

## **Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN.**

Główne kierunki badań i perspektywy rozwoju<sup>1</sup>

**Tomasz A. Kowalewski, Andrzej Nowicki**

### **Wstęp**

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk został powołany w 1952 roku z myślą stworzenia wiodącej placówki naukowej prowadzącej interdyscyplinarne badania w zakresie nauk przyrodniczych, ścisłych i technicznych. Ponad półwieczna historia istnienia Instytutu potwierdza głęboki sens wizji jakiej patronowało wtedy kilku wybitnych uczonych, dobrze rozumiejących chwilowe ale i przyszłe potrzeby nauki. Szczególnie w naukach przyrodniczych i technicznych zmieniające się dynamicznie priorytety i kierunki badań pokazują jak ważna jest ciągła wymiana idei i metod między nieraz odległymi tematycznie grupami badaczy. Taką rolę „tygla” w którym rodziły się nowe idee a z nich często powstawały siostrzane instytucje przez cały okres swojego rozwoju spełniał i spełnia IPPT. Dlatego priorytetami w IPPT były i są zawsze poszukiwania nowych dróg rozwoju a nie prace odtworzeniowe. Nie jest to prosta droga rozwoju, niesie za sobą duży element ryzyka związanego z koniecznością wyzbycia się rutyny i wkraczania na nowe mało poznane terytoria wiedzy. Wymaga to ciągłego poszerzania horyzontów poznawczych i adaptacji warsztatu badawczego, ale wydaje się, że taka droga rozwoju stwarza zupełnie inny potencjał którego nie mogą zapewnić wąsko tematyczne grupy badawcze.

Wartość takiego podejścia do badań jest obecnie dobrze widoczna w świetle zdefiniowanych na najbliższy okres dla Polski jak i dla Europy trzech najważniejszych priorytetów rozwoju nauki: Techno, Info i Bio. Dzięki istniejącej interdyscyplinarnej strukturze Instytutu w każdym z tych trzech priorytetów prowadzone są aktualne badania na światowym poziomie. Postaramy się to pokazać w poniższym opracowaniu, zwracając szczególną uwagę na to co łączy poszczególne grupy badawcze skupione ze względów organizacyjnych w dziewięciu jednostkach: Zakład Akustyki Fizycznej (ZAF), Zakład Mechaniki i Fizyki Płynów (ZMiFP), Zakład Mechaniki Materiałów (ZMM), Zakład Metod Komputerowych (ZMK), Zakład Problemów Eko-Budownictwa (ZPEB), Zakład Technologii Inteligentnych (ZTI), Zakład Teorii Ośrodków Ciągłych (ZTOC), Zakład Ultradźwięków (ZU) i Zakład Wytrzymałości Materiałów (ZWM).

Historycznie tematyka prac prowadzonych w tych grupach wywodzi się w dużej mierze z dwóch pionów jakie przez wiele lat istniały w IPPT, pionu mechanicznego i akustycznego. Profil prowadzonych w tych pionach badań w oczywisty sposób zmieniał się z upływem czasu, uwzględniając nowe materiały, techniki i metody, ale przede wszystkim dostosowując się do nowych wyzwań jakie napotyka nauka w konfrontacji ze zmieniającym się otoczeniem. Dzięki temu w oczywisty sposób badania prowadzone w poszczególnych jednostkach na ogół zająbiają się tematycznie i w każdym z wymienionych wyżej trzech priorytetów strategicznych można znaleźć zastosowanie prowadzonych w tych jednostkach prac naukowych. Chcemy to pokazać poniższej podejmując próbę scharakteryzowania profilu

---

<sup>1</sup> W opracowaniu wykorzystano fragmenty tekstów przygotowanych przez L. Dietricha, M. Ekiel-Jeżewską, L. Jareckiego, J. Holnickiego-Szulc, E. Kossecką, T. Lipniackiego, J. Litniewskiego, H. Petryka i W. Sosnowskiego.

naukowego IPPT przez wydzielenie z szerokiego wachlarza zainteresowań badawczych w Instytucie tych wspólnych elementów, które można zaklasyfikować do jednego z trzech aktualnych priorytetów Techno, Info i Bio.

### **Grupa tematyczna Techno.**

Krótkie rozszerzenie definicji priorytetu Techno wskazuje na trzy podstawowe działy tematyczne: nowe materiały i technologie, nanotechnologie, projektowanie systemów specjalizowanych. Prowadzone w IPPT w pierwszej grupie tematycznej badania mają długą tradycję. Obejmują zarówno prace w zakresie mechaniki i wytrzymałości materiałów prowadzone w ZMM i ZWM, badania nad nowymi materiałami polimerowymi (ZTOC) i wykorzystaniem nanotechnologii do wytwarzania i charakteryzacji materiałów biogodnych (ZTOC, ZMiFP, ZU). Ważną rolę w wytwarzaniu i projektowaniu nowych materiałów odgrywają metody komputerowe, rozwijane nie tylko w dedykowanej temu działowi jednostce organizacyjnej (ZMK), ale również praktycznie we wszystkich grupach badawczych. Trzeci podtemat priorytetu Techno związany jest z interdyscyplinarnymi badaniami systemów bazujących na połączeniu współczesnych metod sterowania i kontrolowania urządzeń mechanicznych z wykorzystaniem metod informatycznych. Powstały na tej bazie kierunek nauki pozwala na budowanie tzw. systemów inteligentnych, reagujących i dostosowujących swoje działania do warunków pracy, samo-diagnostujących zewnętrzne uwarunkowania pracy i ostrzegających przed możliwymi awariami. Badania nad tworzeniem takich systemów, prowadzone głównie w ZTI, wspomagane są interdyscyplinarnymi pracami z zakresu mechaniki, elektroniki, akustyki, reologii i mechaniki płynów.

Badania z zakresu mechaniki materiałów ulegały w ostatnich latach znacznej modyfikacji uwzględniającej nowe materiały oraz współczesne trendy badawcze w ich analizowaniu, modelowaniu i symulacjach komputerowych. Można tutaj wyodrębnić dwa perspektywiczne kierunki badawcze wzajemnie się uzupełniające: mikromechanikę materiałów oraz niestandardowe badania doświadczalne właściwości materiałów i cienkich warstw. Pierwszy z tych kierunków badawczych, rozwijany głównie w ZMM, ale pojawiający się również w ZMK i ZWM, zajmuje się określaniem wzajemnych powiązań pomiędzy właściwościami ciał stałych w różnych skalach wymiarowych, wspomagając inżynierię materiałową w poszukiwaniach nowych materiałów o pożądanych właściwościach. Istotną zaletą podejścia mikromechanicznego jest przewidywanie makroskopowych właściwości materiałów niejednorodnych na podstawie założeń konstytutywnych umiejscowionych na poziomie mikro, gdzie podstawy fizyczne mechanizmów deformacji są lepiej poznane. Prowadzone badania cechuje dążenie do kompleksowej analizy nowoczesnych materiałów. Obejmuje ona badania doświadczalne w szeregu skal wymiarowych, od makro do nano, prowadzone równoległe z teoretyczną i komputerową analizą sprzężeń między mikrostrukturą a właściwościami makroskopowymi przy użyciu metod mikromechaniki materiałów i modelowania wieloskalowego.

W Zakładzie Mechaniki Materiałów rozwijane są metody mikromechaniki materiałów poprzez wprowadzanie nowych koncepcji i teorii które są stosowane do polikryształów metali i stopów w zakresie liniowym i nieliniowym, jak również do kompozytów ceramiczno-metalowych w zakresie sprężystym i plastycznym, z mikropustkami i uszkodzeniami. Prowadzone są kompleksowe badania przemian martenzytycznych w stopach z pamięcią kształtu należących do nowoczesnych materiałów wielofunkcyjnych. Opracowany został wieloskalowy model tych stopów bazujący na własnej koncepcji minimalizacji energii przyrostowej, uwzględniający złożoną, wielopoziomową strukturę wewnętrzną zmieniającą się w trakcie obciążania wskutek przemian fazowych i reorientacji wariantów martenzytu. W

modelu uwzględniono energię granic międzyfazowych na poziomie atomowym oraz energię mikro-odkształceń sprężystych, która w wyższej skali interpretowana jest jako energia powierzchniowa. Opracowano także trójskalowy model mikromechaniczny dla związków międzymetalicznych, podlegających deformacjom plastycznym wskutek zarówno poślizgu dyslokacyjnego jak i bliźniakowania.

Pojęcia skali mikro i makro są względne, a wymiary w skali mikro nierzadko mierzone są w nanometrach. Prowadzone są obecnie badania metali ultra-drobnoziarnistych, wyprodukowanych np. w procesach intensywnych deformacji plastycznych, o wymiarach ziaren mierzonych w nanometrach. Opracowano model rozdrabniania mikrostruktury materiału w trakcie takich procesów przy złożonych drogach odkształcania oraz dokonano jego weryfikacji doświadczalnej dla stopu Al i stali typu IF. Badania obejmują również bilans energii podczas rozciągania próbek ultra drobnoziarnistego tytanu, poddanych uprzednio kilkukrotnemu przejściu przez matrycę skrętną. Opracowany wcześniej model lepkoplastyczności z udziałem pasm ścinania zastosowano do numerycznej symulacji procesu ściskania pryzmatycznych próbek wykonanych metodą konsolidacji z proszków Fe o przeciętnym ziarnie wielkości mikronowej i nanometrycznej.

