalną w skali całego regionu aparaturę pomiarową i technologiczną.

– Od Szczecina po Gdańsk i Piłę nikt nie ma takich, ani nawet podobnych urządzeń – mówi prof. Błażej Bałasz. – Wyposażenie placówki stanowią najnowocześniejsze urządzenia do wytwarzania przyrostowego, w tym: skaner 3D i dwie maszyny do druku 3D z metalu. Dzięki skanerowi, digitalizacja obiektów odbywa się szybko i precyzyjnie, a cyfrowy projekt można stworzyć nawet w kilkadziesiąt minut.



Nowa technologia daje możliwość nadawania wytwarzanym częściom dowolnych kształtów – to zaleta produkcji przyrostowej, która była dotąd znana dzięki upowszechnieniu technologii druku 3D przy produkcji elementów z tworzyw sztucznych. Tę ideę z dużym powodzeniem i pełnym sukcesem zastosowano do wytwarzania elementów metalowych.

Jak przebiega proces produkcji? W urządzeniu, które drukuje, rozprowadzana jest niewielka warstwa proszku metalu, który w odpowiednich miejscach podlega stopieniu. Proces wymaga powtarzania. W ten sposób, warstwa po warstwie, postępuje wytwarzanie wyrobu. Stąd określenie – technologia przyrostowa.

#### Urządzenie do wytwarzania proszków

W przypadku druku 3D z metalu mamy co czynienia z niezwykle elastycznym sposobem produkcji. Detal powstaje w krótkich seriach, można go modernizować w zależności od potrzeb. Wytworzenie części technologią przyrostową zajmuje sporo czasu. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę to, że nie trzeba prowadzić żmudnych prac przygotowawczych i logistycznych, jak na przykład przygotowanie form, proces wytwarzania może okazać się krótki. Ponadto nie ma strat materiału, co w przypadku wytwarzania ubytkowego (toczenie, skrawanie, frezowanie) może być problemem.

Co godne podkreślenia, centrum zostało wyposażone w urządzenie do wytwarzania proszku metali – to unikalna aparatura, która w warunkach laboratoryjnych pozwala zamienić metal, na przykład w postaci drutu, w proszek, z którego, w kolejnych etapach wytwarzania, można przygotować gotowy wyrób.

– Dzięki temu możemy przeprowadzać badania w zakresie nowych materiałów i sprawdzać możliwość ich zastosowania przy wytwarzaniu określonych wyrobów – mówi prof. Błażej Bałasz. – Możemy modyfikować parametry: moc lasera, szybkość jego przesuwania, ułożenie przestrzenne wyrobów w trakcie drukowania. Wszystko to ma ogromne znaczenie, ponieważ wpływa na efekt końcowy.

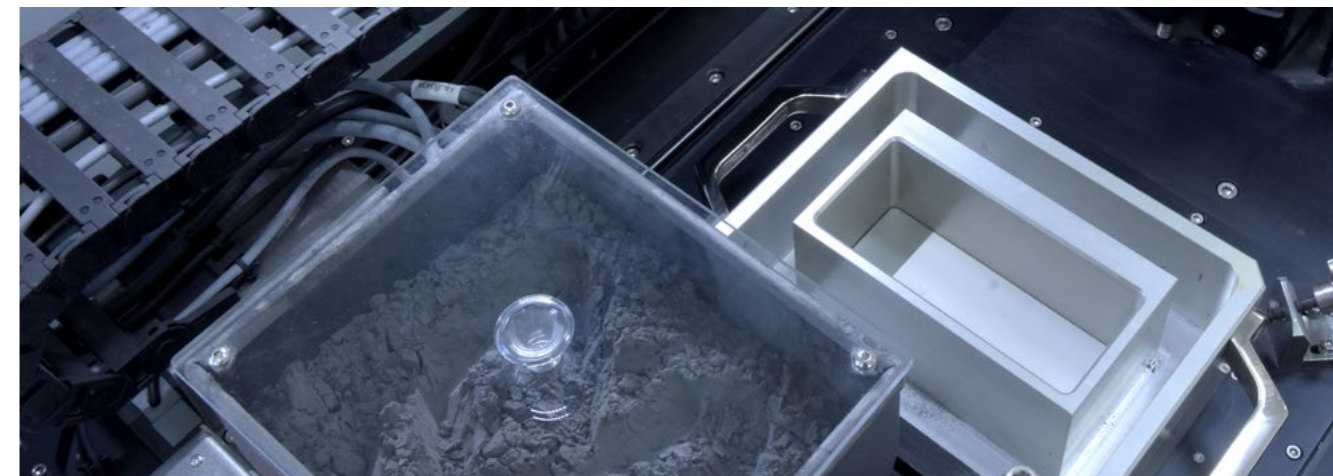
#### Zamiana realnego na model cyfrowy

Technologia przyrostowa ma niemal nieograniczone możliwości zastosowania. Jediną barierą może być, ale nie musi, jej koszt. Wytwarzanie obiektów tą metodą umożliwia zupełnie nowe podejście do projektowania części maszyn.

– Dotychczas nasze możliwości ograniczał kształt noża, freza, czy kształt formy wtryskowej, wykorzystywanej przy produkcji części – objaśnia koordynator CSP. – Ale w przypadku wytwarzania przyrostowego nie napotykamy na takie ograniczenia. Produkcja przyrostowa pozwala ominąć wiele różnych trudności.

Dlaczego? Ponieważ wraz z nową technologią pojawiła się nowa metoda: projektowanie generatywne. Polega ono na tym, że ustalone na wstępie kształt i cechy wyrobu w wyniku kolejnych interakcji przekształca się tak, aby wyrób dokładnie spełniał postawione oczekiwania.

Dzięki temu możemy uzyskać złożone kształty o zmiennych właściwościach. Analogii dla takich optymalizacji można poszukać w budowie ciała ludzkiego. W tych miejscach, w których kość powinna spełniać specyficzne funkcje, jest grubsza, w innych – cieńsza i ma inną strukturę wewnętrzną.



Pierwszym krokiem do produkcji, jak wspomnieliśmy, jest przygotowanie modelu cyfrowego obiektu, który powstaje poprzez projekt lub przeprowadzenie procesu inżynierii odwrotnej, czyli przygotowanie modelu istniejącego elementu. Dlatego tak ważną częścią wyposażenia centrum stał się skaner laserowy, który umożliwia bardzo dokładne i szybkie digitalizowanie obiektów oraz zamianę ich na model cyfrowy.

#### Dwie metody wytwarzania przyrostowego

Laboratorium ma dwa urządzenia do wytwarzania przyrostowego, wykorzystujące dwie różne technologie. Pierwsza opiera się na metodzie spiekania laserowego. W urządzeniu dokładnie rozprowadzana jest warstwa proszku. Wiązka lasera spieka proszek w odpowiednich miejscach, dzięki czemu powstaje oczekiwany kształt.

Druga technologia wykorzystuje metodę binder jetting. W celu uzyskania gotowego wyrobu proszek metalowy, warstwa po warstwie, skleja się przy po-

mocy specjalistycznego spoiwa. Tak przygotowany model, po usunięciu nadmiaru spoiwa, spieka się w piecu wysokotemperaturowym, czyli metalurgicznym, nadając mu wymagane właściwości wytrzymałościowe i mechaniczne.

– Każda z tych metod ma inne przeznaczenie – dodaje prof. Błażej Bałasz. – Chcieliśmy, aby przedsiębiorcy mogli dobrać do swoich zastosowań najbardziej odpowiednią. W kontaktach z przedstawicielami firm najbardziej zależy nam na dokładnym poznaniu ich potrzeb, następnie dostosowaniu do nich naszych możliwości, wreszcie nawiązaniu stałej współpracy w oparciu o wzajemne emitowanie sygnałów do rozwoju.

Centrum dysponuje także maszyną do badania wytrzymałości i odporności, dzięki której jest możliwe dokładne zbadanie właściwości wyrobów – odporności na ściskanie, rozciąganie czy zginanie oraz na procesy związane ze zużyciem zmęczeniowym.

