



**Oponentský posudek disertační práce Ing. Z. Hubky: *Properties of ultrashort pulse laser amplifiers***

Téma práce spadá do oblastí rozvoje laserových systémů s femtosekundovými pulsy a vysokými výkony. Autor pracuje v laserové infrastruktuře ELI Beamlines a některé z dílčích úkolů, které úspěšně vyřešil, začlenil do své disertační práce. Jedná se konkrétně o práci na laserovém systému L1 Allegra. Autor se věnoval zprovoznění tří komerčních regenerativních laserových zesilovačů a kompresorů optických pulsů a generátorů druhé harmonické frekvence. Získané výsledky přispěly podstatným způsobem k úspěšnému provozu systému L1 s výstupními parametry, které umožnily realizaci plánovaných experimentů. Je tedy zřejmé, že téma práce je velmi aktuální a získané výsledky významné.

Práce je napsána na přibližně 80 stranách, s přiměřeným počtem 120 referencí. Je napsána anglicky, pokud mohu soudit na velmi dobré jazykové úrovni. Také grafická úprava práce je vynikající. V textu jsem zaznamenal jen velmi malé množství překlepů. Text práce je přehledně členěn. Kapitola 1 je úvodní. Autor popisuje metody zesilování optických pulsů, uvádí výsledky podrobné rešerše zaměřené na Yb:YAG čerpací lasery a generaci druhé harmonické frekvence. V odstavci 1.3 stručně popisuje celý projekt ELI Beamlines a laserový systém L1 Allegra. V kapitole 2 jsou přehledně uvedeny cíle disertační práce.

V kapitole 3 jsou uvedeny použité metody a technologie. V odstavci 3.1 autor uvádí stručný přehled relevantních nelineárních optických jevů, odstavce 3.2 je věnován fázové modulaci optických pulsů a jejich optickému zesílení, odstavce 3.3 popisuje metody měření parametrů optických pulsů. Uvedené odstavce jsou velmi vhodnou úvodní částí práce. Bohužel některé vztahy, zejména v odstavci 3.1, jsou uvedeny nepřesně. Například rovnice (3) představuje zřejmě reálné vyjádření pole,  $E$  je ale označeno vlnovkou jako komplexní veličina. Amplituda  $A_1$  je reálná veličina? Dosazením (3) za první část (4) nedává druhou část (4).

Rovnice (5) má reálnou pravou stranu, ale  $E$  je označeno vlnovkou jako komplexní veličina. Vztah (19) je uveden chybně. V popisu obrázku 6 a relevantním textu není zcela jasné, jaké parametry byly použity v simulacích, resp. zda se jedná o výsledky simulací, když v textu k obrázku je křivka nazvána „real RA output“. V textu u vztahu (26) autor uvádí, že nerovnost (26) je dána relací neurčitosti, ale ve skutečnosti se jedná o důsledek Fourierovy transformace. V odstavci 3.4 autor popisuje zesílení světla v diskovém regenerativním zesilovači a odstavec 3.5 je věnován čistotě ve vakuové komoře a znečištění způsobenému provozem laseru.

Hlavní výsledky práce jsou uvedeny v kapitole 4. Jedná se o uvedení do provozu tří komerčních regenerativních zesilovačů DIRA (TRUMPF Scientific Lasers) spolu s kompresory optických pulsů a generátorů druhé harmonické frekvence. Autor podrobně popisuje postupy vedoucí k zvýšení účinnosti generace druhé harmonické (variace tloušťky nelineárních krystalů, parametrů laserového svazku, pravidelné čištění optických povrchů ve vakuu pomocí radiofrekvenčně buzeného plazmatu). Autor pak testoval i vliv parametrů vstupních pulsů systému. Jakkoliv jsou podrobně uvedené postupy a dílčí výsledky zajímavé a pečlivě popsány, způsob detailní prezentace připomíná místy laboratorní deník. Práci uzavírá kapitola 5, kde jsou uvedeny získané výsledky. Ing. Hubka zde také přesně vymezuje svůj autorský podíl.

Během obhajoby by se autor mohl vyjádřit k těmto otázkám:

1. Proč byla pro generaci druhé harmonické frekvence zvolena tloušťka krystalu 1.7 mm? Pro zvýšení účinnosti byla pak pro nákup zvolena tloušťka 2.2 mm. Předcházela volbám tloušťky nějaká analýza? Mohl by autor diskutovat vhodnou volbu tloušťky krystalu?
2. V práci autor diskutuje optimalizaci účinnosti generace druhé harmonické frekvence. Přitom se mi zdá, že tato veličina není jasně definována. U vztahu (17), i když definice chybí, se jedná o podíl intenzit. Ve svých výsledcích později autor nspecifikuje přesně, jak veličinu, kterou nazývá účinností SHG měřil. Například v textu k obr. 37 konstatuje, „the intensity on  $X$  axis was calculated from the measured average RA output power“. Mohl by autor pojem účinnosti a jejího měření podrobně diskutovat?
3. Jak je nutné v optimalizačních postupech pro generaci druhé harmonické frekvence brát v potaz výstupní parametry svazku, resp. pulsů, jak jsou požadované pro účinné zesílení pulsů optickou parametrickou generací (OPCPA)?

Disertační práci Ing. Hubky považuji za velmi zdařilou. Ukoly práce, jejichž naplnění bylo nezbytné k úspěšnému provozu laseru Allegra, byly splněny. Ing. Hubka je autorem či

spoluautorem 7 článků a řady příspěvků na konferencích. U dvou článků v renomovaných optických časopisech je prvním autorem; tyto články jsou přiloženy k disertaci.

Závěrem mohu konstatovat, že Ing. Z. Hubka svou zdařilou disertační prací a celkovým působením v oblasti konstrukce laserových systémů a laserové a nelineární optiky prokázal jasně schopnost samostatné výzkumné práce. Doporučuji proto jednoznačně, aby mu po úspěšné obhajobě byl udělen titul Ph.D.

V Praze dne 12. 7. 2022

prof. RNDr. Petr Malý, DrSc.