

Szybki rozwój, jakiego do wiadczyła fotonika w ostatniej dekadzie doprowadził do znaczących odkryć i istotnego postępu w nauce i technice. Odkrycia te i spowodowane nimi zmiany, już wpłynęły na całe społeczeństwo zmieniając codzienne życie ludzi, poprzez wprowadzenie nowych narzędzi i rozwiązań, takich jak globalna sieć internetowa czy wykorzystywanie energii słonecznej. Oczekuje się, że dalsze zapotrzebowanie na rozwój infrastruktury internetowej, istotną redukcję zużywaną energię, polepszenie opieki zdrowotnej, zwiększone bezpieczeństwo i obronność, oraz na nową generację ogniw fotowoltaicznych będzie siłą napędową wielokierunkowego rozwoju w obszarach fotoniki i nanotechnologii w najbliższej dekadzie. Rozwój ten będzie silnie uzależniony od postępu w obszarach wiedzy i techniki, które są powiązane z **metamateriałami**, przeważnie niebazującymi na rezonatorach o rozmiarach znacznie mniejszych od długości fali (subwavelength) i z ich wersjami planarnymi – **meta-powierzchniami**. Z drugiej strony, nowe efektywne modele teoretyczne, numeryczne i szczegółowa wiedza o niezbadanych, by móc wyjść z nich, co i jak jest osiągnięte, oraz zaopatrzenie inżynierów w jasne i efektywne wytyczne do projektowania nowych urządzeń. Co więcej, teorie te powinny dawać również jasne przepisy jak efektywnie wykorzystywać istniejące i powszechnie stosowane komponenty, w połączeniu z nowymi urządzeniami. Tak, więc **podstawowym celem tego projektu jest rozwój fundamentów opisu teoretycznego i wypracowanie strategii projektowania obiecującej klasy kwazi-objętościowych (cienkich) struktur ograniczonych meta-powierzchniami, które będą wykorzystywane w nowych wielofunkcyjnych urządzeniach fotonicznych, a także magnonicznych**. Planowane badania będą prowadzone równolegle w kilku kierunkach, które zawierają rozwój teorii i strategii projektowania dla: (i) wykonywania wielofunkcyjnych operacji, tj. umożliwiających realizację dwóch lub więcej różnych operacji w jednym urządzeniu; (ii) kontroli propagacji i transmisji w złożonych kompaktowych kwazi-objętościowych strukturach z wykorzystaniem meta-powierzchni, i (iii) ich sterowalności przy wykorzystaniu meta-powierzchni zbudowanych w oparciu o warstwę grafenu. **Nowe modele i metody teoretyczne, z wytworzonymi wiedzą i połączone z efektywnymi metodami projektowania nowych meta-urządzeń będą głównym rezultatem projektu.**

