

Název a číslo úlohy:	6 Zdroje optického záření a jejich vlastnosti
Datum měření:	16. března 2011
Měření provedli:	Vojtěch Horný, Jaroslav Zeman
Vypracoval:	Vojtěch Horný
Datum:	20. března 2011
Hodnocení:	

Abstrakt

Úloha je zaměřena na studium vlastností různých zdrojů optického záření, především superluminiscenčních diod (LED) a laserové diody (LD). U zdrojů optického záření byly studovány vyzařovací charakteristiky a spektra emitovaného záření. U laserové diody byla studována závislost emitovaného záření na teplotě a proudu protékající diodou. Dále byla studována reflexní spektra různých povrchů pomocí reflexní sondy.

1 Úvod

Úloha se zabývá optickou spektroskopií. Prostřednictvím spektroskopie lze studovat kvantové přechody, usuzovat na energetické hladiny atomů, molekul a makroskopických soustav a tak získávat informace o stavbě a vlastnostech studované látky. Při měření jsme používali spektrometr HR 4000 Ocean Optics, který umožňuje měřit vlnové délky v rozsahu 200 až 1100 nm.

2 Požadované výsledky

1. Stručný popis měření s LD.
2. Grafy závislosti výstupního výkonu diody na proudu protékající diodou pro různé teploty. Hodnoty odpovídajících prahových proudů a diferenciálních účinností.
3. Grafy úhlových vyzařovacích charakteristik LD, vyzařovací úhly LD.
4. Stručný popis provedeného měření pomocí spektrometru HR4000 Ocean Optics pro případ měření emisních spekter.
5. Závislosti polohy a šířky spektrální čáry LD na teplotě a výkonu. Hodnoty vynesete do tabulky a do grafu.
6. Naměřená spektra jednotlivých zdrojů, diskuse k naměřeným výsledkům. Vlnové délky a šířky spektrálních čar. Určené hlavní vlnové délky kalibrační lampy.
7. Stručný popis měření reflexních spekter.
8. Naměřená reflexní spektra jednotlivých povrchů, diskuse k naměřeným výsledkům.

3 Vypracované úkoly

Vzhledem k povaze dokumentu je většina grafů v příloze.

3.1 Popis měření s laserovou diodou

Nejprve jsme se seznámili s příloženými datasheety laserové diody, soklu TCLDM9 a řídicí jednotky ITC 502. Pomocí jednoduchých piktogramů jsme správně umístili diodu do soklu s ohledem na polaritu napětí přiloženou na jednotlivé vývody diody. Překontrolovali jsme i správnost nastavení polarity na přepínačích soklu a řídicí jednotky.

Dle přiloženého grafu jsme zkalibrovali řídicí jednotku tak, aby výkon uvedený na řídicí jednotce odpovídal reálnému výstupnímu výkonu laserové diody. Na řídicí jednotce jsme nastavili maximální proud procházející laserovou diodou na 80 mA, aby nedošlo v průběhu měření k poškození laserové diody. Maximální hodnota je dle mého názoru příliš vysoká, je možné, že jsme diodu při měření přepálili právě vysokým proudem.

Pomocí řídicí jednotky jsme měnili proud a teplotu diody. Optický výkon jsme detekovali pomocí přiloženého detektoru. Provedli jsme následující měření.

- Závislost vyzařovaného výkonu na proudu procházejícím diodou za účelem určení hodnot prahového proudu a diferenciální účinnosti v závislosti na teplotě. Teplotu jsme udržovali konstantní pomocí Peltierova článku.
- Poloha a šířka spektrální čáry v závislosti na teplotě při konstantním výkonu 3 mW.
- Poloha a šířka spektrální čáry v závislosti na výkonu při konstantní teplotě 25°C.
- Úhlová vyzařovací charakteristika laserové diody.

