

### 3. Nowe metody foresightu technologicznego zastosowane w obszarze inżynierii powierzchni materiałów

#### 3.1. Znaczenie rozwoju inżynierii powierzchni materiałów inżynierskich

Obecnie w Świecie jest znanych i stosowanych ponad 100 tysięcy różnych materiałów inżynierskich. Wyniki badań wykonanych w ramach foresightu technologicznego Europy ogłoszonych w raportach z realizacji projektów *The Future of Manufacturing in Europe* (FutMan) [71] oraz *Manufacturing Visions The Futures Project* (ManVis) [72] wskazują na oczekiwanie na wytwarzanie materiałów o własnościach zamówionych przez użytkowników produktów. Należy dostarczać materiały o odpowiednio ukształtowanej strukturze gwarantującej wymagany zespół własności fizykochemicznych. Wytwarzanie materiałów na żądanie (ang.: *Materials on Demand* – MOD), spełniających potrzeby wytwórców produktów rynkowych w odpowiednim czasie i miejscu, stanowi priorytet współczesnych technologii materiałowych i procesów wytwarzania. Zagadnienia te wchodzą w zakres nauki o materiałach i inżynierii materiałowej oraz projektowania inżynierskiego produktów.

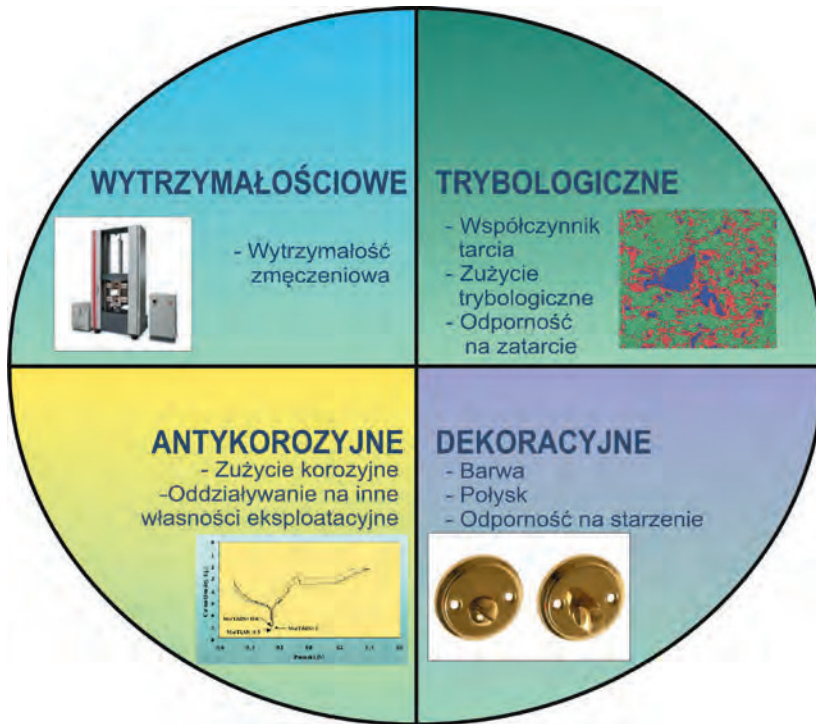
Przedmiotem **nauki o materiałach** jest badanie, poznawanie, a także opis struktury i własności materiałów inżynierskich, z uwzględnieniem aspektu ich potencjalnego zastosowania. **Inżynieria materiałowa**, której początki datują się na lata 50.-60. ubiegłego wieku, a ojczyzną są Stany Zjednoczone, gdzie zaistniała jako *Materials Science and Engineering* (MSE), jest dziedziną inżynierii, obejmującą zastosowanie nauki o materiałach dla bezpośrednio użytecznych celów, obejmujących projektowanie, wytwarzanie i użytkowanie produktów. Nowoczesne **projektowanie inżynierskie** jest złożonym kompleksowym procesem, obejmującym ściśle ze sobą powiązane i wzajemnie uzupełniające się obszary działań: projektowanie materiałowe, projektowanie postaci konstrukcyjnej produktów i projektowanie technologii wytwarzania produktów, w szerokim zakresie obejmujące m.in. technologie obróbki powierzchni materiałów inżynierskich [73-81]. W ciągu swojej historii inżynieria materiałowa i nauka o materiałach wypracowały swój paradygmat [73], stanowiący, że w celu zaspokojenia funkcji użytkowych produktów konieczne jest zaprojektowanie i zastosowanie materiałów inżynierskich, które, poddane odpowiednim procesom technologicznym kształtowania postaci geometrycznej, a szczególnie struktury, zapewnią odpowiednie własności fizykochemiczne materiału. Właściwy dobór materiału do danego zastosowania w oparciu o wielokryterialną optymalizację związaną zarówno ze składem chemicznym, warunkami wytwarzania, warunkami eksploatacji oraz sposobem usuwania odpadów materiałowych w fazie użytkowej, jak również uwarunkowania cenowe związane z pozyskaniem materiału, jego przetworzeniem w produkt, samym produktem,



**Rysunek 3.1.** Oktaedr reguły 6O (opracowano według L.A. Dobrzańskiego)

a także kosztami usuwania odpadów poprodukcyjnych i poeksploatacyjnych, jak również modelowanie wszystkich procesów i własności związanych z materiałami stoją u podstaw inżynierii materiałowej. Paradygmat inżynierii materiałowej i nauki o materiałach może być wyrażony za pomocą **reguły 6O**: **oczekiwane** przez klienta **funkcje** użytkowe produktów będą zapewnione, jeżeli do ich wytworzenia zostanie wykorzystany **oczekiwany materiał** inżynierski, poddany obróbce z użyciem **oczekiwanej jakości technologii**, w celu otrzymania **oczekiwanego kształtu** produktu finalnego o **oczekiwanej strukturze** i **oczekiwanych własnościach** mechanicznych i użytkowych. Graficznym obrazem reguły 6O jest oktaedr zaprezentowany na rysunku 3.1.

Własności użytkowe wielu produktów i ich elementów zależą nie tylko od możliwości przeniesienia obciążeń mechanicznych przez cały czynny przekrój elementu z zastosowanego materiału lub od jego własności fizykochemicznych, lecz bardzo często także lub głównie od struktury i własności warstw powierzchniowych (rys. 3.2). Warstwy powierzchniowe zapewniają wymagane własności użytkowe wytwarzanego elementu, przy równoczesnym użyciu możliwie tanich materiałów rdzenia elementu, od którego wymaga się z reguły mniejszych własności



*Rysunek 3.2. Podstawowe grupy własności eksploatacyjnych warstw powierzchniowych*

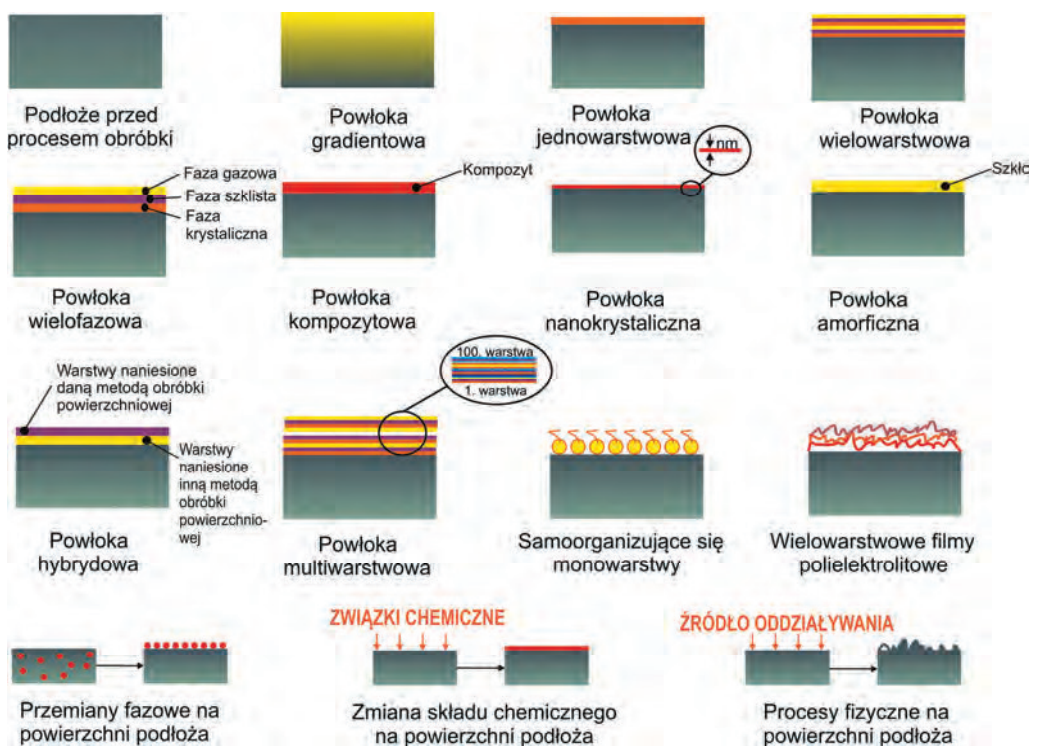
użytkowych. Najkorzystniejszy zestaw własności rdzenia i warstwy powierzchniowej, gwarantujący wymagane własności użytkowe wytworzonego elementu, jest zapewniony przez właściwy dobór materiału rdzenia i technologii jego obróbki, kształtującej jego strukturę i własności, a także przez opracowanie odpowiedniej technologii warstwy powierzchniowej.

Uzyskane **warstwy powierzchniowe** mogą być **warstwami wierzchnimi**, ograniczonymi powierzchnią obrabianego elementu, obejmującymi obszar materiałów o własnościach różniących się od własności materiałów rdzenia, uzyskanymi w wyniku łącznego działania sił mechanicznych, elektrycznych, ciepła, czynników chemicznych lub **powłokami**, czyli warstwami metalu, stopu, materiału ceramicznego, materiału polimerowego lub innych materiałów, naniesionymi trwale na powierzchnię podłoża, w celu uzyskania wymaganych własności fizycznych, antykorozyjnych lub dekoracyjnych.

Warstwy powierzchniowe **ze względu na zastosowanie**, można podzielić na wykazujące wymagane własności: (1) **fizyczne** zapewniające produktom lub ich elementom określone własności mechaniczne, jak wysoką twardość w stosunku do właściwej dla podłoża, zwiększoną odporność na zużycie trybologiczne, zwiększoną przewodność elektryczną lub cieplną, dużą

odporność na działanie wysokiej temperatury; (2) **antykorozyjne**, w tym o charakterze anodowym lub katodowym, przeciwdziałające korozji elektrochemicznej, jak również stanowiące barierę dyfuzyjną dla korozji gazowej oraz (3) **dekoracyjne** i **ochronno-dekoracyjne**, nadające produktom estetyczny wygląd zewnętrzny, o czym decyduje barwa, połysk, odporność na pokrywanie się nalotem i ewentualnie faktura powierzchni oraz zdolność do fluorescencji, fosforescencji lub radioaktywności, a często także równoczesnej odporności antykorozyjnej.

Warstwy powierzchniowe można także klasyfikować wzięwszy pod uwagę **uwarunkowania technologiczne** rozróżniając następujące możliwe do wytworzenia pokrycia: jednowarstwowe, wielowarstwowe, multiwarstwowe (>100 warstw), wielofazowe, gradientowe, kompozytowe, amorficzne, nanokrystaliczne i hybrydowe oraz następujące procesy mogące zachodzić na powierzchni podłoża: przemiany fazowe warstwy powierzchniowej podłoża, zmiana składu chemicznego warstwy powierzchniowej podłoża, bądź też procesy fizyczne na powierzchni podłoża, który to podział zaprezentowano graficznie na rysunku 3.3.

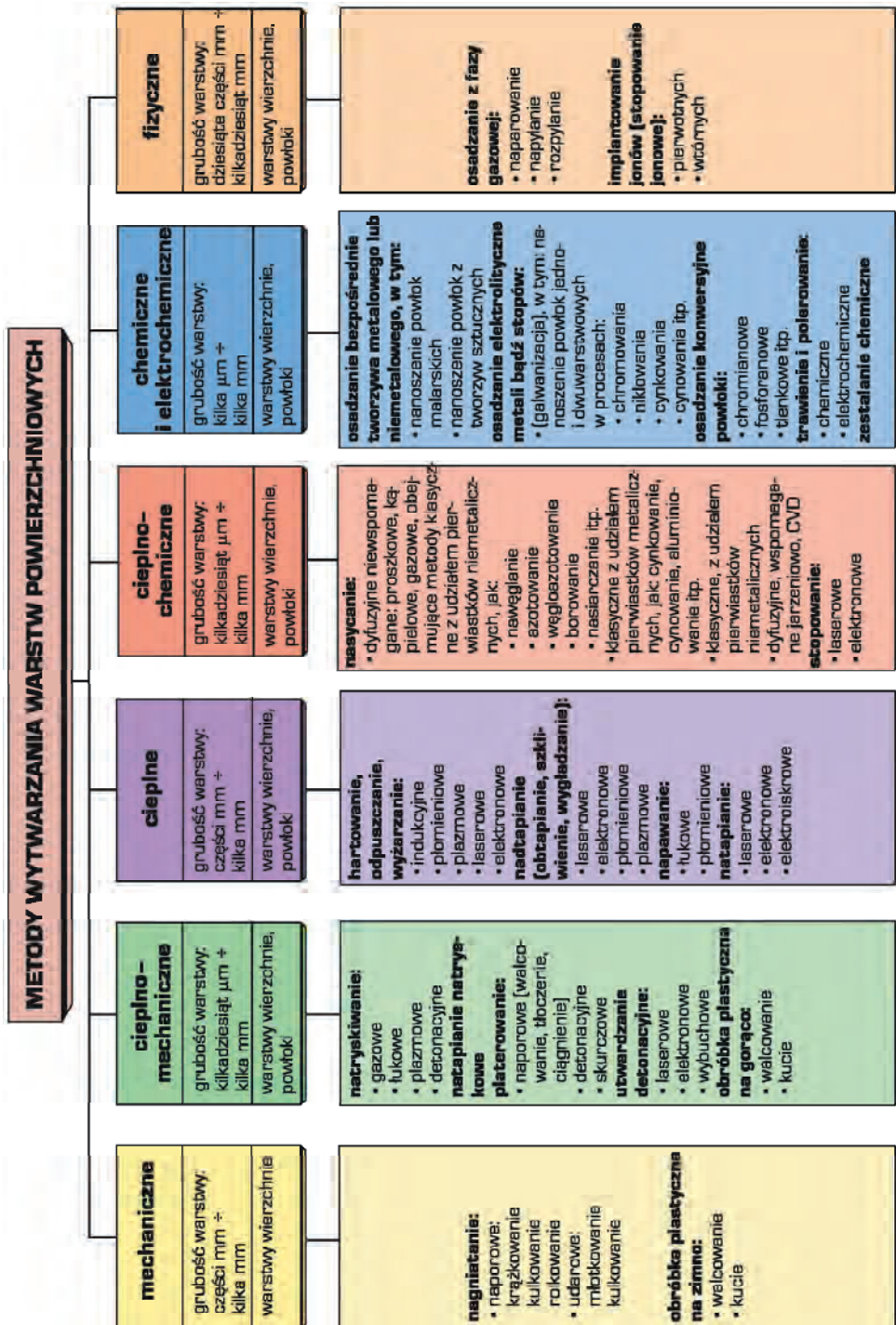


**Rysunek 3.3.** Schematyczne przykłady warstw powierzchniowych oraz procesów zachodzących na powierzchni podłoża ze względu na uwarunkowania technologiczne [3]