Metody mikromechaniki materiałów stosowane są również do opisywania zjawisk zachodzących w cienkich warstwach międzyfazowych i powierzchniach kontaktowych. Rozwijane są mikromechaniczne modele tarcia i zużycia z uwzględnieniem chropowatości powierzchni. Przeprowadzone są badania wpływu tarcia na spłaszczanie chropowatości powierzchni przy udziale makroskopowej deformacji materiału, a także dokonano analizy wrażliwości dla zagadnień kontaktowych z tarcie. Rozwijane są modele komputerowe koncentracji naprężeń i pęknięcia podpowierzchniowego w pokryciach termicznych łopatek turbin gazowych. Jedną z metod formowania cienkich warstw jest osadzanie materiału rozpylanego nanosekundowym impulsem laserowym (tzw. metoda PLD). W ZWM prowadzone są badania wykorzystujące ablację laserową do osadzania nanometrycznych struktur pozwalających na zmianę współczynnika tarcia współpracujących detali, zwiększenie twardości powierzchni przez tworzenie warstw diamentopodobnych (DLC), oraz pokrywania metalowych implantów kostnych warstwami materiałów biogodnych.

Obok rozwijania modeli mikromechanicznych, prowadzone są badania podstawowe nad teoretycznymi aspektami dużych deformacji plastycznych, w szczególności nad strukturą fenomenologicznych równań konstytutywnych oraz nad zagadnieniami stabilności rozwiązań i wariacyjnymi metodami ich uzyskiwania. Prowadzone są także prace nad rozwojem metod komputerowych niezbędnych do przeprowadzania symulacji numerycznych przy wykorzystaniu opracowywanych modeli materiałów.

Dzięki doskonaleniu bazy laboratoryjnej coraz ważniejszą rolę w badaniach materiałowych prowadzonych w IPPT odgrywa diagnostyka. Warto tu wymienić oryginalne konstrukcje własne umożliwiające wyznaczenie charakterystyk materiałowych przy dużych prędkościach odkształcania. Nowe perspektywy charakteryzacji materiałów stworzyło wykorzystanie termografii biernej oraz termografii modulacyjnej do wykrywania niejednorodności procesu przemian fazowych w stopach z pamięcią kształtu i identyfikacji defektów podpowierzchniowych. Prowadzone badania właściwości warstwy wierzchniej materiału poprzez testy mikro- i nanoindentacji wraz z ich interpretacją dokonaną przy pomocy analizy komputerowej metodą elementów skończonych i pomiarów topografii powierzchni stanowią nowy i szybko rozwijający się kierunek badań materiałowych. Dzięki wyposażeniu laboratoriów w systemy mikroskopii sił atomowych zintegrowane z systemem nanoindentacji możliwa stała się charakteryzacja powierzchni materiałów w skalach nanometrycznych, co w połączeniu z pracami teoretycznymi i zastosowaniem modelowania komputerowego ma perspektywiczne znaczenie przy projektowaniu nowych materiałów.

Dotyczy to w szczególności materiałów cieszących się na świecie szczególnym zainteresowaniem, takich jak materiały z pamięcią kształtu, materiały ultra-drobnoziarniste, materiały o wysokim stosunku wytrzymałości do gęstości, kompozyty ceramiczno-metalowe z nanostrukturą, związki intermetaliczne, jak również materiały do cienkich warstw i pokryć termicznych.

Kolejna grupa prowadzonych w IPPT badań nad zaawansowanymi materiałami dotyczy kreowania kompozytowych matryc cementowych. Badania prowadzone w ZPEB obejmują w pierwszym rzędzie związki między trwałością materiałów w środowiskach agresywnych i ich składem oraz mikrostrukturą i dotyczą przede wszystkim materiałów konstrukcyjnych przeznaczonych dla budownictwa. Trwałość i solidność elementów obiektów z betonu nieraz okazuje się znacznie mniejsza od spodziewanej, chociaż nie popełniono żadnych istotnych błędów w sztuce inżynierskiej. Niedostateczna, niższa od spodziewanej, trwałość elementów betonowych stosowanych w obiektach infrastruktury transportowej występuje dość powszechnie nawet w krajach technicznie wysokorozwiniętych. Jest to jedna z priorytetowych tematów badawczych nie tylko polskiej gospodarki, ale wielu krajów rozwiniętych gospodarczo.

Jednym z najważniejszych kierunków badań materiałowych o istotnym znaczeniu dla praktyki inżynierskiej jest analiza degradacji właściwości mechanicznych materiałów pod wpływem obciążeń eksploatacyjnych. Przewidywanie rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych to bez wątpienia ważny problem współczesnej techniki o podstawowym znaczeniu dla bezpiecznej eksploatacji maszyn i konstrukcji inżynierskich. Obserwowany w ostatnim okresie rozwój metod doświadczalnych i technik pomiarowych stwarza szanse obserwacji zmian struktury materiału z rozdzielczością rzędu kilku nanometrów, a z drugiej strony optyczne techniki pomiarowe umożliwiają nie tylko punktowe ale i polowe pomiary deformacji elementów konstrukcyjnych i ciągle monitorowanie zachowania się całych konstrukcji pod obciążeniem eksploatacyjnym. Wykorzystanie możliwości nowych metod doświadczalnych i technik pomiarowych stwarza szansę identyfikacji zjawisk fizycznych i mechanizmów rozwoju degradacji i uszkodzeń zmęczeniowych współczesnych materiałów konstrukcyjnych, a w konsekwencji uwzględnienia tych zjawisk w opisie właściwości mechanicznych materiałów i symulacji komputerowych zachowania się elementów konstrukcji pod obciążeniem eksploatacyjnym.

Proces degradacji rozwijający się w materiałach konstrukcyjnych pod wpływem długotrwałych obciążeń cyklicznych jest ciągle istotnym problemem współczesnej techniki. W praktyce inżynierskiej zakłada się z konieczności liniowe prawo kumulacji uszkodzeń i na tej podstawie określa się trwałość zmęczeniową elementów konstrukcyjnych dla różnej historii obciążeń cyklicznych. Jest to jednak bardzo silne założenie, a zwykle brak jest jakichkolwiek informacji doświadczalnych potwierdzających jego zasadność czy też określającej zakres amplitudy naprężeń, dla którego warunek liniowości procesu rozwoju uszkodzeń jest spełniony. Doświadczalne wyznaczenie charakterystyki rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych wymaga ciągłego monitorowania odpowiedzi materiału na zadane obciążenia cykliczne. Trudność realizacji tego zadania jest jeszcze dodatkowo spotęgowana brakiem miary uszkodzeń zmęczeniowych dobrze opisującej efekty degradacji mechanicznej materiałów. Mechanika uszkodzeń jest dziedziną nową, a opisane w piśmiennictwie naukowym różne miary wskaźników uszkodzeń zmęczeniowych należy traktować jak propozycje, a nie potwierdzone doświadczalnie i akceptowalne rozwiązanie problemu.

Zachowanie metali w zakresie zmęczenia wysoko cyklowego, a więc przy amplitudzie naprężenia poniżej granicy plastyczności materiału można podzielić na dwa zasadnicze typy pod względem mechanizmów rozwoju uszkodzeń. Zachowanie pierwszej grupy metali pod wpływem obciążeń cyklicznych jest generowane lokalnymi odkształceniami wokół pustek,

wtrąceń niemetalicznych i innych defektów mikrostruktury. Zachowanie drugiej grupy metali pod wpływem obciążeń cyklicznych jest opisane cykliczną plastycznością generowaną ruchem dyslokacji na poziomie lokalnych ziaren i lokalnymi pasmami poślizgów. W obu przypadkach zmiany odkształceń mierzonych dla całej objętości pomiarowej próbki są sumą lokalnych odkształceń rozwijających się wokół defektów w postaci wtrąceń niemetalicznych i pustek dla pierwszej grupy materiałów lub rozwijających się poślizgów w poszczególnych ziarnach dla drugiej grupy materiałów.

W prowadzonych przez ZWM badaniach doświadczalnych istotną rolę odgrywa rozwijanie metod nieniszczących, pozwalających na okresową ocenę stanu degradacji materiału analizowanej konstrukcji. Uwzględnienie szczegółowych uwarunkowań i zakresów stosowania poszczególnych metod jednak znacznie ogranicza możliwości ich wykorzystania i utrudnia doświadczalną identyfikację i analizę ewolucji uszkodzeń zmęczeniowych. Stwarza to konieczność ciągłego doskonalenia istniejących metod badań nieniszczących i poszukiwania nowych technik pomiarowych zdolnych do detekcji i ilościowej oceny uszkodzeń struktury powstałych wskutek rozwoju procesów powodujących zmęczenie materiału i degradację jego właściwości mechanicznych. Dobrym przykładem takiego udoskonalenia jest opracowana w IPPT propozycja oceny degradacji wywołanej pełzaniem na podstawie pomiaru dwójłomności akustycznej określonej przez różnice prędkości fali ultradźwiękowej spolaryzowanej wzdłużnie i poprzecznie w stosunku do osi badanej próbki.

Obserwowany w ostatnim okresie intensywny rozwój optycznych metod interferencyjnych do pomiaru rozkładu dwóch (metody 2D) lub nawet trzech (metody 3D) składowych odkształceń w całym polu obserwacji na powierzchni próbki otwiera nowe horyzonty badań mechanicznych właściwości materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza w zakresie oceny stopnia degradacji i rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych. W ostatnim okresie w badaniach materiałowych prowadzonych w ZWM uruchomiono nowoczesne stanowisko oparte na optycznej interferometrii plamkowej ESPI i cyfrowej korelacji obrazów. Otrzymywane tymi metodami obrazy stanowią nową jakość w badaniach nie tylko w odniesieniu do procesów zmęczenia i pełzania, ale również w odniesieniu do zagadnień modelowania zachowania się materiałów przy monotonicznym czy cyklicznym obciążaniu.

