

Postavte si laserový zaměřovač

Oliver Beer¹, Jakub Farník², Tomáš Kučera³

**¹SŠ řemesel Frýdek-Místek, Pionýrů 2069, 738 01
Frýdek-Místek, hacktorxd@gmail.com**

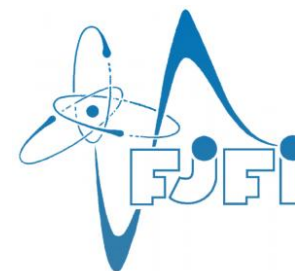
**²SPŠ, OA a JŠ Frýdek-Místek, 8. října 1598, 738 01,
Frýdek-Místek, farnikj@pojfm.cz**

**³Gymnázium Jírovcova 8, Jírovcova 1788/8, 371 61
České Budějovice, kucerat@jirovcovka.net**

22.-27. 6. 2025



Týden vědy na Jaderce 2025
České vysoké učení technické v Praze
fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
katedra laserové fyziky a fotoniky



Obsah

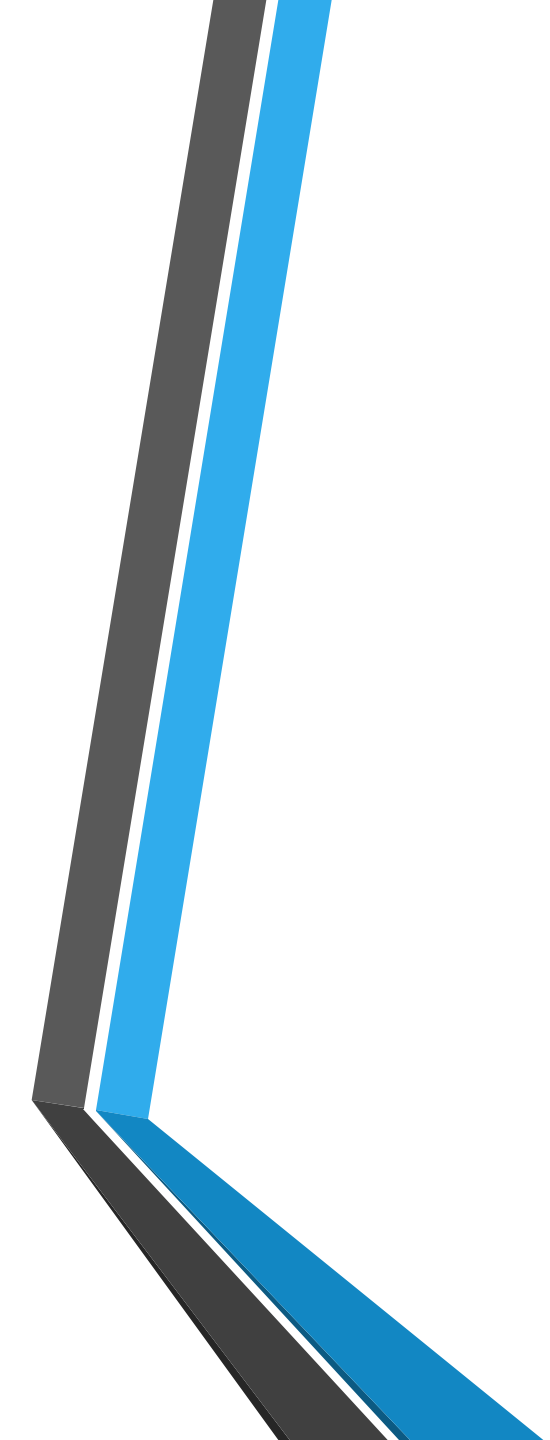
- **Úvod** – Motivace: Co je to LASER?
- Historické mezníky vývoje a aplikace Er:YAG laserů
- **Experimentální část:**
 - Schéma uspořádání
 - **Výsledky:**
 - výkonová charakteristika, účinnost
 - časová charakteristika
 - generované spektrum
 - prostorová struktura laserového svazku
 - Experiment s absorpcí záření o vlnové délce 1643 nm ve vodě: demonstrace oku „bezpečné“ vlnové délky
- **Závěr** – shrnutí

Úvod - co je to LASER?

- **LASER = *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation***
→ zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Unikátní vlastnosti laserového záření:
 - **koherentní**
 - **monochromatické**
 - **s nízkou rozbíhavostí**
 - **s vysokou hustotou výkonu záření**
- 3 základní stavební prvky laseru:
 - 1. aktivní prostředí:** krystal Er:YAG;
 - 2. buzení & chlazení:** laserová dioda chlazená vodou; krystal Er:YAG v pulzním režimu pasivně chlazený vzduchem;
 - 3. optický rezonátor:** tvořený dvojicí zrcadel: rovinné $R_1 \approx 100\%$ a duté $R_2 \approx 96\%$, $r = 150$ mm.