**Technologia skazana na sukces**

Wytworzony obiekt, tak jak modele przygotowane w oparciu o tradycyjne metody, można później poddawać dodatkowym procesom, w tym obróbce ścierniej lub mechanicznej. Jeżeli potrzebne będą powierzchnie o lepszej jakości i gładkości, możliwe jest zastosowanie obróbki ścierniej, jeżeli potrzebna będzie zmiana właściwości mechanicznych, powinno się skorzystać z obróbki cieplnej.

Co można uznać za wartość dodaną w tym projekcie? Centrum Szybkiego Prototypowania daje szansę nie tylko poznania technologii przyrostowej, umożliwia też podjęcie współpracy badawczej z firmami w zakresie, między innymi, praktycznych projektów badawczych. Chodzi o projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych elementów o skomplikowanym i złożonym kształcie. Nowa metoda umożliwia zupełnie nowe podejście do projektowania części maszyn, zapewniając pełną swobodę, w porównaniu do tradycyjnych metod wytwarzania.

Innowacje i nowe technologie – to jedno, a ich właściwe zastosowanie w produkcji i innych procesach wytwórczych – to coś zupełnie innego. Zdarza się bowiem i tak, że rozwiązanie w stu procentach nowatorskie, wynikające z długich, żmudnych, dokładnych badań, nie znajduje zastosowania w praktyce, a więc nie nadaje się do skomercjalizowania. W przypadku druku 3D z metalu od początku nie mogło być mowy o niepraktyczności.

**Spadek kosztów w obrocie rynkowym**

Wytwarzanie przyrostowe początkowo znajdowało zastosowanie niemal tylko w przemyśle kosmicznym i lotniczym, ponieważ produkowane w ten sposób komponenty były bardzo drogie w przygotowaniu, a co za tym idzie – kosztowne w obrocie rynkowym. Ale z czasem technologia stała się bardziej dostępna i dzisiaj coraz częściej jest wykorzystywana na przykład w branży lotniczej, motoryzacyjnej, przy produkcji artykułów konsumpcyjnych. Coraz częściej producenci wykorzystują ją jako technologię uzupełniającą i integralną część procesów produkcyjnych.

Co ciekawe, dużym, stałym odbiorcą i partnerem ośrodków druku 3D jest branża jubilerska. Technologia przyrostowa daje możliwość indywidualnego projektowania i wytwarzania biżuterii z wykorzystaniem proszków metali szlachetnych. Coraz większe zainteresowanie sygnalizuje także branża dekoracji wnętrz. Przemysł meblarski uzyskał w ten sposób dostęp do wytwarzania unikalnych, jednostkowych elementów ozdobnych.

– Przedsiębiorca musi ocenić, czy zastosowanie tej metody przyniesie mu korzyści – uważa prof. Błażej Bałasz. – Sam wyrób, jako element końcowy, może bowiem być droższy, także od wcześniejszych założeń. Jeżeli jednak weźmie się pod uwagę cały rachunek kosztów oraz to, że zaspokajają się nietypowe oczekiwania klientów w znacznie krótszym czasie, zysk może okazać się wyższy niż przy zastosowaniu tradycyjnych technologii.



## OFERTA CENTRUM SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA OBEJMUJE:

- Wytwarzanie metodą przyrostową zaawansowanych wyrobów metalowych i narzędzi o złożonej geometrii i strukturze przestrzennej;
- Badanie wytrzymałości statycznej, dynamicznej i zmęczeniowej prototypów wyrobów metalowych o geometrii i strukturze przestrzennej;
- Badanie i projektowanie nowych produktów w branży motoryzacyjnej spełniających najwyższe normy wytrzymałościowe zgodnie z wymaganiami UE;
- Badanie i projektowanie nowych elementów konstrukcyjnych w transporcie rolniczym i drogowym oraz w maszynach i urządzeniach rolniczych, a także przemyśle meblarskim;
- Badanie i projektowanie układów grzewczych o zwiększonej sprawności z wykorzystaniem technologii przyrostowej.





„Naukowiec odkrywa świat, który istnieje. Inżynier tworzy świat, którego wcześniej nie było”.

Theodor von Karman

>> Dr hab. inż. Błażej Bałasz, prof. PK, koordynator Centrum Szybkiego Prototypowania Wydziału Mechanicznego: – Żeby najlepiej i najpełniej zobrazować cechy druku 3D z metalu posłużę się cytatem z Theodore’a von Karman’a [1881-1963 – pio-

nier nowoczesnej aerodynamiki i naukowego spojrzenia na lotnictwo – dop. red.]; „Naukowiec odkrywa świat, który istnieje. Inżynier tworzy świat, którego wcześniej nie było”.



## DRUK 3D Z METALU, CZYLI INŻYNIERIA PRZYSZŁOŚCI

Rozmowa z dr. hab. inż. Błażem Bałaszem, prof. PK, koordynatorem Centrum Szybkiego Prototypowania Wydziału Mechanicznego i prorektorem ds. nauki Politechniki Koszalińskiej

### Czym jest produkcja przyrostowa?

– Produkcja przyrostowa, inaczej: Additive Manufacturing (AM), zwana drukowaniem 3D, to technologia, która umożliwia wytwarzanie trójwymiarowych części, warstwa po warstwie, z materiału, na bazie polimeru lub metalu.

### Na czym polega ta metoda?

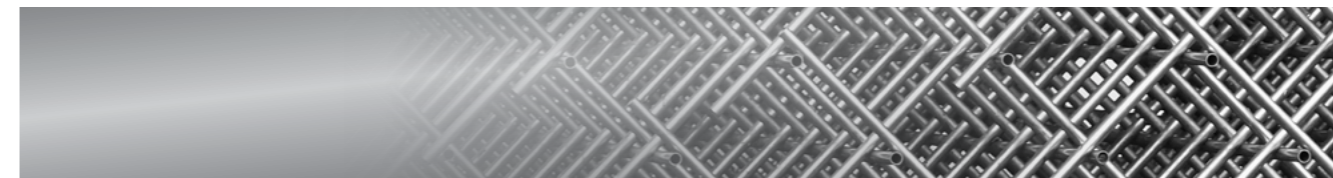
– W gruncie rzeczy proces produkcyjny jest niezwykle prosty. Polega na przesłaniu cyfrowego pliku danych do komputera, który generuje kody sterujące drukarką 3D. Następnie drukarka, w swoim rytmie częstotliwości ruchów, zbuduje komponent.

### Czy możliwa jest produkcja seryjna komponentów?

– Tak, oczywiście. Komponenty, których jeszcze kilka lat temu nie uzyskalibyśmy tą metodą, teraz z powodzeniem wytwarzane są zgodnie z wysokimi standardami przy użyciu szerokiej gamy proszków metali. Nie jest to już tylko technologia prototypowa. Korzystamy z niej do produkcji komponentów seryjnych do najbardziej wymagających zastosowań.

### Jaka jest główna cecha Additive Manufacturing?

– Trudno o wytypowanie cechy głównej, wszystkie elementy tej metody produkcji mają duże i osobne znaczenie. W moim przekonaniu, mówimy o czymś w rodzaju ewolucji, chociaż może właściwszym określeniem byłaby rewolucja w znaczeniu technologicznym. Drukowanie 3D, zresztą nie tylko w odniesieniu do metalu, daje wiele różnych korzyści w produkcji części, oferując absolutnie niezrównaną swobodę



projektowania, z możliwością, jak wspomniałem, wytwarzania jednego lub wielu komponentów.

#### **Jakie były początki AM?**

– Wczesne procesy i projekty związane z Additive Manufacturing dotyczą lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku. Chodziło o przyjęcie najbardziej efektywnych rozwiązań dla szybszego rozwoju produkcji. Wiadomo, że prędkość produkcji ma zasadnicze znaczenie, ponieważ od niej zależy tempo zbytu, zmian, a w przypadku druku 3D także to, jak szybko uda się usunąć usterkę wstrzymującą produkcję.