3.2 Prahové proudy a diferenciální účinnosti

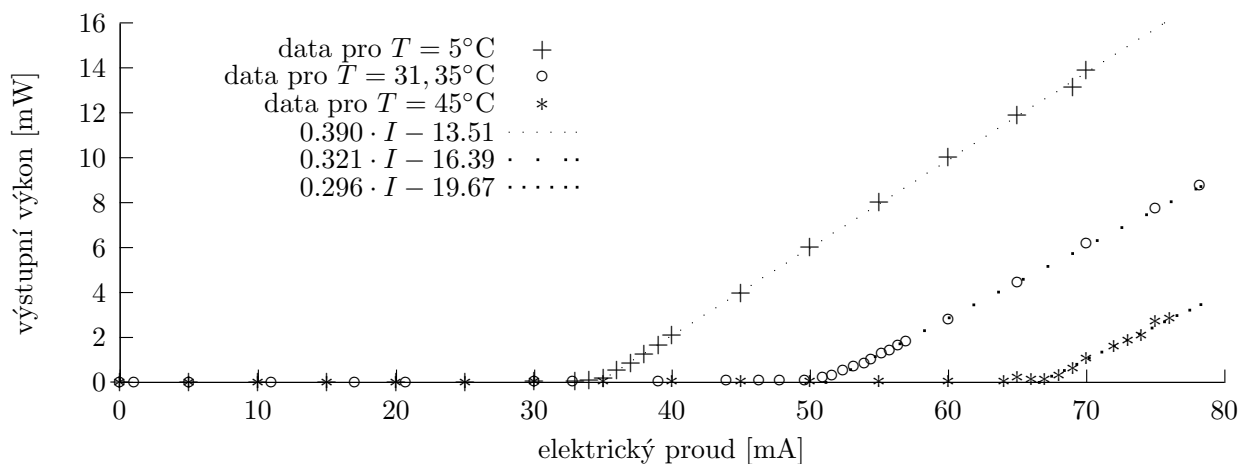
Měřili jsme závislosti detekovaného výstupního výkonu v závislosti na procházejícím proudu pro tři konstantní teploty 5, 31,35 a 45°C. Naměřená závislosti přehledně znázorňuje graf 1. K určení prahového proudu a diferenciální účinnosti jsme proložili naměřené hodnoty přímkami. Pro každou teplotu i jsme funkcí $f_i(I)$ proložili hodnoty v oblasti, kdy diodou takřka žádný proud neprotéká. Funkce $g_i(I)$ reprezentuje lineární závislost výkonu na proudu v oblasti generace laserového záření. Uvedené přímký mají směrové rovnice:

$$\begin{aligned} f_5(I) &= 0,0244 \cdot I - 0,001666, \\ f_{31,35}(I) &= 0,00135 \cdot I - 0,00905, \\ f_{45}(I) &= 0,00116 \cdot I - 0,0118, \\ g_5(I) &= 0,390 \cdot I - 13,5109, \\ g_{31,35}(I) &= 0,321 \cdot I - 16,3904, \\ g_{45}(I) &= 0,296 \cdot I - 19,665. \end{aligned}$$

Prahové proudy se vypočítají z rovnic $f_i(I_P) = g_i(I_P)$, diferenciální účinnosti jsou směrnice přímek $g_i(I)$. Vypočítané výsledky shrnuje tabulka 1. Prahový proud s teplotou roste, diferenciální účinnost klesá.

Tabulka 1: Hodnoty prahových proudů a diferenciálních účinností laserové diody v závislosti na teplotě. Velikost prahového proudu s teplotou stoupá, diferenciální účinnost klesá.

teplota [°C]	prahový proud [mA]	diferenciální účinnost [-]
5	36,9	0,390
31,35	51,2	0,321
45	66,8	0,296