Badania cyklicznego zachowania się materiałów konstrukcyjnych w postaci cienkich blach w zakresie rozciągania – ściskania są kluczowa dla poprawnego określenia parametrów materiałowych do złożonych modeli materiałowych. Badania te warunkują poprawne opisanie i symulacje komputerowe procesów głębokiego tłoczenia blach, ale wymagają cyklicznych obciążeń w zakresie dużych odkształceń plastycznych, rzędu 10%. Podstawowa trudność w realizacji takich badań na próbkach wyciętych z cienkiej blachy (procesy głębokiego tłoczenia) jest związana z zabezpieczeniem próbki przed wyboczeniem przy ściskaniu. Warto wspomnieć, że problem ten został w IPPT z powodzeniem rozwiązany i opatentowane oprzyrządowanie do badań cienkich blach zostało wykorzystywane przez amerykańską firmę United States Steel Corporation jako element kontroli jakości produkcji.

Szczególnym rodzajem materiałów są polimery. W IPPT aktualnie prowadzone są intensywne badania teoretyczne i doświadczalne nad kinetyką kształtowania się złożonej struktury nanoskopowej w polimerach w procesach z szybkimi zmianami warunków termodynamicznych w nowoczesnych procesach formowania supercienkich włókien i folii oraz nanowłókien. Prace dotyczą efektów przestrzennych ograniczeń nanoskopowych w kształtowaniu się struktury polimerów (orientacja molekularna, krystalizacja, polimorfizm), ważnego kierunku badań podejmowanych ostatnio na świecie, oraz zewnętrznych warunków termodynamicznych wpływających na kształtowanie się elementów struktury ważnych z punktu widzenia zastosowań polimerów do celów medycznych i biotechnologicznych. Złożona struktura nanoskopowa oraz możliwość jej modyfikacji za pomocą parametrów

zewnętrznych stwarzają, przy odpowiednim doborze polimeru, olbrzymie możliwości modyfikacji właściwości polimerów ważnych w zastosowaniach biomedycznych, takich jak bioaktywność, biogodność tkankowa, bioresorbowalność, możliwość umieszczania leków w strukturze i ich uwalniania. Tematyka kształtowania struktury polimerów jest jednym z głównych nurtów badawczych w laboratoriach na świecie. W tym zakresie rozwijane są prace nad kinetyczną teorią przemian struktury w polimerach, w tym przemian polimorficznych, w warunkach termodynamicznych typowych dla procesów formowania z szybkimi zmianami temperatury, naprężenia i z zastosowaniem zewnętrznego pola elektrycznego oraz pola magnetycznego. Badania doświadczalne prowadzone są z zastosowaniem m.in. techniki synchrotronowej, mikroskopii sił atomowych, mikroskopii optycznej pola bliskiego, ultraszybkiej kalorymetrii różnicowej, szybkiej metody pomiaru depolaryzacji światła, w powiązaniu z badaniami właściwości użytkowych w zastosowaniach do hodowli komórkowych, tkanek biologicznych.

Prowadzone w ZTOC i ZMiFP prace doświadczalne nad formowaniem nanowłókien metodą elektroprzędzenia z polimerów biodegradowalnych stwarzają podstawy do wytwarzania nowych materiałów przeznaczonych do hodowli komórkowych, regeneracji tkanek biologicznych (tkanka wątroby, skóry, tkanka kostna), jak i jak i tworzenia nowych systemów uwalniania leków. Podejmowane w IPPT prace teoretyczne nad modelowaniem procesów wytwarzania nanowłókien pozwolą przewidywać, projektować i optymalizować procesy technologiczne z pominięciem wielu czasochłonnych, często szkodliwych ekologicznie badań laboratoryjnych.

W badaniach związanych z tzw. nanotechnologiami, tzn. z projektowaniem i wytwarzaniem urządzeń i struktur w skali mikro i nano niepoślednią rolę odgrywa szeroko rozumiana mechanika płynów. Nowe metody manipulacji materią w mikroskali pozwalają na analizę własności fizycznych, chemicznych i biologicznych materii dla mikro, nano czy nawet piko litrowych objętości próbek, na diagnostykę mechaniczną i biochemiczną na poziomie pojedynczych molekuł. W ramach utworzonego w ZMiFP laboratorium mikroprzepływowego prowadzone są prace nad zastosowaniami nanowłókien w diagnostyce medycznej, modelowaniem przepływu mikrozwiesin, jak i nad rozwijaniem metod manipulowania ruchem pojedynczych komórek w mikrokanalach. Problem wpływu skali na opis fizyki przepływów w mikro i nanokanalach to jeden z aktualnych tematów prowadzonych prac. Eksperymentalną diagnostykę mikroprzepływów umożliwiło rozwinięcie nowych metod pomiaru pól prędkości w skalach mikronowych opartą na zastosowaniu fluorescencyjnych znaczników i korelacji obrazów (micro-PIV). Jednym z tematów aktualnie prowadzonych badań jest poszukiwanie fizycznego opisu ruchu cieczy w kontakcie ze ścianką. Pomiar molekularnego poślizgu przeprowadzany jest poprzez analizę ruchów Brown'a nanocząstek znajdujących się w niewielkich odległościach od ścianki. Wykorzystanie do ich obserwacji oświetlenia falą przyścienną generowaną przy całkowitym odbiciu światła pozwoliło na pomiary ruchu w odległościach rzędu kilkudziesięciu nanometrów od ścianki kanału. Zmierzone wartości poślizgu molekularnego porównywane są z rezultatami symulacji numerycznych wykonywanych metodami dynamiki molekularnej. Zbudowana w IPPT aparatura micro-PIV została wykorzystana do zbadania procesu generacji mikrokropele oleju w mikrokanale. Przeprowadzone pomiary wskazujące na wyraźne tłumienie turbulencji w mikrokanale potwierdziły przeprowadzone symulacje numeryczne. Rezultat ten ma znaczenie przy opracowywaniu konstrukcji emulsyfikatorów stosowanych do wytwarzania mikrocząstek. Innym badanym w laboratorium mikroprzepływowym ZMiFP zagadnieniem jest wpływ efektów hydrodynamicznych na proces zwijania i rozwijania długich łańcuchów biologicznych. Rezultaty symulacji numerycznych porównywane są z obserwacjami dynamiki zawiesiny nanowłókien poruszających się w mikrokanale.

Prowadzone prace pomogą w stworzeniu wielkoskalowego modelu numerycznego opisującego dynamikę długiego łańcucha białkowego z uwzględnieniem zarówno efektów molekularnych jak również oddziaływań hydrodynamicznych z otaczającym go płynem.

Optyczne metody wizualizacji i manipulacji nanostrukturami są obecnie przedmiotem zaawansowanych badań w wielu czołowych laboratoriach fotonicznych na świecie. W tematykę tą wpisują się również prace teoretyczne prowadzone w IPPT nad oddziaływaniem wiązek światła z materią jak i pierwsze pomiary eksperymentalne, przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskopu pola bliskiego. Badania te przede wszystkim dotyczą generacji, propagacji i oddziaływania wiązek optycznych w układach optycznych stosowanych w nanofotonice i nanotechnologii, ze szczególnym uwzględnieniem wirów optycznych, zjawisk niespekularnego odbicia i transmisji wiązek optycznych w układach fotonicznych, manipulacji nanelementami poprzez przekaz spinowego i orbitalnego momentu pędu do nanostruktury, oraz zastosowania zjawisk całkowitego wewnętrznego odbicia i generacji plazmonów polarytonów powierzchniowych w nanowizualizacji i nanomanipulacji.

W badaniach zjawisk fizycznych znaczącą rolę odgrywa w IPPT rozwijanie modeli silnie oddziałujących układów polowo-mechanicznych o złożonej, hierarchicznej strukturze oraz analiza ich symetrii i praw zachowania. Obejmuje to metody teorii grup w badaniu istotnej, nieperturbacyjnej nieliniowości, nieliniową elektrodynamikę ośrodków ciągłych, nieliniowe zagadnienia teorii sprężystości i dynamiki powłok, w tym zastosowania biomechaniczne i biofizyczne, nieliniową teorię transportu i teorię defektów. Duży nacisk położony jest na będący obecnie w centrum zainteresowania nauki kwantowo-klasyczny opis ośrodków z mikrostrukturą oraz nano-struktury. Istotnym nowym elementem prowadzonych prac teoretycznych jest poszerzona analiza zagadnień kwantowych i quasi-klasycznych związanych z dynamiką ośrodków ze strukturą. Obejmuje to zagadnienia, którym nadaje się obecnie w światowej nauce nazwę „spintroniki” i dotyczące modeli oddziałujących wzajemnie orbitalnych i spinowych momentów pędu. Efekty tego typu są istotne w teorii materii skondensowanej i mają perspektywy w zakresie informatyki.

