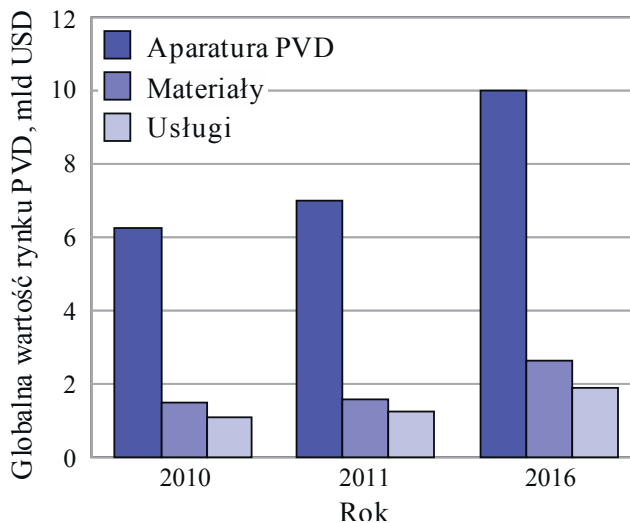


### 3. Teza, cel i zakres pracy

#### 3.1. Geneza pracy

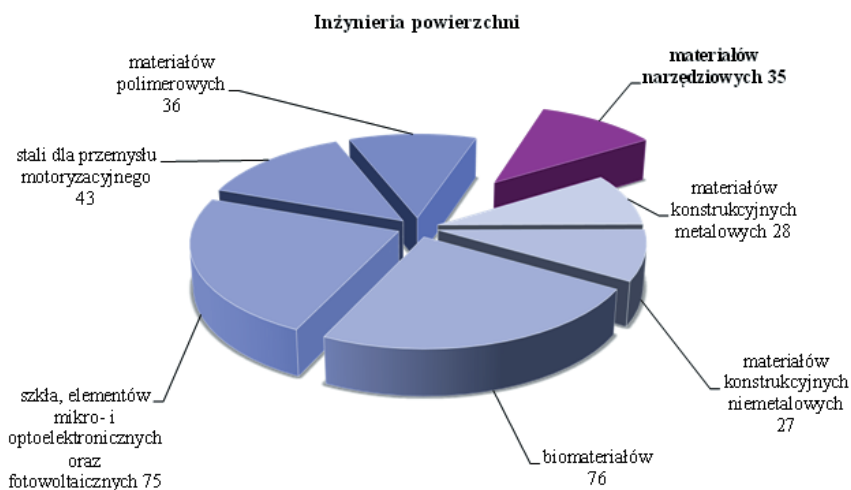
Rozwój współczesnej nauki i techniki umożliwia realizację wymagań, jakie stawia się współczesnym materiałom inżynierskim, w tym również spiekany materiałom narzędziowym. Coraz wyższa temperatura pracy, wysokie i złożone obciążenia, eksploatacja w warunkach agresywnych środowisk i zmiennych obciążeń, stwarzają konieczność ulepszenia istniejących lub opracowania nowych materiałów, o wysokich własnościach fizykochemicznych, eksploatacyjnych oraz cechujących się dużą trwałością i łatwością wytwarzania. Osiągnięcie wymaganego wysokiego poziomu własności użytkowych w większości przypadków wiąże się z koniecznością udoskonalenia dostępnych technologii wytwarzania lub opracowania nowych. Nowoczesnym kierunkiem badań jest wykorzystanie techniki formowania wtryskowego proszku w celu wytwarzania spiekanych materiałów narzędziowych. Techniki formowania i spiekania proszków dają szerokie możliwości doboru składu chemicznego produkowanych materiałów narzędziowych. Z drugiej strony postęp w zakresie wytwarzania i zwiększania trwałości eksploatacyjnej elementów konstrukcyjnych i narzędzi, znajdujących zastosowanie w różnych dziedzinach życia, dokonuje się w głównej mierze dzięki coraz powszechniejszemu wykorzystaniu technik nanoszenia cienkich powłok.