Metody wytwarzania warstw powierzchniowych **ze względu na rodzaj zjawisk** mających miejsce w procesie ich konstituowania można podzielić na 6 grup (rys. 3.4), z których każda pozwala na uzyskanie odpowiedniego rodzaju warstwy powierzchniowej o zróżnicowanej grubości i przeznaczeniu [1, 2, 73, 82]. Metody **mechaniczne** wykorzystują nacisk lub energię kinetyczną narzędzia albo cząstek w celu umocnienia warstwy wierzchniej na zimno bądź otrzymania powłoki ochronnej na zimnym podłożu. Metody **cieplno-mechaniczne** wykorzystują łączne oddziaływanie ciepła i nacisku w celu otrzymania powłok, jak również niekiedy warstw wierzchnich. Metody **cieplne** są związane z oddziaływaniem ciepła na warstwę powierzchniową materiałów w celu spowodowania zmian struktury materiałów, głównie metali, w stanie stałym, jak również zmian stanu skupienia ze stanu stałego w ciekły i następnie odwrotnie, materiałów pokrywanych (nadtopienie), jak i pokrywających (napawanie lub natapianie). Metody **cieplno-chemiczne** charakteryzuje łączne oddziaływanie ciepła i aktywnego chemicznie ośrodka, w celu pokrycia obrabionego materiału, głównie stopów metali, wymaganym pierwiastkiem lub substancją chemiczną dla spowodowania zmian struktury warstwy powierzchniowej. Wśród tych metod oddzielną grupę stanowią procesy chemicznego osadzania powłok z fazy gazowej (ang.: *Chemical Vapour Deposition* – CVD). Metody **chemiczne i elektrochemiczne** polegają na bezpośrednim osadzeniu materiału niemetalowego lub metalowego na powierzchni obrabianego elementu, np. poprzez nanoszenie powłok malarskich, z materiałów polimerowych, galwanicznych lub konwersyjnych; usuwaniu zanieczyszczonej lub utlenionej warstwy powierzchniowej w procesach trawienia i polerowania lub zestalania cieplno-chemicznego przez samoutlenianie oraz polimeryzację tlenową substancji błonotwórczych bądź sieciowanie w temperaturze pokojowej lub podwyższonej żywic chemoutwardzalnych nanoszonych metodami lakierniczymi. Metody **fizyczne** są związane z osadzaniem powłok adhezyjnie połączonych z podłożem, niekiedy z udziałem połączeń dyfuzyjnych w wyniku zjawisk fizycznych przebiegających pod ciśnieniem atmosferycznym (np. odparowania rozpuszczalnika podczas nanoszenia powłoki malarskiej) lub zwykle pod ciśnieniem obniżonym, z udziałem jonów, jak napylenie, rozpylenie, implantowanie jonów lub pierwiastków metalicznych bądź niemetalicznych. Do metod tych należy fizyczne osadzanie powłok z fazy gazowej (ang.: *Physical Vapour Deposition* – PVD), które jest związane z odparowaniem metali lub stopów lub rozpyleniem katodowym w próżni i jonizacją gazów par metali, których cechą jest krystalizacja par z plazmy.

W zależności od zastosowanych procesów technologicznych obróbki powierzchniowej, należy w odpowiedni sposób przygotować powierzchnię obrabianego elementu, w wyniku czego można polepszyć różne, pożądane własności warstwy wierzchniej. Wdrażanie nowoczesnych technologii kształtowania struktury i własności powierzchni poszczególnych grup





Rysunek 3.4. Podział metod wytwarzania warstw powierzchniowych ze względu na sposób powstawania warstw [73]

materiałów inżynierskich nie dotyczy wyłącznie awangardowych technologii realizowanych przez wzorcowe przedsiębiorstwa, lecz również bezwzględnej potrzeby podwyższenia średniego poziomu realizacji tych technologii przez statystyczną większość producentów, co ma bardzo istotne znaczenie dla jakości i trwałości, statystycznej większości produktów trafiających na rynek [1, 2, 73-75, 83-86]. Problem ten ma ważne znaczenie gospodarcze. W literaturze opisano ponad 500 szczegółowych technologii obróbki powierzchniowej i ich licznych odmian technologicznych, stosowanych w produkcji wszystkich podstawowych grup materiałów inżynierskich, z których większość scharakteryzowano we własnych książkach [1, 2], wykorzystując dorobek rozprawy habilitacyjnej [3], wyniki projektu FORSURF wykonanego w okresie ostatnich kilku lat w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, w którym współpracowano z niemal 500 ekspertami krajowymi i zagranicznymi [70] oraz wyniki współpracy z licznym gronem pracowników Zakładu Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach [5, 87-101].

W pracach [1, 2] szczegółowo opisano większość stosowanych obecnie technologii inżynierii powierzchni. Szeroką i opisaną w tych książkach grupę stosowanych technologii obróbki powierzchniowej stanowią technologie wykorzystujące oddziaływanie podwyższonej temperatury [102-104], często w połączeniu z ośrodkiem aktywnym chemicznie, do kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich [1, 2, 82-84, 105-110]. Wśród tych technologii znaczącą rolę odgrywa obróbka cieplno-chemiczna, stosowana powszechnie w odniesieniu do stali i innych stopów żelaza [75, 81, 111, 112] w tym: nawęglanie [75, 94, 113-116], azotowanie [117-124], kompleksowe nasycanie azotem i innymi niemetalami [119, 120, 125-134], pasywacja [119, 135-137], dyfuzyjne nasycanie innymi niemetalami [118, 138-141], a także metalizowanie dyfuzyjne [142-148] oraz obróbka z wykorzystaniem atmosfer ochronnych [75, 94, 149], obróbka cieplno-chemiczna przy obniżonym ciśnieniu [119, 150-155] i plazmowa (jarzeniowa) [85, 126, 156-170]. Do powszechnie stosowanych technologii kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich należy nanoszenie powłok z fazy gazowej [93, 171-175] w procesach osadzania fizycznego powłok PVD [97, 98, 176-193] i chemicznego – powłok CVD [194-201]. Szczególne znaczenie mają funkcjonalne powłoki gradientowe [202-224], technologie hybrydowe obróbki powierzchniowej [167, 225-232], implantacja jonów [233-235] i diamentopodobne powłoki węglowe [236-246]. Kolejną grupę stanowią technologie kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich przez osadzanie powłok z fazy ciekłej [1] i stałej [247], w tym osadzanie powłok zanurzeniowych ogniowych [248], osadzanie galwaniczne powłok [249-256], osadzanie powłok zol-żel z fazy ciekłej [257-265], osadzanie powłok

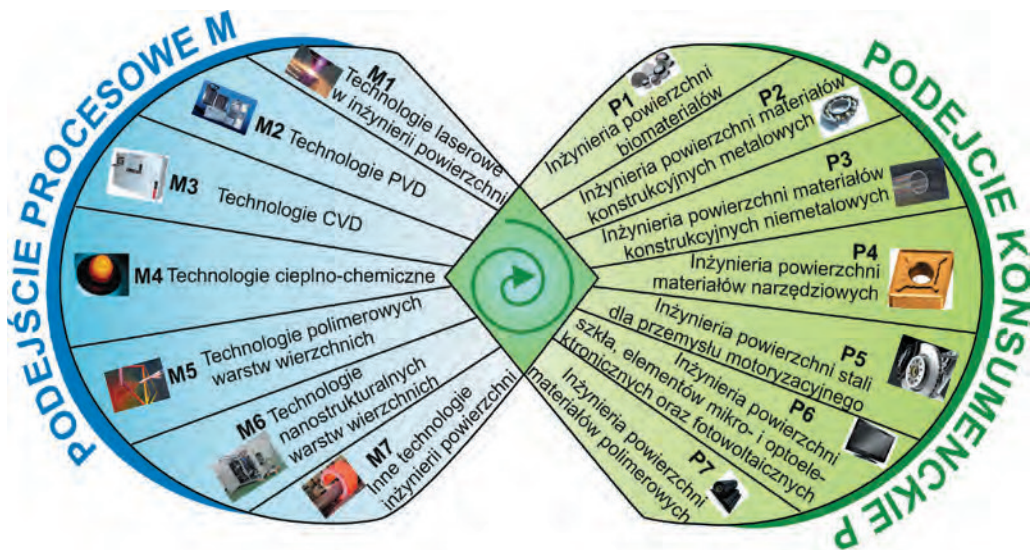
organicznych z fazy ciekłej [266, 267], osadzanie elektroforetyczne powłok z fazy ciekłej [268-276] i nakładanie powłok organicznych proszkowych z fazy stałej [86, 266]. Atrakcyjną grupą są technologie kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich z wykorzystaniem promieniowania laserowego i innych technologii spawalniczych [277, 278]. Warstwy powierzchniowe mogą być kształtowane z wykorzystaniem technologii laserowych [95, 99, 100, 279-296], technologii napawania [278, 297-300], natryskiwania ciepłego [298, 301-303], technologii detonacyjnego nanoszenia powłok [144, 304-310]. W książkach [1, 2] opisano również strukturę i własności powierzchni nanostrukturalnych [311-319] i innych wybranych materiałów inżynierskich, w tym twardych powłok na spiekanych materiałach narzędziowych [93, 181, 218, 224, 320-332], powłok PVD i CVD na stopach miedzi [97, 98, 333-336], narzędziowych materiałów gradientowych wytwarzanych metodami metalurgii proszków [96, 215, 218, 219, 223, 337-347], powierzchni stali narzędziowych stopowych do pracy na gorąco obrabionych laserowo [95, 101, 216, 220, 221, 348-361], powierzchni stopów magnezu obrabionych laserowo [88, 99, 100, 296, 362-371], powierzchniowych warstw stopowych odlewniczych i infiltracyjnych [372-375], formowanych metodami metalurgii proszków [96, 337-341, 376], w tym z użyciem lasera [377-381], warstw ceramicznych [210, 382-385], powierzchni materiałów elektronicznych obrabionych metodami litograficznymi i nanolitograficznymi [386-394], powierzchni materiałów fotowoltaicznych [91, 92, 395-412], powierzchni implantów i biomateriałów stosowanych w medycynie oraz w inżynierii stomatologicznej [237, 408-435]. Opisano również strukturę i własności materiałów polimerowych obrabianych powierzchniowo oraz pokryć polimerowych [420, 434-442], w tym technologie mechanicznej, chemicznej i płomieniowej obróbki powierzchni materiałów polimerowych [443], obróbkę powierzchni materiałów polimerowych z wykorzystaniem różnych rodzajów promieniowania [444-447], związanej z oddziaływaniem plazmy niskotemperaturowej [448, 449], plazmy niskotemperaturowej pod ciśnieniem atmosferycznym [450-454], związanej z nanoszeniem innych materiałów [455] oraz pokryć polimerowych na innych materiałach technicznych [456]. W celu porównania priorytetowych spośród tych technologii, o najlepszych perspektywach rozwojowych i/lub kluczowym znaczeniu w przemyśle, wszystkie technologie krytyczne sklasyfikowano w ramach dwóch pól tematycznych: *M* (ang.: *Manufacturing*) i *P* (ang.: *Product*) [3, 70]. Pola te odpowiadają alternatywnemu spojrzeniu na zagadnienie ze strony: producenta – zainteresowanego sposobem wytwarzania produktów i urządzeniami, w które należy wyposażyć park maszynowy, aby możliwa była realizacja procesów produkcyjnych, reprezentującego podejście procesowe (*M*) i klienta mającego podejście konsumenckie (*P*), zgodnie z którym najistotniejsze jest zapewnienie pożądaných własności użytkowych produktów i materiałów inżynierskich, z których są one wytwarzane. W ramach każdego pola tematycznego wyróżniono po



**Tablica 3.1. Grupy technologicznych krytycznych inżynierii powierzchni materiałów poddane badaniom heurystycznym zgodnie z nowo opracowaną metodologią komputerowo wspomaganego prognozowania rozwoju; WW – warstwa wierzchnia [3]**

<b>Podjęcie procesowe: pole badawcze M</b>		<b>Podjęcie konsumenne: pole badawcze P</b>	
Technologie laserowe w inżynierii powierzchni M1		Inżynieria powierzchni biomateriałów P1	
A <sub>M1</sub> B <sub>M1</sub> C <sub>M1</sub> D <sub>M1</sub> E <sub>M1</sub> F <sub>M1</sub> G <sub>M1</sub> H <sub>M1</sub> I <sub>M1</sub> J <sub>M1</sub>	Laserowa obróbka ciepła Przetapianie laserowe Stopowanie/wtapianie laserowe Nabawianie laserowe Laserowe wytwarzanie przrostowe Chemiczne osadzanie z fazy gazowej aktywowane laserowo (LCVD) Fizyczne osadzanie z fazy gazowej wspomaganie laserowo (LAPVD) Obróbka laserowa materiałów funkcjonalnych Impulsowe osadzanie laserowe (PLD) Obróbka laserowa biomateriałów	A <sub>P1</sub> B <sub>P1</sub> C <sub>P1</sub> D <sub>P1</sub> E <sub>P1</sub> F <sub>P1</sub> G <sub>P1</sub> H <sub>P1</sub> I <sub>P1</sub> J <sub>P1</sub>	Immobilizacja Nanoszenie monowarstw samoorganizujących się Wzornikowanie Metoda zol-żel Infiltracja Osadzanie elektroforetyczne i sedymentacyjne Konsolidacja Fizyczne i chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD/CVD) Impulsowe osadzanie laserowe (PLD) Nanoszenie warstw diamentowych i diamentopodobnych powłok węglowych (DLC)
Technologie fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD) M2		Inżynieria powierzchni materiałów konstrukcyjnych metalowych P2	
A <sub>M2</sub> B <sub>M2</sub> C <sub>M2</sub> D <sub>M2</sub> E <sub>M2</sub> F <sub>M2</sub> G <sub>M2</sub> H <sub>M2</sub> I <sub>M2</sub> J <sub>M2</sub>	Katodowe odparowanie łukowe (CAD) Reaktywne rozpylanie magnetrone (RMS) Odparowanie metalu impulsowo-plazmowo (PPM) Osadzanie warstw z wykorzystaniem wiązki jonowej (IBAD) Odparowanie metalu niskociśnieniowym działem elektrycznym (HHCD) Osadzanie warstw z odparowaniem wiązki elektronicznej z jonizacją par (EB-PVD) Aktywowane reaktywnie odparowanie przy użyciu działła elektronowego (BARE) Reaktywne nanoszenie ze zjonizowanych klastrow (ICB) Odparowanie reaktywne łukiem elektrycznym (TAE) Impulsowe osadzanie laserowe (PLD)	A <sub>P2</sub> B <sub>P2</sub> C <sub>P2</sub> D <sub>P2</sub> E <sub>P2</sub> F <sub>P2</sub> G <sub>P2</sub> H <sub>P2</sub> I <sub>P2</sub> J <sub>P2</sub>	Malowanie Technologie galwaniczne Technologie cieplne i cieplno-chemiczne Natrkiwanie cieplne Utwardzanie detonacyjne laserowe/elektronowe/wybuchowe Nataplanie/stopowanie laserowe Nataplanie/stopowanie elektronowe Implantacja jonów Pokrywanie ceramiką/cermetami Fizyczne i chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD/CVD)
Technologie chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) M3		Inżynieria powierzchni materiałów konstrukcyjnych niemetalowych P3	
A <sub>M3</sub> B <sub>M3</sub> C <sub>M3</sub> D <sub>M3</sub> E <sub>M3</sub> F <sub>M3</sub> G <sub>M3</sub> H <sub>M3</sub> I <sub>M3</sub> J <sub>M3</sub>	Wysokotemperaturowe chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (HFCVD) Osadzanie powłok z fazy gazowej pod ciśnieniem atmosferycznym (APCVD) Osadzanie powłok z fazy gazowej pod obniżonym ciśnieniem (LPCVD) Plazmo-chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PACVD/PECVD) Osadzanie powłok z fazy gazowej aktywowane laserowo (LCVD) Osadzanie powłok aktywowane wiązką promieni UV (Photo CVD) Osadzanie powłok z użyciem prekursorów metaloorganicznych (MOCVD) Osadzanie powłok realizowane w złożu fluidalnym (Fluidized-Bed CVD) Chemiczna infiltracja z fazy gazowej (CVI) Osadzanie pojedynczych warstw atomowych (ALD)	A <sub>P3</sub> B <sub>P3</sub> C <sub>P3</sub> D <sub>P3</sub> E <sub>P3</sub> F <sub>P3</sub> G <sub>P3</sub> H <sub>P3</sub> I <sub>P3</sub> J <sub>P3</sub>	Fizyczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD) Chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (CVD) Technologie galwaniczne Metalizacja próżniowa Implantacja jonów Metoda zol-żel Natrkiwanie cieplne Malowanie Osadzanie elektroforetyczne Osadzanie laserem impulsowym lub przez promieniowanie laserowo-plazmowych źródeł EUV
Technologie cieplno-chemiczne M4		Inżynieria powierzchni materiałów narzędziowych P4	
A <sub>M4</sub> B <sub>M4</sub>	Azotowanie plazmowe Azotowanie pod obniżonym ciśnieniem	A <sub>P4</sub> B <sub>P4</sub>	Fizyczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD) Chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (CVD)