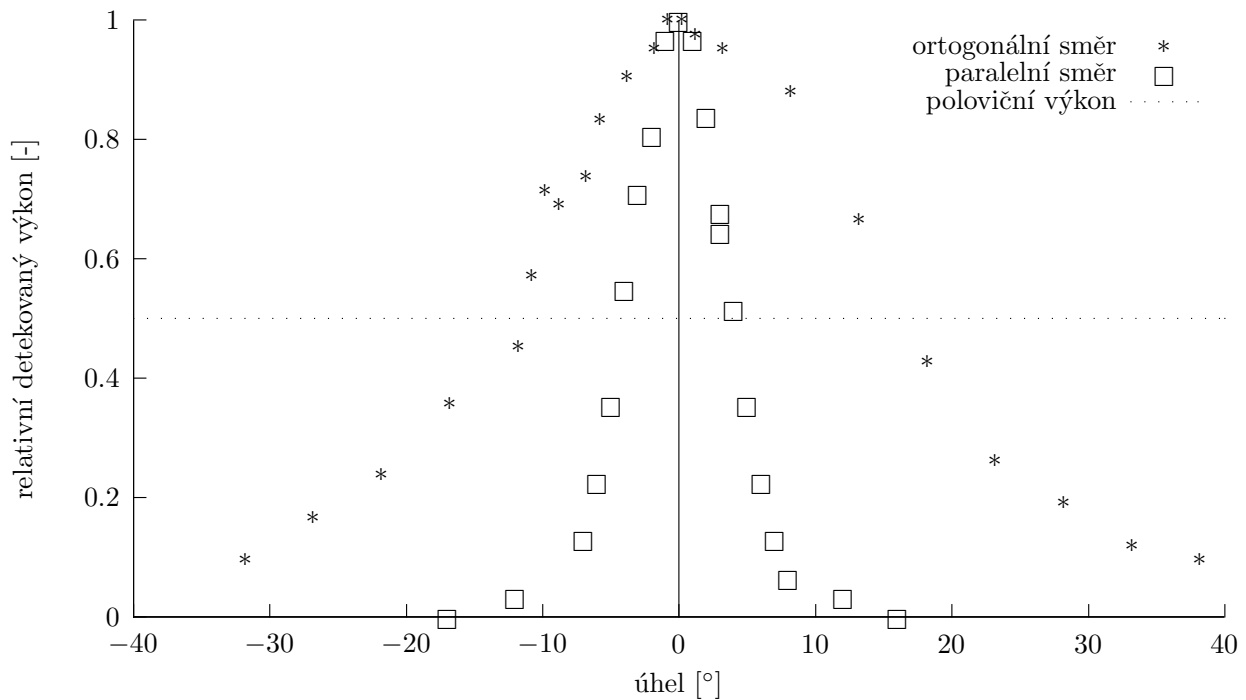


Graf 1: Závislost výstupního výkonu diody na proudu protékajícím diodou pro teploty 5, 31,35 a 45 °C s regresními přímkami pro určení prahových proudů a diferenciálních účinností. V grafu jsou znázorněny pouze regresní přímký $g_i(I)$, vykreslení přímek $f_i(I)$ by učinilo graf nepřehledným.

3.3 Úhlová vyzařovací charakteristika laserové diody

Měřit úhlovou vyzařovací charakteristiku znamená měřit závislost detekovaného výkonu na úhlu, o který je odchýlen detektor od osy diody. Měření proběhlo pro rovnoběžný a kolmý směr vzhledem ke geometrii detektoru.

Naměřená data naleznete v grafu 2. Úhel vyzařování je úhel, ve kterém klesne detekovaná intenzita na polovinu. Pro ortogonální směr jsme naměřili $14,5^\circ$, pro paralelní 4° . Tento rozdíl je dán právě geometrií detektoru.



Graf 2: Úhlová vyzařovací charakteristika LD. Závislost relativní detekované intenzity v závislosti na úhlu mezi detektorem a osou diody.

3.4 Popis měření spektrometrem HR4000 Ocean Optics

Měření ulehčuje skutečnost, že spektrometr je plně automatický. Komunikuje s počítačem pomocí USB portu. Ke sledování měření a zachycení dat jsme použili program SpectraSuite.

Pomocí optického vlákna vedeme světelný signál do spektrometru. Divergující svazek je kolimován sférickým zrcadlem na rovinou mřížku. Dochází k difrakci na mřížce a světlo je fokusováno sférickým zrcadlem. Obraz spektra je zobrazen na jednodimenzionální CCD čip a získaná data jsou přenesena do PC pomocí A/D převodníku.

Přenosové vlastnosti vlákna v souladu se zadáním jsme zanedbali.

Při samotném měření jsme přiblížili optické vlákno ke zdroji záření. V programu SpectraSuite jsme sledovali zachycené spektrum záření. Toto spektrum jsme zachytili a exportovali do textového souboru. Tento soubor byl následně zpracován v programech gnuplot a OpenOffice Calc.