#### **Jakie były pierwsze doświadczenia z zakresu technologii przyrostowej?**

– W tamtym czasie wszystkie zapoczątkowane praktyki nazwano Rapid Prototyping, ponieważ tak naprawdę chodziło o stworzenie trójwymiarowych modeli lub makiet w celu sprawdzenia formy, dopasowania i działania.

#### **Kiedy rozpoczął się proces komercjalizacji nowej technologii?**

– W 1987 roku – taką przyjmujemy datę. Firma 3D Systems rozpoczęła komercjalizację techniki przetwórstwa tworzyw sztucznych znanej jako Stereolithography (SL), oferując zupełnie nowe możliwości projektantom i inżynierom oraz wspierając szybko roz-

wijający się rynek produktów o krótkim czasie życia. Proces polegał na krzepnięciu cienkich warstw, wrażliwego na światło, ciekłego polimeru UV za pomocą lasera i był pierwszym dostępnym na rynku systemem AM na świecie.

#### **Czy to był początek technologii 3D w takiej postaci, w jakiej znamy ją dziś?**

– Na początku lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku rozpoczęto komercjalizację innych technologii AM opartych na polimerach, w tym stopionego osadzania (FDM) od Stratasys, utwardzania gruntowego (SGC) od Cubital i Laminated Object Manufacturing (LOM) od Helisys. W tym czasie wprowadzono również selektywne spiekanie laserowe (SLS) firmy DTM, polegające na łączeniu materiałów proszkowych za pomocą lasera. Odpowiadając więc na pytanie: tak, to były początki czegoś, co dzisiaj zaczynamy używać na co dzień i co będzie miało największy wpływ na inżynierię i technologię przyszłości.

#### **Czy już wtedy produkcja przyrostowa dotyczyła metalu?**

– Nie od razu, ale było oczywiste, że szybko obejmie metal. Procesy Additive Manufacturing o charakterze zaawansowanym, oparte na metalu, opracowano w latach pięćdziesiątych i wkrótce wprowadzono na rynek. W tym czasie kilka firm zrealizowało systemy





do spiekania laserowego, które mogły bezpośrednio wytwarzać części metalowe. Była to alternatywa dla bezpośrednich procesów wieloetapowych.

#### **Kiedy pojawiły się prototypy maszyn do druku 3D z metalu?**

– W 1984 roku EOS zademonstrował prototypową maszynę EOSINT M160 opartą na technologii bezpośredniego spiekania laserowego metalu. Rok później uruchomiono EOSINT M250, umożliwiającą produkcję narzędzi metalowych. Systemy te były w stanie wytwarzać części metalowe poprzez spiekanie proszku, ale w wielu przypadkach właściwości mechaniczne materiałów były porównywalne z kompozytami, a nie stopami metali.

#### **Dlaczego?**

– Ze względu na połączenie materiału o niskiej temperaturze topnienia, na przykład osnowy na bazie brązu, z materiałem o bardzo wysokiej odporności, na przykład stali nierdzewnej lub stali narzędziowej. W 2002 roku firma Precision Optical Manufacturing rozpoczęła sprzedaż swoich systemów do laserowego, bezpośredniego osadzania metalu (DMD), procesu, który wytwarza i naprawia części przy użyciu proszku metalowego.

#### **Jak jest obecnie z dostępnością technologii?**

– Obecnie dostępnych jest wiele różnych technologii stosowanych w metalowych systemach wytwarzania przyrostowego. Systemy można klasyfikować według źródła energii lub sposobu łączenia materiału, na przykład za pomocą spoiwa, lasera, podgrzewanej dyszy. Klasyfikacja jest również możliwa według grupy przetwarzanych materiałów, takich jak choćby tworzywa sztuczne, metale, ceramika. Stany surowca, przy czym najczęściej są to ciała stałe, jak proszek i drut lub arkusz bądź ciecz, są również używane do zdefiniowania procesu.

#### **Na czym polega system rozprowadzania proszku?**

– Niemal każdy system oparty na złożu proszku wykorzystuje metodę osadzania się proszku, składającą się z mechanizmu powlekania w celu rozprowadzenia warstwy proszku na płycie podłoża i zbiorniku proszku. Warstwy mogą mieć grubość od dwudziestu do nawet około stu mikrometrów. Po rozłożeniu warstwy proszkowej, plasterki 2D jest łączony ze sobą i znany jako druk 3D lub topiony za pomocą wiązki energii przykładanej do złoża proszku.

#### **Co jest źródłem energii w tym drugim przypadku?**

– Laser dużej mocy, ale najnowocześniejsze systemy mogą wykorzystywać dwa lub więcej laserów



o różnej mocy, w atmosferze gazu obojętnego. Systemy z bezpośrednim procesem złoża proszkowego są znane jako „procesy topienia laserowego”, a w handlu dostępne pod różnymi nazwami, na przykład: selektywne topienie laserowe (SLM), laserowe wywoływanie i bezpośrednie spiekanie laserowe metali (DMLS). Wyjątkiem jest topienie wiązki elektronów (EBM). W tym procesie wykorzystuje się wiązkę elektronów w pełnej próżni.

#### **Jakie materiały wykorzystuje się w procesie natryskiwania spoiwa?**

– Generalnie materiały są dwa: na bazie proszku i środek wiążący. Spoiwo działa podobnie jak klej pomiędzy warstwami proszku. Środek wiążący jest zwykle w postaci płynnej, a materiał budowlany w proszku. Głowica drukująca porusza się poziomo wzdłuż osi X i Y maszyny, a osadza naprzemienne warstwy materiału konstrukcyjnego i wiążącego. Po każdej drukowanej objętości jest opuszczany na platformie roboczej.

#### **Na czym polega ostatnia część drukowania?**

– Przebiega tak samo jak wcześniejsze, drukowanie to proces stały i niezmienny, zachowuje rytm metodycznych ruchów głowicy. Do momentu powstania elementu czekamy na to, co dzieje się za szybą bezpieczeństwa. Po zakończeniu drukowania części są wykopywane, czyli wydobywane z proszku przy użyciu

sprężonego powietrza. W dalszej kolejności poddawane procesowi utwardzania, po czym następuje proces spiekania w wysokiej temperaturze w piecu metalurgicznym.

#### **Jak gruba jest warstwa osadzanego materiału?**

– Proces jest bardzo precyzyjny i oparty na automatyzowanym nakładaniu warstwy materiału o grubości od jednej dziesiątej milimetra do kilku centymetrów. Systemy zasilane proszkiem są też znane jako: okładziny laserowe, ukierunkowane osadzanie energii i laserowe osadzanie metalu. Metalurgiczne wiązanie materiału okładzinowego z materiałem podstawowym i brak podcięcia – to niektóre cechy tego procesu.

#### **Czym różni się on od na przykład technik spawalniczych?**

– Wieloma cechami, w tym między innymi tym, że niewielki dopływ ciepła przenika do podłoża. Różnorodność materiałów dostępnych dla metalowych systemów AM powiększa się stale i systematycznie, co dobrze rokuje dla przyszłości i rozwoju tej technologii. Na dzisiaj, jak wynika również z naszych doświadczeń, najczęściej stosowanymi materiałami są: aluminium, stal nierdzewna, nikiel, kobalt-chrom i stopy tytanu, ale wielu producentów maszyn oferuje własne materiały.





### Jakie znaczenie ma jakość i właściwości użytego do druku materiału?

– Cechy materiału mają znaczenie fundamentalne. Właściwości materiału, jak: wytrzymałość na rozciąganie, twardość i wydłużenie, są często wykorzystywane jako punkty odniesienia przy podejmowaniu istotnych decyzji, w tym o użyciu konkretnego, najlepszego w danej sytuacji, materiału. Powszechnymi specyfikacjami proszków metali odpowiednich dla AM są: sferyczna geometria cząstek wynikająca z atomizacji gazu oraz rozkład wielkości cząstek w zależności od grubości warstwy. Trwają badania i wysiłki na rzecz standaryzacji procesów i materiałów, co jest ważnym krokiem do lepszego porównania produktów i szybszego wprowadzenia do istniejących łańcuchów procesów.