Historické mezníky vývoje a aplikace Er:YAG laseru

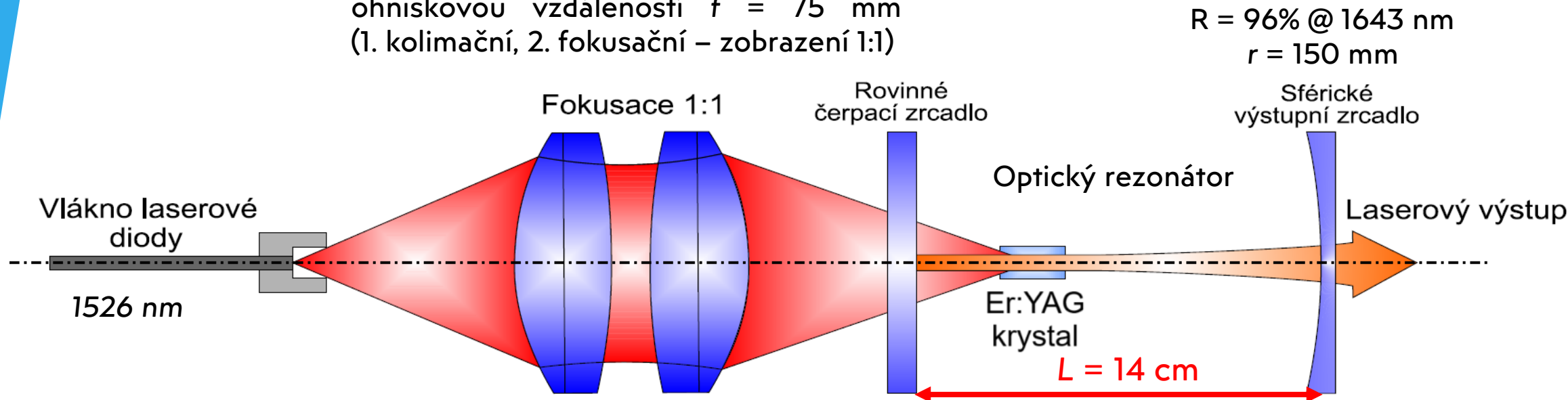
- **1960** – 1. laser – rubín $\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ (Theodore Harold Maiman, USA)
- **1963** – 1. laser v ČSR – Nd^{3+} :sklo (K. Pátek, FÚ ČSAV)
- **1974** – 1. Er^{3+} :YAG laser na vlnové délce 2940 nm (E. V. Zharikov a kol.)
- **polovina 80. let** – 1. Er^{3+} :YAG laser @ 1645 nm (D. K. Killinger a kol.)
- **Aplikace Er:YAG laserů:**
 - Odstranění šedého zákalu
 - Léčba akné
 - Spektroskopie
 - Odstranění tetování



Experimentální výsledky

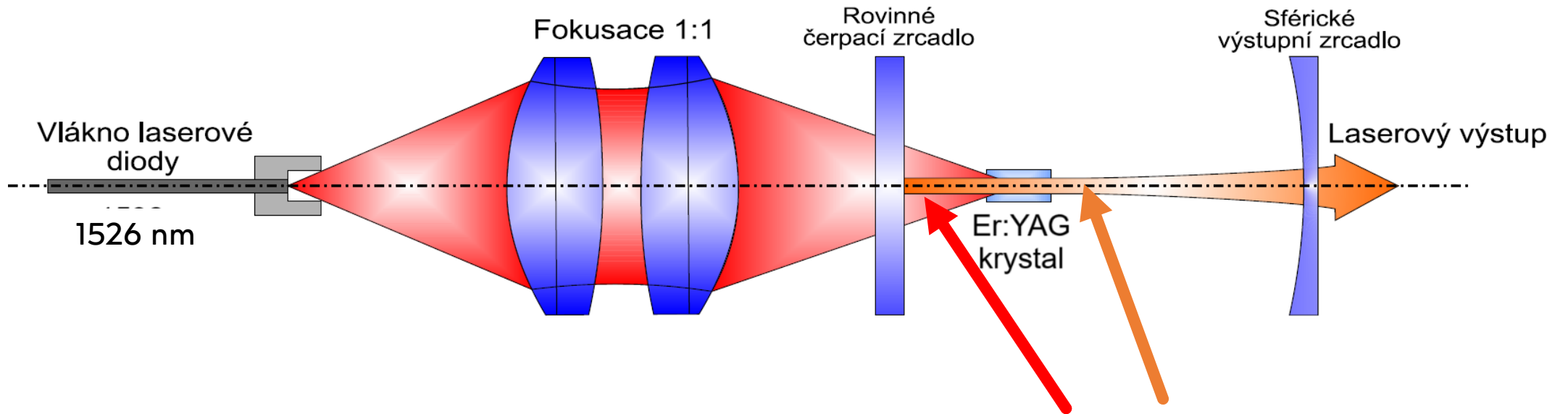
Experimentálního uspořádání - schéma

Fokusační optika – dvojice čoček s
ohniskovou vzdáleností $f = 75 \text{ mm}$
(1. kolimační, 2. fokusační – zobrazení 1:1)