Podejście procesowe: pole badawcze <i>M</i>	Podejście konsumenckie: pole badawcze <i>P</i>
<p><i>C<sub>M4</sub></i> Azotowanie gazowe</p> <p><i>D<sub>M4</sub></i> Kompleksowe obróbki z udziałem azotowania</p> <p><i>E<sub>M4</sub></i> Nawęglanie gazowe i węgloizotowanie wysokotemperaturowe</p> <p><i>F<sub>M4</sub></i> Nawęglanie plazmowe i pod obniżonym ciśnieniem</p> <p><i>G<sub>M4</sub></i> Aluminowanie</p> <p><i>H<sub>M4</sub></i> Borowanie</p> <p><i>I<sub>M4</sub></i> Pasywowanie</p> <p><i>J<sub>M4</sub></i> Technologie hybrydowe</p> <p>Technologie polimerowych warstw wierzchnich <i>M5</i></p> <p><i>A<sub>M5</sub></i> Tradycyjne techniki malarskie i nanoszenie zanurzeniowe</p> <p><i>B<sub>M5</sub></i> Natrysy hydrodynamiczne</p> <p><i>C<sub>M5</sub></i> Malowanie proszkowe</p> <p><i>D<sub>M5</sub></i> Osadzanie elektroforetyczne</p> <p><i>E<sub>M5</sub></i> Nanoszenie fluorydowo-elektrostatyczne</p> <p><i>F<sub>M5</sub></i> Nanoszenie powłok gradientowych</p> <p><i>G<sub>M5</sub></i> Nanoszenie powłok z nanonapełniaczami</p> <p><i>H<sub>M5</sub></i> Nanoszenie powłok z parnicją kształtu</p> <p><i>I<sub>M5</sub></i> Nanoszenie powłok samowyksztalcących na powierzchni polimerów</p> <p><i>J<sub>M5</sub></i> Nanoszenie powłok biokompatybilnych</p> <p>Technologie nanostrukturalnych warstw wierzchnich <i>M6</i></p> <p><i>A<sub>M6</sub></i> Reaktywne trawienie jonowe (RIE)</p> <p><i>B<sub>M6</sub></i> Elektronolitografia (EBL)</p> <p><i>C<sub>M6</sub></i> Chemiczne osadzanie nanometrycznych WW z fazy gazowej (CVD)</p> <p><i>D<sub>M6</sub></i> Fizyczne osadzanie nanometrycznych WW z wykorzystaniem wiązki jonowej (IBAD)</p> <p><i>E<sub>M6</sub></i> Fizyczne osadzanie nanometrycznych WW z odparowaniem wiązką elektronową z jonizacją par (EB-PVD)</p> <p><i>F<sub>M6</sub></i> Osadzanie pojedynczych warstw atomowych (ALD)</p> <p><i>G<sub>M6</sub></i> Elektroosadzanie nanometrycznych WW</p> <p><i>H<sub>M6</sub></i> Metoda żół-żel otrzymywania nanometrycznych WW</p> <p><i>I<sub>M6</sub></i> Nakładanie na WW powłok zawierających nanomateriały</p> <p><i>J<sub>M6</sub></i> Obróbka powierzchniowa nanomateriałów</p>	<p><i>C<sub>P4</sub></i> Natryskiwanie</p> <p><i>D<sub>P4</sub></i> Metalurgia proszków (zmiana składu chemicznego i/lub fazowego w WW)</p> <p><i>E<sub>P4</sub></i> Azotowanie i kompleksowe obróbki z udziałem azotowania</p> <p><i>F<sub>P4</sub></i> Stopowanie/ztapianie laserowe</p> <p><i>G<sub>P4</sub></i> Napawanie</p> <p><i>H<sub>P4</sub></i> Nanoszenie powłok gradientowych</p> <p><i>I<sub>P4</sub></i> Technologie hybrydowe</p> <p><i>J<sub>P4</sub></i> Impulsowe osadzanie laserowe (PLD)</p> <p>Inżynieria powierzchni stali dla przemysłu motoryzacyjnego <i>P5</i></p> <p><i>A<sub>P5</sub></i> Cynkowanie ogniowe (w czystym Zn i stopach Zn-Al)</p> <p><i>B<sub>P5</sub></i> Cynkowanie ogniowe z dodatkowym wyżarzaniem (powłoka Zn-Fe)</p> <p><i>C<sub>P5</sub></i> Aluminowanie ogniowe (w czystym Al i stopach Al-Si)</p> <p><i>D<sub>P5</sub></i> Technologie galwaniczne</p> <p><i>E<sub>P5</sub></i> Metalizacja natryskowa</p> <p><i>F<sub>P5</sub></i> Natryskiwanie cieplne</p> <p><i>G<sub>P5</sub></i> Nanoszenie powłok podkładowych polimerowych</p> <p><i>H<sub>P5</sub></i> Malowanie i lakierowanie ciekłymi materiałami polimerowymi</p> <p><i>I<sub>P5</sub></i> Nanoszenie powłok polimerowych proszkowych</p> <p><i>J<sub>P5</sub></i> Nakładanie powłok z folii polimerowych</p> <p>Inżynieria powierzchni szkła, elementów mikro- i optoelektronicznych oraz fotowoltaicznych <i>P6</i></p> <p><i>A<sub>P6</sub></i> Chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (CVD)</p> <p><i>B<sub>P6</sub></i> Fizyczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD)</p> <p><i>C<sub>P6</sub></i> Pyroliza i jej odmiany</p> <p><i>D<sub>P6</sub></i> Metoda żół-żel</p> <p><i>E<sub>P6</sub></i> Wytwarzanie powłok hybrydowych – organiczno-nieorganicznych</p> <p><i>F<sub>P6</sub></i> Odparowanie</p> <p><i>G<sub>P6</sub></i> Metody chemiczne/wyługowanie alkaliów z WW i zagęszczenie pozostałości <math>SiO_2</math></p> <p><i>H<sub>P6</sub></i> Reaktywne trawienie jonowe (RIE)</p> <p><i>I<sub>P6</sub></i> Teksturowanie mechaniczne z wykorzystaniem ostrza diamentowego</p> <p><i>J<sub>P6</sub></i> Teksturowanie laserowe</p>
<p>Inne technologie inżynierii powierzchni <i>M7</i></p> <p><i>A<sub>M7</sub></i> Pokrywanie powłokami galwanicznymi</p> <p><i>B<sub>M7</sub></i> Pokrywanie powłokami natryskowanymi cieplnie</p> <p><i>C<sub>M7</sub></i> Pokrywanie powłokami formowanymi niskociśnieniowo z proszków i spiekane</p> <p><i>D<sub>M7</sub></i> Pokrywanie powłokami metalizowanymi zanurzeniowo</p> <p><i>E<sub>M7</sub></i> Pokrywanie ceramiką/cermetami</p> <p><i>F<sub>M7</sub></i> Wytwarzanie powierzchniowych warstw odlewniczych i infiltracyjnych</p> <p><i>G<sub>M7</sub></i> Napawanie powłok</p> <p><i>H<sub>M7</sub></i> Nagniatanie, kulcowanie</p> <p><i>I<sub>M7</sub></i> Platerowanie</p> <p><i>J<sub>M7</sub></i> Utwardzanie detonacyjne</p>	<p>Inżynieria powierzchni materiałów polimerowych <i>P7</i></p> <p><i>A<sub>P7</sub></i> Metalizacja</p> <p><i>B<sub>P7</sub></i> Elektrokoronowanie</p> <p><i>C<sub>P7</sub></i> Obróbka plazmą powierzchni polimerów</p> <p><i>D<sub>P7</sub></i> Obróbka laserem powierzchni polimerów</p> <p><i>E<sub>P7</sub></i> Obróbka powierzchni polimerów z użyciem promieni UV</p> <p><i>F<sub>P7</sub></i> Obróbka powierzchni polimerów z użyciem promieni gamma</p> <p><i>G<sub>P7</sub></i> Obróbka powierzchni polimerów z użyciem promieniowania elektronowego</p> <p><i>H<sub>P7</sub></i> Utworzenie na powierzchni polimerów powłok gradientowych</p> <p><i>I<sub>P7</sub></i> Utworzenie na powierzchni polimerów powłok samowyksztalcących</p> <p><i>J<sub>P7</sub></i> Polimeryzacja <i>in situ</i></p>



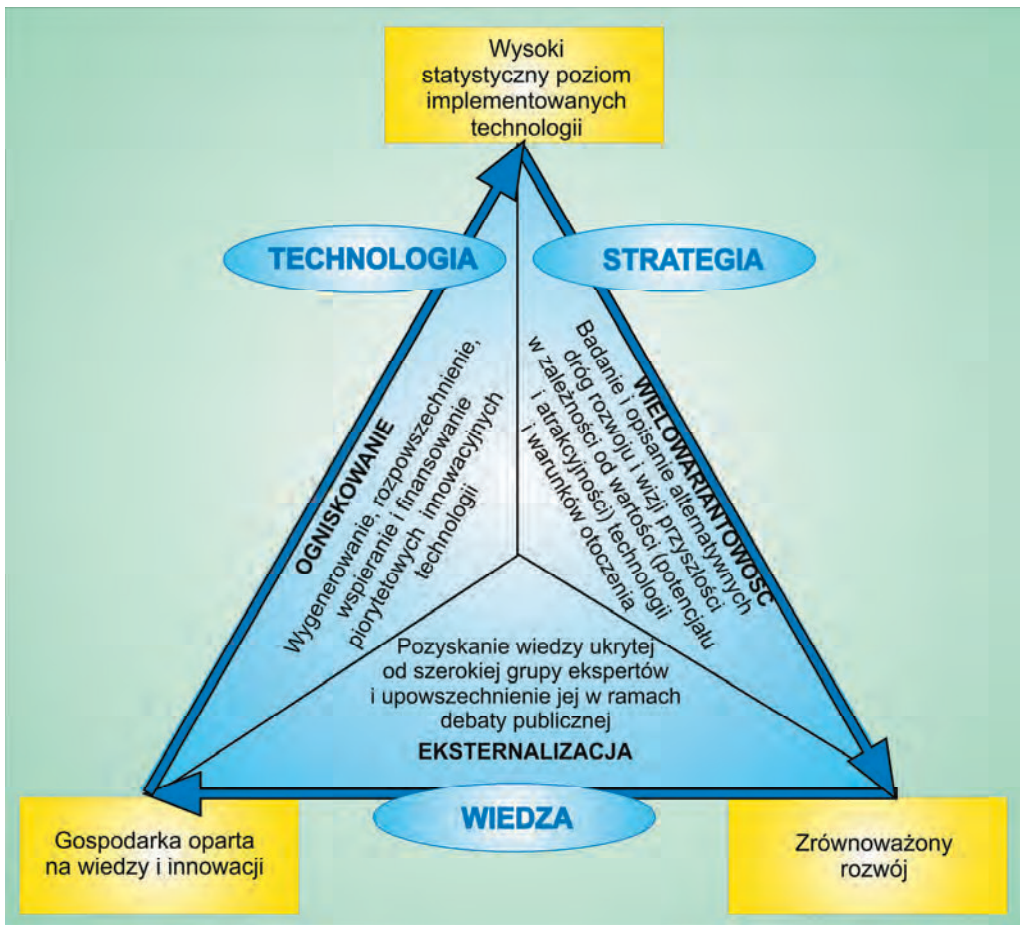
**Rysunek 3.5.** Obszary tematyczne poddane badaniom z uwzględnieniem podziału na dwa pola badawcze: M i P [70]

7 obszarów tematycznych, odpowiednio M1-M7 i P1-P7 (rys. 3.5), z których każdy zawiera po 10 grup technologii, co daje łącznie zbiór 140 grup technologii krytycznych inżynierii powierzchni materiałów (tabl. 3.1).

Zbiór grup technologii krytycznych inżynierii powierzchni materiałów zestawiono, opierając się na wynikach analizy stanu zagadnienia, obejmującej ocenę tego stanu na podstawie przeglądu krajowego i światowego piśmiennictwa, przeglądu technologicznego i analizy strategicznej metodami zintegrowanymi (STEPP, SWOT), co szczegółowo przedstawiono we własnej publikacji [87]. Istnieją przy tym przypadki, w których dana grupa technologii pojawia się więcej niż jednokrotnie w zbiorze technologii krytycznych, co nie jest przeoczeniem ani błędem, lecz działaniem celowym. Możliwe jest bowiem, że dana grupa technologii ma istotne znaczenie w kilku obszarach tematycznych równocześnie, natomiast znaczenie to na tle innych technologii różnych obszarów może być zbliżone lub tożsame, jak również odmienne.

### 3.2 Charakterystyka nowo opracowanej metodologii komputerowo zintegrowanego prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów inżynierskich

Foresight technologiczny polega na systematycznym patrzeniu w długiej perspektywie w przyszłość nauki i techniki, ekonomii, społeczeństw, w powiązaniu z umiejętnością doboru



Rysunek 3.6. Trójkąt foresightu technologicznego [3]

strategicznych technologii mających przynieść wielkie ekonomiczne i społeczne korzyści, którego specyfikę ilustruje trójkąt foresightu technologicznego (rys. 3.6). Foresight technologiczny jest zogniskowany na priorytetowych innowacyjnych technologiach, których wdrożenie przyniesie największą wartość dodaną, a tym samym w długiej perspektywie czasowej przyczyni się do wysokiego statystycznego poziomu technologii implementowanych w przemyśle. Opracowane w ramach foresightu technologicznego wielowariantowe strategie, służące opisanu alternatywnych dróg rozwoju i wizji przyszłości, mają prowadzić w dalekim horyzoncie czasowym do zrównoważonego rozwoju, uwzględniającego los i dobrobyt przyszłych pokoleń. Działania prowadzone w ramach badań foresightowych koncentrują się na ekstermalizacji wiedzy, zasadzającej się na przekształceniu wiedzy ukrytej, dostępnej jedynie ekspertom,



specjalistom w danej dziedzinie, w wiedzę jawną dostępną szeroko rozumianej opinii publicznej, co ma długoterminowo prowadzić do wzmocnienia gospodarki opartej na wiedzy i innowacji.