### Czy po zakończeniu druku komponenty wymagają jeszcze dostosowawczych prac dodatkowych?

– Aby osiągnąć niezbędne specyfikacje lub poprawić właściwości, takie jak na przykład jakość powierzchni, dokładność geometryczna i właściwości mechaniczne, często konieczne jest przetwarzanie końcowe i wykańczanie komponentów wytwarzanych technikami produkcji przyrostowej. Wartości chropowatości powierzchni dla selektywnie stopionych laserowo części metalowych wynoszą zwykle od piętnastu do czterdziestu mikrometrów. Większość

cech fizycznych komponentów można poprawić, dodając ugruntowane procesy produkcyjne na końcu łańcucha procesów AM.

### Czy elementy już wydrukowane mogą podlegać dalszej obróbce?

– Tak. To kolejna zaleta Additive Manufacturing. Po usunięciu konstrukcji wsporczych w celu oddzielenia części od platformy roboczej, produkty można frezować, wiercić, polerować i tak dalej. Można je więc dostosowywać dokładnie do potrzeb zlecających. Powierzchnie wewnętrzne, znajdujące się na przykład w kanałach wewnętrznych, można polerować za pomocą obróbki strumieniowo-ściernej. Obróbka cieplna jest często zawarta w łańcuchu procesowym, a także śrutowanie, które jest stosowane w celu poprawy właściwości mechanicznych i dotychczasowych powierzchni części AM.

### Jakie znaczenie ma druk AM dla inżyniera?

– Druk AM uzupełnia szeroką grupę procesów produkcyjnych, umożliwiając inżynierom, ale też na przykład projektantom, ulepszanie istniejących łańcuchów procesów oraz oferowanie nowych możliwości wyrobu. Druk 3D z metalu należy do klasy przełomowych technologii, zasadniczo zmieniających nasze myślenie o projektowaniu i produkcji. Co najważniejsze: od towarów konsumpcyjnych pro-



dukowanych w małych partiach, aż po produkcję na dużą skalę, zastosowania AM są ogromne.

### Jakie są dzisiaj, po bez mała trzydziestu latach eksperymentowania i rozwoju tej technologii, największe zalety druku 3D z metalu?

– Najważniejsze i najbardziej cenione zalety wynikają z wysokiej elastyczności tej technologii, ponieważ produkt jest wytwarzany bezpośrednio z modelu CAD, a więc bez potrzeby oprzyrządowania. Pozwala to

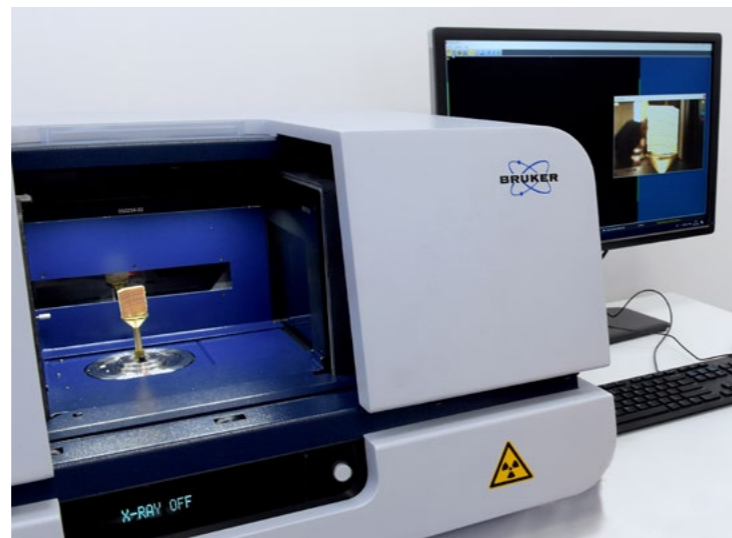
również wytworzyć prawie dowolną geometrię, którą można zaprojektować. Do niedawna zewnętrzna geometria części oraz jej funkcja lub wytrzymałość były przedmiotem zainteresowania użytkownika, lecz AM umożliwia integrację dodatkowych funkcji i nowych obszarów zastosowania części technicznych.

Rozmawiał:  
Mateusz Stankiewicz





# STACJONARNY SYSTEM DO MIKROTOMOGRFII KOMPUTEROWEJ MIKROTOMOGRF BRUKER SKYSCAN 1275



## GŁÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- maksymalna średnica skanowania próbki 96 mm, maksymalna wysokość próbki 120 mm,
- źródło promieniowania z ciągłą zmianą piklu energetycznego w zakresie 20-100 kV,
- rozmiar voxela: <math>< 4 \mu\text{m}</math>,
- przystawka do ściskania maksymalny nacisk 4400 N.

## ZAKRES PRAC BADAWCZYCH:

- analiza 3D morfologii materiałów i kompozytów,
- obrazowanie struktury materii,
- obrazowanie przekrojów próbki w dowolnej płaszczyźnie,
- identyfikacja budowy wewnętrznej materiału porowatego, rozkładu cząstek, włókien porów, itd. oraz określanie jego gęstości,
- identyfikacja kształtu i wielkości elementów strukturalnych oraz ich rozmieszczenia w objętości materiału badanego,
- identyfikacja parametrów geometrycznych warstw materiałów kompozytowych.

# DYFRAKTOMETR RENTGENOWSKI PANALYTICAL EMPYREAN



## ZAKRES PRAC BADAWCZYCH:

- analiza fazowa jakościowa i ilościowa,
- analiza struktury materiałów,
- analiza krystalograficzna materiałów,
- analiza stanów naprężeń w powłokach PVD,
- analiza fazowa i badania strukturalne próbek proszkowych.

## OPROGRAMOWANIE DYFRAKTOMETRU:

- program sterujący pracą dyfraktometru i zbieraniem danych,
- program do identyfikacji fazowej i analizy Rietvelda współpracujący z kartoteką ICDD I ICSD,
- program do analizy naprężeń,
- program do analizy tekstury,
- program do analizy cienkich warstw (reflektometria),
- program do analizy niskokątowego rozproszenia SAXS,
- baza danych krystalograficznych ICDD/PDF-4+.





# DRUKARKA 3D DO SELEKTYWNEGO STAPIANIA LASEROWEGO PROSZKÓW METALICZNYCH COHERENT CREATOR



## GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- obszar roboczy (średnica x wysokość): 100 mm x 110 mm,
- moc lasera: 250 W,
- bezpośrednio buduje metalowe części i komponenty o bardzo złożonej geometrii,
- obsługa i przetwarzanie danych do druku odbywa się bezpośrednio poprzez plik CAD,
- wysoka rozdzielczość zapewnia doskonałą jakość powierzchni.

## MOŻLIWOŚĆ WYDRUKU Z NASTĘPUJĄCYCH MATERIAŁÓW:

- stal nierdzewna 316L,
- kobalt-chrom,
- tytan.