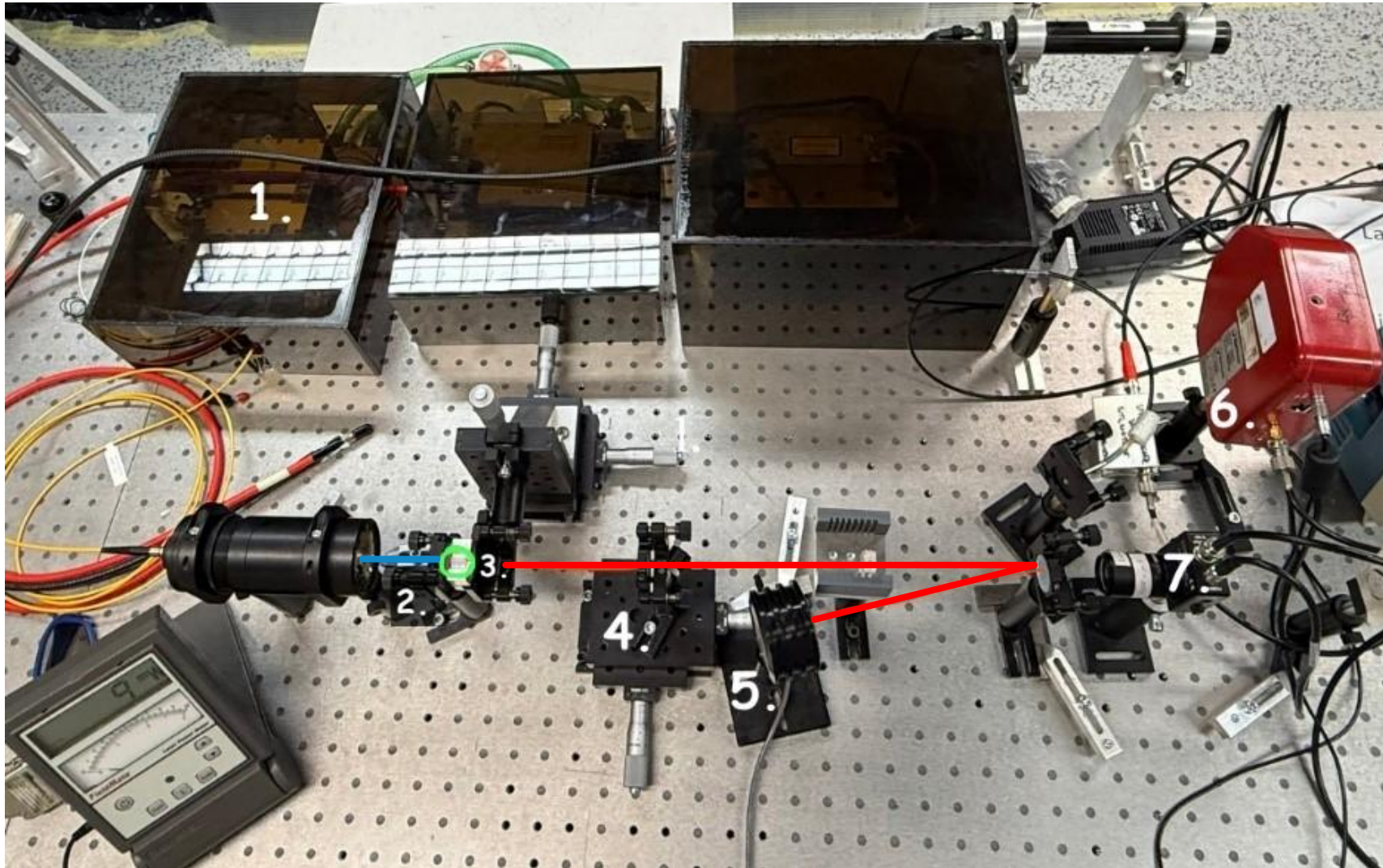
Optický rezonátor: délka $L = 14 \text{ cm}$, rovinné čerpací zrcadlo propustné pro budící záření a zároveň totálně odrazné pro generované záření Er:YAG laseru; sférické (duté/konkávní) výstupní zrcadlo s poloměrem křivosti $r = 150 \text{ mm}$ a odrazivostí (reflektivitou): $R = 96 \%$, (tj. propustnost/transmise $T = 4 \%$).

Výkonová charakteristika Er:YAG laseru



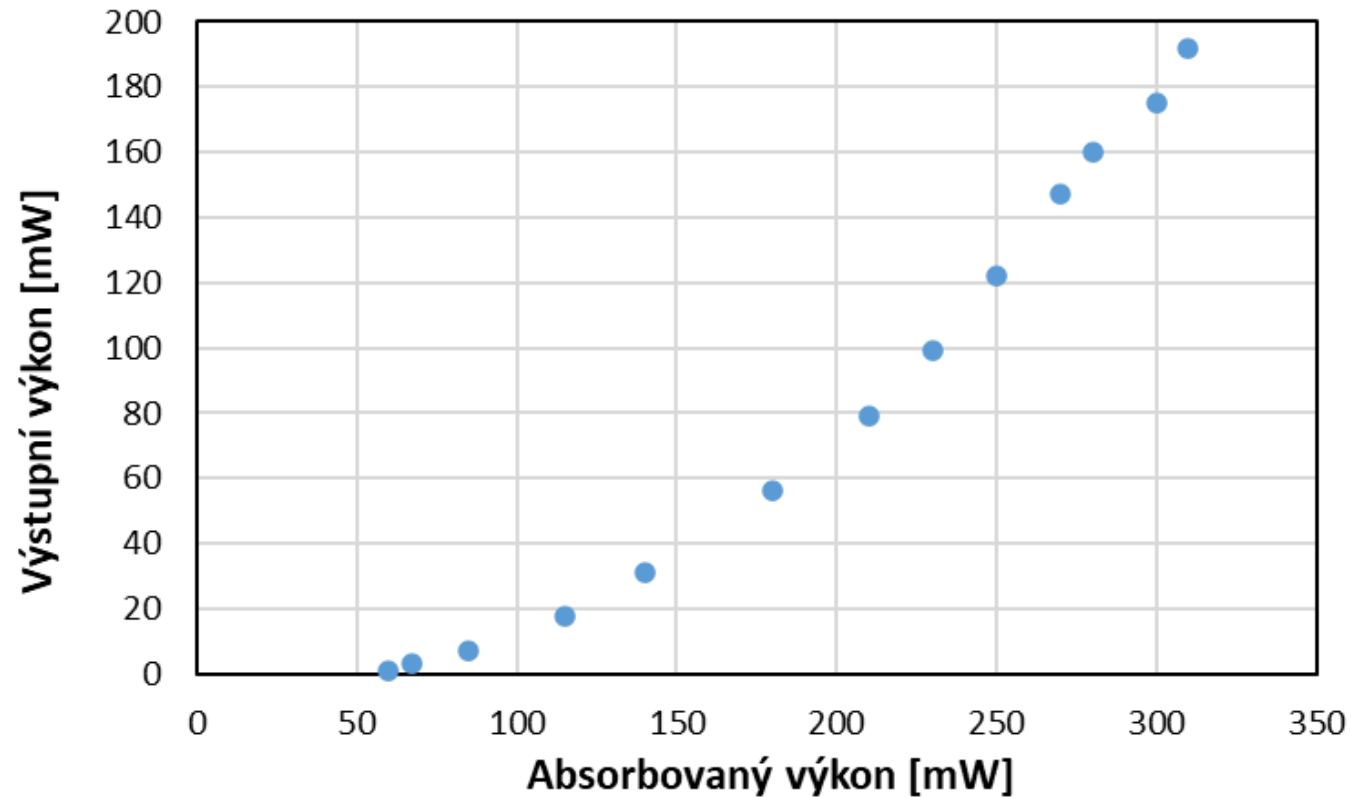
Odhad absorbovaného výkonu: $P_{\text{abs}} = P_2 - P_1$