Wspomniana na wstępie tematyka badawcza tzw. *technologii inteligentnych* dotyczy aktualnego i intensywnie rozwijanego na świecie połączenia konstrukcji inżynierskich z systemami elektronicznego nadzoru, sterowania i kontrolowania ich funkcjonowania. Umożliwia to elastyczne dostosowywanie się parametrów układów czy całych konstrukcji do zmieniających się warunków tak by na przykład zoptymalizować opory przepływu, wydajność pracy czy zmienić charakterystyki amortyzacji uderzeń. Część budowanych w ZTI systemów dotyczy problematyki *inżynierii bezpieczeństwa* (np. monitorowanie stanu technicznego infrastruktury i maszyn lub rozwijania systemów automatycznej adaptacji w sytuacjach kolizji transportowych). Zdefiniowany w ten sposób zakres interdyscyplinarnej tematyki badań pozwala na stawianie ambitnych, aplikacyjnych celów, które prowadzą w naturalny sposób do szeregu rozwiązań innowacyjnych. Także z czysto akademickiego punktu widzenia, uprawiana tematyka generuje nowe problemy poznawcze związane z funkcjonującą *on-line* identyfikacją defektu powstałego w czasie kolizji z jednoczesnym sterowaniem aktywną absorpcją uderzenia. Rozwijany aktualnie system monitorowania stanu technicznego starzejącej się infrastruktury drogowej (np. kolejowe mosty stalowe) i miejskiej (np. hale widowiskowe i sportowe, rurociągi), a także pojazdów transportowych (np. samoloty i statki) znajduje duże zainteresowanie wśród firm odpowiedzialnych za eksploatację tych struktur. Prace badawcze obejmują zagadnienia półaktywnego sterowania konstrukcją wsporczą opartą na tłumikach elektro i magnetoreologicznych oraz lepkiej, „inteligentnej” cieczy o własnościach zaprojektowanych w celu obniżenia poziomu drgań. Proponowane są oryginalne rozwiązania zespołów elementów konstrukcyjnych wypełnionych

inteligentnym materiałem, przy tworzeniu którego wykorzystuje się doświadczenia płynące z badań teoretycznych i symulacji układów sterowanych. Zastosowania praktyczne to między innymi obniżenie poziomu hałasu w środowisku miejskim, podniesienie niezawodności, ochrona obiektów wrażliwych (np. zabytków) przed drganiami, zwiększenie prędkości i dokładności pracy szybkich robotów przemysłowych. Dużego znaczenia w prowadzonych pracach nabiera problematyka aktywnego tłumienia hałasu, np. w kabinach pojazdów, samochodów, samolotów, a w szczególności śmigłowców. Tam, gdzie zawodzą systemy pasywne (konieczność wytlumienia pasm o zróżnicowanej i zmiennej częstotliwości) badania prowadzone w ZTI skupiają się na koncepcjach zastosowania do tłumienia drgań aktywnych systemów akustycznych i adaptacyjnych materiałów funkcjonalnych.

Prowadzona analiza pęknięć wałów turbogeneratorów połączona z metodami optymalizacji struktury materiałowej elementów kompozytowych powinna doprowadzić do znacznej poprawy żywotności i niezawodności młynów węglowych, kruszarek i innych ciężkich maszyn i urządzeń mechanicznych stosowanych w przemyśle wydobywczym. Zaproponowane wykorzystanie sprzęgieł aktywnie sterowanych cieczą magneto-reologiczną pozwolą na efektywne złagodzenia drgań układów napędu dużych maszyn roboczych i energetycznych. Potwierdzają to symulacje komputerowe konkretnych rzeczywistych obiektów i wstępne badania pilotażowe.

Odrębną kategorią rozwijanych w IPPT systemów inteligentnych jest problematyka związana z metodami sterowania robotami mobilnymi oraz cyfrowego modelowania ruchu ulicznego w aglomeracjach miejskich. Ze względu na szybko postępującą automatyzację transportu samochodowego oba te kierunki współgrają ze sobą i znajdują szerokie wsparcie w programach unijnych. Inną uprawianą w IPPT dziedzinę zastosowań algorytmów sterowania robotami mobilnymi stanowią zdalnie sterowane i częściowo autonomiczne pojazdy wojskowe. Dziedzina ta nabrała szczególnego znaczenia w wyniku zaangażowania polskich jednostek w operacjach NATO i w zwalczaniu międzynarodowego terroryzmu. Opracowywane algorytmy dotyczą planowania bezkolizyjnych trajektorii uwzględniając elementy znaczeniowe otoczenia. Rozwijana jest również koncepcja optymalizacji ruchu miejskiego tak by poprzez efekty samo-organizacji uzyskać większą przepustowość ulic i skrzyżowań.

Nowoczesna gospodarka wymaga wyspecjalizowanych systemów energooszczędnych, zarówno w procesie wytwarzania energii jak i eksploatacji. Prowadzone w ZPEB prace dotyczące modelowania, analizy i wielokryterialnej optymalizacji konstrukcji budynków i planowania osiedli mieszkaniowych są ważne nie tylko z uwagi na minimalizację strat cieplnych ale również dla poprawy komfortu wewnętrznego i zewnętrznego ich użytkowników. Kompleksowy opis funkcjonowania budynku, stanowiącego sztuczne środowisko dla jego mieszkańców, oraz jego oddziaływania na środowisko, wymaga stworzenia modelu systemu o dużej liczbie zmiennych. Celem prowadzonych w IPPT prac jest rozbudowa takiego modelu w połączeniu z rozszerzeniem systemu ocen o kryteria uwzględniające komfort wewnętrzny, termiczny, akustyczny oraz wizualny, energochłonność w całym cyklu życia, oddziaływanie na środowisko oraz zużycie energii do celów eksploatacyjnych w okresie całego roku. Zakres badań obejmuje w szczególności: weryfikację rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych z uwzględnieniem dynamiki procesów wymiany ciepła i masy, analizę wpływu przyjmowanych rozwiązań na parametry mikroklimatu wewnętrznego, komfort użytkownika, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne oraz obciążenie środowiska. Nie bez znaczenia jest też analiza parametrów determinujących klimat akustyczny. Dzięki prowadzonym w IPPT komputerowym modelom hałasu środowiskowego możliwe jest już w fazie projektowej zapewnienie optymalnego krajobrazu dźwiękowego obszarów miejskich, w analogiczny sposób jak w przypadku wnętrza



o specjalnych wymaganiach akustycznych, takich jak sale konferencyjne czy sale koncertowe. Perspektywicznie tematyka badawcza akustyki środowiskowej dotyka takich aktualnych problemów jak wpływ pola akustycznego generowanego przez elektrownie wiatrowe na otoczenie, kształtowania klimatu akustycznego w pomieszczeniach o złożonych kształtach, opracowywanie nowych materiałów dźwiękochłonnych i ustrojów rezonansowych do redukcji hałasu w pomieszczeniach i drogach szybkiego ruchu.

## **Grupa tematyczna Info**

Grupa tematyczna Info w wymienionych na wstępie priorytetach reprezentowana jest w IPPT głównie przez zespoły badawcze, w których rozwijane są metody obliczeniowe wykorzystywane w szeroko pojętej mechanice. Należy podkreślić, że nauki obliczeniowe jako stosunkowo młoda dyscyplina nauki od dziesiątków lat robi na świecie karierę jako „*Computational Science*” i pojawia się niemal w każdej dziedzinie nauki. Perspektywy jej rozwoju wydają się być nieograniczone, stwarzając zupełnie nowe możliwości nie tylko w naukach ścisłych i technicznych ale również w biologii, ekonomii, naukach społecznych, a nawet w lingwistyce i sztuce.

Podstawowym narzędziem pracy w naukach obliczeniowych są kody numeryczne przeznaczone do modelowania, analizy wrażliwości, optymalizacji, niezawodności itp. Budowa oprogramowania i rozwijanie nowych metod obliczeniowych to wieloletni proces angażujący często duże zespoły naukowe. Coraz większą rolę odgrywa więc międzynarodowa współpraca, oparta na wspólnym rozwijaniu konkurencyjnych programów typu „*open source*”. Unikalne rozwiązania problemów obliczeniowych uzyskane w IPPT są wykorzystywane w wielu krajowych i międzynarodowych projektach badawczych. Tematyka badań ma charakter interdyscyplinarny i obejmuje informatykę, matematykę oraz tę dyscyplinę lub dyscypliny nauki, które mają być obszarem zastosowań rozwijanych metod obliczeniowych. Uniwersalność metod komputerowych stosowanych w mechanice opiera się głównie na metodach dyskretnych, pozwalających rozwiązywać praktycznie dowolne zadanie badawcze wynikające z aktualnej problematyki prowadzonych badań. Warto tutaj wymienić rozwijane w ZMK metody kontynualno-atomistyczne stosowane do generacji modeli atomistycznych materiałów krystalicznych (metale, półprzewodniki). Unikalne w skali światowej programy własne uwzględniając atomistyczną strukturę materiału umożliwiają wieloskalowe badanie naprężeń rezydualnych, dyfuzyjności, piezoelektryczności, defektów i obliczenia akusto-elektronicznych układów rezonansowych.

W zakresie klasycznej mechaniki rozwijane w ZMK modele dotyczą badania i optymalizacji nowoczesnych procesów produkcyjnych. W szczególności dotyczy to modelowania obróbki takich materiałów jak materiały spiekane, kompozyty metalowo-ceramiczne, skały i materiały sypkie oraz nowoczesne stale karoseryjne. Algorytmy numeryczne do symulacji procesów przeróbki plastycznej stanowią dobrze ugruntowaną tematykę o istotnym znaczeniu aplikacyjnym, czego wyrazem są realizowane w ramach prowadzonych badań projekty badawcze UE. Rozwijana w ramach tej tematyki metoda elementów dyskretnych (MED) zdobywa sobie coraz większą popularność w nowoczesnym modelowaniu materiałów, wykorzystuje się ją w modelowaniu dyskretnym materiałów w niższej skali oraz modelowaniu wieloskalowym. Wyniki uzyskane w dziedzinie modelowania urabiania skał wyróżniają się na tle prac z tej dziedziny zarówno w Polsce, jak i na świecie.