## DRUKARKA 3D DO WYTWARZANIA CZĘŚCI METODĄ PROSZKÓW SPIEKANYCH EXONE INNOVENT+



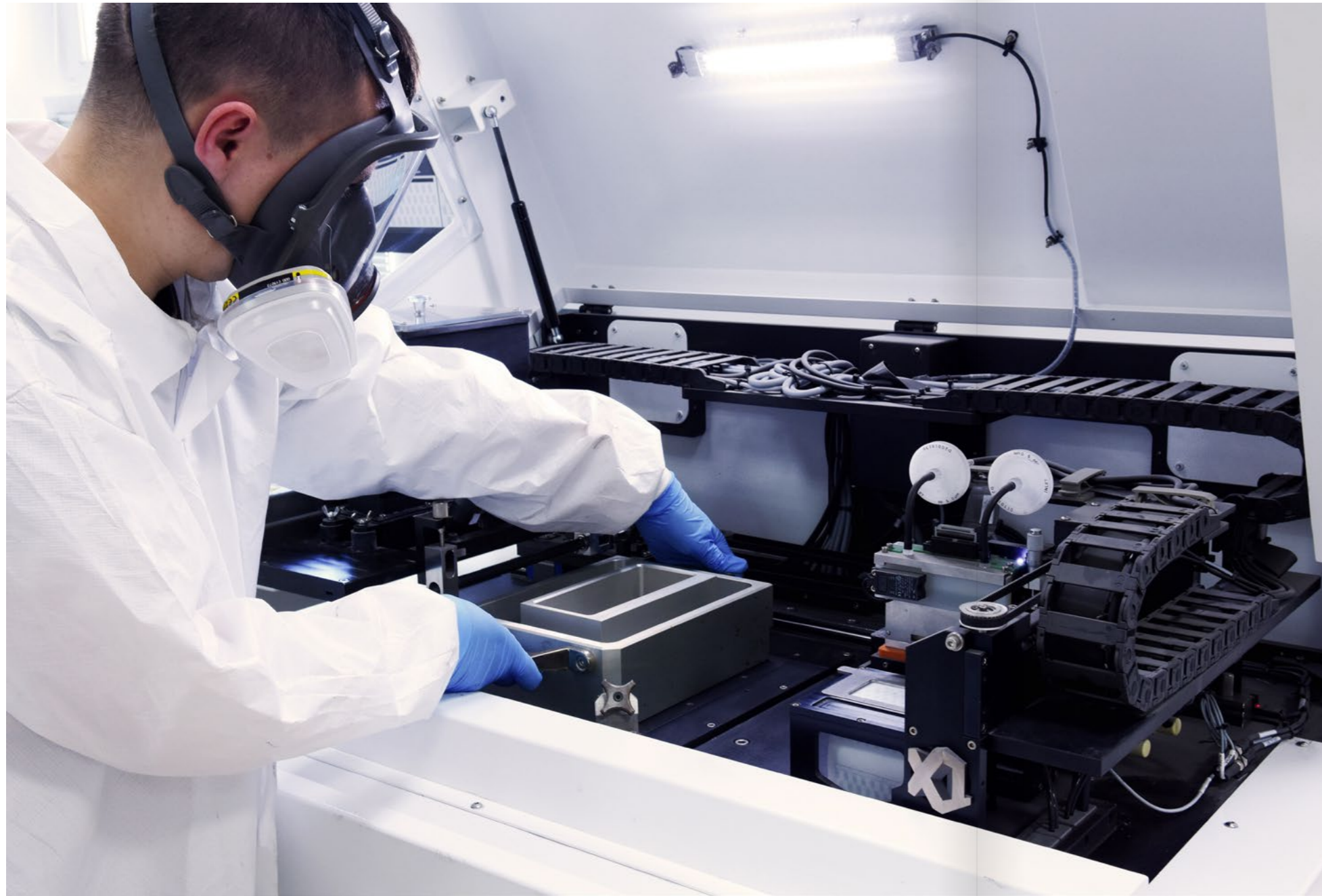
### GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- drukowanie w technologii Binder Jetting,
- brak konieczności tworzenia podpór dla drukowanej części,
- obszar roboczy: 160 x 65 x 65 mm,
- objętość skrzyni roboczej: 0,676 l,
- wysokość warstwy: 30-200  $\mu\text{m}$ .

### MOŻLIWOŚĆ WYDRUKU Z NASTĘPUJĄCYCH MATERIAŁÓW:

- stal nierdzewna 316L,
- stal nierdzewna 304L,
- stal nierdzewna 420,
- stal nierdzewna 17-4PH.





# ANALIZATOR TERMICZNY NETZSCH STA 449 F3 JUPITER FTIR PERSEUS



## ZAKRES PRAC BADAWCZYCH:

- identyfikacja składu chemicznego analizowanego materiału,
- badanie zmian wybranych właściwości fizycznych materiału pod wpływem zmieniającej się w zadany sposób temperatury w atmosferze utleniającej bądź obojętnej (np. trwałości termicznej, wilgotności, odporności korozyjnej),
- ocena przebiegu procesów chemicznych i przemian fazowych zachodzących w określonym materiale pod wpływem ogrzewania,
- identyfikacja parametrów termodynamicznych reakcji zachodzących podczas ogrzewania materiału,
- wyznaczanie ciepła właściwego, oznaczanie czystości substancji,
- wyznaczanie temperatury topnienia i rozkładu substancji,
- wyznaczanie czasu życia (wiązań) żywic polimerowych w kompozytach polimerowodrzewnych,
- badania prowadzone w warunkach laboratoryjnych.

# WIELOFUNKCYJNA MASZYNA WYTRZYMAŁOŚCIOWA ZWICK Z400E Z NAPĘDEM ELEKTROMECHANICZNYM



## GŁÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- obszar roboczy (średnica x wysokość): 100 mm x 110 mm,
- moc lasera: 250 W,
- bezpośrednio buduje metalowe części i komponenty o bardzo złożonej geometrii,
- obsługa i przetwarzanie danych do druku odbywa się bezpośrednio poprzez plik CAD,
- wysoka rozdzielczość zapewnia doskonałą jakość powierzchni.

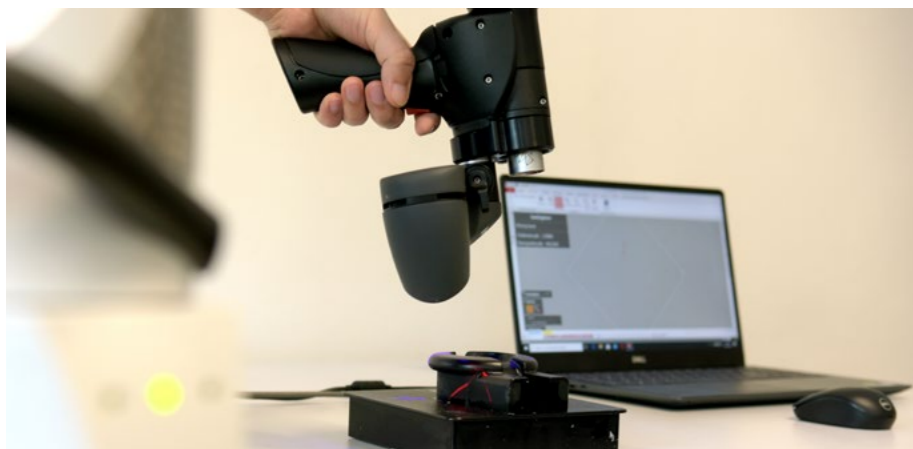
## MOŻLIWOŚĆ WYDRUKU Z NASTĘPUJĄCYCH MATERIAŁÓW:

- stal nierdzewna 316L,
- kobalt-chrom,
- tytan.