Schéma experimentálního uspořádání - fotografie



1. čerpací dioda; **2.** čerpací zrcadlo; **3.** krystal $\text{Er}^{3+}:\text{YAG}$; **4.** polopropustné zrcadlo; **5.** wattmetr; **6.** termokamera; **7.** fotodioda připojená k osciloskopu

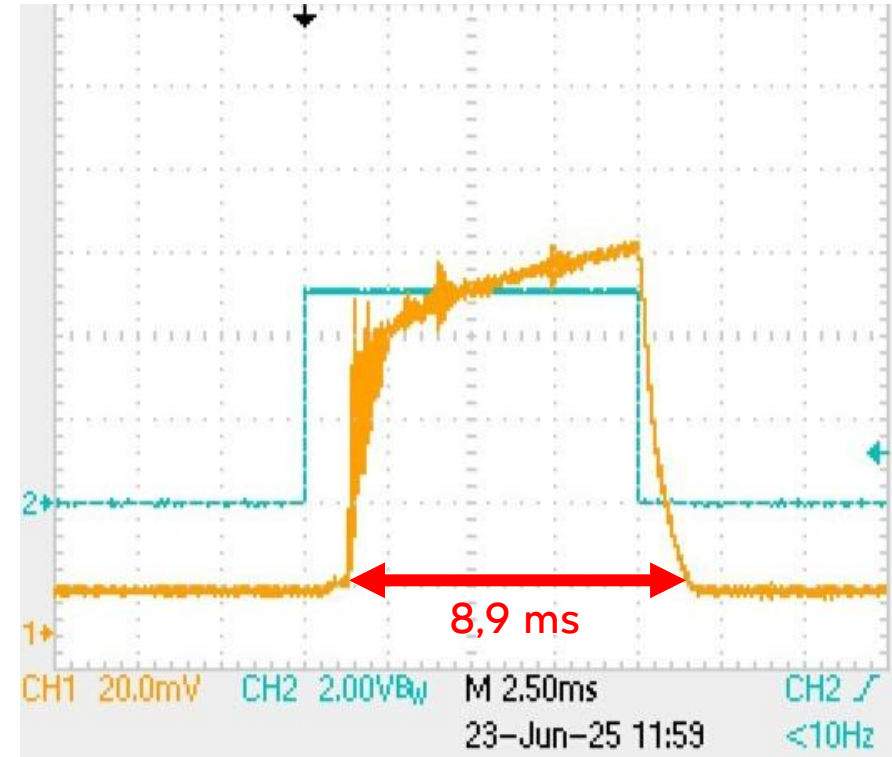
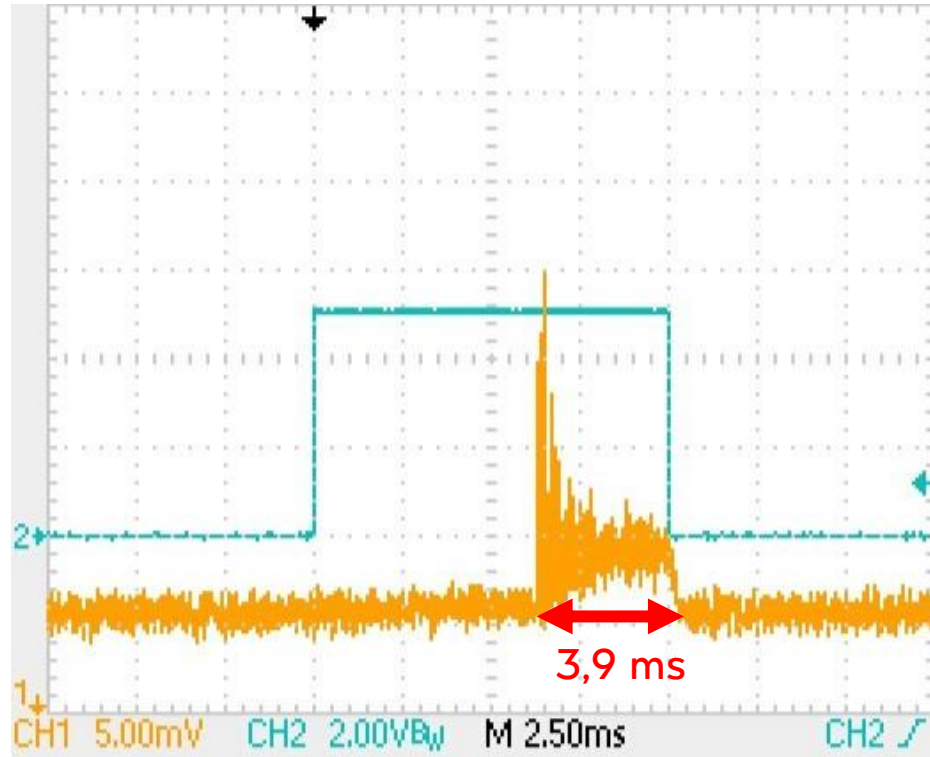
Výkonová charakteristika Er:YAG laseru



Maximální dosažený výstupní výkon $P_{\max} = \mathbf{192}$ mW při absorbovaném výkonu $P_{\text{abs}} = \mathbf{310}$ mW, účinnost laseru: $\eta = \mathbf{64}$ %.

