

Celem projektu jest zbadanie efektu tzw. kompresji spektralnej ultrakrótkich impulsów w światłowodach o odpowiednio ukształtowanej dyspersji chromatycznej. Wykorzystanie zjawiska kompresji spektralnej impulsów daje możliwość opracowania źródła, które generuje przestrajalne wąskopasmowe impulsy w szerokim zakresie długości fali 1600-1800 nm. Tego typu laser może znaleźć zastosowanie w optycznej tomografii koherencyjnej (*optical coherence tomography, OCT*), gdzie wymagana jest mała szerokość linii (rzędu  $< 1$  nm) gwarantująca odpowiednią głębokość wnikania w tkankę oraz szerokie pasmo przestrajania, co umożliwi wysoką rozdzielczość.

Wąskopasmowe źródła z możliwością przestrojenia długości fali znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki, takich jak spektroskopia, nieliniowa mikroskopia, metrologia czy komunikacja optyczna. Mogą one również szczególnie znaleźć zastosowanie jako źródła do optycznej tomografii koherencyjnej, czyli tzw. swept-source OCT. OCT osiągnęła bardzo dużą popularność jako mało-inwazyjna metoda obrazowania tkanek biologicznych, która daje bardzo dobre wyniki obrazowania w głąb tkanek. Wymagania co do źródła odpowiedniego do OCT są jednak dość wysokie. Takie źródło musi charakteryzować się małą szerokością linii żeby zapewnić odpowiednią szerokość wnikania. Musi również obejmować odpowiednio szerokie pasmo oraz pracować z szybkim przestrojeniem, co przekłada się na wysoką rozdzielczość obrazowania i lepszej jakości diagnostykę. W OCT długo dominowały zakresy długości fali 800 oraz 1300 nm. Ostatnio również okno biologiczne 1700 nm okazało się obiecujące ze względu na minimum absorpcji wody w tym zakresie, w związku z czym światło na tej długości fali może wnikać głębiej niż ze źródła pracującego na 1300 nm. Problemem technicznym jest jednak brak dostępnych ośrodków wzmacniających pracujących w tym zakresie spektralnym, które mogłyby zostać użyte do budowy źródła na 1700 nm. Żeby ominąć ten problem możemy wykorzystać światłowody nieliniowe oraz ultrakrótkie impulsy.

Po wprowadzeniu impulsu (zapompowaniu) z lasera femtosekundowego do światłowodu nieliniowego na impuls ten będą oddziaływać zarówno efekty liniowe, takie jak dyspersja tego światłowodu i tłumienie, jak również szereg efektów nieliniowych. Jednym z tych ostatnich jest zjawisko tzw. samo-przesunięcia częstotliwości. Efekt ten prowadzi do generacji promieniowania (tzw. solitonów optycznych) na długościach fali dłuższych od długości pracy lasera. Czyli przy zapompowaniu światłowodu nieliniowego laserem femtosekundowym na długości fali 1560 nm możemy wygenerować solitony w zakresie długości fali do ok. 2000 nm, przestrajając solitony mocą lasera. Dzięki temu uzyskujemy źródło przestrajalne, jednak o dość szerokich liniach, rzędu 20-50 nm. Aby tego typu źródło mogło znaleźć zastosowanie w OCT solitony musimy zawęzić spektralnie. Analiza efektu zawężenia spektralnego przestrajalnych impulsów będzie kluczową częścią projektu. Aby uzyskać kompresję spektralną planujemy wprowadzić impulsy do włókna, którego dyspersja chromatyczna jest rosnąca wraz z długością światłowodu. Tego typu włókno może zostać złożone z dwóch rodzajów komercyjnie dostępnych światłowodów: standardowego światłowodu jednomodowego (SMF) oraz światłowodu z przesuniętą dyspersją (DSF). Dzięki temu, że wypadkowa dyspersja włókna powstałego z połączenia włókien SMF i DSF jest rosnąca, impulsy w nowo powstałym włóknie czasowo są poszerzane, a ponieważ zachowany jest efekt fundamentalnego solitonu, mówiący o tym, że występuje stała odwrotna zależność między czasem trwania impulsu a jego szerokością połówkową, w związku z czym spektralnie solitony się zawężają. Optymalne dobranie odcinków SMF i DSF pozwala na uzyskanie na wyjściu szerokości linii poniżej 1 nm. W efekcie dostajemy źródło, które może generować wąskopasmowe linie w zakresie przestrojenia długości fali 1600-1900 nm, co pokrywa się z wymaganiami stawianymi przez OCT.

Zakres badań projektu będzie obejmował zarówno prace teoretyczne jak i eksperymentalne. Model numeryczny będzie dotyczył symulacji zjawiska kompresji spektralnej celem dobrania optymalnych długości odcinków do budowy włókna o zmiennej dyspersji, a w efekcie uzyskania jak najlepszego efektu kompresji i, w związku z tym, najkrótszej szerokości linii. Prace eksperymentalne będą polegały na zestawieniu układu składającego się z lasera femtosekundowego oraz włókien światłowodowych odpowiednio: nieliniowego do uzyskania efektu konwersji spektralnej oraz włókna ze zmienną dyspersją do kompresji spektralnej. Zbadany zostanie wpływ średniej mocy optycznej przestrajalnych solitonów oraz ich wejściowe szerokości połówkowe na efektywność kompresji spektralnej solitonów. Skompresowane przestrajalne solitony zostaną następnie wzmocnione w światłowodowym wzmacniaczu opartym na światłowodzie aktywnym, domieszkowanym jonami tulu. Wzmocnienie wąskopasmowych solitonów jest konieczne ze względu na wymóg posiadania odpowiedniej ilości mocy do wykorzystania w późniejszych aplikacjach. Ostatni krok dotyczy analizy użyteczności układu jako źródła do optycznej tomografii koherencyjnej wybranych próbek tkanek.

Tematyka badawcza dotyczy aktualnego problemu szybko przestrajalnych źródeł laserowych, których parametry odpowiadałyby potrzebom biomedycznych zastosowań. Wyniki badań pozwolą na dogłębsze zbadanie efektów związanych z ultrakrótkimi impulsami laserowymi w światłowodach o zmiennej dyspersji chromatycznej, co doprowadziłoby do rozwoju nowego typu lasera światłowodowego.