## MODELMAKER H120 I MCAX S

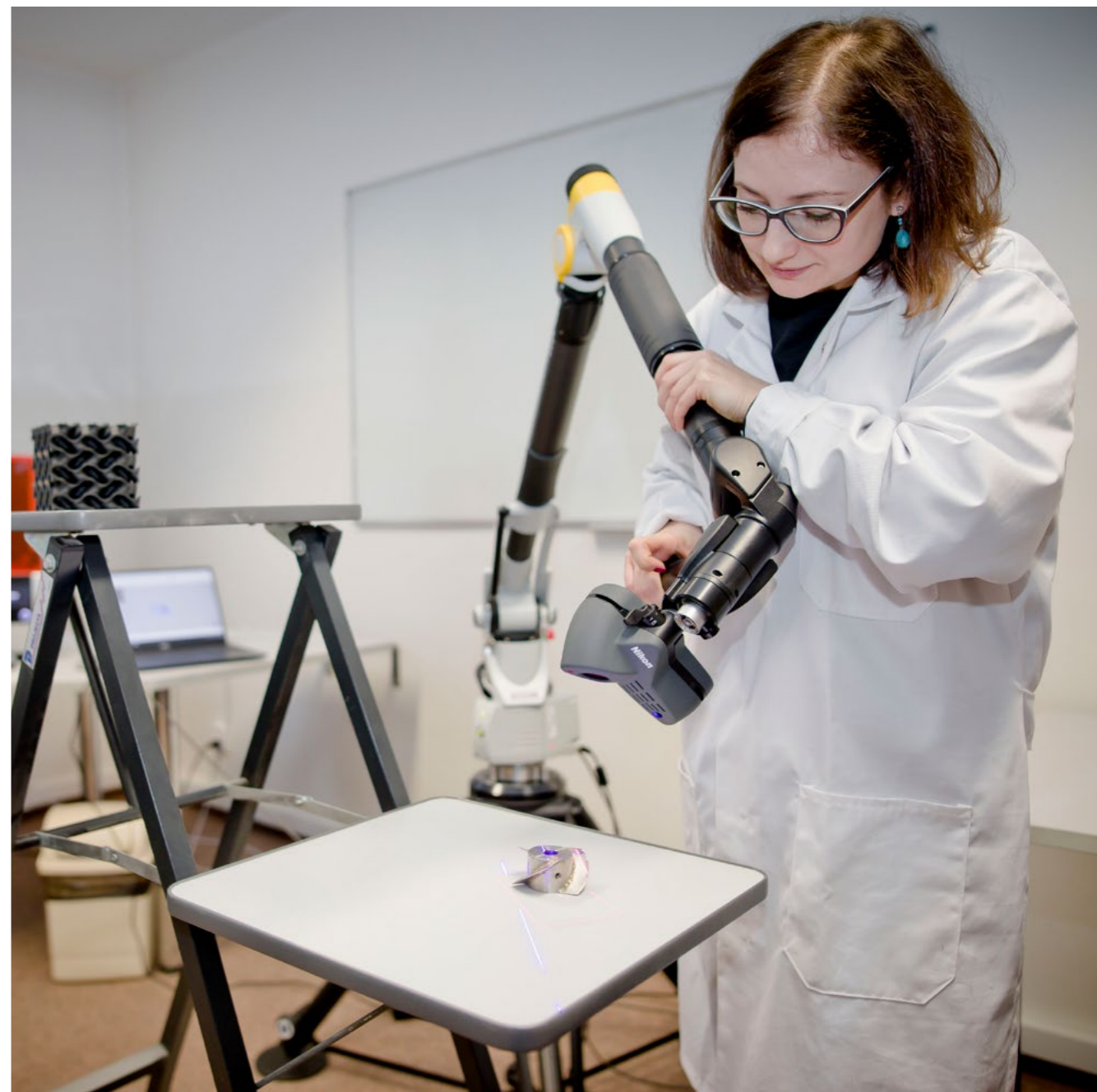


### GŁÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- drukowanie w technologii Binder Jetting,
- brak konieczności tworzenia podpór dla drukowanej części,
- obszar roboczy: 160 x 65 x 65 mm,
- objętość skrzyni roboczej: 0,676 l,
- wysokość warstwy: 30-200  $\mu\text{m}$ .

### MOŻLIWOŚĆ WYDRUKU Z NASTĘPUJĄCYCH MATERIAŁÓW:

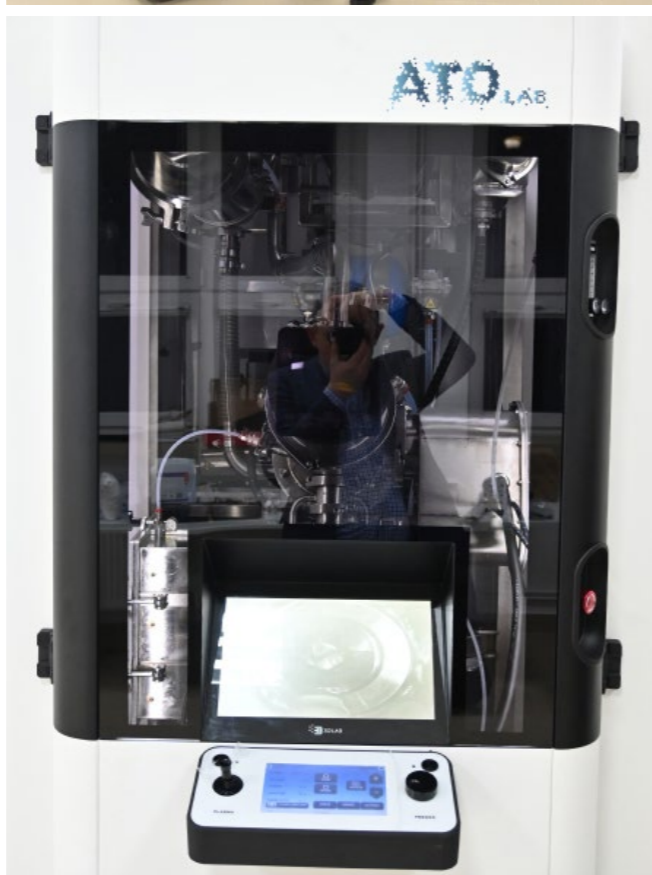
- stal nierdzewna 316L,
- stal nierdzewna 304L,
- stal nierdzewna 420,
- stal nierdzewna 17-4PH.