Modelowanie hybrydowe i modelowanie zagadnień sprzężonych należy do problemów intensywnie rozwijanych na świecie. Przewiduje się łączne wykorzystanie metody elementów dyskretnych i skończonych, i sprzężenie metody MED z rozwiązaniem

zagadnienia mechaniki płynów. Inna grupa rozwijanych algorytmów dotyczy nowych skończonych elementów powłokowych z nieograniczonymi rotacjami i dużymi odkształceniami w modelowaniu kompozytów. Elementy powłokowe posiadają szerokie spektrum zastosowań w analizie i projektowaniu inżynierskim, i determinują efektywność i dokładność obliczeń inżynierskich. Prowadzone badania wymagają opracowywania zaawansowanych równań konstytutywnych dla konstrukcji powłokowych. Modelowane są m.in. materiały kompozytowe wielowarstwowe z uwzględnieniem mikrostruktury warstwy oraz przeprowadzana jest analiza wrażliwości na parametry konstytutywne i mikrostruktury. Zastosowania dotyczą kompozytowych kadłubów samolotów. Jest to zaawansowana tematyka badań, stojąca na pograniczu mechaniki, metod numerycznych i technik informatycznych, rozwijana w czołowych ośrodkach uniwersyteckich na świecie. Prace dotyczące modelowanie procesów uszkodzenia i zmęczenia materiałów złożonych: kompozytowych i warstwowych. Wraz z postępem w dziedzinie inżynierii materiałowej powstają nowe, dotychczas niestosowane w rzeczywistych konstrukcjach materiały, które wykazują lepsze właściwości fizyko-mechaniczne, ale których wykorzystanie w praktyce uwarunkowane jest zbadaniem ich zachowania w warunkach eksploatacyjnych. Temu służą prace prowadzone w IPPT nad modelowaniem procesów uszkodzenia i zmęczenia takich materiałów, a w szczególności kompozytów metaliczno-ceramicznych, również kompozytów o strukturze gradientowej.

Dużego znaczenia w ostatnich latach nabierają badania dotyczące rozwoju metod komputerowej analizy niezawodności i optymalizacji niezawodnościowej złożonych konstrukcji i procesów technologicznych. Uwzględnianie niepewności parametrów i zmiennych projektowych pozwala na wprowadzenie bardziej racjonalnych miar bezpieczeństwa stanowiących podstawę dla poszukiwania optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych. Kierunki działalności badawczej ZMK związane z tym zagadnieniem mieszczą się w głównym nurcie światowych badań nad zwiększeniem bezpieczeństwa i niezawodności złożonych konstrukcji przy uwzględnieniu zarówno kosztów ich wytwarzania jak i eksploatacji.

Obok bezpieczeństwa konstrukcji również bezpieczeństwo systemów informacyjnych i ochrona informacji jest tematem prowadzonych w IPPT prac. Poza tradycyjnymi technikami kryptograficznymi, które są ciągle rozwijane, coraz ważniejsze stają się metody wspomagające, nie tyle chroniące przed atakami, co pozwalające uniknąć zagrożeń. Należą do nich w szczególności systemy reputacyjne, pozwalające oceniać wiarygodność składników systemów informacyjnych, takich jak urządzenia i węzły w sieci, użytkownicy, usługi w sieci i ich dostawcy. W ZMK prowadzone są badania zmierzające do wykorzystania systemów reputacyjnych do zagwarantowania usługi osiągalności w systemach informacyjnych, w skali od sieci sensorycznych, do Internetu. Osiągalność jest tu rozumiana jako usługa bezpieczeństwa zapewniająca nie tylko stały dostęp do danych i do usług informatycznych, ale również polegająca na zrealizowaniu celu protokołu kryptograficznego w całej rozciągłości, czyli osiągnięciu jego celu (np. zrealizowania uczciwych wyborów elektronicznych). To podejście jest nowatorskie w skali światowej. Badania w tym kierunku zostały rozpoczęte w kilku ośrodkach naukowych w ostatnich 2-3 latach.

Modelowanie procesów biologicznych i medycznych miało swoje początki w IPPT już w końcu lat sześćdziesiątych. Wiązało się to wtedy z modelowaniem przepływów krwi jako zawiesziny cząstek, oddziaływania pulsacyjnego ruchu cieczy z deformowalnymi ścinakami naczyń i budową modeli serca i płuc. W kontekście rozwijania metod symulacji przepływu zawieszin rozwój metod numerycznych pozwolił na podjęcie w ZMiFP badań nad dynamiką układów wielocząstkowych w lepkim płynie. W centrum zainteresowania prowadzonych prac jest obliczanie efektywnych współczynników transportu i struktury płynów złożonych.

Teoretyczny opis układu bazuje na multipolowej metodzie rozwiązania równań Stokesa. Opracowane kody numeryczne są adoptowane do analizy wpływu kształtu i struktury wewnętrznej cząsteczek zawiesiny na współczynniki transportu w lepkim płynie lub ośrodku porowatym, w powiązaniu z badaniami o znaczeniu biologicznym. Ważnym problemem badawczym jest analiza oddziaływania mikrocząstek z granicami płynu, tj. powierzchniami rozdziału faz, ściankami mikrokanala i mikrokapilary. Wyniki takie są istotne m.in. dla modelowania ruchu mikrocząstek w pobliżu błon biologicznych oraz dla takich zastosowań przemysłowych jak określenie stopnia zanieczyszczenia płynów. Modele numeryczne opisujące opór hydrodynamiczny powierzchni pokrytych cząstkami stanowią bazę do interpretacji rezultatów eksperymentalnej analizy struktury pokrycia powierzchniowego w skalach mikrometrycznych. Rezultaty prowadzonych prac numerycznych mają duże znaczenie w badaniach biologicznych i fizykochemicznych własności powierzchni. Tematyka dynamiki zawiesin wiąże się również z rozwojem metod modelowania przepływów w obecności ośrodków porowatych o znaczeniu biologicznym, porowatych cząstek materii miękkiej, np. star polymers lub mikrożeli, oraz systemów typu core-shell, czyli porowata otoczka z twardym rdzeniem wewnątrz. Zagadnienia te niewątpliwie w płynny sposób przenoszą nas do Bio - trzeciego priorytetu rozwoju nauki w Polsce.

### **Grupa tematyczna Bio**

Tematyka priorytetu Bio w sposób bezpośredni i pośredni pojawia się w coraz większym stopniu w wielu tematach badawczych IPPT. Wiąże się to z podkreślaną na wstępie interdyscyplinarną strukturą badawczą IPPT. Zaowocowało to utworzeniem wspólnie z pięcioma sąsiednimi instytutami biomedycznymi konsorcjum Biocentrum Ochota. Aktualna problematyka biomedyczna uprawiana w IPPT obejmuje przede wszystkim modelowanie numeryczne zarówno procesów mechanicznych jak i sygnalizacji na poziomie tkanki i komórki oraz rozwój metod eksperymentalnych bazujących na diagnostyce ultradźwiękowej i optycznej.

Rozwój metod numerycznych związany jest głównie z modelowaniem mechaniki i adaptacyjnej przebudowy tkanki kostnej. Skomplikowana geometria mikrostruktury jest wyzwaniem dla twórców modeli numerycznych, zaś mechanobiologiczne aspekty wzrostu, zanikania i przebudowy tkanki są wciąż niedostatecznie poznane i uwzględniane w modelowaniu. Wyniki prowadzonych badań mogą znaleźć zastosowania kliniczne - przy projektowaniu i doborze właściwych endoprotez i innych wszczepów ortopedycznych. W ostatnim okresie w ZMK rozpoczęto również prace nad modelowaniem procesu wzrostu komórek naskórka, numerycznym modelowaniem przepływów krwi z uwzględnieniem zmian patologicznych w naczyniach krwionośnych.

Zupełnie inną klasę problemów biomedycznych stanowi uprawiana dzisiaj w ZMiFP problematyka związana z analizą sygnalizacji neuronów, modelowaniem procesów dyfuzji na poziomie komórkowym i intensywnie rozwijana tematyka związana z modelowaniem szlaków sygnałowych komórek biologicznych. Jednym z celów prowadzonych we współpracy z biologami badań jest zrozumienie istoty funkcjonowania mózgu a w przyszłości wykorzystanie zdobytej wiedzy do optymalizacji sztucznych sieci oraz zaprojektowania układów umożliwiających przyspieszenie procesów obliczeniowych (wydajniejsze komputery). Stosowane są tutaj metody Teorii Informacji wykorzystujące techniki informatyczne (głównie implementacje estymatorów entropii) do analizy informacji wzajemnej pomiędzy sygnałami wejściowymi a sygnałami wyjściowymi dla sztucznych sieci neuronowych a także dla modeli mózgu. Badania mają na celu analizę wpływu na wydajność transmisji architektury mózgu (lokalne a długo-zasięgowe komunikowanie się neuronów,

wpływ opóźnienia), zbadanie wpływu efektu skali (efektywność transmisji w funkcji ilości neuronów w sieci), oraz znaczenia efektu szumu w synapsach (dostosowanie architektury sieci do tego zjawiska). Dokonano wstępnej analizy wydajności transmisji informacji dla modelu klasycznego neuronu oraz typowych, o prostej architekturze sieci neuronowych. Otrzymane modele są weryfikowane zbieranymi we współpracujących ośrodkach medycznych danymi doświadczalnymi odpowiedzi neuronów na proste pobudzenia.

Biologia systemów i bioinformatyka to nowe i szybko rozwijające się w IPPT dyscypliny naukowe. Biologia systemów powstała w wyniku współpracy biologów z matematykami, fizykami i chemikami – jej zadaniem jest zbadanie i zrozumienie na poziomie równań matematycznych podstawowych mechanizmów molekularnych decydujących o funkcjonowaniu komórek i organizmów. Jednym z badanych w IPPT metodami matematycznymi problemów jest dynamika wapnia, najważniejszego spośród tzw. wtórnych przekaźników komórkowych odpowiedzialnych za przesyłanie bodźców zewnętrznych (dochodzących np. do receptorów membranowych) do wnętrza komórki jak też sygnalizacji wewnątrz-komórkowej. Nieprawidłowa gospodarka wapniowa może być źródłem wielu groźnych chorób, np. choroby Alzheimera. W oparciu o modele matematyczne oparte na układach równań typu reakcji-dyfuzji uzupełnionych o równania teorii sprężystości analizowany jest wpływ sprzężeń mechano-chemicznych na prędkość propagacji fal wapniowych dla różnych geometrii komórek lub tkanek np. w długich komórkach mięśniowych czy też w warstwach komórek endotelialnych oraz na badaniu odkształceń mechanicznych towarzyszących propagacji tych fal. Prace związane z propagacją fal wapniowych w długich komórkach mogą mieć istotne znaczenie np. w zrozumieniu procesów pracy mięśni. Wpływ efektów mechano-chemicznych jest również bardzo istotny w analizie propagacji guza nowotworowego i procesów angiogenezy. Z rozwiązywaniem problemu dyfuzji wiąże się również stworzony w IPPT model matematyczny powstawania naczyń krwionośnych z komórek macierzystych (waskulogenezy) opisujący ruch komórek w obecności czynnika chemicznego (*chemotaksja*).