3.5 Poloha a šířka čáry LD v závislosti na teplotě a výkonu

Toto měření je nejméně věrohodné a výsledky uvádíme jen proto, že je to požadováno v zadání. Měřili jsme závislost polohy a šířky spektrální čáry laserové diody buď na výkonu při konstantní teplotě, nebo na teplotě při konstantním výkonu. Pomocí programu SpectraSuite jsme určovali polohu a šířku spektrální čáry.

Problém byl v samotném určení těchto veličin. Spektrální čára totiž neměla očekávaný hladký tvar, nýbrž v oblasti, kdy bychom byli očekávali maximum, jsme pozorovali naopak často i hluboký propad detekovaného výkonu. Přesnou polohu a výšku čáry jsme tedy mohli pouze odhadovat. Pro výpočet šířky čáry však tuto výšku potřebujeme znát. Bez této znalosti je určování šířky pouze nerelevantním věštěním.

Navzdory těmto skutečnostem uvádíme naměřené závislosti v tabulkách 2 a 3 a grafu 3. Z naměřených dat lze interpretovat, že vlnová délka spektrální čáry s rostoucí teplotou i výkonem roste. Nicméně o šířce čáry nemůžeme učinit žádný závěr.

Tabulka 2: Závislost polohy a šířky spektrální čáry laserové diody na teplotě při stálém výkonu 3 mW.

stálý výkon 3mW		
T [°C]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
25	639,08	0,84
20	638,34	1,3
15	637,82	1,4
10	637,05	1,58
5	635,76	1,8
2,1	635,51	1,85
30	638,84	2
35	640,38	2,28
40	642,6	2,2
50	642,69	2,42

Tabulka 3: Závislost polohy a šířky spektrální čáry laserové diody na výkonu při stálé teplotě 25°C.

stálá teplota 25°C		
P [mW]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
4,5	639,29	2,64
5,0	639,35	2,77
4,0	639,27	2,51
3,5	639,15	2,77
3,0	638,90	2,70
2,5	638,75	2,72
2,0	638,80	2,75
1,5	638,72	2,77

3.6 Spektra jednotlivých zdrojů

Tabulka 4 poskytuje přehled spektrálních čar rtuťové výbojky od výrobce Oriol Instruments. Podařilo se nám zaznamenat veškeré očekávané vlnové délky, dokonce jsme vyčíslili i nějaké další. Pro nižší vlnové délky očekávání s naměřenými hodnotami souhlasí. Pro delší vlny je naměřená poloha čáry o 0,7 - 1 nm kratší. Spektrum kalibrační lampy je zachyceno v grafu 4. Dlužno dodat, že poměrné velikosti signálu si však neodpovídají. Patrně je to způsobeno rozdílnými vlastnostmi detektorů.

Tabulka 4: λ_o - očekávaná vlnová délka, λ - naměřená vlnová délka, $\Delta\lambda$ - rozdíl mezi nimi. Spektrální čáry kalibrační lampy. Srovnání očekávaných vlnových délek a naměřených. Vyčísleny i čáry, které nejsou uvedeny v prospektu výrobce.

λ_o [nm]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	λ_o [nm]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	λ_o [nm]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
253,7	253,7	0,0	696,5	695,3	-1,2		764,6	
296,7	296,9	0,2		697,1			771,3	
313,2	313,2	0,0		705,5			773,4	
	318,6			707,3			793,7	
365,0	365,2	0,2		713,4			800,5	
404,7	404,7	0,0		737,2		811,5	810,5	-1,0
435,8	435,8	0,0		739,3			825,6	
546,1	546,2	0,1		749,1		842,5	841,7	-0,8
577,0	577,0	0,0	750,4	750,4	0,0	912,3	911,5	-0,8
579,1	579,1	0,0	763,5	762,5	-1,0	965,8	965,1	-0,7

Tabulky 5 a 6 ukazují přehled vlnových délek a spektrálních čar jednotlivých světelných zdrojů. Šířky čar jsou u LED v řádu desítek nanometrů, výjimku tvoří pouze bílá dioda. Tato má ve své spektrální charakteristice dvě maxima, přičemž šířka maxima na 522 nm je 117 nm. Plošně vyzařující dioda LED Luxeon V Star 530 nm, 5 W se od bodových nijak neodlišuje.