# ATOMIZER DO PRODUKCJI PROSZKÓW METALI ATO LAB

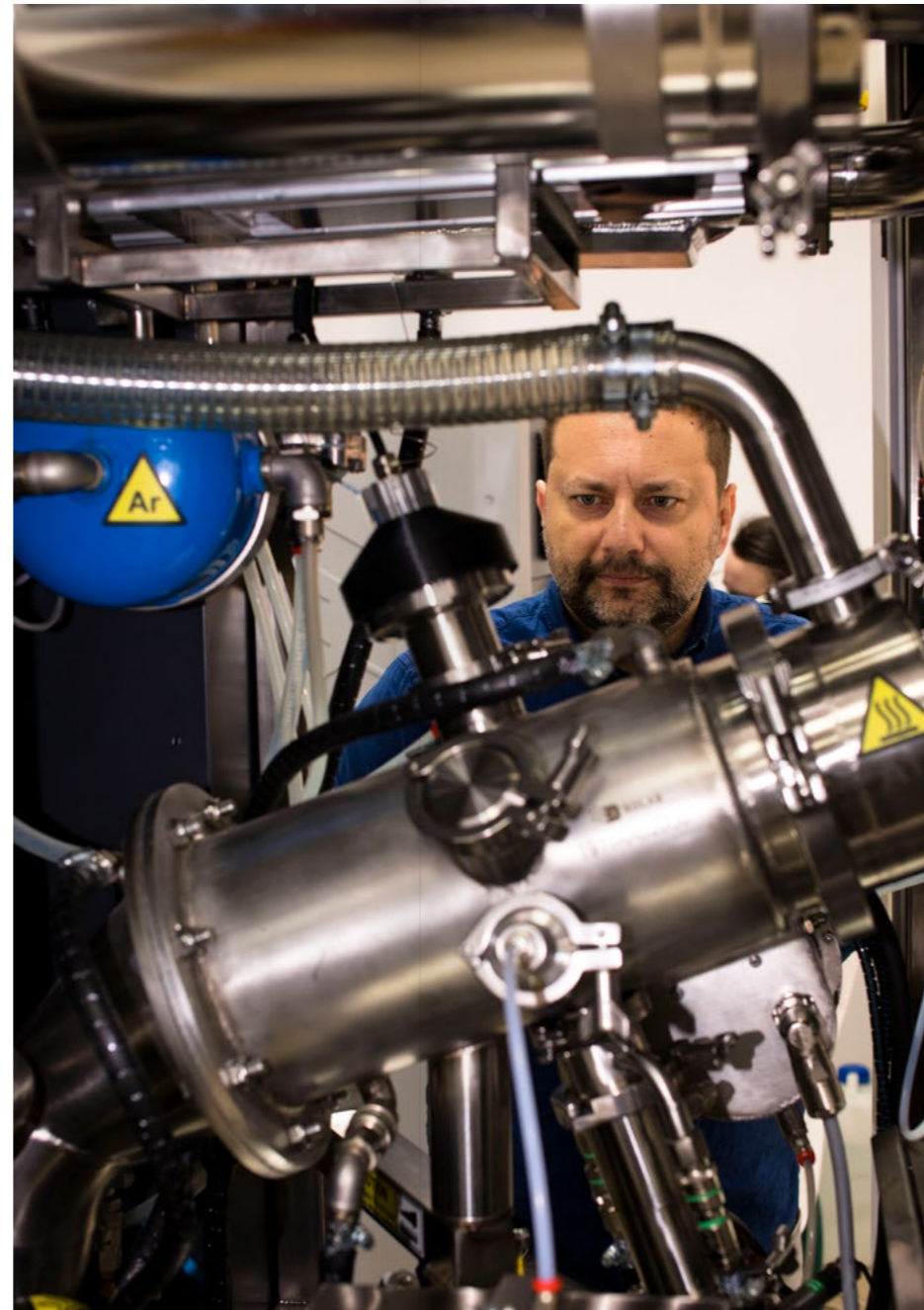


## GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU TO:

- Proces: produkcja proszków metali
- Technologia: atomizacji ultradźwiękowej
- Metoda topienia: palnik plazmowy
- Gaz obojętny: argon
- Typ sonotrody: sonotroda nanostopowa
- Rodzaj wytwarzanego proszku:  
proszek o kształcie sferycznym
- Forma przetwarzanego materiału: drut, pręt
- Możliwość przetworzenia na proszek:  
Fe, Al, Ti, podstawowe stopy













## SKANER 3D GOM ARAMIS ADJUSTABLE BASE 12M ESSENTIONAL



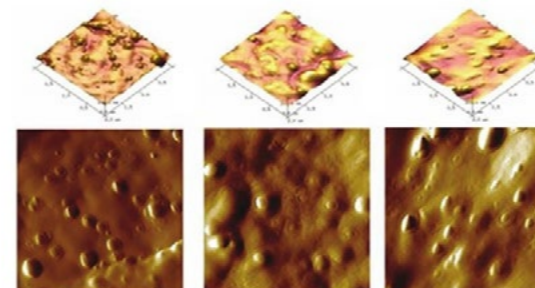
### GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU TO:

- Rozdzielczość do 4096 x 3000 pikseli,
- Częstotliwość wykonywania zdjęć: do 100 Hz,
- Zapis analogowych sygnałów z czujników do 8 kanałów.

### ZAKRES PRAC BADAWCZYCH:

- bezkontaktowy pomiar przestrzennych przemieszczeń charakterystycznych punktów elementu poddanego działaniu sił zewnętrznych,
- rejestracja zjawisk zachodzących podczas destrukcji materiału poddanego działaniu sił zewnętrznych z częstotliwością do kilkuset zdjęć na sekundę,
- określanie parametrów wytrzymałościowych materiału na podstawie jego odkształceń pod działaniem sił zewnętrznych,
- możliwość realizacji badań poza laboratorium

## POMIARY MIKROSKOPEM SIŁ ATOMOWYCH



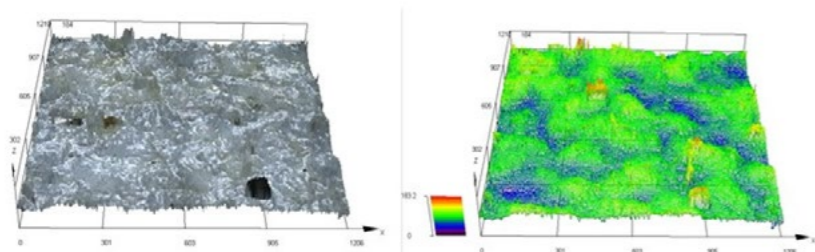
### GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

- Zakres pomiarowy (XY): 100  $\mu\text{m}$  < 5 nm Płaskość
- Zakres wysokości (Z): 12  $\mu\text{m}$  close loop
- Szum detektora (RMS): typ. 60 pm max. 100 pm
- Szum czujnika (RMS): typ. 180 pm max. 250 pm
- Szum dynamiczny (RMS): typ. 40 pm max. 70 pm
- Szum statyczny (RMS): typ 100 pm max 200 pm





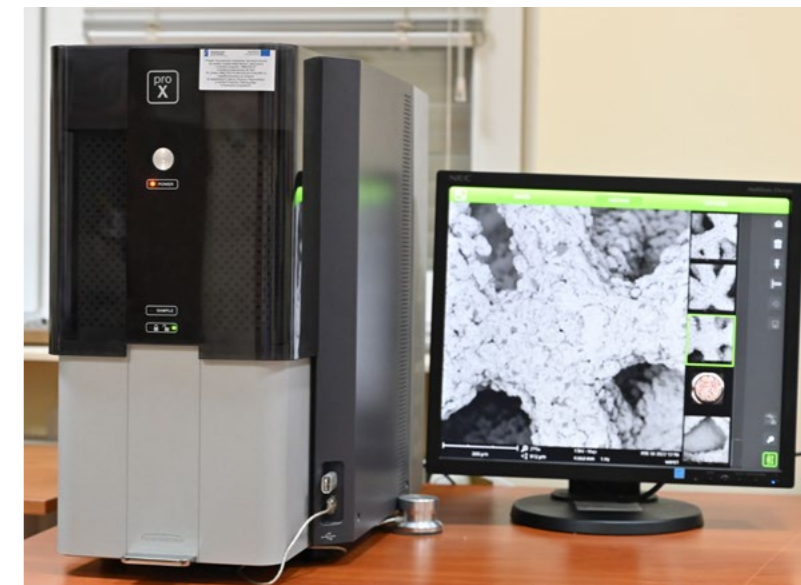
## POMIARY MIKROSKOPEM KONFOKALNYM



### GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

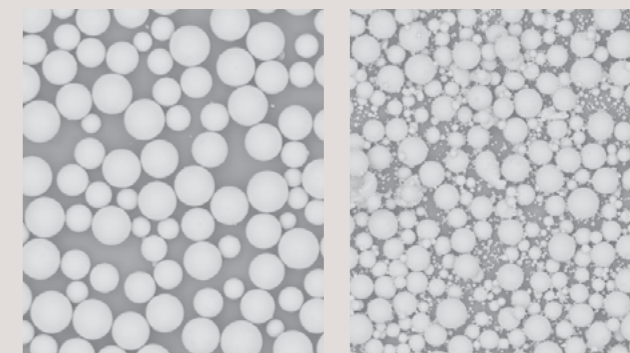
- Zakres powiększenia: 108x do 17 280x
- Pomiar zbocza: max 85 deg
- Powtarzalność w pomiarze płaszczyzn: 0,02  $\mu\text{m}$  dla 100 pomiarów
- Dokładność w pomiarze płaszczyzn: 2%
- Powtarzalność w pomiarze wysokości: 0,012  $\mu\text{m}$  dla 50 pomiarów
- Dokładność w pomiarze wysokości:  $(0,2+L)/100 \mu\text{m}$
- Stitching: od 1 x 25 do 5 x 5
- Wbudowany układ antywibracyjny: tak
- Typ urządzenia: mikroskop konfokalny