Planowane badania teoretyczne biorą pod uwagę fakt, że fotonika i nanotechnologia są kluczowymi technologiami. Ciągłe jest wiele urządzeń elementarnych i realizowanych przez funkcje, jak rozdzielacze (splitters), lustra, polaryzatory, soczewki, siatki dyfrakcyjne i diody optyczne, które są silnie poszukiwane do wielorakich zastosowań w zintegrowanej fotonice. To, czy każda z tych operacji wymaga osobnego urządzenia, czy te kilka funkcjonalności, a więc i urządzeń elementarnych, może być scalonych w jedno urządzenie, będzie bardzo silnie wpływać na ogólną efektywność przyszłych technologii. Do wypracowania tej koncepcji, porównanie z telefonami komórkowymi może być pomocne. Pierwszy terminal mobilnej telefonii posiadał tylko jedną funkcję, funkcję telefonu. Obecne aparaty telefonii komórkowej pełnią wiele funkcji z kilkoma podstawowymi, jak np. obsługa Internetu i GPS, oprócz tej podstawowej, telefonicznej. Co jest jeszcze ważniejsze, to te różne funkcje są wykonywane równolegle, bez wzajemnych zakłóceń, np. można odebrać połączenie telefoniczne bez konieczności wyłączenia połączenia z Internetem. Podobnie, jedną z idei tego projektu jest połączenie kilku różnych funkcji (funkcjonalności) w jednym urządzeniu (jednej strukturze). Na potrzeby zilustrowania drugiego obszaru badań w projekcie, załóżmy, że mamy dwa telefony komórkowe, które mają podobne, ale nie identyczne zestawy działania i/lub charakterystyki. W telefonach tych, większą podzespołów jest taka sama, a różnicami między nimi jest osiągnięta poprzez zamianę tylko jednego z podzespołów. Powyższy przykład ilustruje bardzo dobrze ideę propagacji/transmisji kontrolowanej tylko przez warunki brzegowe, która będzie rozwijana w projekcie. Faktycznie, planujemy zmieniać tylko warunki brzegowe na powierzchni kwazi-objętościowej struktury by sterować własnościami dla fotoniki. Innymi słowami, proponujemy zamienić jedną meta-powierzchnię innymi by otrzymać dramatyczne zmiany własności transmisyjnych czy propagacyjnych. Trzeci przykład z obszaru telefonii komórkowej ma na celu zilustrowanie jak tryb pracy (operation mode) może być przestrajany. Jest bardzo ważne by to strojenie czy regulowanie mogło być realizowane w bardzo prosty sposób, np. poprzez prosty dotyk ekranu, a nie wyłączenie, zmian konfiguracji i ponowne włączenie. Ten przykład dobrze ilustruje pomysł sterowalności, zaproponowany do realizacji w tym projekcie, z wykorzystaniem warstwy grafenu, czyli jednoatomowej warstwy grafenu. Wybór grafenu jest związany z ostatnimi badaniami, które zademonstrowały ogromny potencjał tkwiący w tym materiale. Jednocześnie nie, zakresy występowania i konkretne rozwiązania na wybiórczą i wzmocnioną zewnętrzną kontrolę własności transmisyjnych, czy propagacyjnych nie są jeszcze poznane dla grafenu i będą opracowywane w ramach tego projektu.

Dla funkcjonalności związanych z specyficznym przestrzennym rozkładem pola (jak tworzenie wiązki fali elektromagnetycznej, czy jej skupianie) rozwijany będzie następujący problem: znaleźć takie warunki brzegowe i odpowiadające im meta-powierzchnie, aby po danej charakterystyce struktury mogła zostać osiągnięta bez konieczności szczegółowego dobierania składników struktury (kwazi-objętościowej). W poszukiwaniach rozwiązania tego problemu wykorzystane zostaną podejścia optyki transformacyjnej (Transformational Optics), przeformułowane w taki sposób, że nieznanne parametry rozkładu, które wymagają wyznaczenia, będą ograniczone jedynie do zewnętrznych powierzchni struktury (tj. powierzchni struktury kwazi-objętościowej), a nie do jej wnętrza. Wykorzystując jeszcze raz przedstawioną powyżej analogię do telefonów komórkowych, oczekujemy, że jeden składnik złożonej struktury może być dobrany, tak by osiągnąć po danych zakres funkcjonowania. Celem naszym jest zakres częstotliwości rozciągający się od teraherców do fal podczerwonych. Obok meta-powierzchni, również warstwy kryształu fotonicznego i warstwowe metamateriały będą w ród elementów budulcowych złożonej kwazi-objętościowej struktury badanych w tym projekcie. Po opracowaniu podstaw teoretycznych w wybranych kierunkach, wypracowane metody i nabyte doświadczenia zostaną przeniesione na grunt magnoniki i powiązanych z nią zastosowań mikrofalowych. Planowane badania będą wykorzystywały klasyczną teorię fal elektromagnetycznych i optyki, analityczne i pół-analityczne modele i ostatnie osiągnięcia z obszarów fotoniki i metamateriałów. Opracowywane metody numeryczne będą oparte o zmodyfikowany formalizm macierzy rozpraszania i zestaw analitycznych i pół-analitycznych formuł. Numeryczne symulacje będą przeprowadzone przy wykorzystaniu komercyjnego oprogramowania i własnych kodów obliczeniowych. **Spodziewamy się, że otrzymane rezultaty otworzą drogę do nowych wielofunkcyjnych urządzeń, kontrolowanych przez meta-powierzchnie.**