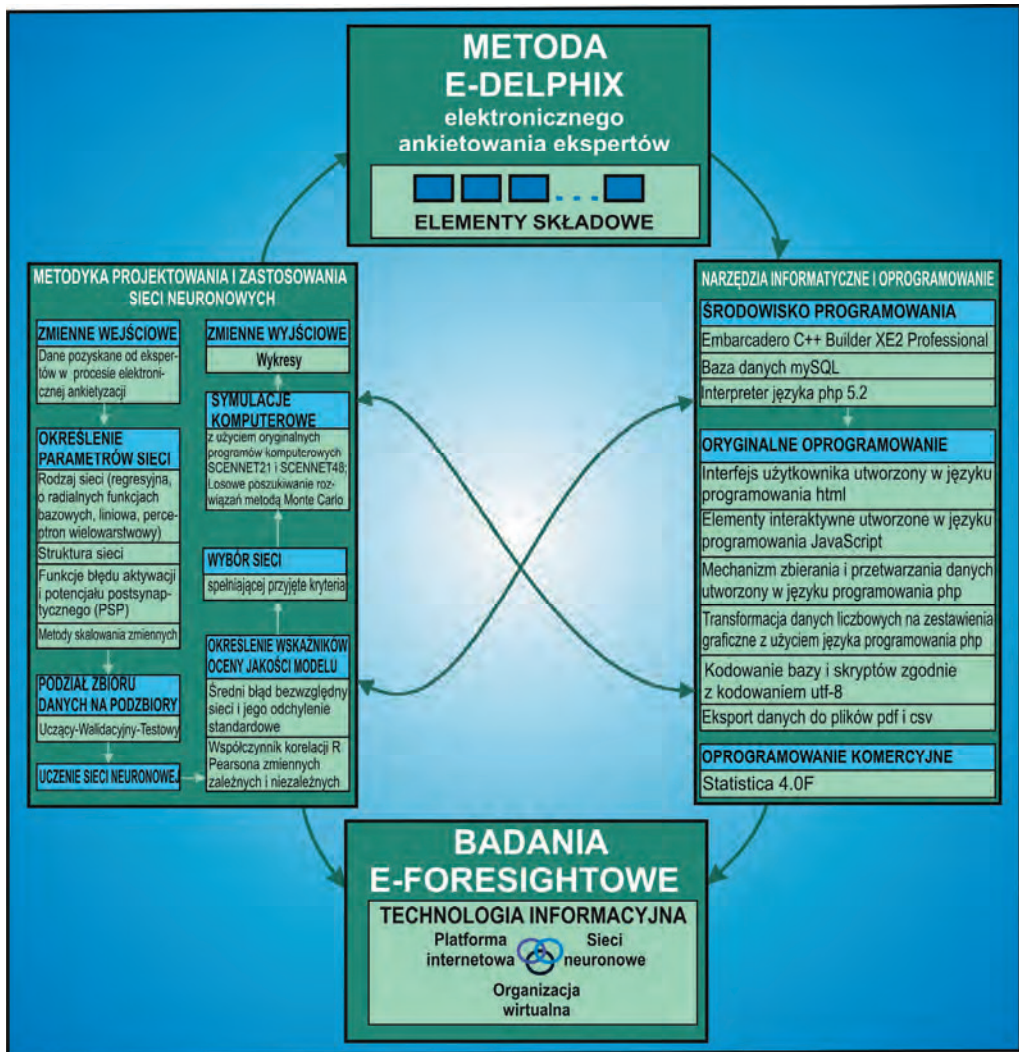
Realizacja foresightu technologicznego inżynierii powierzchni materiałów, mającego na celu długofalowe systematyczne prognozowanie dotyczące tego szerokiego obszaru wiedzy wraz z pozyskiwaniem od ekspertów wiedzy ukrytej i jej rozpowszechnienia, wymaga oryginalnego wyboru zbioru metod o różnorodnym możliwym zastosowaniu i czerpiących z innych obszarów wiedzy szczegółowej. W początkowej fazie badań przeprowadzono analizę perspektyw rozwojowych kilkuset grup technologii szczegółowych, zawierającą ocenę stanu zagadnienia, przegląd technologiczny i analizę strategiczną metodami zintegrowanymi, co przedstawiono w odrębnym własnym opracowaniu książkowym [87]. W celu analizy perspektyw rozwojowych technologii zastosowano następujące podstawowe metody organizacji, pracy i zarządzania: przegląd piśmiennictwa, analizę danych źródłowych, skanowanie środowiska, mapowanie technologii, mapowanie beneficjentów, ekstrapolację trendów, analizę STEEP i analizę SWOT, a także metody pomocnicze obejmujące: panele eksperckie, burze mózgów, benchmarking, analizę wielokryterialną, symulacje i modelowanie komputerowe, analizę ekonometryczną i metody statystyczne. Zbiór wytypowanych technologii krytycznych poddano szczegółowej analizie w ramach trzech iteracji badań eksperckich wykonanych z wykorzystaniem metody e-Delphix [70], będącej zmodyfikowaną wersją klasycznej metody delfickiej [10, 20, 59, 60, 62], różniącej się od pierwowzoru głównie elektroniczną drogą ankietyzacji oraz wzrastającym poziomem ogólności pytań, stawianych ekspertom w kolejnych iteracjach badań. Skala i stopień skomplikowania badań, prowadzonych na różnych poziomach szczegółowości, zdeterminowały konieczność opracowania wspomaganą komputerowo metodologii wywodzącej się z koncepcji e-foresightu.

**E-foresight** (ang.: *electronic foresight*) stanowią badania foresightowe, wykonywane w celu określenia priorytetowych innowacyjnych technologii oraz kierunków rozwoju strategicznego w odniesieniu do danego obszaru badawczego, z wykorzystaniem Internetu. Autorska koncepcja e-foresightu [4], nawiązująca do znanych już i powszechnie używanych pojęć: e-zarządzanie, e-biznes, e-handel, e-bankowość, e-logistyka, e-usługi, e-administracja, e-edukacja [457-459], powstała podczas praktycznej realizacji badań foresightowych dotyczących inżynierii powierzchni materiałów, jako efekt naukowych poszukiwań służących uporządkowaniu, usprawnieniu i unowocześnieniu procesu prowadzonych badań foresightowych. **E-foresight technologiczny** ukierunkowany jest na wspomaganie działalności dwóch grup beneficjentów. Pierwszą grupę stanowi zespół wykonawców badań e-foresightowych, którzy mogą pracować w dowolnym czasie i miejscu, co w połączeniu z *teleworkingiem* przyczynia się do wyrównania szans na



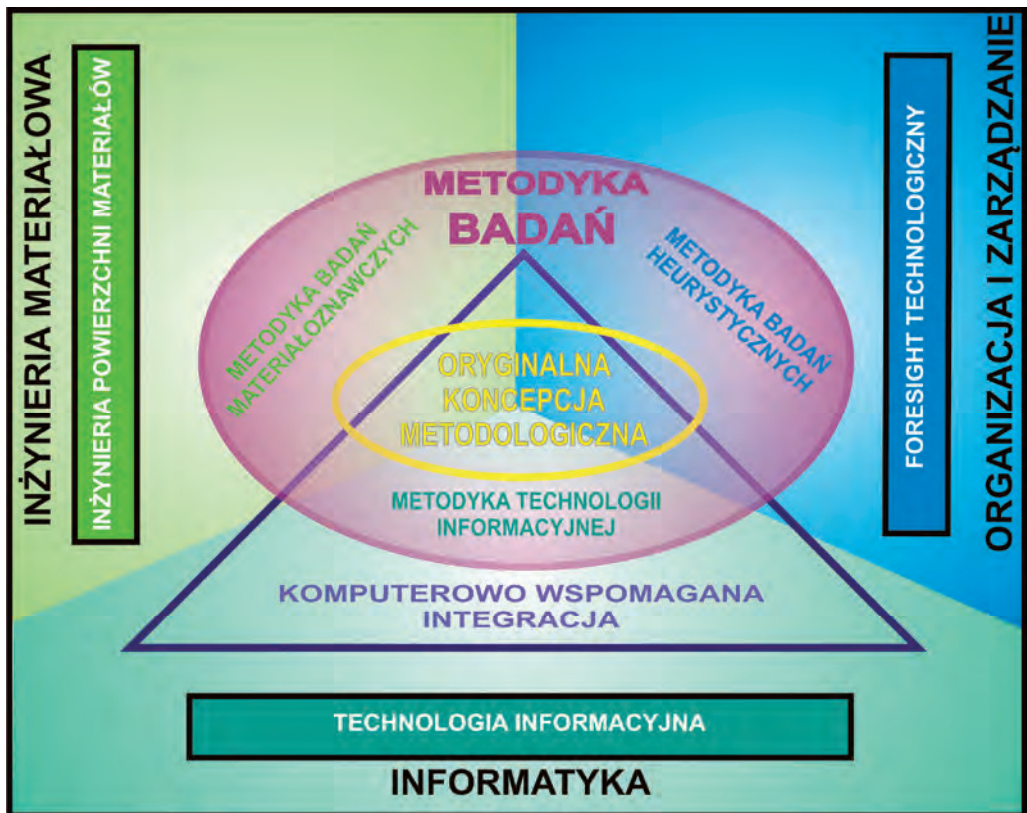
rynku pracy, umożliwiając powoływanie w skład zespołu badawczego osób pracujących w domu, w tym matek wychowujących małe dzieci i osób niepełnosprawnych, co występowało w toku badań. Drugą grupą beneficjentów są eksperci branżowi, bezpośredni uczestnicy prowadzonych badań ankietowych, wyłonieni ze środowiska naukowego, biznesowego i administracji publicznej, którzy zgodnie z najnowocześniejszymi światowymi trendami mogą uczestniczyć w badaniach ankietowych w najbardziej dogodnym dla siebie czasie i miejscu, co przyczynia się do szybszego, sprawniejszego, bardziej efektywnego pozyskania wyników badań pośrednich i końcowych. Realizacja badań e-foresightowych wymagała utworzenia oryginalnego systemu komputerowego, który bazuje na platformie internetowej i organizacji wirtualnej, umożliwiając przede wszystkim prowadzenie badań ankietowych on-line z użyciem metody e-Delphix wraz z elastycznym modułem wprowadzania kolejnych kwestionariuszy ankietowych do systemu, lecz także generowanie wyników badań w postaci różnorodnych zestawień tabelarycznych, liczbowych i graficznych oraz tworzenie, modyfikowanie i zarządzanie bazą danych o ekspertach z uwzględnieniem elektronicznej korespondencji i rozliczeń finansowych. W celu określenia, w jaki sposób prawdopodobieństwo zajścia poszczególnych alternatywnych makrosce-nariuszy przyszłych wydarzeń jest zależne od trendów rozwojowych poszczególnych obszarów tematycznych i kluczowych mezoczynników inżynierii powierzchni materiałów, utworzono dwa programy komputerowe odpowiednio SCENNET21 i SCENNET48, do których jako funkcje dołączono sztuczne sieci neuronowe, zaprojektowane z użyciem komercyjnego oprogramowania *Statistica 4.0F*. Wyniki badań eksperckich przeprowadzonych metodą e-Delphix stanowiły dane wejściowe do sieci, podzielone na zbiory: testowy, walidacyjny i uczący. Utworzone programy komputerowe umożliwiły losowe poszukiwanie rozwiązania suboptymalnego z użyciem metody Monte Carlo, interpretację wyników badań i ich graficzną prezentację w postaci wykresów. Prezentowane podejście wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe do kreowania alternatywnych scenariuszy wydarzeń jest nowatorskie i eksperymentalne, nieopisane jak dotąd w literaturze przedmiotu. Schemat wykonanych badań e-foresightowych z uwzględnieniem zastosowanej technologii informacyjnej, narzędzi informatycznych i oprogramowania, metody e-Delphix oraz metodyki projektowania i zastosowania w badaniach sieci neuronowych przedstawiono na rysunku 3.7.

Na autorską metodologię komputerowo zintegrowanego prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów, sformułowaną i sformalizowaną w pracy [3] składa się zarówno metodyka interdyscyplinarnych badań, obejmująca zbiór oryginalnie dobranych znanych metod i narzędzi analitycznych, jak i oryginalna koncepcja metodologiczna, umożliwiająca wykonanie dalszej części badań, obejmująca: macierze kontekstowe, mapy drogowe i karty informacyjne



Rysunek 3.7. Schemat badań e-foresightowych

technologii oraz wspomagane sieciami neuronowymi kreowanie alternatywnych scenariuszy przyszłych wydarzeń. Metodologia komputerowo zintegrowanego prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów ma charakter interdyscyplinarny, dotykając przenikających się wzajemnie zagadnień dotyczących inżynierii powierzchni materiałów, wchodzącej w skład inżynierii materiałowej, foresightu technologicznego zawartego w obszarze dyscypliny naukowej organizacja i zarządzanie oraz wywodzącej się z informatyki technologii informacyjnej, co ilustruje rysunek 3.8.



*Rysunek 3.8. Interdyscyplinarna metodologia komputerowo zintegrowanego prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów*

Pozycjonowaniu technologii służy zbiór macierzy kontekstowych, zawierający w szczególności: dendrologiczne macierze wartości technologii, meteorologiczne macierze oddziaływania otoczenia i macierze strategii dla technologii. Macierze te stanowią narzędzia graficznej analizy porównawczej poszczególnych technologii lub ich grup, pozwalając na: ich zobiektywizowaną ocenę w dziesięciostopniowej uniwersalnej skali stanów względnych (rys. 3.9), gdzie 1 oznacza minimalną ocenę lub poziom zgodności z daną cechą/zjawiskiem/czynnikiem/stwierdzeniem, natomiast 10 jest wybitnie wysoką oceną lub poziomem zgodności z cechą/zjawiskiem/czynnikiem/stwierdzeniem, określenie rekomendowanych strategii postępowania, w odniesieniu do poszczególnych technologii lub ich grup, a także wytyczenie ścieżek ich rozwoju strategicznego.