Ważnym problemem biologii komórki jest sygnalizacja wewnątrz i między komórkowa. Żywa komórka może być traktowana, jako mikroskopijny reaktor biochemiczny, w którym jednocześnie reaguje kilkaset tysięcy różnych substancji, głównie białek i mRNA. Istotną rolę odgrywają tu efekty stochastyczne (losowe) wynikające z bardzo małej ilości reagujących molekuł danego typu – DNA, RNA i białek. Stochastyczność z jednej strony utrudnia jednoznaczne przetwarzanie sygnałów, a z drugiej strony umożliwia różnicowanie odpowiedzi komórek na ten sam czynnik stymulujący. Ten drugi aspekt losowości jest szczególnie istotny w odpowiedzi immunologicznej i specjalizacji komórek w rozwoju embrionalnym. Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na funkcjonowanie mikroreaktora komórkowego jest jego niejednorodność przestrzenna – komórka biologiczna posiada bardzo złożoną – nie w pełni poznaną – strukturę. Intelktualnym wyzwaniem prowadzonych w IPPT badań jest zrozumienie współdziałania efektów stochastycznych i przestrzennych w przetwarzaniu – lecz także w generowaniu – informacji. Oczekuje się, że informacja określająca odpowiedź komórki na stymulację (np. proliferację, apoptozę – kontrolowaną śmierć, transformację w komórkę innego typu) wypracowywana jest w układach działających na pograniczu stochastyczności i determinizmu. Jednym z ważnych aktualnie realizowanych zadań jest stworzenie modelu sieci sygnałowych związanych z rakiem i obroną immunologiczną. Analizowane sieci sygnałowe (regulatorowe) są układami wzajemnie oddziaływujących białek RNA i genów odpowiedzialnymi za wybrane funkcje komórki. Zwornikami sieci regulatorowych są zazwyczaj czynniki transkrypcyjne – białka mające zdolność aktywacji transkrypcji wybranych genów. We współpracy z grupami eksperymentalnymi z University of Texas i Stanford skonstruowano szereg modeli matematycznych sieci regulatorowej NF-kappa B przewidujących na rosnącym poziomie

dokładności zachowanie układu. W szczególności pokazano, że działanie sieci regulatorowej oparte jest o dwa sprzężenia ujemne i przewidziano, że pojedyncze molekuly cytokiny TNF mogą aktywować czynnik transkrypcyjny NF-kappa B.

Czynnikiem transkrypcyjnym odpowiedzialnym za „życie lub śmierć” komórki jest białko p53 nazywane często strażnikiem genomu. Aktywuje się on w wyniku uszkodzenia DNA, prowadząc do wstrzymania cyklu komórkowego, naprawy DNA, a gdy ta jest niemożliwa lub przebiega zbyt wolno do apoptozy – kontrolowanej śmierci komórki. Działania te mają uniemożliwić proliferację zmutowanych komórek. Uszkodzenie genu p53, bądź jego regulatorów bardzo często prowadzi do rozwoju nowotworów. Zaproponowany stochastyczny model regulacji białka p53 oparty jest na dwóch sprzężeniach zwrotnych: ujemnym sprzęgającym p53 ze swoim inhibitorem Mdm2 i dodatnim działającym w dłuższych skalach czasowych (ok. 15 godzin). Pętla ujemna, zapewnia homeostazę zdrowych komórek oraz oscylacyjną odpowiedź na uszkodzenie DNA. Opóźnienie związane z dodatnim sprzężeniem działa jak zegar, zapewniając kilkanaście godzin czasu na naprawę DNA. Jednakże, gdy naprawa ta jest niemożliwa lub przebiega zbyt wolno, ujemna pętla zostaje przerwana, p53 stabilizuje się na wysokim poziomie aktywując geny inicjujące apoptozę. Stochastyczność procesu powoduje, że przy średnich dawkach napromieniowania populacja komórek dzieli się na dwie podpopulacje - komórek przeżywających i komórek apoptotycznych. Zbudowany model umożliwił pokazanie, że w układach p53 i NF-kB oscylacje o odpornym okresie powstają w układach opartych na ujemnym sprzężeniu zwrotnym i opóźnieniu, podczas gdy układy dynamiczne oparte o sprzężenie ujemne i dodatnie generują oscylacje o okresie wrażliwym na parametry. Zgodnie z przewidywaniem modelu aktywacja NF-kB przed naświetleniem promieniowaniem jonizującym (aktywującym p53) chroni komórki przed apoptozą, natomiast aktywacja NF-kB po naświetleniu zwiększa frakcję komórek apoptotycznych. Przewidywania modelu zostały potwierdzone w eksperymencie klinicznym i mogą być pomocne w optymalizowaniu dawek promieniowania stosowanych w terapii nowotworów.

Zbudowany został również stochastyczny model sygnalizacji tymocytów, oparty o tzw. *kinetic proofreading* oraz ujemną i dodatnią pętlę sprzężenia. Symulacje numeryczne modelu pokazały, że stochastyczne fluktuacje prowadzą do istotnych różnic pomiędzy trajektoriami pojedynczych komórek. Dodatkowo, bistabilność układu powoduje, że średnia trajektoria populacyjna jest jakościowo różna od trajektorii otrzymanej w przybliżeniu deterministycznym. Przeprowadzone analizy numeryczne dają podstawy do przypuszczenia, że to właśnie bistabilność w połączeniu ze stochastycznością trajektorii pojedynczych komórek powoduje, iż każda komórka działa jak stochastyczny przełącznik. Ma to istotne znaczenie dla indukcji apoptozy w skanowanych komórkach.

Równolegle do badań modelowych podejmowany jest aktualnie wysiłek stworzenia bazy laboratoryjnej umożliwiającej wykorzystanie metod mikroprzepływowych do manipulacji komórkami biologicznymi, sterowania procesami generowania ścieżek sygnałowych celem rejestracji metodami optycznymi odpowiedzi znaczonych fluorescencyjnie białek w cytoplazmie i jądrze komórkowym. Umożliwi to stworzenie własnego zaplecza do walidacji budowanych modeli matematycznych.

Diagnostyka biomedyczna to podstawowa domena aktywności naukowej Zakładu Ultradźwięków. Tradycyjna tematyka Zakładu wywodząca się dopplerowskiej metody pomiarów przepływu krwi i obrazowania organów ulega w ostatnich dziesięcioleciach gwałtownemu rozszerzeniu. Nowe zastosowania ultradźwięków w biologii i medycynie umożliwiają rozwój metodyki badań, wsparcie jakie dają nowoczesne metody komputerowej analizy sygnałów i osiągnięcia elektroniki. Pozwala to obecnie na osiągnięcie rozdzielczości

przestrzennych metod ultradźwiękowych porównywalnych z metodami optycznymi i dynamiczną analizę zmian tkanek i ich otoczenia.

Prowadzone aktualnie w ZU badania związane są ze wspomaganie diagnostyki chorób skóry, opracowywaniem nowych technik obrazowania narządów człowieka, mikroskopowymi badaniami komórek oraz terapią polegającą na wywołaniu ekspresji genów za pomocą ultradźwięków. Szczególny nacisk kładziony jest na współpracę z lekarzami i biologami, którzy oceniają proponowane przez rozwiązania aparaturowe i metody diagnostyczne pod kątem ich przydatności medycznej. W ramach współpracy z lekarzami z Centrum Onkologii w Warszawie skonstruowany w IPPT mikrosonograf 20-35MHz stosowany był do oceny wielkości skórnych zmian nowotworowych, głównie czerniaka. Udało się pokazać, że obrazy otrzymywane za pomocą mikrosonografu, pozwalają na ocenę przedoperacyjną grubości nacieku czerniakowego skóry, co umożliwi właściwe zaplanowanie zakresu operacji (wg skali Breslow'a) i chroni pacjenta przed często konieczną reoperacją. Diagnostyka ultradźwiękowa może być wspomagana poprzez obrazowanie parametryczne. Struktura tkankowa charakteryzuje się całym szeregiem własności, które, mimo że wpływają na wartość amplitudy sygnału ultradźwiękowego nie mogą być jednoznacznie wyznaczone z wartości tej amplitudy. Są to własności tłumienne tkanki, własności rozproszeniowe i sprężyste czy też związane z budową komórkową. Wiadomo również, że własności tkanki ściśle związane są z jej stanem zdrowia. Dlatego też w ZU rozpoczęto badania nad możliwością wyznaczania tych parametrów tkanki i ich rozkładów i w efekcie nad tworzeniem obrazów parametrycznych, w których jasności obrazu odpowiada wartość określonego wyliczonego parametru np. współczynnika tłumienia, współczynnika rozproszenia czy też parametrów histogramu amplitudy. Obrazowanie takie wykonywane równoległe do obrazowania tradycyjnego umożliwi skuteczniejszą detekcję zmienionych patologicznie obszarów tkanki skóry. Badania prowadzone są we współpracy z dermatologami ze szpitala CSK MSWiA w Warszawie.