## POMIAR SKANINGOWYM MIKROSKOPEM ELEKTRONOWYM



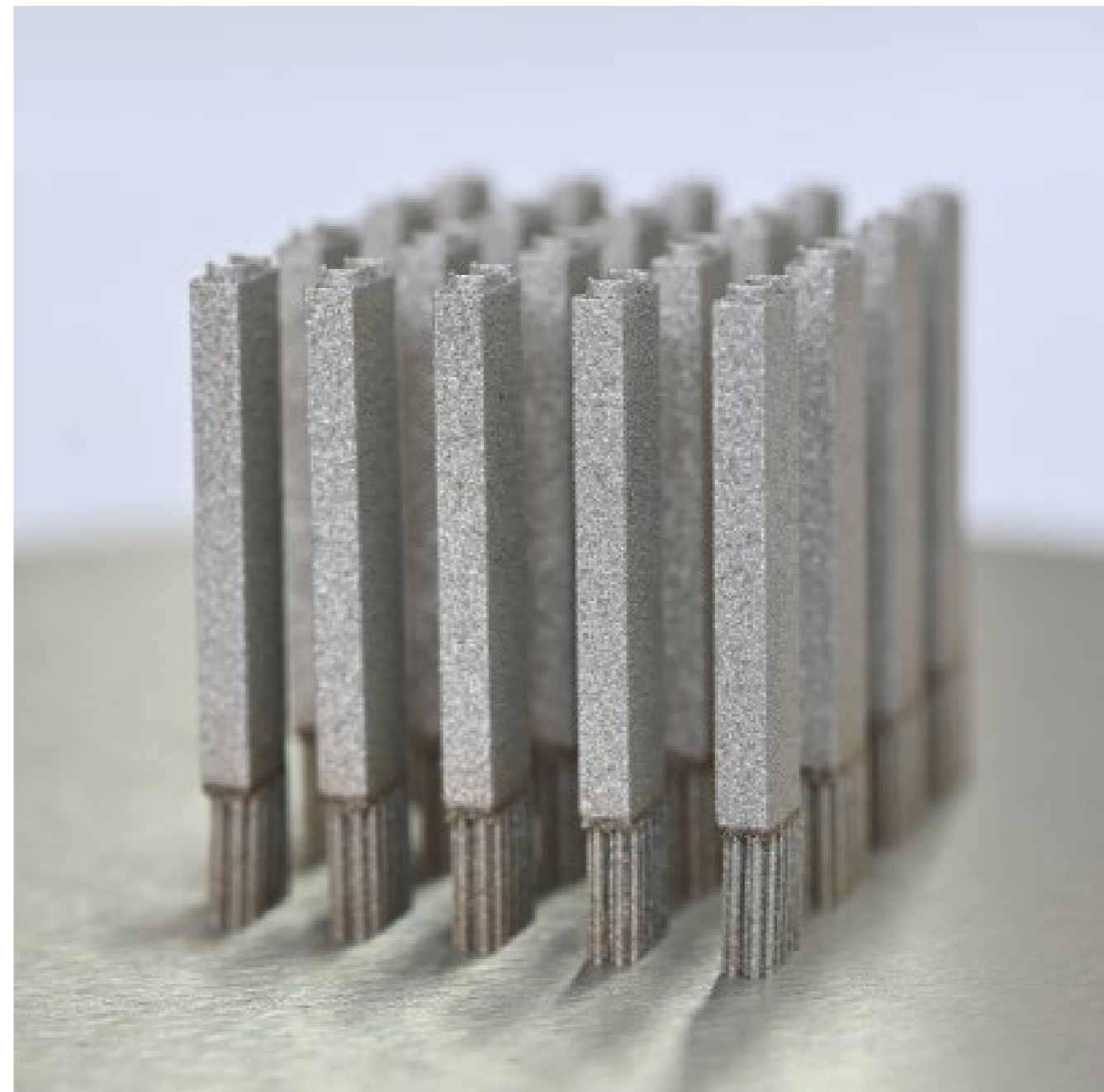
### GLÓWNE PARAMETRY SYSTEMU:

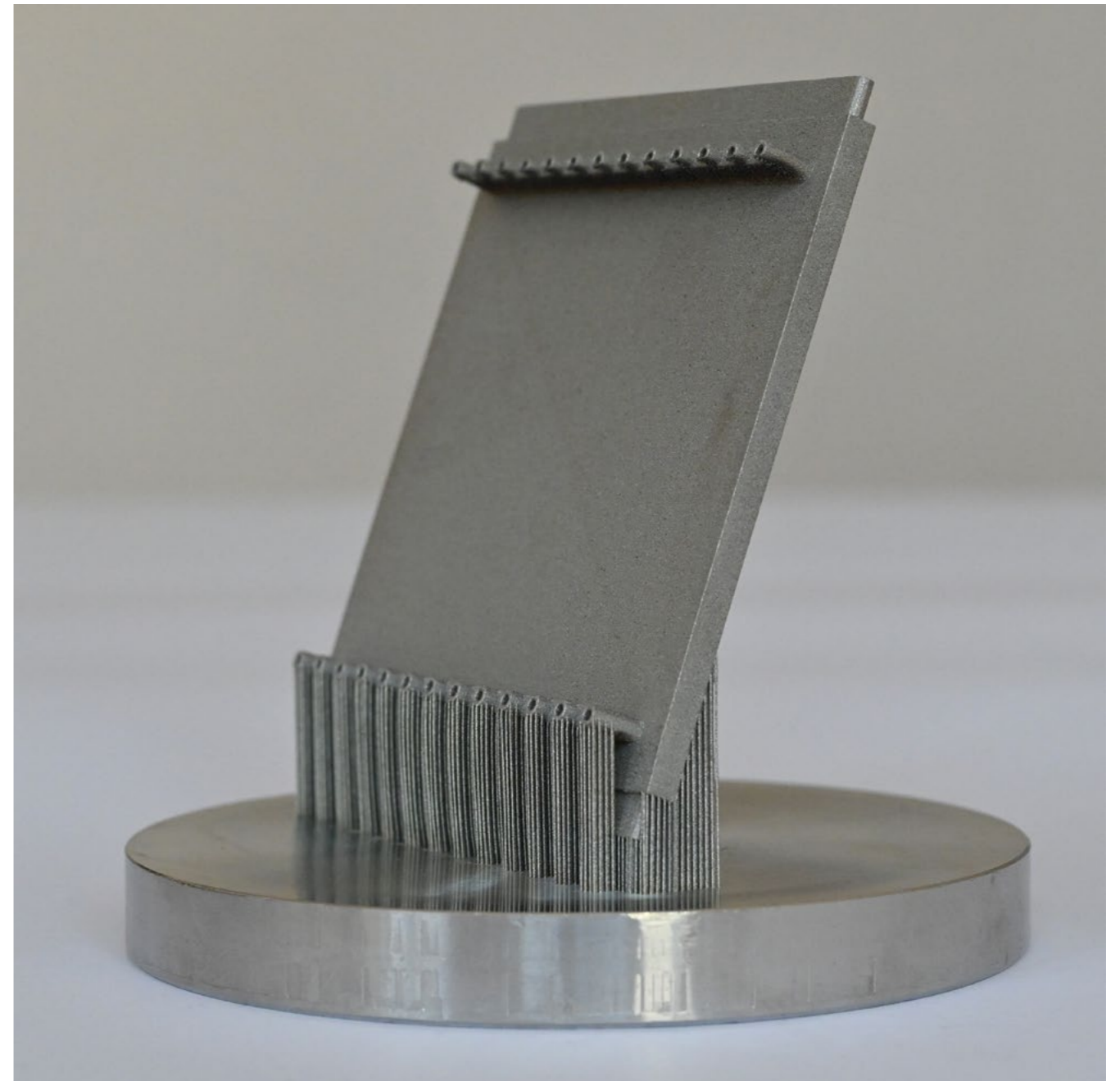
- Zakres pomiarowy (XY): 100  $\mu\text{m}$  < 5 nm Płaskość
- Zakres wysokości (Z): 12  $\mu\text{m}$  close loop
- Szum detektora (RMS): typ. 60 pm max. 100 pm
- Szum czujnika (RMS): typ. 180 pm max. 250 pm
- Szum dynamiczny (RMS): typ. 40 pm max. 70 pm
- Szum statyczny (RMS): typ 100 pm max 200 pm















## CENTRUM SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA

Politechnika Koszalińska,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki,  
ul. Raławicka 15-17,  
75-620 Koszalin, tel.: 94 34 78 341,  
tel. kom. 609 313 610,  
[csp@tu.koszalin.pl](mailto:csp@tu.koszalin.pl)

[csp.tu.koszalin.pl](http://csp.tu.koszalin.pl)