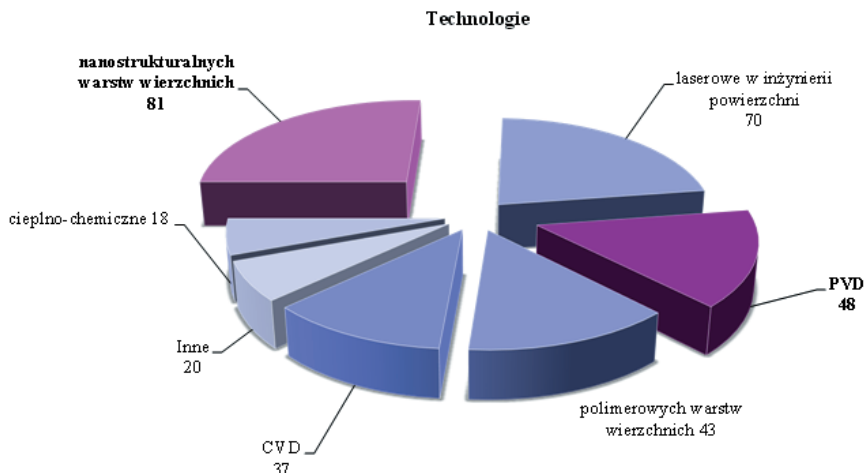
*Rysunek 3.1. Globalna wartość rynku PVD w latach 2010-2016 (mld USD) [20]*

Szeroki wybór dostępnych obecnie rodzajów powłok oraz technologii ich nanoszenia jest efektem wzrastającego w ostatnich latach zapotrzebowania na nowoczesne metody modyfikacji i ochrony powierzchni materiałów. Światowy rynek zastosowań technologii PVD wykazuje stałą tendencję wzrostową. Przewiduje się wyraźny wzrost wartości globalnego rynku tej technologii w kolejnych latach (rysunek 3.1). Z analizy literaturowej wynika, że stosowanie twardych przeciwzużyciowych nanostrukturalnych powłok, nanoszonych na materiały narzędziowe metodami fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD), zalicza się do istotnych dokonań ostatnich lat w zakresie polepszania walorów eksploatacyjnych narzędzi. Nanoszenie nanokrystalicznych, nanokompozytowych powłok na materiałach narzędziowych ceramiczno-metalowych pozwala między innymi osiągnąć wyraźny wzrost ich trwałości i jakości obrabianych nimi powierzchni, obniżyć koszty obróbki i wyeliminować ciecze chłodzące stosowane w obróbce skrawaniem i tym samym zmniejszyć niekorzystny wpływ na środowisko naturalne.

Powszechność wykorzystywania obróbki skrawaniem sprawia, że koniecznym staje się intensyfikacja prac badawczych w obszarze wytwarzania materiałów narzędziowych oraz doboru materiału na narzędzia, technologii nanoszenia powłok odpornych na zużycie, jak również opracowanie i zweryfikowanie w warunkach przemysłowych technologii skrawania na sucho. Jest to nowoczesny kierunek poszukiwań technologicznych, atrakcyjny badawczo, o międzynarodowym zasięgu.



**Rysunek 3.2.** Wyniki badań heurystycznych (procent opinii eksperckich), dotyczących oceny udziału różnych grup materiałów inżynierskich w obszarze inżynierii powierzchni, których znaczenie powinno wzrastać w ciągu najbliższych 20 lat [18]



**Rysunek 3.3.** Wyniki badań heurystycznych (procent opinii eksperckich), dotyczących oceny kluczowych technologii w obszarze inżynierii powierzchni, których znaczenie powinno wzrastać w ciągu najbliższych 20 lat [18]

Analizy foresightowe w zakresie rozwoju materiałów inżynierskich, technologii i inżynierii powierzchni wskazują na wzrostowe trendy, zarówno w Polsce, jak i na świecie, w wytwarzaniu powłok w nanoskali (nanokompozytowych, nanokrystalicznych, nanowarstwowych), wykorzystując metody fizycznego osadzania z fazy gazowej (rysunki 3.2 i 3.3) [2, 16, 18, 232-239].

### 3.2. Teza i cel pracy

W celu uzyskania narzędzi o wymaganych własnościach użytkowych poszukiwane są materiały narzędziowe, spełniające coraz precyzyjniejsze wymagania. O wyborze materiału na narzędzie decyduje między innymi sposób jego wykorzystania oraz niszczenia. Zatem istotnym jest ustalenie kryteriów zużycia narzędzi oraz określenie korelacji między pożądaną strukturą i własnościami użytkowymi materiałów narzędziowych, przy których kryteria te mogą być spełnione.