Dalszym rozwinięciem tej tematyki jest zastosowanie ultradźwięków wysokiej częstotliwości i mikroskopii akustycznej do oceny zmian zachodzących wewnątrz komórki w procesie apoptozy. Celem tego projektu jest ilościowa i jakościowa ocena zmian wewnątrzkomórkowych powstających podczas programowanej śmierci komórkowej na drodze apoptozy przy użyciu nowatorskich, własnych technik pomiarowych wykorzystujących istniejącą oraz specjalnie dostosowaną aparaturę ultradźwiękową. Apoptoza cechuje komórki w niektórych stanach patologicznych, takich jak choroba Alzheimera. Ponadto, zaburzenie lub utrata zdolności samoistnej eliminacji komórek na drodze apoptozy są przyczyną wielu nowotworów i utrudniają ich leczenie.

W ramach tego tematu opracowywane są nowatorskie metody detekcji apoptozy z zastosowaniem ultradźwięków i mikroskopii akustycznej, umożliwiające szybką ocenę apoptozy na dużą skalę i w wielu próbkach materiału biologicznego, bez negatywnego wpływu na badany materiał komórkowy. Pozwoli to na wytworzenie nowych narzędzi do oceny apoptozy dostosowanych do potrzeb nauki jak też diagnostyki medycznej. Proponowany projekt może zrewolucjonizować sposób detekcji i oceny poziomu apoptozy, umożliwiając bezpośrednią analizę apoptozy w wielu próbkach od pacjentów, bez niekorzystnego wpływu na badane komórki i przyległe tkanki. Metoda potencjalnie może być stosowana w celach diagnostycznych oraz w monitorowaniu skuteczności leczenia niektórych schorzeń, w tym choroby Alzheimera i chorób nowotworowych.

Zmiany wewnątrzkomórkowe, które mogą być rejestrowane poprzez ultradźwięki to zmiany geometrii - wielkości i kształtu obiektów biologicznych np. jąder, błony komórkowej, cytoszkieletu - oraz zmiany takich parametrów akustycznych jak gęstość, sprężystość i tłumienie. Ponieważ jądra komórkowe podczas apoptozy zmieniają swój wymiar

i gęstość, możliwe staje się badanie tych zmian przez analizę zmian sygnału ultradźwiękowego. Badania takie są możliwe przez wykorzystanie skanującego mikroskopu akustycznego (częstotliwość 1000 – 2000 MHz) oraz zastosowanie ultradźwięków wysokiej częstotliwości (20-100 MHz) do oceny średnich parametrów zagęszczonych żywych komórek. Badania prowadzone są pod kątem wyznaczenia parametrów fizycznych struktur komórkowych, głównie jądra, które zmieniają się w procesie apoptozy i jednocześnie silnie oddziałują z falą ultradźwiękową. Optymalizację procesu detekcyjnego zapewnią prowadzone równoległe numeryczne symulacje rozchodzenia się sygnału ultradźwiękowego w zagęszczonych komórkach oraz analiza wpływu na ten sygnał zmian geometrii, sprężystości i gęstości przestrzennej elementów komórkowych zachodzących podczas apoptozy. Wyniki symulacji posłużą do interpretacji rejestrowanych zmian parametrów mierzonych doświadczalnie. Jednym z pierwszoplanowych celów badań jest opracowanie metody detekcji apoptozy w komórkach limfocytów pochodzących od pacjentów z chorobą Alzheimera oraz od osób zdrowych z grupy kontrolnej. Wstępne rezultaty badań wykazały, że limfocyty pacjentów z chorobą Alzheimera cechuje wyższy poziom apoptozy spontanicznej oraz indukowanej. Zastosowanie nowatorskich technik ultradźwiękowych pozwoli wykrywać z dużą czułością i na dużo większą skalę proces apoptozy w limfocytach ludzkich z chorobą Alzheimera. Dodatkowo techniki pomiarowe apoptozy oparte na analizie ultradźwięków zostaną zweryfikowane w innym modelu komórkowym, w hodowli ludzkich komórek linii HEK, z wprowadzonymi mutacjami rodzinnej formy choroby Alzheimera w genie kodującym presenilinę 1. Celem projektu jest też zweryfikowanie hipotezy, że przebieg i charakterystyczne cechy apoptozy komórkowej mogą być specyficzne dla określonych szlaków sygnalizacji inicjujących apoptozę. Hipoteza ta zostanie sprawdzona przez wykorzystanie mikroskopii akustycznej w liniach komórek traktowanych różnymi związkami farmakologicznymi, znanymi ze swego działania proapoptotycznego na różne typy stresu.

Prowadzone w ZU badania z zastosowaniem ultradźwiękowej analizy apoptozy wobec komórek nowotworowych mają duże znaczenie dla rozwoju nowych metod terapeutycznych, w szczególności przy ultradźwiękowej ocenie skuteczności terapii chorób nowotworowych skóry i raka jelita grubego. Znalezienie związku pomiędzy obrazowaniem USG i śmiercią komórek nowotworowych podczas chemioterapii byłoby ogromnym postępowaniem w tej terapii, gdyż umożliwiłoby minimalizowanie trwania inwazyjnego procesu działania toksycznych chemioterapeutyków. Jednocześnie informacja o rozpoczęciu lub nie procesu apoptozy może decydować o kontynuacji terapii lub konieczności jej zmiany.

Polepszenie ultrasonograficznej wykrywalności zmian w tkankach, przy określonym poziomie szumów odbiornika, wymaga wzrostu energii sygnału. Wzrost ten jest w praktyce możliwy jedynie przez zwiększenie długości impulsów nadawczych, ich amplituda jest bowiem ograniczona, ze względu na bezpieczeństwo badań, przez dopuszczalną moc szczytową nadajnika. Z kolei rozróżnialność obserwowanych obiektów będzie tym lepsza, im echo będzie krótsze. Rozróżnione mogą być jedynie te obiekty, od których echa są przesunięte względem siebie o czas większy niż długość impulsów sondujących. Im więc sygnały te będą krótsze tym lepsza jest ich rozróżnialność. A zatem jednoczesne zapewnienie przez system ultrasonograficzny najlepszej rozróżnialności i wykrywalności obiektów prowadzi do przeciwstawnych sobie wymagań w stosunku do sygnału sondującego, bowiem im dłuższy sygnał nadawczy tym lepsza wykrywalność, natomiast rozdzielczość jest tym lepsza im krótsze są echa. Rozwój ultrasonografii obejmuje m.in. nowe techniki, dotychczas stosowane w telekomunikacji, polegające na kodowaniu długich sekwencji nadawczych i odpowiedniego dekodowania ech. Rozwijane są dwie techniki kodowania transmisji i przetwarzania sygnałów odbiorczych. Pierwsza dotyczy kompresji ech z liniową modulacją częstotliwości za pomocą filtracji dopasowanej. Druga i w

zasadzie główna część badań jest poświęcona opracowaniu systemów nadawczo/odbiorczego z binarną modulacją fazy. Dzięki zastosowaniu metod optymalizacji dokonany zostanie odpowiedni wybór kodów transmisyjnych, wg. których przebiega zmiana fazy i następnie kompresja ech (splot ech z repliką sekwencji nadawczej). Wykorzystane zostaną m.in. znane z telekomunikacji i dopplerowskich technik radarowych systemy cyfrowej, binarnej modulacji paczek falowych za pomocą kodu Barkera (o długości 7, 11 lub 13) i podwójnych kodów z eliminacją listków bocznych zwanych kodami Golaya. Kolejnym krokiem w kierunku polepszenia rozdzielczości USG będzie implementacja obrazowania nieliniowego/harmonicznego.

Inny z projektów prowadzonych obecnie w ZU ma na celu opracowanie nowej technologii obrazowania narządów człowieka za pomocą wieloelementowych głowic ultradźwiękowych oraz budowę uniwersalnej platformy sprzętowej umożliwiającej praktyczną realizację obrazowania w formie urządzenia medycznego, a w dalszej perspektywie komercjalizację opracowanej techniki poprzez jej udostępnienie firmom ultrasonograficznym. Powstała aparatura USG umożliwić będzie zarówno tworzenie obrazów poprzez elektroniczny skaning falą ultradźwiękową wybranych obszarów ciała jak i poprzez wykorzystanie metod ogniskowania za pomocą apertury syntetycznej (SAF). W tym drugim przypadku nie występują ograniczenia prędkości zbierania obrazu związane z sekwencyjnym próbkowaniem ultradźwiękami badanego obszaru. Pojawiają się za to ograniczenia czasowe po stronie obliczeniowej związane z koniecznością przetwarzania wielkiej ilości sygnałów w procesie rekonstrukcji obrazu. Budowana platforma sprzętowa zapewnić będzie zarówno obsługę nadawania i odbioru równoległego sygnałów dla wszystkich pojedynczych przetworników głowicy wieloelementowej jak i bardzo szybkie przetwarzanie odbieranych sygnałów w czasie konstrukcji obrazu. Umożliwi to tworzenie w czasie rzeczywistym obrazów trójwymiarowych oraz obrazów parametrycznych, w których w formie obrazu prezentowane będą rozkłady wybranych własności fizycznych tkanki.

