

OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jaroslava Huynha

„FEMTOSEKUNDOVÉ LASEROVÉ SYSTÉMY S VYSOKÝM STŘEDNÍM VÝKONEM“

Předložená disertační práce **Ing. Jaroslava Huynha** se vztahuje k problematice femtosekundových laserových systémů a pulsních zesilovačů s vysokým středním výkonem v blízké infračervené oblasti. Práce je zaměřena konkrétně na metodologický výzkum v oblasti generování a zesilování laserových pulsů o délce v řádu stovek femtosekund ve vlnovém pásmu 1020 až 1030 nm, kde se obvykle využívá Yb:YAG krystalu jako aktivního prostředí.

Autor nejdříve provádí podrobný rozbor dosavadního stavu výzkumu v oblasti generování i zesilování laserových pulsů, kde objasňuje motivaci k provedené doktorské práci. Hlavním cílem práce je pak experimentální sestavení laserového systému, který dokáže generovat pulsy s energií v řádu stovek uJ až jednotek mJ vhodných k medicínským a průmyslovým účelům.

Autor se v teoretické části podrobně zaměřuje na shrnutí vhodných metod zesilování femtosekundových pulsů. Věnuje se klíčové části práce, tj. výběr vhodného aktivního prostředí pro realizaci regenerativního zesilovače v režimu Chirped Pulse Amplification (CPA). Předkládá podrobné teoretické srovnání vybraného materiálu Yb:YAG s konvenčním materiálem Yb:YAG, včetně posouzení parametrů podstatných pro dosažení požadované energie zesilovaných pulsů. Následně autor ve své doktorské práci prezentuje soubor měřicích metod, kterými hodlá potvrdit odvozené teoretické předpoklady na následném experimentu femtosekundového laserového systému.

V experimentální části pak autor prezentuje podrobný postup sestavení laserového oscilátoru i dvou typů regenerativních pulsních zesilovačů. Ve finální části práce pak porovnává dosažené parametry experimentálních systémů s teoretickými předpoklady i mezi oběma systémy vzájemně. Práce také zahrnuje část, ve které autor práce představuje na základě dosažených výsledků své doktorské práce další výzkumné cesty pro rozvoj oboru femtosekundových laserových systémů se středním výkonem.

Stanovisko oponenta k disertační práci

1) Aktuálnost tématu práce

Téma předložené práce je v současnosti velmi aktuální, neboť pulsní lasery se střední energií ve velmi krátkém pulsu mají možnost zásadně posunout úroveň terapeutických medicínských aplikací a aplikací v oboru tzv. mikroobrábění. Obrovskou výhodou laserového záření těchto parametrů při interakci s hmotou je vysoká efektivita opracování materiálu při minimálním převodu energie v laserovém pulsu na energii tepelnou, která by byla vnesena do opracovávaného materiálu.

2) Metody a forma zpracování disertační práce

Postup realizace jednotlivých částí výzkumu je v disertační práci popsán jasně. V teoretické části autor nejdříve shrnul a podrobně prezentoval klíčové parametry laserových oscilátorů a pulsních zesilovačů. Detailně popsal možné metody řešení zejména optického zesilovače, který je nezbytný pro dosažení požadované střední energie v generovaném pulsním svazku. V experimentální části musel autor překonat celou řadu úskalí. Musel sestavit vlastní

experimentální laserový oscilátor, proměřit velký soubor parametrů unikátního materiálu Yb:YGAG, sestavit teoretický návrh regenerativního optického zesilovače včetně detailního návrhu dílčích komponent pro techniku CPA. Sestavil také teoretický návrh zesilovače v systému pro modelování metodou konečných prvků a provedl parametrické simulace, které následně ověřil při realizaci dvou typů experimentálního regenerativního optického zesilovače. Tento postup lze hodnotit za velmi přínosný, neboť autor práce nespolehá pouze na prosté měření dosažených parametrů jím sestavené experimentální aparatury. Autor práce také využil celé řady měřicích přístrojů pro charakterizaci pulsních svazků. Velkým přínosem je i realizace kryogenní varianty regenerativního zesilovače na bázi tenkého disku Yb:YGAG, které dosáhla unikátních energetických hodnot v pulsu (550 μJ při teplotě $-140\text{ }^\circ\text{C}$ a opakovací frekvenci 20 kHz). Autor tak prokázal, že je schopen daný úkol řešit samostatně a i zdárně vyřešit díky správně zvolenému postupu prací.

3) Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Jak je patrné z předložené disertační práce, autor provedl velice důkladný výzkum v oboru generování pulsních femtosekundových svazků. Zaměřil se také na provedení řady dílčích experimentálních optických soustav včetně kryogenního hospodářství. Na základě provedených analýz vybral vhodný materiál pro realizaci aktivního prostředí, sestavil s ním požadovaný experiment a ověřil dosažené parametry v souladu se zadáním disertační práce. K vlastnímu řešení laserového systému sestavil řadu experimentálních měřicích sestav. Tento postup lze považovat za originální, neboť plně zahrnuje všechny aspekty nezbytné k úspěšné realizaci laserového zdroje. Lze tedy konstatovat, že autor daný cíl disertační práce splnil a použitá řešení jsou jednoznačně originální.

4) Výsledky doktorské práce a jejich význam pro praxi a rozvoj vědního oboru

Praktickým výstupem samotné disertační práce je vytvoření komplexního experimentálního řetězce laserového generátoru femtosekundových pulsů středního výkonu v pásmu 1020 nm až 1030 nm. Předkládaná práce pokrývá základní a experimentální výzkum zajímavé oblasti fotoniky a laserů. Dostupnost takových pulsních laserových zdrojů pro blízkou IR oblast optického spektra je v současnosti stále nízká, přičemž jejich potřeba pro medicínské aplikace a mikro obrábění různých typů látek rychle roste. Výsledky dosažené v předložené práci plně reagují na tyto požadavky a představují důležitý krok k budoucímu vývoji středních výkonových laserových zdrojů. Při zhodnocení publikační činnosti autora lze konstatovat, že autor svojí prací přispěl k dalšímu rozvoji vědeckého poznání v oboru fyziky pulsních femtosekundových laserů, stejně tak v materiálovém výzkumu, který se týká podrobného rozboru a měření nového materiálu Yb:YGAG.

5) Doplnující otázky na autora práce během obhajoby

a) Klíčovou částí regenerativního pulsního zesilovače realizovaného v rámci doktorské práce je vzorek keramiky Yb:YGAG, který byl opatřen AR vrstvami. U pulsních laserů jsou díky vysoké koncentraci energie za časový úsek tyto vrstvy značně namáhány. Uveďte, zda-li byly AR vrstvy testovány na limitní poškození výkonovým laserovým svazkem (metoda LIDT)? Uveďte také, jakou energii v pulsu by tyto vrstvy byly schopny ještě bez poškození snést?

b) Jakým způsobem je kontrolována opak. frekvence pulsů v sestavě laserového oscilátoru?

c) Popište jakým způsobem lze u kryogenní varianty regenerativního zesilovače stabilizovat výstupní výkon laserového svazku v reálném čase na požadované hodnotě?

Formální úprava disertační práce

Disertační práce je zpracována přehledně, koncepčně a logicky. Zahrnuje konkrétní východiska, cíle a dosažené výsledky s popisem metodického přístupu. Dokument splňuje všechny požadované náležitosti z hlediska vědecké úrovně, a to i jak po stránce formální, tak i obsahové. Doporučuji před finální publikací disertační práce do knihovního systému ještě provést odbornou jazykovou korekturu a odstranit drobná gramatická pochybení či překlepy.

Závěr

Předloženou disertační práci Ing. Jaroslava Huynha považuji za originální a na vysoké odborné úrovni. Hlavní myšlenky byly autorem publikovány v časopisech a na konferencích.

Doporučuji proto práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit Ing. Jaroslavu Huynhovi akademický titul Ph.D.

V Brně 16. 1. 2022

Ing. Ondřej Číp, Ph.D.
vedoucí oddělení Koherenční optiky
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.