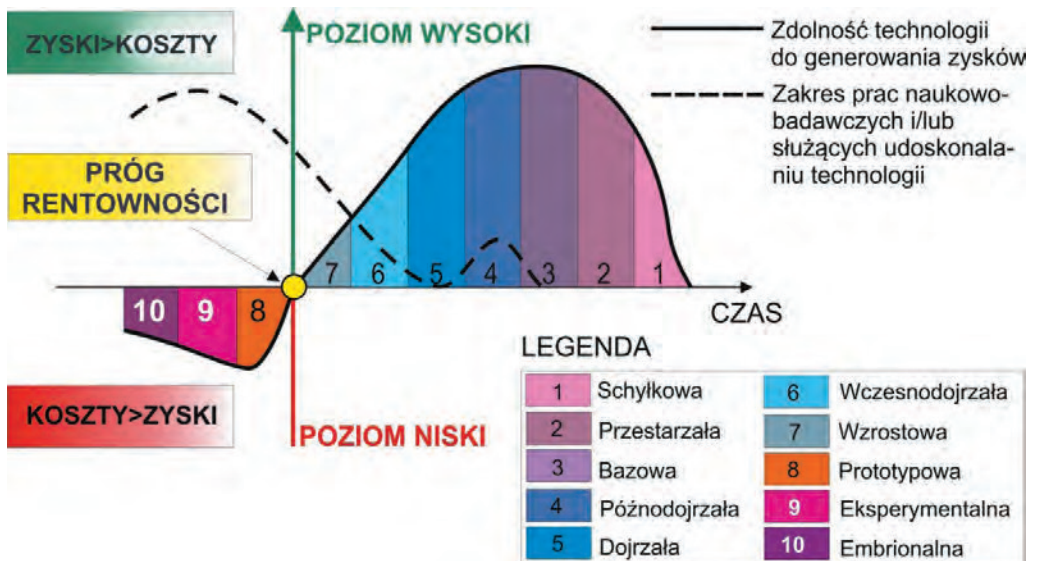
W toku badań eksperci oceniali także **fazy cyklu życia technologii** (rys. 3.10), co dla zachowania spójności rozważań wymagało utworzenia dziesięciostopniowej skali, kompatybilnej

WARTOŚĆ LICZBOWA	WYRÓŻNIKI KLAS	POZIOM	
10	0,95 ←	WYBITNIE WYSOKI	doskonałość ←
9	0,85 ←	BARDZO WYSOKI	
8	0,75 ←	WYSOKI	normalność ←
7	0,65 ←	DOŚĆ WYSOKI	
6	0,55 ←	UMIARKOWANY	przeciętność ←
5	0,45 ←	ŚREDNI	
4	0,35 ←	DOŚĆ NISKI	
3	0,25 ←	NISKI	
2	0,15 ←	BARDZO NISKI	
1	0,05 ←	MINIMALNY	

**Rysunek 3.9.** Uniwersalna skala stanów względnych [1, 3, 5]

z uniwersalną skalą stanów względnych, służącej zobiektywizowanej ocenie fazy życia danej technologii lub grupy technologii, gdzie 1 oznacza technologię schyłkową, a 10 – technologię embrionalną. Procesowi opracowywania nowej technologii towarzyszą nakłady na materiały, konstruowanie nowych urządzeń i wynagrodzenia personelu realizującego prace naukowo-badawcze, które stopniowo wzrastają, osiągając maksimum na etapie konstruowania i testowania instalacji prototypowych. W przypadku gdy nowo opracowane rozwiązania spełniają oczekiwania producenta, a należy mieć świadomość, że wiele z technologii nie wychodzi poza fazę testowania prototypów, następuje faza stopniowego wdrażania ich do produkcji, co pozwala nowej technologii generować pierwsze zyski, częściowo rekompensujące poniesione koszty aż do momentu osiągnięcia **progu rentowności**, czyli punktu, w którym zyski równoważą poniesione nakłady. Nowo opracowana technologia przechodzi następnie w fazę wzrostową, nabierając coraz większego znaczenia wśród ogółu procesów realizowanych w przedsiębiorstwie, zaczyna generować pierwsze poważne zyski, lecz koszty ponoszone na jej udoskonalanie, postępującą modernizację parku maszynowego zwykle związaną z jego automatyzacją i robotyzacją, dopasowywanie produktu do klienta i promocję nadal pochłaniają duże kwoty. Z biegiem czasu proporcje te ulegają zmianie, ponieważ technologia wchodząc w fazę dojrzałości generuje coraz większe zyski, a nakłady maleją, co stanowi długo wyczekiwany przez producenta moment, zwany – zgodnie z terminologią stosowaną w naukach o zarządzaniu – *dojeniem krowy* lub *zbieraniem żniw* [460-466]. Po czasie *prosperity* zyski z realizacji produkcji z użyciem technologii zaczynają maleć, co zwykle mobilizuje naczelne kierownictwo przedsiębiorstwa do podjęcia działań naprawczych, modernizacyjnych, usprawniających, czemu



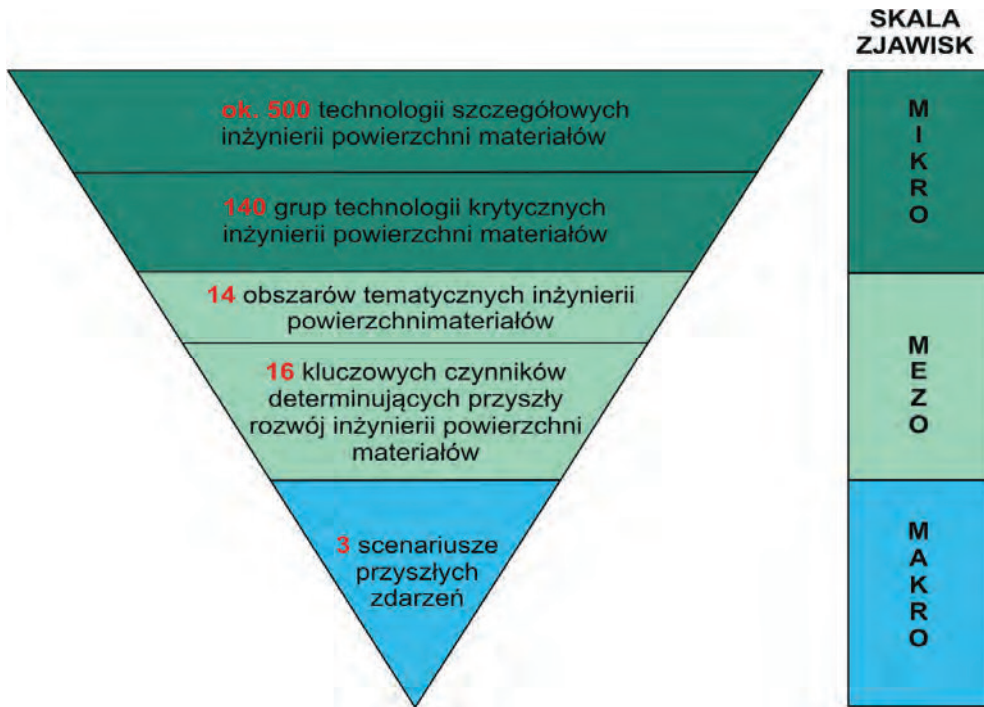


**Rysunek 3.10.** Fazy cyklu życia technologii [3]

towarzyszy kampania promocyjna w mediach. Działania te najczęściej odnoszą ograniczony w czasie skutek i po chwilowej poprawie następuje stopniowa degradacja technologii znajdującej się już w fazie bazowej, która następnie staje się technologią przestarzałą, by jako schyłkowa ostatecznie zejść z rynku. W odniesieniu do zaprezentowanego typowego i najbardziej klasycznego cyklu życia technologii, przedstawionego na rysunku 3.10, w praktyce mogą pojawić się odchylenia najczęściej dotyczące trwania poszczególnych faz, nietypowego błyskawicznego wyparcia technologii przez inne nowocześniejsze rozwiązania lub przeciwnie – odnalezienie jej zupełnie nowych zastosowań i częściowego powielenia poszczególnych faz cyklu życia [3].

W celu określenia pozycji strategicznej poszczególnych grup technologii krytycznych i wytyczenia strategii postępowania, rekomendowanych do aplikacji w odniesieniu do tych technologii, zastosowano nowo opracowaną metodologię komputerowo zintegrowanego prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów [3], której poprawność uprzednio zweryfikowano pozytywnie, stosując jako punkt odniesienia wyniki klasycznych badań materiałoznawczych. Wykonane prace własne dotyczą analizy zbioru różnorodnych czynników, które zakwalifikowano jako makroczynniki krytyczne o naturze ogólnej, występujące jednostkowo i silnie oddziałujące na inne czynniki; mezocynniki, występujące w ograniczonej liczbie i umiarkowanie wpływające na inne czynniki, oraz mikroczynniki szczegółowe występujące licznie, charakteryzujące się wrażliwością na oddziaływanie innych czynników. Charakterystykę





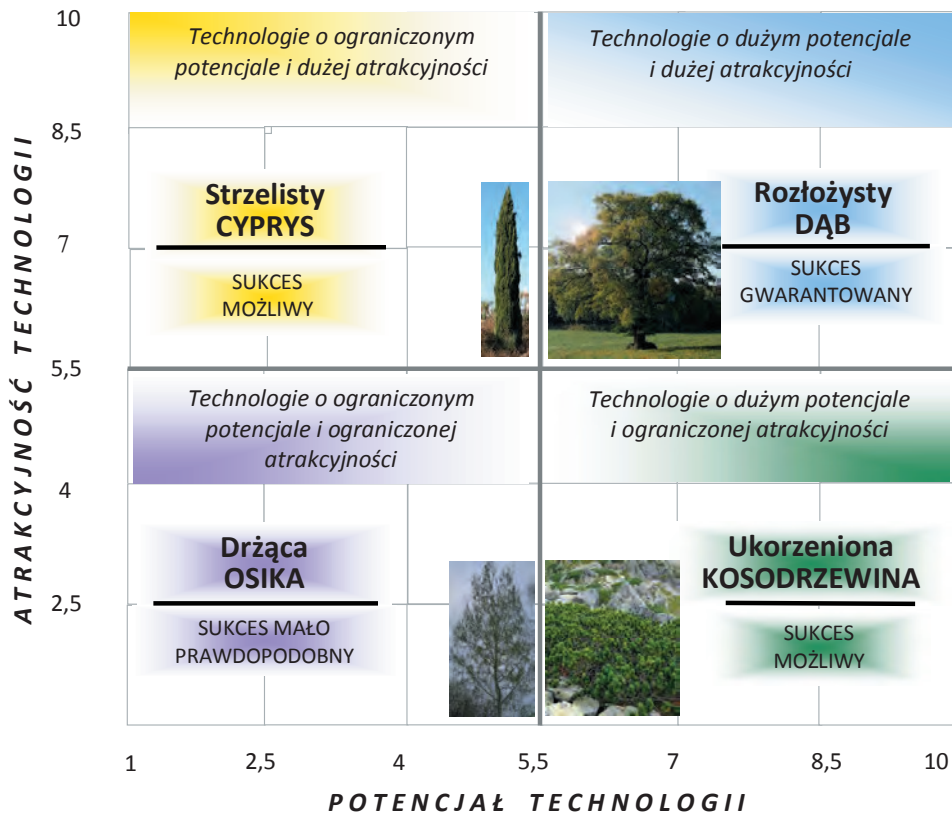
**Rysunek 3.11.** Trójkąt liczności charakteryzujący wykonane badania dotyczące inżynierii powierzchni materiałów [3]

analizowanych czynników, uwzględniającą przyjęty podział, przedstawiono z użyciem trójkąta liczności (rys. 3.11), dotyczącego wykonanych badań inżynierii powierzchni materiałów i prezentującego rosnącą liczbę rozpatrywanych czynników wraz ze wzrostem poziomu szczegółowości.

Na poziomie makro rozpatrywane są 3 alternatywne scenariusze przyszłych wydarzeń: optymistyczny, neutralny i pesymistyczny, które utworzono na podstawie wyników badań ankietowych przeprowadzonych drogą elektroniczną wśród kilkuset ekspertów. Wyniki badań eksperckich zaimplementowano jako dane wejściowe do sieci neuronowych, w celu losowego poszukiwania rozwiązań, zgodnie z ideą metody Monte Carlo i generowania wyniku przedstawiającego graficznie wartości prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych wariantów wydarzeń zależnych od określonych warunków lub czynników szczegółowych. Poziom mezo obejmuje 16 kluczowych czynników natury ogólnej wpływających, zdaniem ankietowanych ekspertów, w najistotniejszy sposób na prognozowany rozwój inżynierii powierzchni materiałów, które przedstawiono na rysunku 3.12, oraz 14 obszarów tematycznych (rys. 3.5) poddanych analizie, które zgrupowano w dwóch polach badawczych *M* (ang.: *Manufacturing*) oraz *P* (ang.: *Product*).



Rysunek 3.12. Mezoczynnik najintensywniej oddziałujące na rozwój inżynierii powierzchni materiałów [70]



**Rysunek 3.13.** Dendrologiczna macierz wartości technologii; prezentacja podejścia [3, 461, 467]

Poziom mikro jest natomiast reprezentowany przez 140 grup technologii krytycznych (tabl. 3.1), obejmujących po 10 grup technologii, wyłonionych w ramach każdego z czternastu obszarów tematycznych. Niektóre z tych technologii, wybrane arbitralnie i scharakteryzowane we własnym opracowaniu książkowym [5], poddano szczegółowym badaniom materiałoznawczo-heurystycznym służącym weryfikacji poprawności opracowanej metodologii.

Określeniu pozycji strategicznej poszczególnych grup technologii krytycznych i szczegółowych posłużyło opracowanie zbioru macierzy kontekstowych, obejmujących dendrologiczne macierze wartości technologii, meteorologiczne macierze oddziaływania otoczenia i macierze strategii dla technologii. Macierze te stanowią narzędzia graficznej analizy porównawczej poszczególnych technologii lub ich grup, pozwalając na ich zobiektywizowaną ocenę oraz określenie rekomendowanych strategii postępowania w odniesieniu do poszczególnych technologii lub ich grup. Do określenia zobiektywizowanych wartości poszczególnych wyodrębnionych

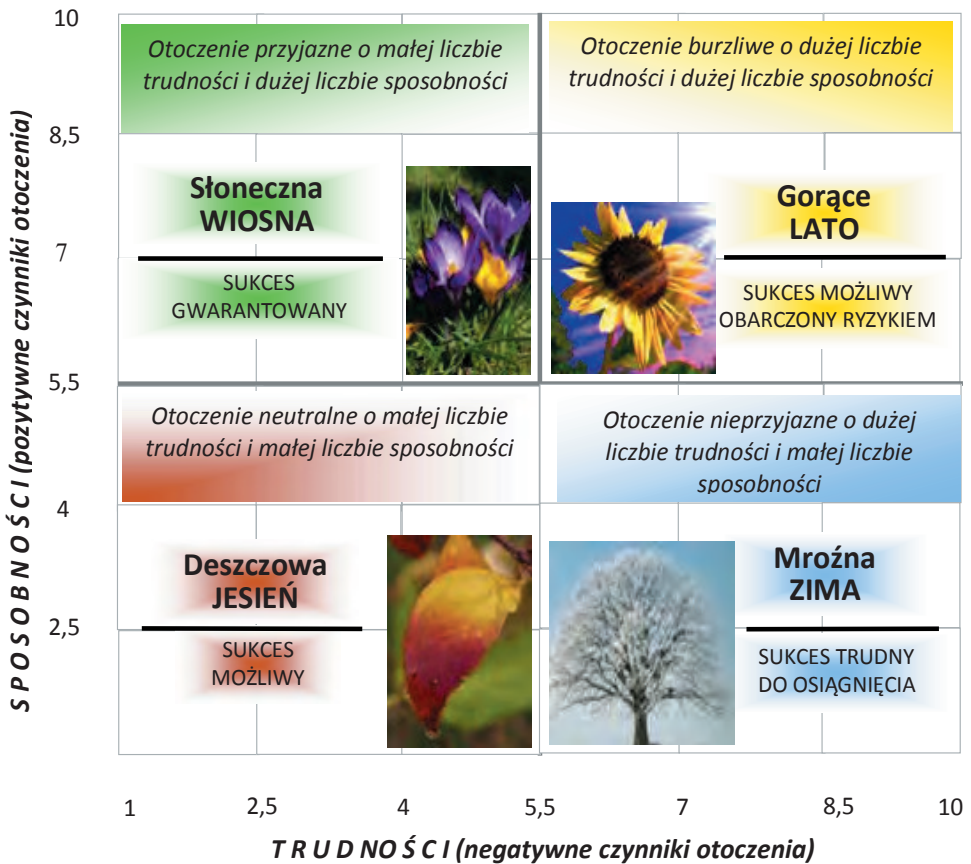
technologii lub ich grup zastosowano dendrologiczną macierz wartości technologii, a do określenia intensywności pozytywnego i negatywnego oddziaływania mikro- i makrootoczenia na dane technologie – meteorologiczną macierz oddziaływania otoczenia [3]. Konstrukcja metodologiczna obu tych macierzy odwołuje się do znanych powszechnie w naukach o zarządzaniu metod portfelowych [462-465], służących charakterystyce portfela produktów oferowanych przez przedsiębiorstwo klientowi, pozwalających na graficzną prezentację wyników analizy porównawczej przeprowadzonej na podstawie dwóch kryteriów/czynników umieszczonych odpowiednio na poziomej i pionowej osi macierzy. Najstynniejsza tego rodzaju macierz *Boston Consulting Group* – BCG [466] zawdzięcza swoją niebywałą popularność odwołaniu do prostych skojarzeń i intuicyjnego wnioskowania, co stało się inspiracją podczas tworzenia założeń metodologicznych macierzy dendrologicznej i meteorologicznej. Do oceny poszczególnych grup technologii, pod kątem ich wartości i siły oddziaływania otoczenia, użyto jednobiegunowej skali dodatniej bez zera, zwanej uniwersalną skalą stanów względnych (rys. 3.9), a fazy cyklu życia określono zgodnie z kompatybilną z nią, dziesięciopunktową skalą oceny fazy cyklu życia technologii (rys. 3.10).