Opakovací frekvence: $f = 10$ Hz, délka budícího pulsu: $t_p = 10$ ms.

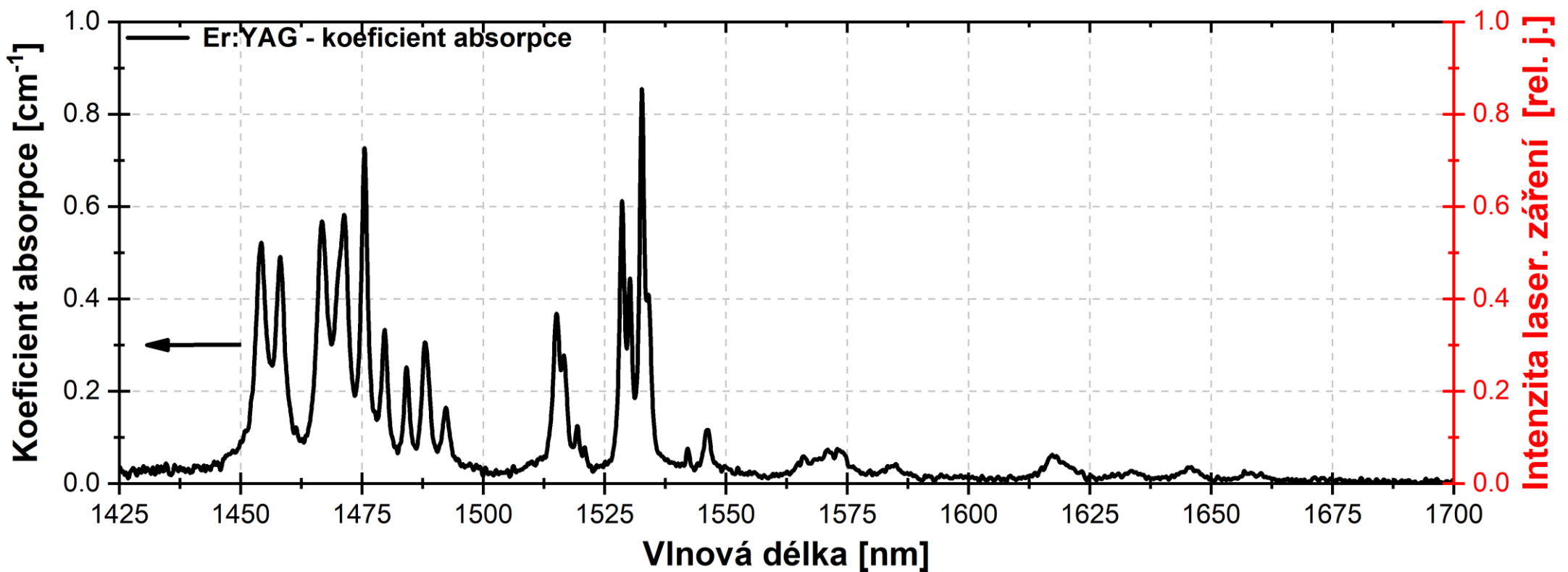
Časový průběh budícího a generovaného záření Er:YAG laseru



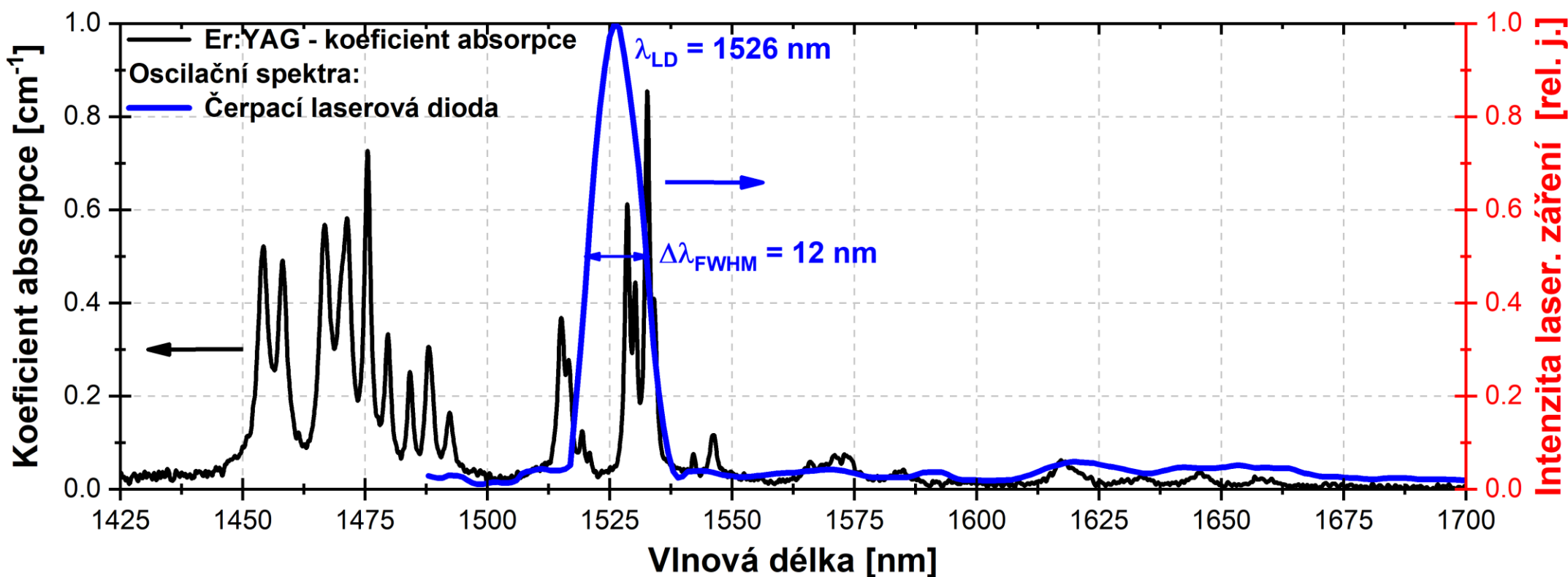
Modře – časový průběh proudu budící laserovou diodou I_{LD}