Badania własne oraz analiza literatury wykazują, że wytworzenie materiału narzędziowego, spełniającego zapotrzebowanie rynku na narzędzia o wymaganych wysokich własnościach eksploatacyjnych, możliwe jest w kilku obszarach, m.in. dzięki wykorzystaniu innowacyjnych technologii lub modyfikacji dotychczasowych technik wytwarzania, a także w wyniku implementacji innych technologii, wykorzystywanych np. w przemyśle materiałów polimerowych na potrzeby przemysłu narzędziowego – formowania wtryskowego proszku do

produkcji narzędzi skrawających. Perspektywa wytwarzania materiałów narzędziowych o pożądanej strukturze i własnościach użytkowych, zarówno w strefie rdzenia narzędzia, jak i w jego warstwie powierzchniowej, możliwa jest dzięki wykorzystaniu hybrydowych technologii łączących metody formowania wtryskowego i konsolidacji proszków z technologiami modyfikacji warstwy wierzchniej. Szczególnie wykorzystywanie metod PVD do nanoszenia przeciwzużyciowych powłok wpływa na zwiększanie trwałości narzędzi znajdujących swoje przeznaczenie w wysokowydajnej obróbce ubytkowej, dlatego też potrzeba opracowania i wytwarzania materiałów narzędziowych ze zmodyfikowaną warstwą wierzchnią jest jak najbardziej zasadna. Aktualny stan wiedzy w zakresie wykorzystania różnych technik PVD w celu konstytuowania powłok o zadanych własnościach wskazuje na to, że do tej pory nie wykorzystano w pełni potencjału i wszystkich możliwości związanych z opracowaniem i wytwarzaniem przeciwzużyciowych powłok na materiałach narzędziowych. Potwierdzeniem tego faktu może być ciągle rosnące zainteresowanie tą technologią wielu ośrodków naukowo-badawczych oraz przemysłu, a także finansowanie przez Narodowe Centrum Nauki oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju projektów badawczych, realizowanych w obszarze inżynierii powierzchni, wpisujących się w bieżące trendy badawcze. Wobec tego zasadnym jest poszukiwanie i pogłębianie wiedzy w obszarze inżynierii powierzchni, które umożliwi opracowanie najkorzystniejszego zestawienia własności podłoża i powłoki, a tym samym zapewni wysokie własności eksploatacyjne narzędzi.

Sformułowano następującą tezę pracy:

**O znaczącym wzroście trwałości eksploatacyjnej ostrza narzędzia skrawającego decyduje synergiczne oddziaływanie naprzemianległych nanokompozytowych warstw zewnętrznych powłoki, zapewniających m.in. wysoką twardość i odporność na ścieranie oraz odporność na rozprzestrzenianie się mikropęknięć powierzchniowych, zapobiegających wyszczerbieniu się narzędzia, ułożonych na warstwie gradientowej o zmieniającym się stężeniu aluminium i chromu lub aluminium i tytanu, rekompensującej naprężenia między warstwami w strefie przylegania oraz przyrdzeniowej warstwy, zapewniającej redukcję naprężeń, a tym samym bardzo dobre przyleganie powłoki do podłoża pomimo relatywnie niskiej twardości, z podłożem wytwarzanym z materiałów narzędziowych ceramiczno-metalowych metodą formowania wtryskowego proszku, umożliwiającą zapewnienie pożądanego, złożonego kształtu narzędzia.**

Zasadniczym celem pracy jest opracowanie technologii wytwarzania materiałów narzędziowych ceramiczno-metalowych na bazie osnowy kobaltowej lub kobaltowo-niklowej i faz węglkowych z zastosowaniem polimerowego lepiszcza w celu formowania wtryskowego proszku oraz opracowanie metodyki modyfikacji warstwy wierzchniej wytworzonych narzędzi, w oparciu o analizę struktury i własności uzyskanych powłok metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej, katodowego odparowania łukowego z bocznymi obracającymi się katodami CAE LARC.