**Dendrologiczna macierz wartości technologii** (rys. 3.13) przedstawia graficznie wyniki oceny poszczególnych grup technologii pod kątem ich potencjału, stanowiącego rzeczywistość

**Tablica 3.2.** Skrócona charakterystyka technologii kwalifikujących się do poszczególnych ćwiartek dendrologicznej macierzy wartości technologii

Nazwa ćwiartki macierzy	Charakterystyka technologii zawartych w poszczególnych ćwiartkach macierzy dendrologicznej
Rozłożysty dąb	Technologie charakteryzują się zarówno dużym potencjałem zawartym w przedziale (5,5; 10), jak i dużą atrakcyjnością z przedziału (5,5; 10), co jest odzwierciedleniem najlepszej możliwej sytuacji gwarantującej przyszły sukces i ekspansję rynkową.
Strzelisty cyprys	Technologie o ograniczonym potencjale z przedziału (1; 5,5), lecz dużej atrakcyjności, zawierającej się w przedziale (5,5; 10), przez co sukces tych technologii jest możliwy.
Ukorzeniona kosodrzewina	Technologie o ograniczonej atrakcyjności z przedziału (1; 5,5), lecz dużym potencjale, zawierającym się w przedziale (5,5; 10), dzięki czemu ich przyszły sukces jest wysoce prawdopodobny.
Drżąca osika	Technologie słabe o ograniczonym potencjale, zawierające się w przedziale (1; 5,5) i ograniczonej atrakcyjności z przedziału (1; 5,5), których przyszły sukces jest mało prawdopodobny lub niemożliwy





**Rysunek 3.14.** Meteorologiczna macierz oddziaływania otoczenia; prezentacja podejścia [3, 461, 467]

obiektywną wartość danej technologii i atrakcyjności, odzwierciedlającej subiektywne postrzeżenie danej technologii wśród jej potencjalnych użytkowników [3]. Potencjał danej grupy technologii, wyrażony za pomocą dziesięciostopniowej uniwersalnej skali stanów względnych, naniesiony na oś poziomą macierzy dendrologicznej jest wynikiem analizy wielokryterialnej przeprowadzonej na podstawie oceny eksperckiej, uwzględniającej w odpowiednich proporcjach potencjał: kreatywny, aplikacyjny, jakościowy, rozwojowy i techniczny. Na oś pionową macierzy dendrologicznej został natomiast naniesiony poziom atrakcyjności danej grupy technologii, będący średnią ważoną oceny eksperckiej dokonanej na podstawie kryteriów szczegółowych odpowiadających atrakcyjności gospodarczej, ekonomicznej, humanistycznej, przyrodniczej i systemowej. W zależności od wartości potencjału i poziomu atrakcyjności, które określono w ramach oceny eksperckiej, każdą z analizowanych technologii umieszczono w jednej z ćwiartek



macierzy. Skróconą charakterystykę technologii kwalifikujących się do poszczególnych ćwiartek macierzy dendrologicznej zaprezentowano w tablicy 3.2.

**Meteorologiczna macierz oddziaływania otoczenia** (rys. 3.14) przedstawia graficznie wyniki oceny wpływu czynników zewnętrznych na poszczególne grupy technologii, które zostały podzielone na trudności oddziałujące negatywnie i sposobności wpływające pozytywnie na analizowane technologie [3]. Badanie opinii ekspertów na temat pozytywnych i negatywnych czynników oddziałujących na dane technologie odbyło się z wykorzystaniem kwestionariusza ankietowego złożonego z kilkudziesięciu pytań dotyczących mikro- i makrootoczenia, z podziałem na otoczenie społeczne, technologiczne, ekonomiczne, ekologiczne oraz polityczne i prawne, w ściśle określonych proporcjach. Trudności zewnętrzne wyrażone z wykorzystaniem dziesięciostopniowej uniwersalnej skali stanów względnych, będące wynikiem analizy wielokryterialnej przeprowadzonej na podstawie oceny eksperckiej, zostały naniesione na oś poziomą macierzy meteorologicznej. Na oś pionową tej macierzy naniesiono natomiast sposobności, czyli pozytywne czynniki oddziaływania otoczenia, będące średnią ważoną oceny eksperckiej dokonanej na podstawie kryteriów szczegółowych. W zależności od określonego, w ramach oceny eksperckiej

**Tablica 3.3.** Skrócona charakterystyka otoczenia technologii kwalifikujących się do poszczególnych ćwiartek meteorologicznej macierzy oddziaływania otoczenia

Nazwa ćwiartki macierzy	Charakterystyka otoczenia technologii zawartych w poszczególnych ćwiartkach macierzy meteorologicznej
Słoneczna wiosna	Otoczenie technologii jest przyjazne charakteryzujące się dużą liczbą sposobności – z przedziału (5,5; 10) – i małą liczbą trudności, zawierających się w przedziale <1; 5,5), co powoduje, że sukces – w najlepszych możliwych warunkach – jest gwarantowany
Upalne lato	Otoczenie niesie dużo sposobności, zawierających się w przedziale (5,5; 10), lecz towarzyszy im także dużo trudności z przedziału (5,5; 10), co powoduje, że sukces technologii jest możliwy, lecz obarczony ryzykiem
Deszczowa jesień	Obrazuje neutralne oddziaływanie otoczenia, czemu towarzyszy sytuacja w której na technologie nie czyhają pułapki, co odpowiada przedziałowi <1; 5,5), lecz także z zewnątrz nie płynie zbyt wiele sposobności, co odpowiada przedziałowi <1; 5,5)
Mroźna zima	Otoczenie sprawia dużą liczbę trudności, zawierających się w przedziale (5,5; 10) i niewielką liczbę sposobności z przedziału <1; 5,5), co powoduje, że sukces technologii w tym najniekorzystniej oddziałującym otoczeniu jest trudny bądź niemożliwy do osiągnięcia

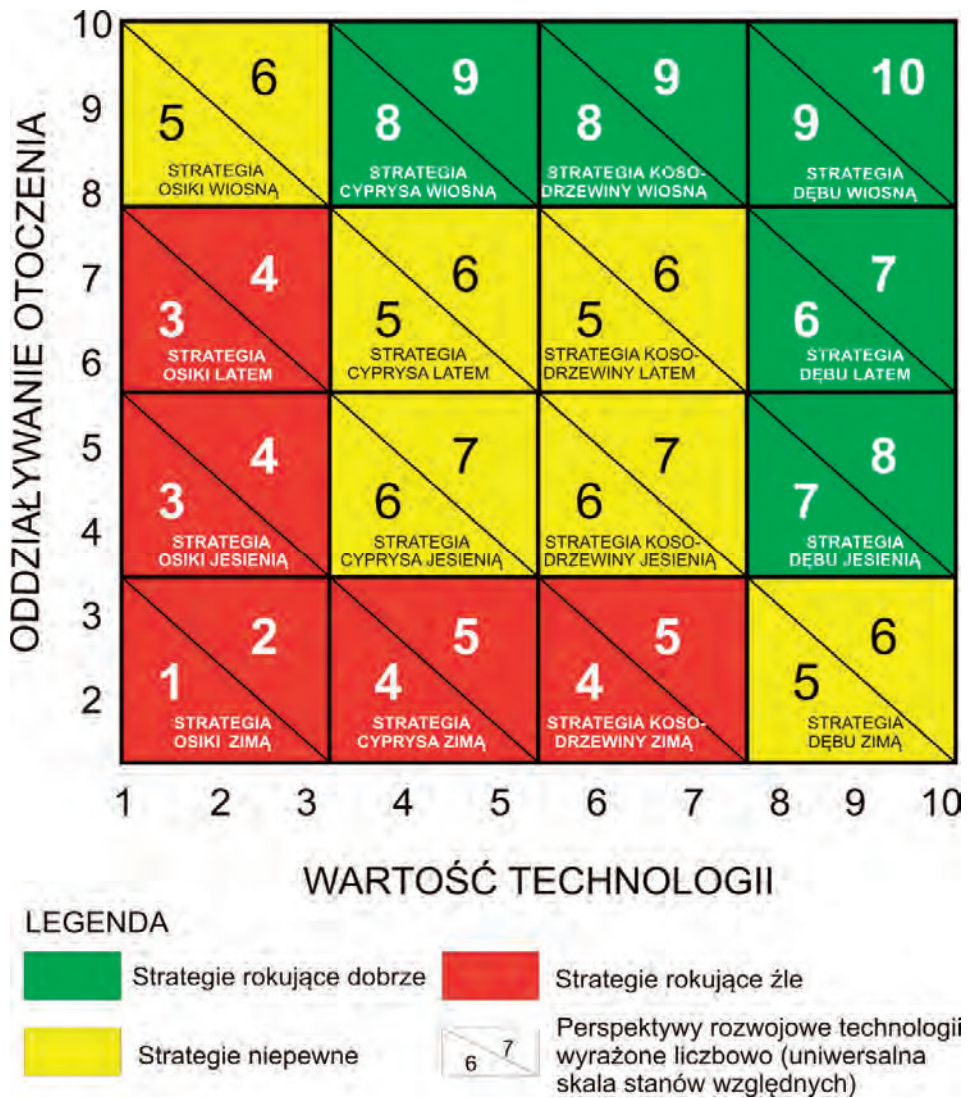
w dziesięciopunktowej skali, poziomu oddziaływania pozytywnych i negatywnych czynników otoczenia na analizowane technologie, każdą z nich umieszczono w jednej z ćwiartek macierzy. W meteorologicznej macierzy wartości technologii wyróżniono ćwiartki, do których kwalifikuje się technologie, zależnie od intensywności pozytywnego i negatywnego oddziaływania na nie otoczenia, co przedstawiono w tablicy 3.3.

Na kolejnym etapie prac badawczych wyniki badań przedstawione w postaci graficznej za pomocą dendrologicznej macierzy wartości technologii i meteorologicznej macierzy oddziaływania otoczenia zostały naniesione na **macierz strategii dla technologii** [3, 461]. Macierz ta składa się z szesnastu pól odpowiadających poszczególnym wariantom, wynikającym z kompletu kombinacji czterech rodzajów technologii z czterema rodzajami otoczenia. Macierz strategii dla technologii (rys. 3.15) przedstawia graficznie miejsce technologii, z uwzględnieniem jej wartości i intensywności oddziaływania otoczenia wyrażonych w dziesięciostopniowej uniwersalnej skali stanów względnych. W tablicy 3.4. przedstawiono krótki opis strategii dotyczącej postępowania zalecanego w przypadku, gdy dana technologia o określonej wartości znajdzie się w otoczeniu charakteryzującym się określonymi sposobnościami i trudnościami. Przeniesienie konkretnych wartości liczbowych z dwóch czteropolowych macierzy kontekstowych: dendrologicznej wartości technologii i meteorologicznej oddziaływania otoczenia do szesnastopolowej macierzy strategii dla technologii wiązało się z koniecznością sformułowania zależności matematycznych, pozwalających na przeskalowanie i zobiektywizowanie otrzymanych wyników badań. Przedmiotowe zależności matematyczne stanowiły podstawę opracowania autorskiego programu komputerowego umożliwiającego szybkie obliczenie szukanych wartości i wygenerowanie macierzy strategii dla technologii w formie graficznej. Realizacja tak sformułowanych postulatów wymagała wprowadzenia następujących pojęć : względnej wartości technologii  $V_n$  i względnej wartości oddziaływania otoczenia  $E_n$ . Obliczeń szczegółowych i ich wizualizacji z zastosowaniem macierzy strategii dla technologii dokonano z użyciem zależności matematycznych, których uproszczoną wersję wyraża układ równań (3.1) [3, 461]:

$$\begin{cases} V'_n = c + \left(\frac{d-c}{b-a}\right)(V_n - a) \\ E'_n = c + \left(\frac{d-c}{b-a}\right)(E_n - a) \end{cases} \quad (3.1)$$

gdzie:

- $a$  – wartość minimalna w macierzy dendrologicznej i meteorologicznej,
- $b$  – wartość maksymalna w macierzy dendrologicznej i meteorologicznej,
- $c$  – wartość minimalna w macierzy strategii dla technologii,



**Rysunek 3.15.** Ogólna postać macierzy strategii dla technologii [3, 92]

$d$  – wartość maksymalna w macierzy strategii dla technologii,

$V_n$  – względna wartość technologii w macierzy dendrologicznej i meteorologicznej,

$E_n'$  – względna wartość oddziaływania otoczenia w macierzy strategii dla technologii,

$E_n$  – względna wartość oddziaływania otoczenia w macierzy dendrologicznej i meteorologicznej,

$n$  – symbol alfanumeryczny danej technologii lub grupy technologii,  $n \in \{A, B, \dots, Z\}$ .