Žlutě – časový průběh generovaného záření Er:YAG laseru

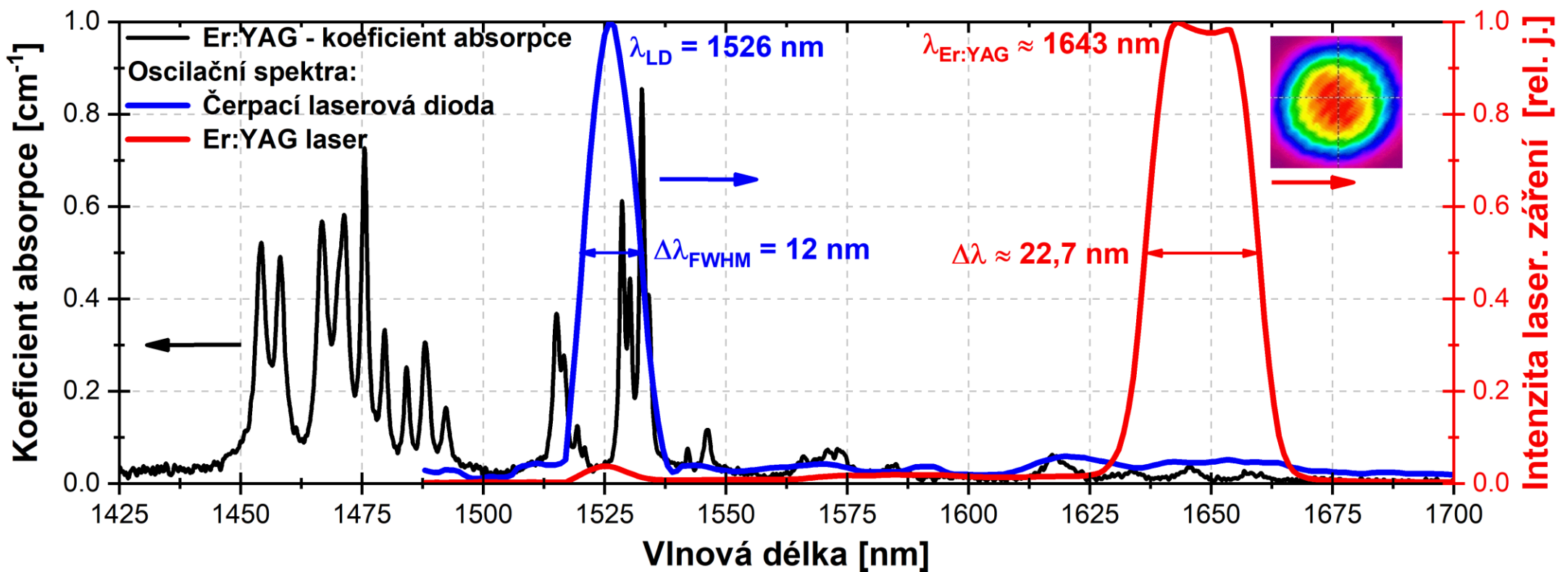
Spektrum absorbovaného, budícího a generovaného laserového záření