Spektrum zářivky je určeno větším množstvím úzkých čar, v tabulce 6 jich nalezneme deset. Do tabulky jsme pro srovnání dodali i šířky žárovky a halogenové lampy, které jsou obrovské. V těchto případech nelze hovořit o spektrálních čarách.

Spektra LED jsou vykresleny v grafech 5. Vidíme vysoké peaky o šířce desítek nanometrů. Spektrum bílé LED tvoří dva peaky - tmavě modrý o vlnové délce 460 nm a světle zelený o vlnové délce 522 nm. Grafy 6 ukazují spektra ostatních světelných zdrojů. Vyniká úzká vysoká čára laserové diody. Zajímavý pohled skýtá srovnání spekter zářivky a žárovky. Poukazuje na odlišný způsob produkce světla u těchto svítidel.

Tabulka 5: Naměřená vlnové délky a šířky spektrálních čar LED

zdroj	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
plošná dioda	531	35
511 786 bílá	460	72
	522	117
511 428 zelená	564	35
511 428 červená	630	46
511 931 oranžová	586	36
511 931 zelená	566	31
511 555 infračervená	950	58
511 802 ultrafialová	391	16

Tabulka 6: Naměřená vlnové délky a šířky spektrálních čar jiných světelných zdrojů

zdroj	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
He Ne laser	631,7	1,8
zářivka	404,9	2,6
	436	1,1
	486,7	13,7
	541,7	≈ 2
	546,2	≈ 2
	612	4
	768	≈ 7
	711	≈ 2
	759	≈ 6
	810	≈ 3
žárovka	660	251
halogenová lampa	657	314

3.7 Popis měření reflexních spekter

Pro měření reflexních spekter jsme k spektrometru připojili reflexní sondy. Jako zdroj osvětlení jsme použili halogenovou lampu. Sejmutím referenčních spekter jsme nadefinovali černý a bílý povrch. Program SpectraSuite jsme přepnuli do módu měření reflexních spekter. Spektra jsme snímali pod úhlem 45° .

3.8 Naměřená reflexní spektra

Naměřili jsme reflexní spektra modré průpisky, čtyř barevných fixů a dvou zvýrazňovačů. Jednotlivé grafy jsou společně uvedeny v grafu 7. Jednotlivé fixy a zvýrazňovače měly nejvyšší intenzitu na svých barvách. Zvýrazňovače reflektovaly více na své barvě na úkor kratší vlnové délky. Lze tedy usuzovat, že zvýrazňovače absorbují záření o kratších vlnových délkách a vyzařují o to více na svých vlnových délkách. Zajímavou vlastností oranžového zvýrazňovače je skutečnost, že reflexní spektrum má dvě maxima.