**Tablica 3.4.** Charakterystyka strategii rekomendowanych do zastosowania w odniesieniu do technologii znajdujących się w poszczególnych polach macierzy strategii dla technologii

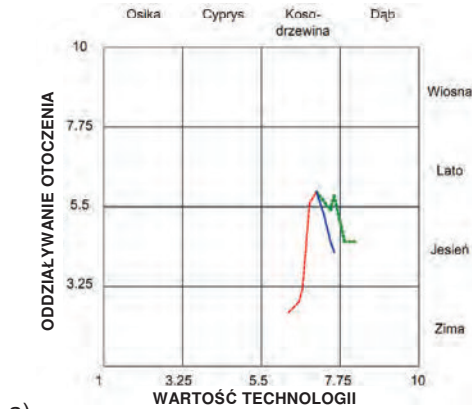
Nazwa szesnastki macierzy	Rekomendowana do zastosowania strategia
Dąb wiosną	<b>Odnosić sukces.</b> Rozwijać, umacniać, implementować atrakcyjną technologię o dużym potencjale w praktyce przemysłowej w celu odniesienia spektakularnego sukcesu
Dąb latem	<b>Przeanalizować rynek i wykorzystać sposobności.</b> Wykorzystywać atrakcyjność i potencjał technologii w ryzykownym otoczeniu, unikać trudności, przeprowadzić badania marketingowe i dopasować produkt do wymagań klienta
Dąb jesienią	<b>Czerpać korzyści szukając nowych zakresów zastosowań technologii.</b> Odnosić sukcesy z atrakcyjną stabilną technologią na przewidywalnym rynku, poszukując nowych rynków, grup klientów i produktów możliwych do wytwarzania tą technologią
Dąb zimą	<b>Intensywnie szukać nowych zastosowań technologii.</b> Starać się przeczekać trudności i utrzymać na rynku z solidną atrakcyjną technologią intensywnie poszukując nowych rynków, klientów i produktów możliwych do wytwarzania tą technologią
Kosodrzewina wiosną	<b>Wykorzystać sposobności umacniając atrakcyjność technologii.</b> Uatrakcyjnić, unowocześnić, automatyzować, komputeryzować i promować technologię o dużym potencjale wykorzystując dobrą koniunkturę na rynku
Kosodrzewina latem	<b>Wzmacniać atrakcyjność i dopasować produkt do wymagań klienta.</b> Spróbować uatrakcyjnić i unowocześnić technologię o dużym potencjale, przeprowadzić badania marketingowe i dopasować produkt do wymagań klienta
Kosodrzewina jesienią	<b>Czerpać korzyści umacniając atrakcyjność technologii.</b> Czerpać zyski z realizacji produkcji w stabilnym przewidywalnym otoczeniu z wykorzystaniem solidnej technologii, którą należy unowocześnić i intensywnie promować dla wzmocnienia jej atrakcyjności
Kosodrzewina zimą	<b>Opierać się trudnościom.</b> Opierać się piętrzącym się trudnościom płynącym z otoczenia starając się równocześnie w miarę możliwości wzmocnić atrakcyjność technologii o dużym potencjale
Cyprys wiosną	<b>Wykorzystać sposobności umacniając potencjał technologii.</b> Badać, doskonalić, wzmacniać i doinwestować atrakcyjną technologię wykorzystując dobrą koniunkturę na rynku
Cyprys latem	<b>Wzmacniać potencjał i ocenić ryzyko.</b> Wzmacniać potencjał atrakcyjnej technologii w ryzykownych warunkach otoczenia, ocenić ryzyko i w zależności od wyniku agresywnie zaważać o klienta lub powoli wycofywać technologię
Cyprys jesienią	<b>Czerpać korzyści umacniając potencjał technologii.</b> Maksymalnie wykorzystywać stabilne, przewidywalne otoczenie dla realizacji produkcji z użyciem atrakcyjnej technologii wzmacniając równocześnie jej potencjał

Nazwa szesna- stki macierzy	Rekomendowana do zastosowania strategia				
Cyprys zimą	<b>Powoli schodzić z rynku.</b> Bazując na atrakcyjności technologii maksymalnie wykorzystać okoliczności i powoli wycofywać technologię o niedużym potencjale z rynku, na którym przeważają trudności				
Osika wiosną	<b>Wykorzystać obecność na atrakcyjnym rynku.</b> Maksymalnie wyeksploatować słabą technologię korzystając z dobrej koniunktury i wykorzystując rozeznanie na atrakcyjnym rynku badać, rozwijać i wprowadzać nowe technologie				
Osika latem	<b>Przeanalizować ryzyko.</b> Przeprowadzić analizę ryzyka i w zależności od jej wyników pozostać na rynku lub wycofać się z niego ze słabą technologią				
Osika jesienią	<b>Powoli schodzić z rynku.</b> Powoli wycofywać słabą technologię z rynku nie dającego nowych możliwości				
Osika zimą	<b>Schodzić z rynku.</b> Wycofać słabą technologię z rynku, na którym przeważają trudności				
<b>LEGENDA</b>					
	Strategie rokujące dobrze		Strategie niepewne		Strategie rokujące źle

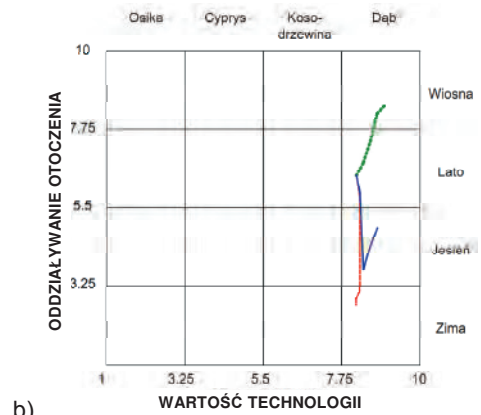
Współrzędne punktów odzwierciedlających ocenę ekspercką wartości technologii naniesione na macierz dendrologiczną oznaczono górnym indeksem  $d$ , punktów odpowiadających intensywności oddziaływania otoczenia naniesionych na macierz meteorologiczną górnym indeksem  $m$ , natomiast punkty naniesione na macierz strategii dla technologii, określające pozycje strategiczne poszczególnych technologii, mają górny indeks  $s$ . Dolne indeksy punktów informują, do jakiego obszaru tematycznego ( $M1-M7$ ,  $P1-P7$ ) należy analizowana technologia lub grupa technologii. Wprowadzenie indeksów pozwala na zbiorcze zestawienie wyników badań i analizę porównawczą wszystkich technologii, niezależnie do jakiego obszaru zostały one pierwotnie zakwalifikowane.

**Ścieżki rozwoju strategicznego** stanowią wielowariantową prognozę rozwoju poszczególnych technologii lub ich grup, w odniesieniu do interwałów czasowych odpowiadających sytuacji kolejno w latach: 2015, 2020, 2025 i 2030. Ścieżki rozwoju strategicznego, naniesione na macierz strategii dla technologii, prezentują optymistyczny, neutralny i pesymistyczny wariant wydarzeń, zależny zarówno od czynników wewnętrznych, uwzględniających potencjał stanowiący obiektywną wartość technologii i atrakcyjność, będącą odzwierciedleniem subiektywnego jej postrzegania przez potencjalnych użytkowników, jak i czynników zewnętrznych (pozytywnych i negatywnych), płynących z otoczenia. Przykładowe ścieżki rozwoju strategicznego

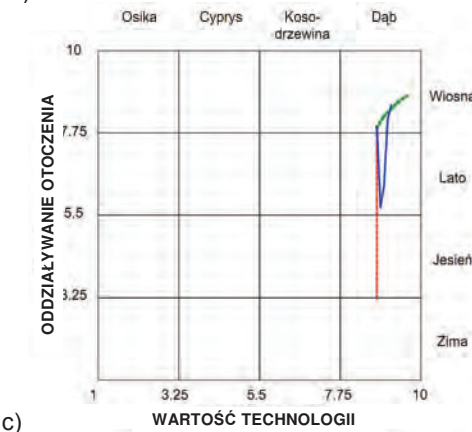




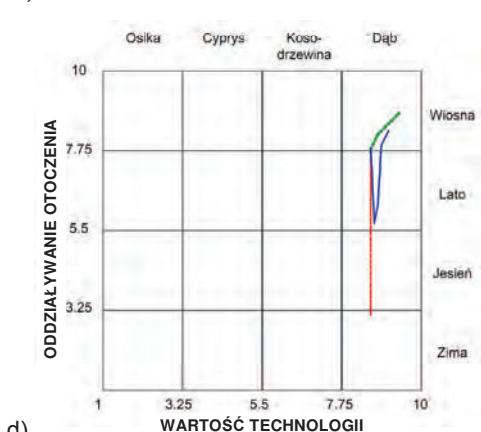
a)



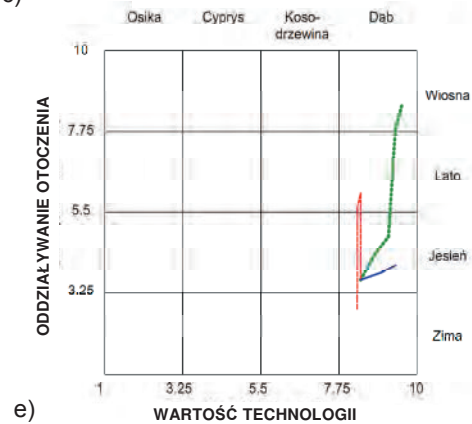
b)



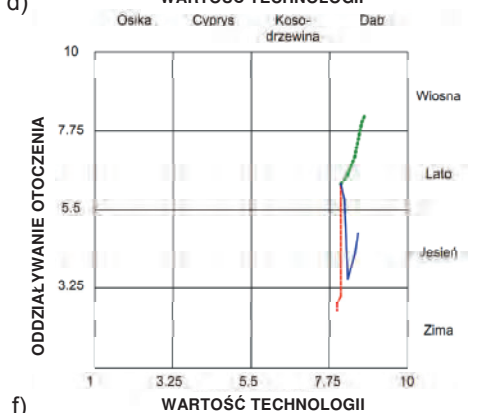
c)



d)



e)



f)

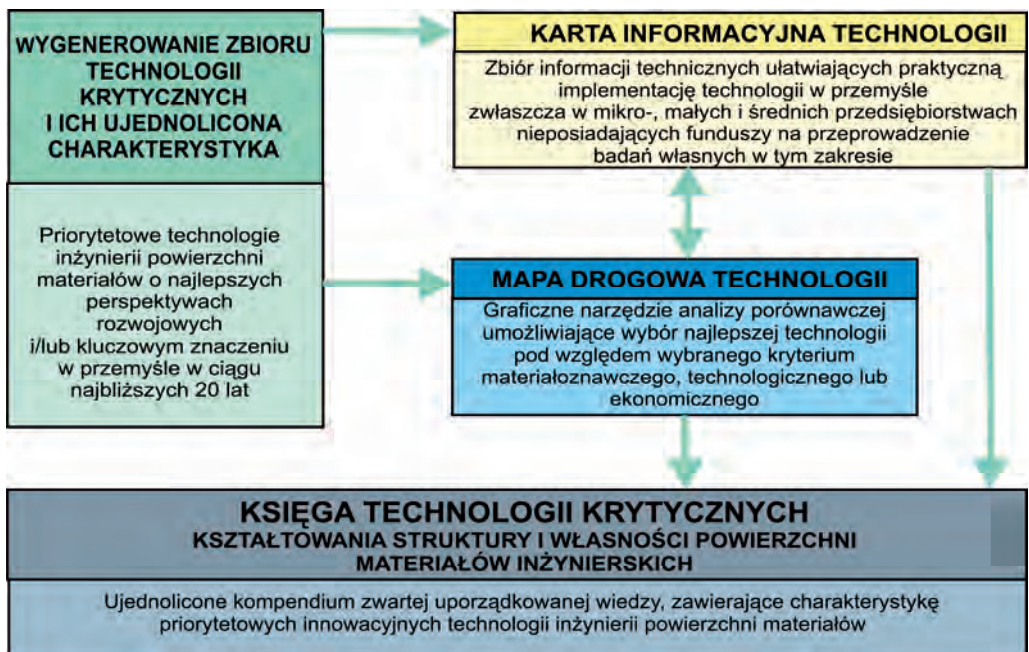
Warianty ścieżek rozwoju strategicznego:

..... optymistyczny      — neutralny      — pesymistyczny

**Rysunek 3.17.** Ścieżki rozwoju strategicznego wyznaczone dla stopowych stali narzędziowych do pracy na gorąco X40CrMoV5-1 i 32CrMoV12-28 a) stopowanych laserowo bez użycia proszków oraz przetapianych i stopowanych z użyciem odpowiednio proszków węglików: b) TaC, c) TiC, d) VC, e) WC, f) NbC

sporządzone dla technologii laserowego przetapiania bez udziału proszków oraz przetapiania i stopowania, z użyciem różnych proszków węglików, stali narzędziowych do pracy na gorąco przedstawiono na rysunku 3.17.

Wyniki elektronicznej ankietyzacji ekspertów, specjalistów reprezentujących poszczególne obszary tematyczne, wykonanej zgodnie z koncepcją e-foresightu technologicznego z użyciem metody e-Delphix i towarzyszącej jej technologii informacyjnej, umożliwiającej realizację badań w rzeczywistości wirtualnej [3], stanowiły pierwotne dane źródłowe, wyrażone ilościowo z wykorzystaniem dziesięciostopniowej uniwersalnej skali stanów względnych. W szczególności dokonano oceny wartości poszczególnych grup technologii, z uwzględnieniem ich potencjału i atrakcyjności, a wyniki tych ocen naniesiono na macierze wartości technologii. Wyniki oceny pozytywnego i negatywnego oddziaływania czynników otoczenia naniesiono natomiast na meteorologiczne macierze oddziaływania otoczenia. W następnej kolejności, stosując dedykowany temu zagadnieniu program komputerowy, wygenerowano macierze strategii dla technologii, które zaprezentowano w kolejnych rozdziałach niniejszej książki. Kółkami naniesionymi na macierz strategii dla technologii oznaczono, wyrażone liczbowo w uniwersalnej skali stanów względnych, strategiczne perspektywy rozwojowe poszczególnych technologii, co pozwala na



*Rysunek 3.18. Elementy składowe Księgi technologii krytycznych kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich*



Rysunek 3.19. Struktura mapy drogowej technologii [3]

przeprowadzenie ilościowej analizy porównawczej poszczególnych grup technologii krytycznych poddanych badaniom heurystycznym. Końcowym efektem wykonanych badań [70] jest niniejsza Księga technologii krytycznych kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich (rys. 3.18), w której zawarto m.in. zbiór kilkuset map drogowych i kart informacyjnych technologii stanowiących wygodne narzędzie analizy porównawczej pod względem wybranego kryterium materiałoznawczego, technologicznego lub ekonomicznego.

**Mapy drogowe technologii** (ang.: *Technology Roadmaps* – TR) [468-471] utworzono z wykorzystaniem danych pierwotnych pozyskanych w wyniku wykonanych badań eksperymentalno-porównawczych. Układ autorskiej mapy drogowej technologii (rys. 3.19) odpowiada pierwszej ćwiartce kartezjańskiego układu współrzędnych. Na osi odciętych znajdują się trzy interwały czasowe, dotyczące kolejno lat: 2010-12, 2020 i 2030, a horyzont czasowy całości wyników badań, które uwzględniła mapa, wynosi 20 lat. Na oś rzędnych mapy drogowej technologii naniesiono siedem głównych warstw odpowiadających kolejno na pytania o coraz większym stopniu szczegółowości: Kiedy? Dlaczego? Co? Jak? Gdzie? Kto? Ile?

Główne warstwy mapy drogowej technologii uporządkowano hierarchicznie, począwszy od górnych najbardziej ogólnych, określających ogólnospołeczne i ekonomiczne przesłanki, przyczyny i powody realizowanych działań, do których zalicza się warstwę czasową definiującą przyjęte interwały czasowe i horyzont czasowy prowadzonych badań oraz warstwę koncepcyjną

precyzującą perspektywy ogólnospołeczne i gospodarcze prowadzonych działań, a także strategię właściwą dla danej technologii. Do warstw środkowych zalicza się warstwę produktową charakteryzującą produkt powstający w danym procesie technologicznym z uwzględnieniem jego struktury i własności oraz warstwę technologiczną, która ma służyć opisowi stosowanej technologii z uwzględnieniem następujących kryteriów szczegółowych: cyklu życia, typu i formy produkcji, parku maszynowego, automatyzacji i robotyzacji, jakości i ekologii. Warstwy te są poddane dwóm typom oddziaływania: *ssaniu* od strony warstw górnych i *łoczeniu* od strony warstw dolnych. Dolne warstwy mapy drogowej technologii precyzują szczegóły organizacyjno-techniczne dotyczące miejsca, wykonawcy i kosztów. Można wśród nich zatem wyróżnić warstwę przestrzenną określającą rodzaj organizacji i reprezentowane gałęzie przemysłu, warstwę kadrową, która służy opisowi struktury i oczekiwanych kompetencji pracowników oraz warstwę ilościową podającą wymagania kapitałowe i szacowaną wielkość produkcji.