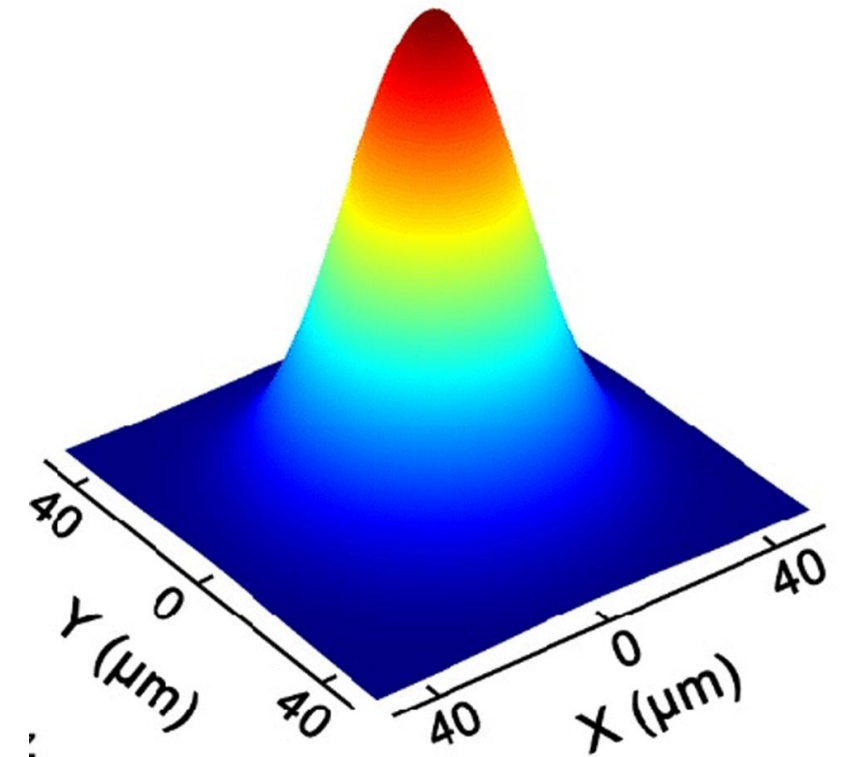
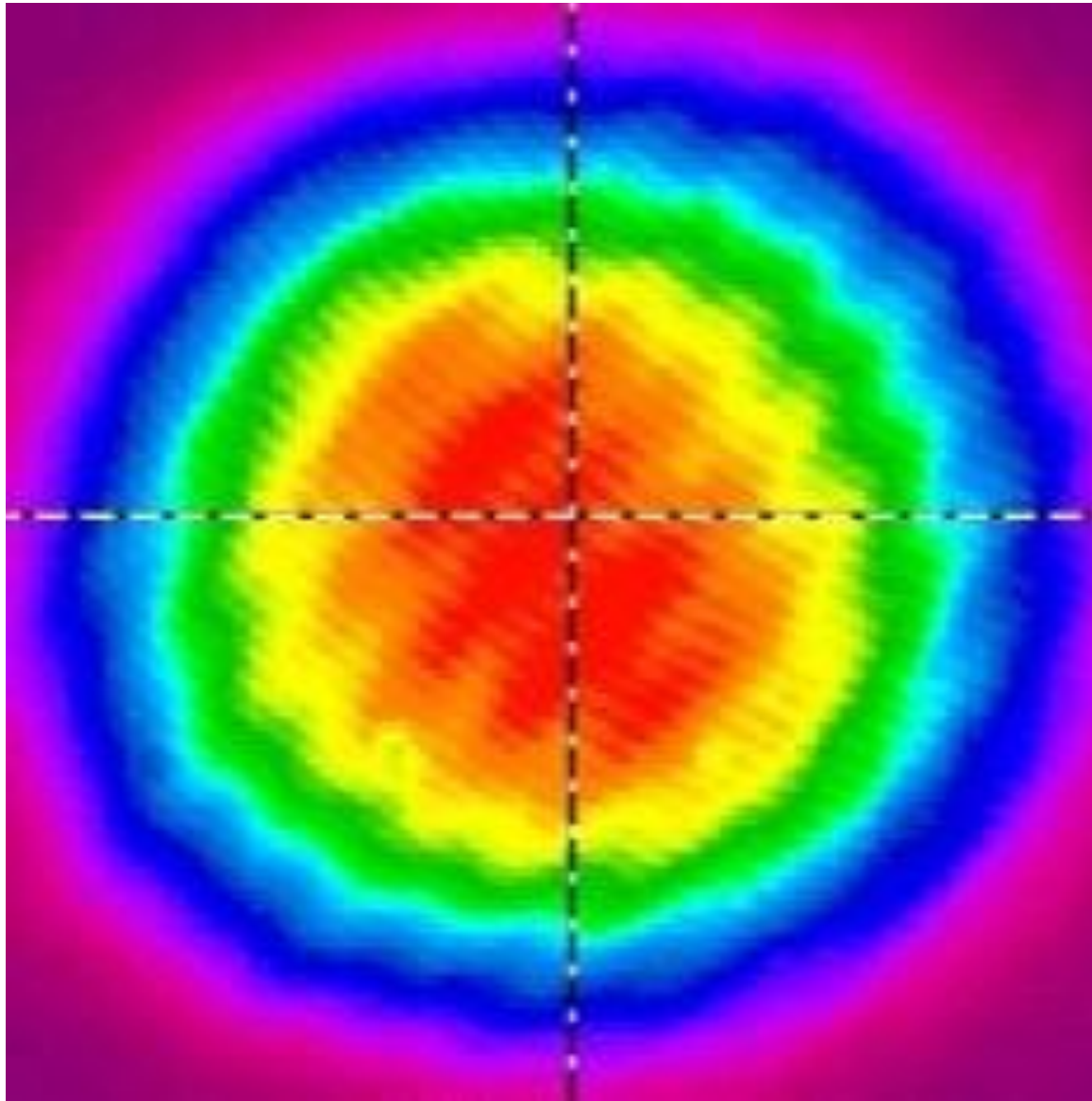
Spektrum absorbovaného, budícího a generovaného laserového záření