4 Závěr

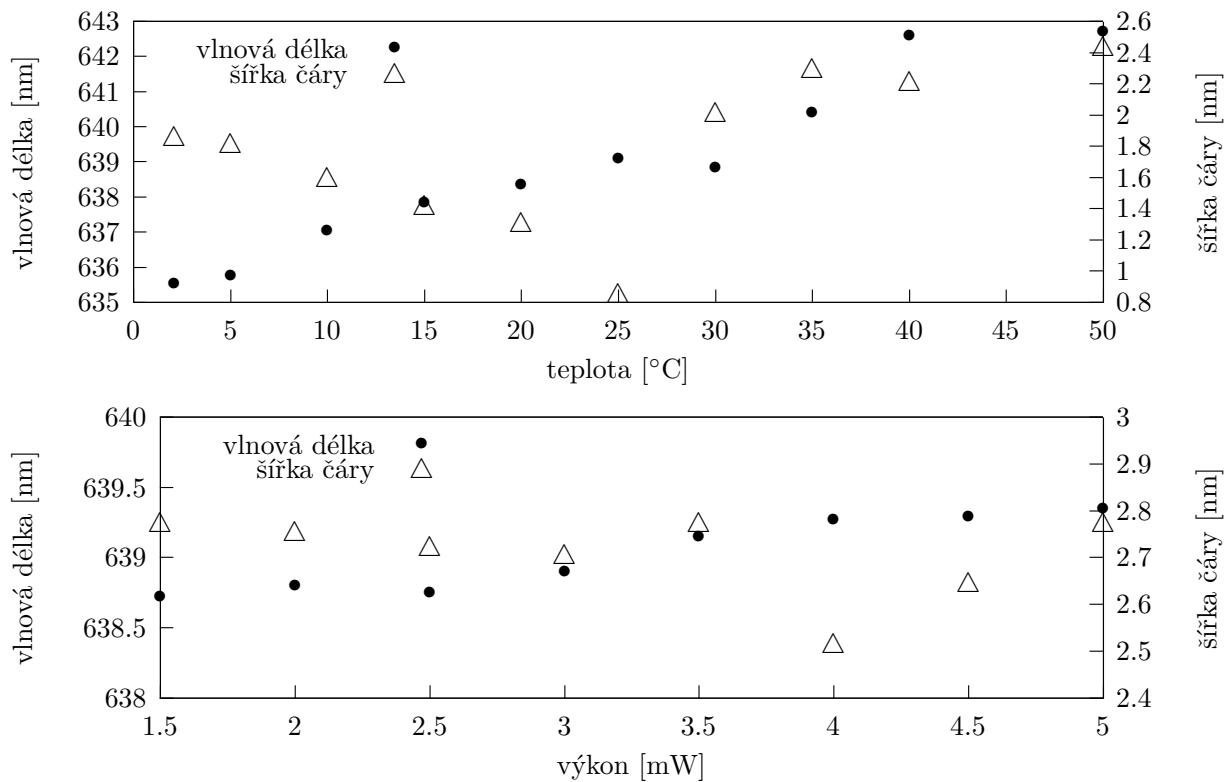
Naměřili jsme emisní spektra rozličných zdrojů, zejména laserové diody. Seznámili jsme se se její teplotní a výkonovou závislostí. Vyšetřovali jsme také reflexní spektra různých povrchů.

Všechny požadované úlohy byly splněny.

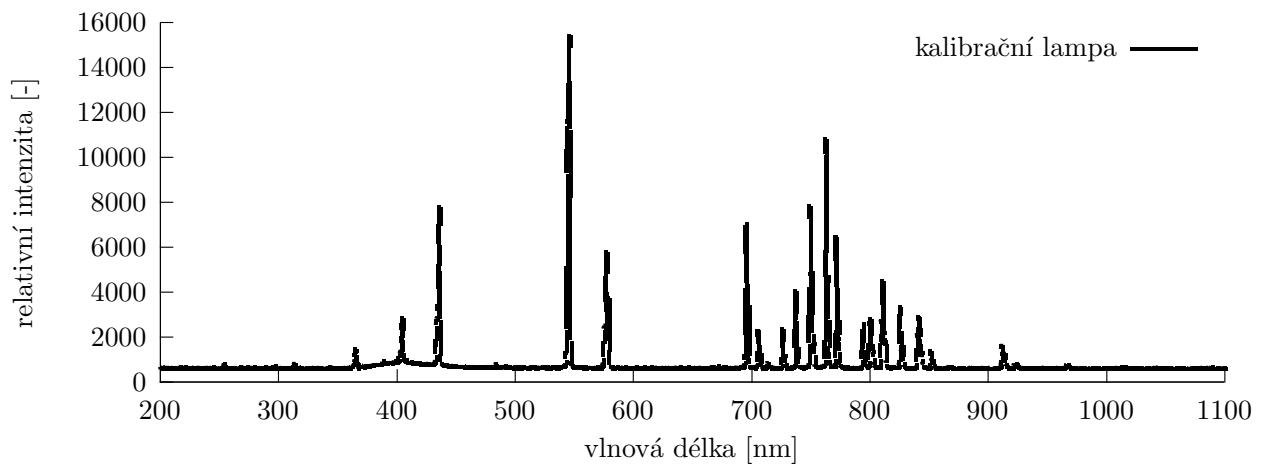
Reference

- [1] *Návod k úloze 6* [online],
[cit. 16. března 2011], http://optics.fjfi.cvut.cz/files/pdf/ZPOP_06.pdf