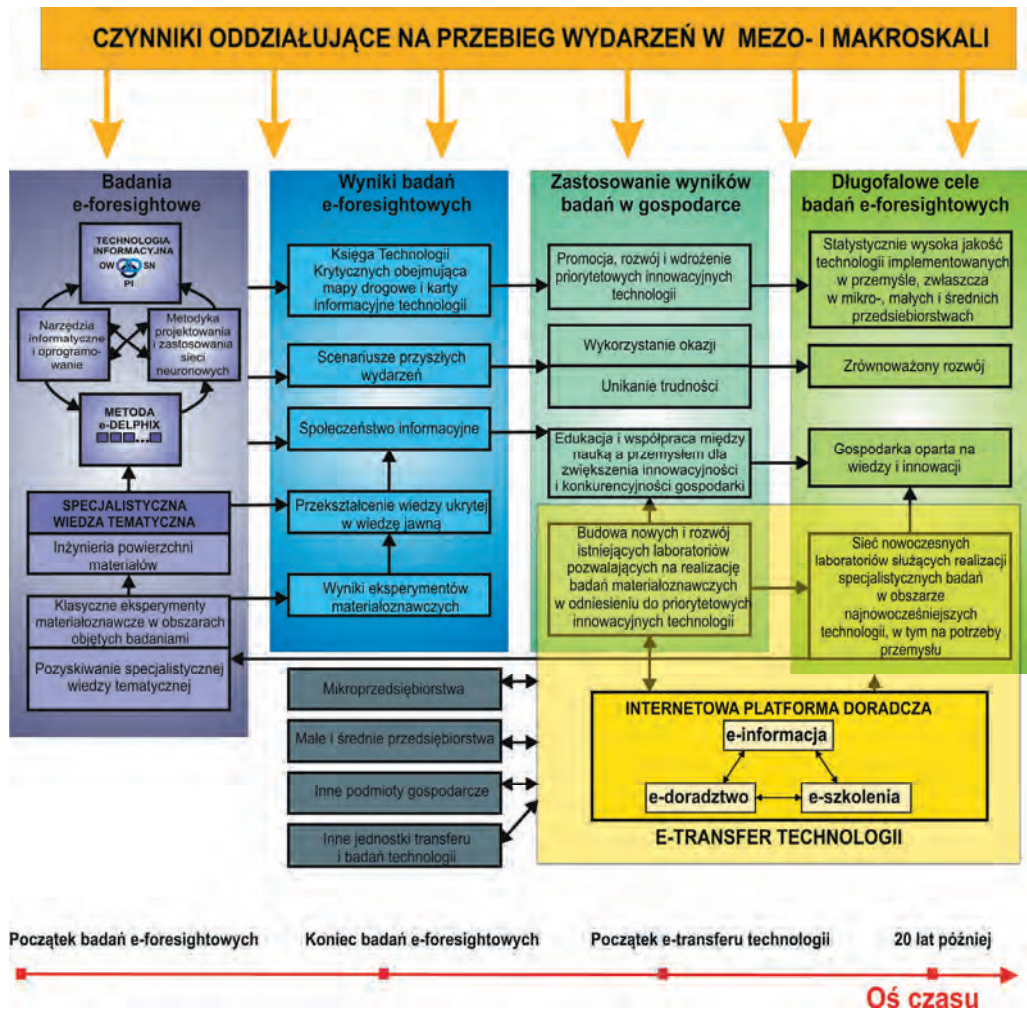
Zależności pomiędzy poszczególnymi warstwami i podwarstwami mapy drogowej technologii przedstawiono za pomocą strzałek, reprezentujących odpowiednio związki przyczynowo-skutkowe, powiązania kapitałowe, korelacje czasowe i dwukierunkowe przepływy danych i/lub zasobów. Opracowane według autorskiej koncepcji mapy drogowe technologii stanowią bardzo wygodne narzędzie analizy porównawczej, umożliwiając wybór technologii najlepszej pod względem wybranego kryterium materiałoznawczego, technologicznego lub ekonomicznego. Ich niezaprzeczalną zaletą jest ponadto elastyczność, dzięki której w razie potrzeby mapy można uzupełniać i rozbudowywać o dodatkowe podwarstwy, dostosowując je do specyfiki branży, wielkości przedsiębiorstwa, skali działalności firmy bądź indywidualnych oczekiwań przedsiębiorcy.

Uszczegółowieniem i uzupełnieniem map drogowych technologii są **karty informacyjne technologii** [3], zawierające informacje techniczne stanowiące istotną pomoc podczas wdrażania danej technologii w praktyce przemysłowej, w szczególności w mikro-, małych i średnich przedsiębiorstwach, niedysponujących kapitałem pozwalającym na przeprowadzenie badań własnych w tym zakresie. Karty informacyjne technologii zawierają: opis przebiegu procesu technologicznego i charakterystykę zjawiska fizykochemicznego towarzyszącego procesom technologicznym, zalety i wady danej technologii, najbardziej perspektywiczne technologie szczegółowe oraz technologie zastępcze/alternatywne. W karcie informacyjnej technologii określono ponadto rodzaje możliwej do naniesienia powłoki/warstwy wierzchniej lub procesów zachodzących na powierzchni podłoża, a także szczególne własności powłok/warstw wierzchnich/powierzchni podłoża nabyte w wyniku przebiegu procesów technologicznych. Szczególne miejsce poświęcono także ogólnym fizykochemicznym warunkom realizacji procesu

technologicznego, metodom przygotowania materiału podłoża, typowi/rodzajowi urządzeń naukowo-badawczych i możliwemu specyficznemu oprzyrządowaniu. Ponadto wyniki badań pozyskanych drogą badań eksperckich pozwoliły na zamieszczenie w opracowanych kartach następujących danych określonych z wykorzystaniem uniwersalnej skali stanów względnych: wpływu aplikacji technologii na przewidywane i oczekiwane własności materiału, skuteczności przeciwdziałania technologii skutkom zużycia, sekcji przemysłu wg klasyfikacji PKD o najwyższej aplikacyjności technologii, aplikacyjności metod modelowania i sterowania komputerowego oraz perspektyw rozwojowych poszczególnych analizowanych technologii. Dodatkowo każda karta informacyjna technologii zawiera ogólny lub przykładowy schemat rozpatrywanego procesu produkcyjnego oraz trójelementowy wykaz rekomendowanych źródeł literaturowych. W kolejnych rozdziałach 4. i 5. omówiono kolejno najistotniejsze zjawiska i czynniki determinujące przyszły rozwój inżynierii powierzchni materiałów w skali mikro w odniesieniu do 140 grup technologii krytycznych, scharakteryzowanych w ramach dwóch pól badawczych odpowiadających podejściu procesowemu (*M*) (rozdział 4.) i alternatywnemu podejściu konsumenckiemu (*P*) (rozdział 5.). Każde z rozpatrywanych pól badawczych podzielono dodatkowo na 7 obszarów tematycznych odpowiadających różnym rodzajom stosowanych urządzeń i realizowanych z ich udziałem procesów fizykochemicznych kształtujących strukturę i własności warstw powierzchniowych obrabianych materiałów (*M1-M7*) lub rodzajom materiałów inżynierskich, z których wytwarzane są produkty mające spełnić oczekiwania obecnych i potencjalnych klientów (*P1-P7*). Interpretując wyniki badań heurystycznych, w celu określenia perspektyw rozwojowych poszczególnych grup technologii krytycznych kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i to zarówno przy podejściu procesowym (*M*), jak i konsumenckim (*P*), w głównej mierze bazowano [3] na macierzach kontekstowych, a zwłaszcza macierzach strategii dla technologii opracowanych dla każdego z 14 obszarów tematycznych, wspierając się również zestawionymi w postaci wykresów wynikami uzupełniających badań statystycznych, w ramach których eksperci określili prognozowane trendy rozwojowe danych grup technologii na tle analizowanego obszaru tematycznego, typując czy znaczenie poszczególnych grup technologii w ciągu najbliższych 20 lat będzie rosnąć, utrzymywać się na dotychczasowym poziomie, czy też maleć.

Rozszerzenie celów e-foresightu na sferę aplikacji i implementacji wiedzy o wyselekcjonowanych technologiach kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych materiałów inżynierskich i generalnie technologiach procesów materiałowych i przetwórstwa materiałów inżynierskich, głównie w przemyśle maszynowym i elektrotechnicznym, jest zapewnione przez opracowaną koncepcję centrum **e-transferu technologii** [1, 5, 90] i zadań towarzyszących

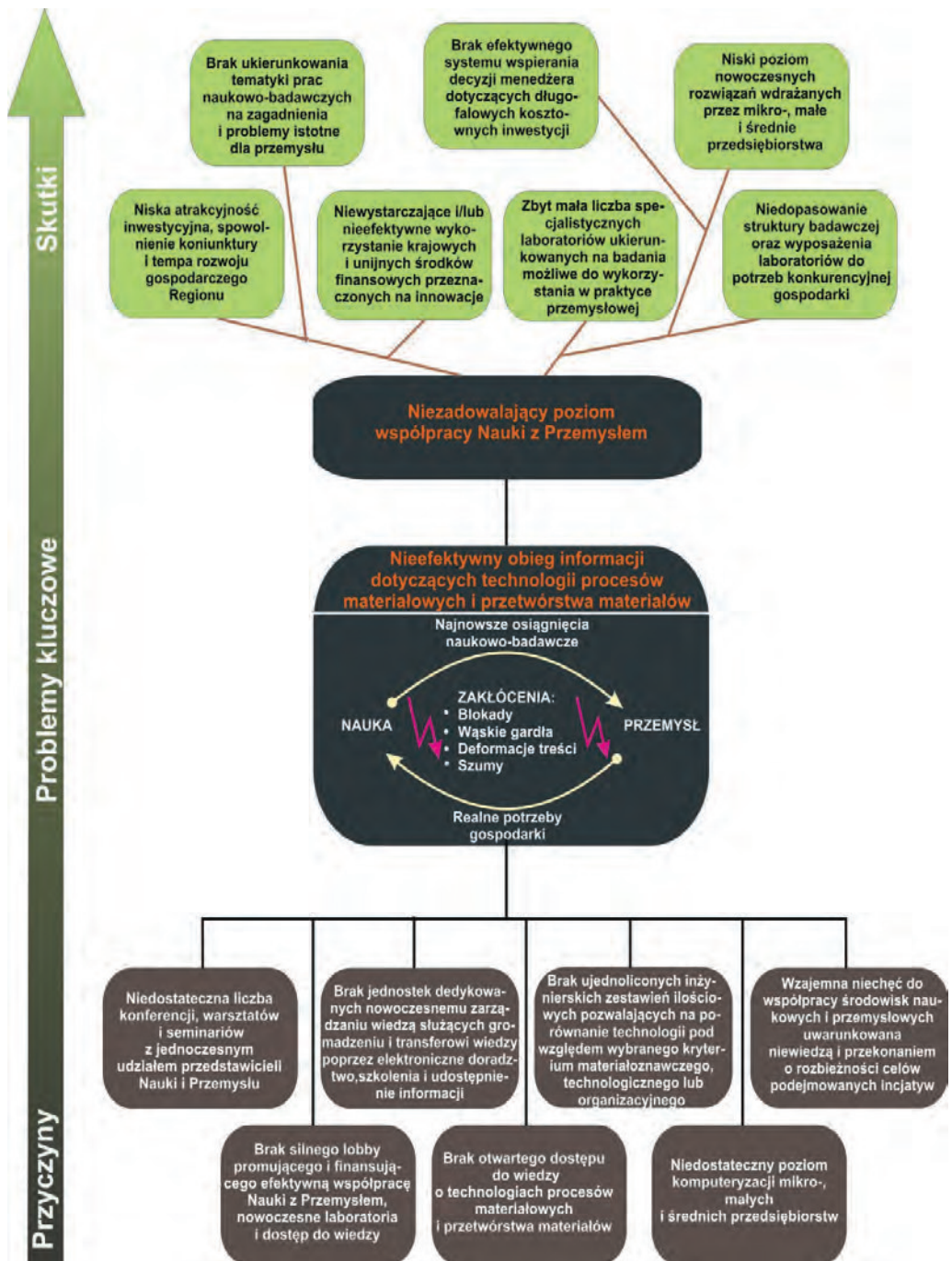




**Rysunek 3.20.** Związki pomiędzy e-foresightem a e-transferem technologii [3]

temu procesowi. Związki pomiędzy procesami e-foresightu a e-transferu technologii przedstawiono schematycznie na rysunku 3.20. Zakres aktywności Centrum e-Transferu Technologii docelowo będzie obejmować trzy rodzaje prac: informatyczno-transferowe, naukowo-badawcze i organizacyjno-administracyjne.

Prace informatyczno-transferowe będą prowadzone w trzech Zespołach Kadrowych skupionych wokół nowo powstającej Platformy Internetowej e-Transferu Technologii (PieTT), będącej nowoczesnym systemem komputerowym umożliwiającym zarządzanie wiedzą i realizację w cyberprzestrzeni trzech głównych funkcji składających się na e-transfer technologii obejmujących:



Rysunek 3.21. Drzewo problemów dotyczących e-transferu technologii

e-doradztwo, e-szkolenia i e-informację. W celu określenia najistotniejszych zagadnień dotyczących zagadnienia e-transferu technologii podczas panelu eksperckiego przeprowadzono burzę mózgów, której efektem było zdefiniowanie przez ekspertów kluczowych problemów, którymi są: nieefektywny obieg informacji dotyczących technologii obróbki powierzchniowej i przetwórstwa nowoczesnych materiałów inżynierskich oraz wynikający z niego niezadowalający poziom współpracy środowisk naukowych i przemysłowych. Na dalszym etapie prac określono także problemy szczegółowe stanowiące przyczyny i skutki nieefektywnego obiegu informacji dotyczących technologii obróbki powierzchniowej i przetwórstwa materiałów oraz niezadowalającego poziomu współpracy Nauki z Przemysłem, co przedstawiono graficznie z użyciem drzewa problemów (rys. 3.21).

Nowatorska koncepcja e-transferu technologii jest naturalną kontynuacją badań zapoczątkowanych w ramach prac e-foresightowych prowadzonych w latach 2009-2012. Koncepcja ta, wspierana własnymi badaniami materiałoznawczymi i heurystycznymi, w zakresie tematyki bazującej na wynikach badań foresightowych, w ramach których wytyczono ogólne trendy i kierunki rozwojowe inżynierii powierzchni materiałów, będzie stanowić istotny wkład w rozwój nauki o komputerowo wspomaganym zarządzaniu wiedzą. Zaproponowane podejście umożliwi praktyczną implementację wykonanych badań materiałoznawczo-heurystycznych w przemyśle. Synergiczne oddziaływanie obu koncepcji e-foresightu oraz e-transferu technologii tworzy pełny i zintegrowany system predykcji rozwoju technologii obróbki powierzchniowej i przetwórstwa materiałów oraz implementacji wyników tych badań w szerokim środowisku menadżerów i inżynierów zatrudnionych w jednostkach przemysłowych. Zgodnie z przyjętymi założeniami koncepcyjnymi, każdy zainteresowany będzie mógł zapoznać się z całością informacji, a monitoring aktualnych problemów, jako forma interakcji z przedsiębiorstwami, ma umożliwić ukierunkowanie prac badawczych na zaspokojenie realnych potrzeb gospodarki opartej na wiedzy i innowacji.