Nowo podjęte tematy badawcze ZU dotyczą również chorób kości. Badania własności mechanicznych materiałów biologicznych (kości i tkanki miękkiej) umożliwiają z jednej strony poznanie ich budowy i zasad funkcjonowania, a z drugiej zaś mogą być bardzo przydatne przy tworzeniu nowych materiałów o własnościach dorównujących własnościom tkanek (np. endoprotezy, sztuczna skóra, materiały dla inżynierii tkankowej). Badania prowadzone z użyciem mikroskopu akustycznego mają na celu ocenę przydatności materiałów dla inżynierii tkankowej. Technika mikroskopii akustycznej charakteryzuje się cechą szczególną, umożliwia obrazowanie i pomiary własności mechanicznych żywych komórek. Prowadzone prace posłużą do oceny przydatności materiałów stosowanych, jako podłoże dla komórek (rusztowanie komórkowe, implanty) oraz umożliwią rozwój nowych technik stymulacji komórek. Śledzenia zmian własności elastycznych na poziomie komórki pozwala bowiem na monitoring procesu powstawania na bazie macierzy pierwotnej nowej tkanki kostnej oraz obserwację wpływu na ten proces różnego rodzaju stymulacji.

Zmiany degeneracyjne, nowotwory i urazy układu mięśniowo-szkieletowego są jednymi z głównych, gwałtownie rosnących problemów zdrowia publicznego. Chirurgiczne leczenie tego rodzaju schorzeń opiera się głównie na wszczepianiu metalicznych implantów łącznie z kością lub zamiennikiem kości. Pomimo dużego rozwoju tych metod efekt obluźnienia implantu stanowi ciągle podstawowy problem. Dlatego też nowe metody leczenia takie jak np. inżynieria tkankowa będą miały olbrzymi wpływ zarówno na jakość życia pacjentów jak i na stronę ekonomiczną opieki zdrowotnej.

Inżynieria tkankowa to przyszłość medycyny regeneracyjnej - dziedziny, której zadaniem jest odbudowa narządów utraconych w wyniku urazów, chorób przewlekłych lub wadliwie rozwiniętych u osób nowo narodzonych. Rozwój inżynierii tkankowej związany jest



z poszukiwaniami funkcjonalnego materiału biologicznego, który był by w stanie zastąpić lub zregenerować uszkodzoną tkankę w organizmie i przywrócić jej funkcję. Szczególnie obiecujące są techniki polegające na wysiewaniu komórek na trójwymiarowym rusztowaniu. Otrzymane w ten sposób rusztowanie komórkowe, po inkubacji w bioreaktorze gdzie prowadzona jest specjalistyczne hodowla tkanek, wszczepiane jest w uszkodzone miejsce. Taka forma terapii regeneracyjnej unika problemów związanych z przeszczepami organów czy też implantacją sztucznych protez. Materiały na rusztowania komórkowe powinny charakteryzować się szeregiem specyficznych cech w tym sprzyjającym środowiskiem do namnażania i przylegania komórek, biogodnością, bioresorbowalnością i odpowiednimi własnościami mechanicznymi.

Badania prowadzone z użyciem mikroskopu akustycznego mają na celu ocenę przydatności tych materiałów dla inżynierii tkankowej. Technika mikroskopii akustycznej charakteryzuje się cechą szczególną, umożliwia obrazowanie i pomiary własności mechanicznych żywych komórek. Badania z zastosowaniem mikroskopu akustycznego posłużą do oceny przydatności materiałów stosowanych jako podłoże dla komórek (rusztowanie komórkowe, implanty) oraz umożliwi rozwój nowych technik stymulacji komórek. W szczególności umożliwią ocenę przylegania żywych komórek do materiału podłoża, ocenę wpływu bodźców zewnętrznych (stymulacja chemiczna, mechaniczna, elektromagnetyczna, itp.) na stan hodowanych na podłożu komórek np. na proces powstawania macierzy pierwotnej i następnie nowej tkanki kostnej.

Zastosowanie ultradźwięków w badaniach materiału biologicznego rodzi pytania związane z indukowanymi efektami termicznymi. Niedawno wykazano, iż ekspozycja hodowli tkankowych na ultradźwięki może prowadzić do zwiększonej ekspresji białek szoku cieplnego (Hsp). Możliwość indukowania w sposób kontrolowany ekspresji Hsp w tkankach *in vivo* przy pomocy ultradźwięków jest potencjalnie nowym podejściem terapeutycznym dla chorób degeneracyjnych, w którym wykorzystane byłyby znane własności zwiększania odporności komórek na stresy przez indukcję ekspresji białek Hsp. Prowadzone w ZU prace w ramach tej tematyki dotyczą zarówno modelowania numerycznego pozwalającego przewidywać rozkład pola temperatury indukowanej wiązką ultradźwiękową w wielowarstwowych strukturach tkankowych jak i ocenę wpływu naświetlania ultradźwiękami wybranych organów na ekspresję indukowanych białek szoku cieplnego.

Szereg wymienionych powyżej badań jest lub będzie realizowana w ramach współpracy z instytutami konsorcjum Biocentrum Ochota. Na osobną uwagę zasługują prace prowadzone wspólnie z Uniwersytetem Drexell w Filadelfii nad opracowaniem ultradźwiękowej metody zwiększania przepuszczalności kapsulek fosfolipidowych w celu uwalnianie z nich w kontrolowany sposób leków w ciele pacjenta.

## **Podsumowanie**

Instytut został założony 24 września 1953 roku na bazie kilku sekcji Departamentu IV (Nauki Techniczne) Polskiej Akademii Nauk. Przez ponad pięćdziesiąt lat Instytut wzmocnił swą pozycję, jako jedno z wiodących centrów rozwoju nauki. Główną działalnością Instytutu są zawsze badania podstawowe w wielu kierunkach. Jednakże, w ciągu tych wszystkich lat uznawano zastosowania wyników badań w praktyce za bardzo ważne. Wiele zespołów badawczych miało silne więzi z przemysłem. Od 1991r. Instytut jest finansowany przez

Komitet Badań Naukowych, a jego budżet jest uzupełniany grantami na konkretne projekty badawcze oraz kontraktami z partnerami przemysłowymi na różnorodne usługi badawcze. Ilość i wartość grantów oraz kontraktów z zagranicznymi partnerami zwiększa się. Historia i tradycja Instytutu stanowi bazę dla jego dalszego rozwoju, gdy pojawiają się nowe możliwości i gdy trzeba stawiać czoła nowym trudnościom. Projekty badawcze ukierunkowane na konkretny cel, duża efektywność i otwartość na nowe możliwości są zawsze w cenie. Współpraca z przemysłem, wspólne programy z środkami badawczymi w Europie, Ameryce Północnej i Japonii, zaangażowanie w programy kształcenia wyższego to główne kierunki bieżącej działalności, w której badania podstawowe są wspierane i łączone z rozwojem zastosowań.

IPPT należy do największych Instytutów nauk technicznych PAN i jak niewiele innych Instytucji o profilu nauk podstawowych z zakresu techniki i technologii reprezentuje bardzo szeroki wachlarz specjalności: *mechanika, inżynieria materiałowa, elektronika*(akustyka), *informatyka, budowa i eksploatacja maszyn, budownictwo*. Tematyka powyższa rozwijana jest na najwyższym poziomie, w przeważającej części o aspekcie teoretyczno-podstawowym. W ostatnich latach współpraca naukowa IPPT PAN z innymi Instytutami Polskiej Akademii Nauk o zbliżonym lub komplementarnym profilu tematyki badawczej uzyskała nową jakość poprzez wspólne uczestnictwo w wielu programach badawczych i projektach inwestycyjnych, finansowanych zarówno ze środków krajowych, funduszy strukturalnych jak i grantów przyznawanych w konkursach Programów Ramowych przez Komisję Europejską.

Przeniesienie IPPT na Kampus Ochota stworzyło całkowicie nowe perspektywy związane z umiejscowieniem w sąsiedztwie instytucji „medyczno-biologicznych” i technologicznych o nadzwyczaj interdyscyplinarnym charakterze. Skrzyżowanie techniki i medycyny i biologii doświadczalnej, zaowocowało zwiększeniem potencjału naukowo-badawczego i usługowego Kampusu oraz wykorzystaniem efektu synergii poprzez powiązanie działalności naukowo-badawczej instytutów na terenie Kampusu Ochota. Ta wspomniana na wstępie interdyscyplinarność IPPT, elastyczne dostosowywanie tematyki badań do aktualnych zapotrzebowań praktycznych jak i nowych wyzwań nauki potwierdza unikalny charakter badań prowadzonych w tej placówce naukowej.

## **Literatura**

W swojej niemal sześćdziesięcioletniej historii pracownicy Instytutu opublikowali wiele tysięcy artykułów, kilkaset książek i monografii. Trudno byłoby w tym miejscu przytaczać ten dorobek, choć niewątpliwie byłoby interesujące zilustrować na tej podstawie ewolucję uprawianej tutaj tematyki badawczej. Ponieważ jednak tematem opracowania jest przyszłość i perspektywy rozwoju, wydaje się właściwe zilustrowanie tego najnowszymi pracami z ostatnich kilku lat. Jest to nadal zbiór blisko tysiąca artykułów, monografii i książek. Proponujemy wobec tego jako wirtualny załącznik wykaz publikacji autorów Instytutu jakie ukazały się od 2005 roku i zamieszczony na stronie internetowej IPPT <<http://www.ippt.pan.pl>>.

## **Institute of Fundamental Technological Research of Polish Academy of Sciences.**

### **Main Trends of Scientific Research and Perspectives of Development**

#### Summary

The approaching sixtieth anniversary of establishing Institute of Fundamental Technological Research of Polish Academy of Sciences brings about a reflection on the role it plays in

present Polish and world scientific circles. In the short survey presenting research questions of the day we were trying to show the diversity of subject matters that are taken up in the Institute. New challenges of technology and interdisciplinary problems solved in the Establishment result in difficulties connected with attempts at finding a historical division of phonic and mechanical section in the structure of research works initiated by the Institute. Therefore, in the present review we rather tried to reveal to what extent scientific researches of Institute of Fundamental technological Research of Polish Academy of Sciences are complementary to current strategy to develop science with its three main priorities: *Techno, Info and Bio*.