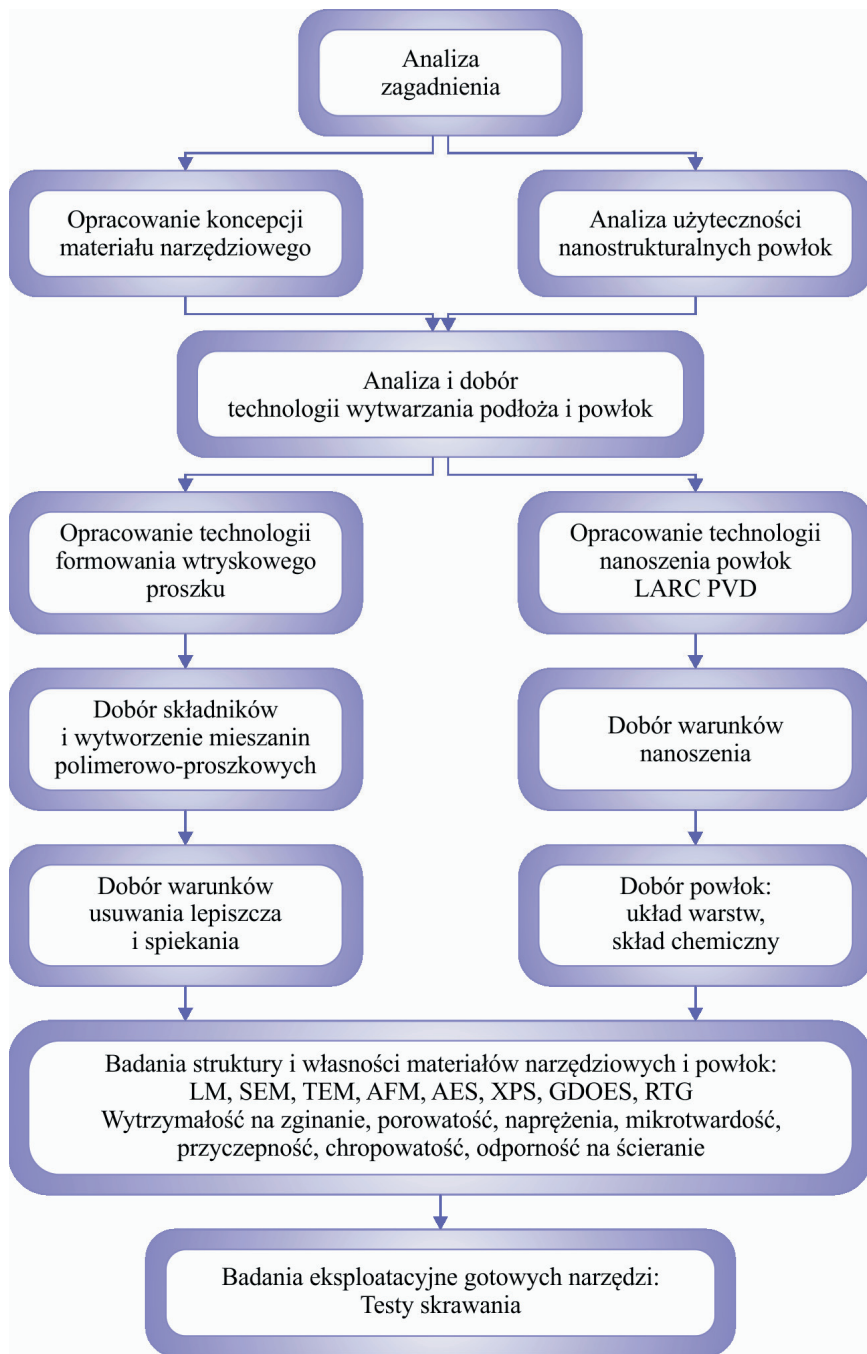
### 3.3. Zakres pracy

Wykonano badania i analizy, których schemat przedstawiono na rysunku 3.4.

Do wytworzenia materiałów narzędziowych ceramiczno-metalowych na bazie osnowy kobaltowej lub kobaltowo-niklowej, wzmacnianych fazami węglkowymi typu WC, TiC, TaC, NbC, VC zastosowano metodę formowania wtryskowego proszku, umożliwiającą wytwarzanie narzędzi o końcowych kształtach. W drugim etapie na wytworzone materiały narzędziowe ceramiczno-metalowe naniesiono nanokrystaliczne, nanokompozytowe, przeciwzużyciowe powłoki typu CrAlSiN oraz AlTiSiN z wykorzystaniem metody CAE LARC.

W ramach zrealizowanej pracy wykonano badania obejmujące:

- opracowanie technologii wytwarzania materiałów narzędziowych ceramiczno-metalowych z wykorzystaniem formowania wtryskowego proszku,
- badania własności reologicznych gęstwy polimerowo-proszkowej w zależności od rodzaju i udziału objętościowego polimerowego lepiszcza,
- badania wpływu rodzaju lepiszcza oraz jego temperatury i atmosfery degradacji na strukturę i własności mechaniczne formowanych wtryskowo materiałów,
- badania struktury i własności wytworzonych materiałów narzędziowych ceramiczno-metalowych,
- opracowanie technologii nanoszenia nanokrystalicznych, nanokompozytowych powłok, składających się z funkcjonalnych warstw o oczekiwanych własnościach,
- badania struktury i własności powłok naniesionych na materiały narzędziowe ceramiczno-metalowe, o oczekiwanych własnościach, m.in. wysokiej odporności na zużycie ścierne, korozyjne i dyfuzyjne, w warunkach pracy wysokowydajnych narzędzi, stosowanych w technologii obróbki skrawaniem.



Rysunek 3.4. Harmonogram przedstawiający zakres zrealizowanych prac badawczych