Spektrum absorbovaného, budícího a generovaného laserového záření



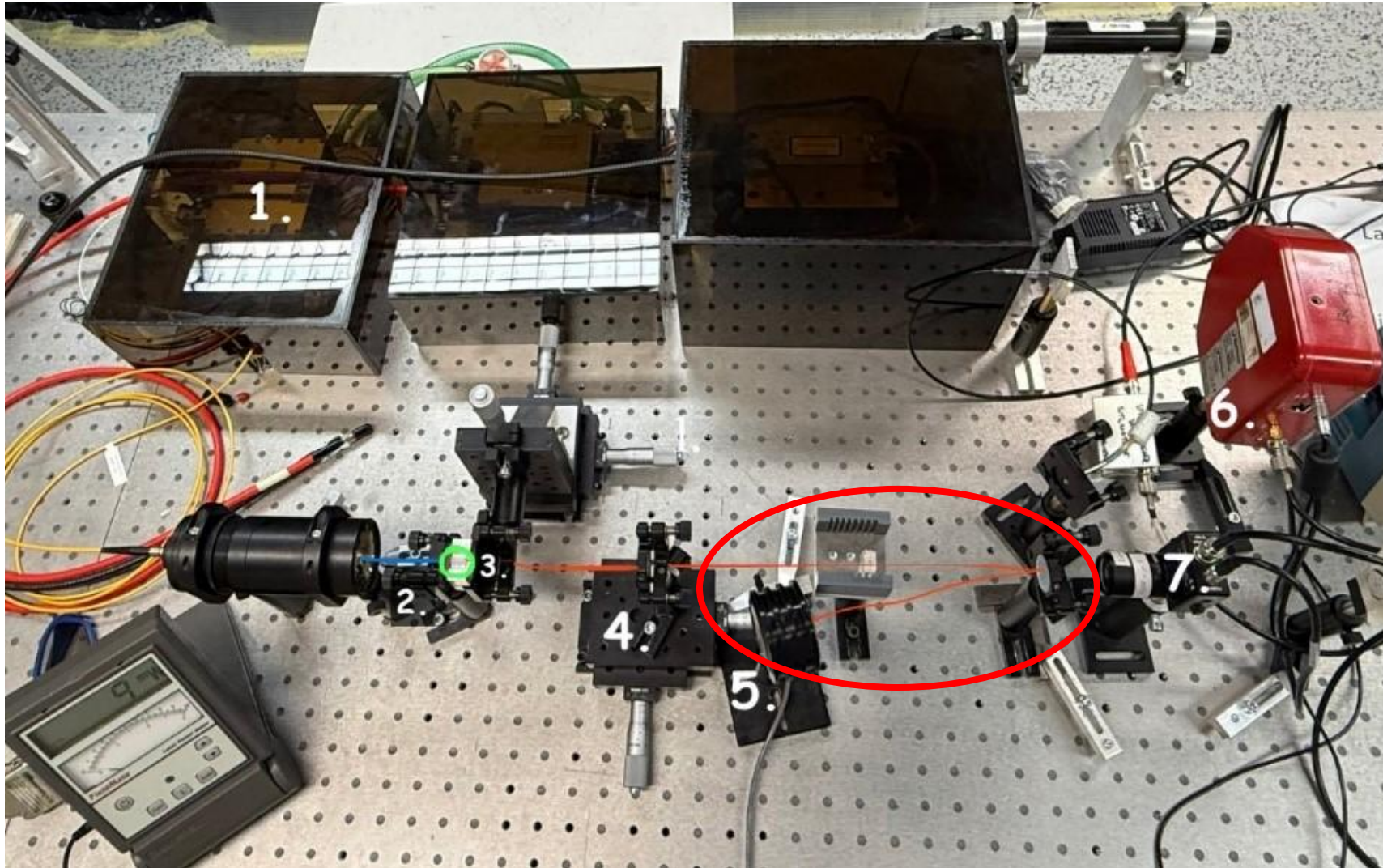
Prostorová struktura svazku generovaného laserového záření



Absorpce záření o vlnové délce 1643 nm ve vodě

- Lidské oko z 98 % tvořené vodou; typický průměr: $d \approx 2,4$ cm
→ **experiment**
 - Jaká část výkonu záření ($\lambda = 1643$ nm) se bude absorbovat při průchodu mírně slanou vodou?
 - Měření výkonu před a po průchodu laserového záření kyvetami s vodou o různých tloušťkách 5, 10 a 20 mm.
- Maximální výkon laserového záření před kyvetou: $P_{\text{vst}} = 181$ mW
- Výkony laserového záření naměřené za kyvetami:
 - $P_{5\text{mm}} = 8$ mW $\sim 95,6$ %
 - $P_{10\text{mm}} = 3$ mW $\sim 98,3$ %
 - $P_{20\text{mm}} = 1$ mW $\sim 99,4$ %
- Záření o vlnové délce 1643 nm je **oku bezpečné**

Schéma experimentálního uspořádání - fotografie



1. čerpací dioda; **2.** čerpací zrcadlo; **3.** krystal Er³⁺:YAG; **4.** polopropustné zrcadlo; **5.** wattmetr; **6.** termokamera; **7.** fotodioda připojená k osciloskopu

Závěr - shrnutí výsledků

- $T_{LD} = 26^{\circ}\text{C}$
- $\lambda_{LD} = 1526 \text{ nm}$
- $t_p = 10 \text{ ms}; f = 10 \text{ Hz}$
- $I_{\text{práh laseru}} = 8,5 \text{ A}$
- $\lambda_{\text{laser}} = 1643 \text{ nm}; P_{\text{max}} = 192 \text{ mW}; P_{\text{abs}} = 310 \text{ mW}$ (při $I_{LD \text{ MAX}} = 40 \text{ A}$)
 $\rightarrow \eta = 64 \%$



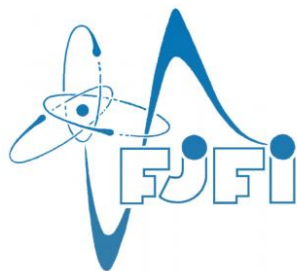
Děkujeme za pozornost

Oliver Beer¹, Jakub Farník², Tomáš Kučera³

22.-27. 6. 2025



Týden vědy na Jaderce 2025
České vysoké učení technické v Praze
fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
katedra laserové fyziky a fotoniky



Zdroje

- [1] ZHARIKOV, E. V., ZHEKOV, V. I., KULEVSKII, L. A., MURINA, T. M., OSIKO, V. V., PROKHOROV, A. M., SAVEL'EV, A. D., SMIRNOV, V. V., STARIKOV, B. P. a TIMOSHECHKIN, M. I.: Stimulated emission from Er^{3+} ions in yttrium aluminum garnet crystals at $\lambda = 2.94 \mu\text{m}$. *Soviet Journal of Quantum Electronics* [online]. 1975, **4**(8), 1039. ISSN 0049-1748. Dostupné z: doi:10.1070/QE1975v004n08ABEH011147
- [2] KIMURA, Y. a NAKAZAWA, M: Lasing characteristics of Er^{3+} -doped silica fibers from 1553 up to 1603 nm. *Journal of Applied Physics* [online]. 1988, **64**(2), 516–520. ISSN 0021-8979. Dostupné z: doi:10.1063/1.341990
- [3] ŠVEJKAR, R., ŘÍHA, A. NĚMEC, M. a VESELSKÝ, K.: Postavte si laserový zaměřovač [online], dostupné z: http://richardsvejkar.cz/assets/tyden_vedy_2024_navod.pdf