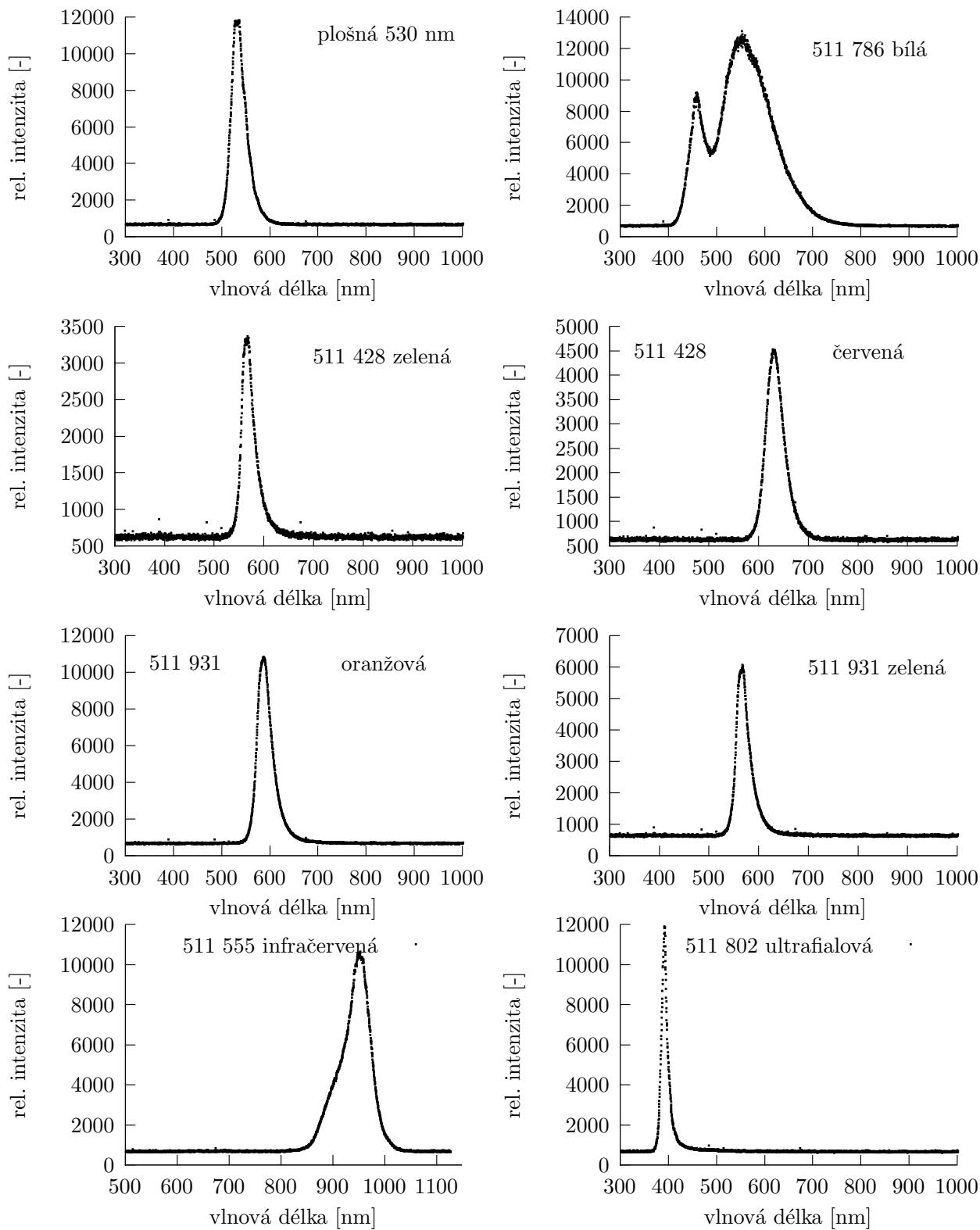
A Příloha



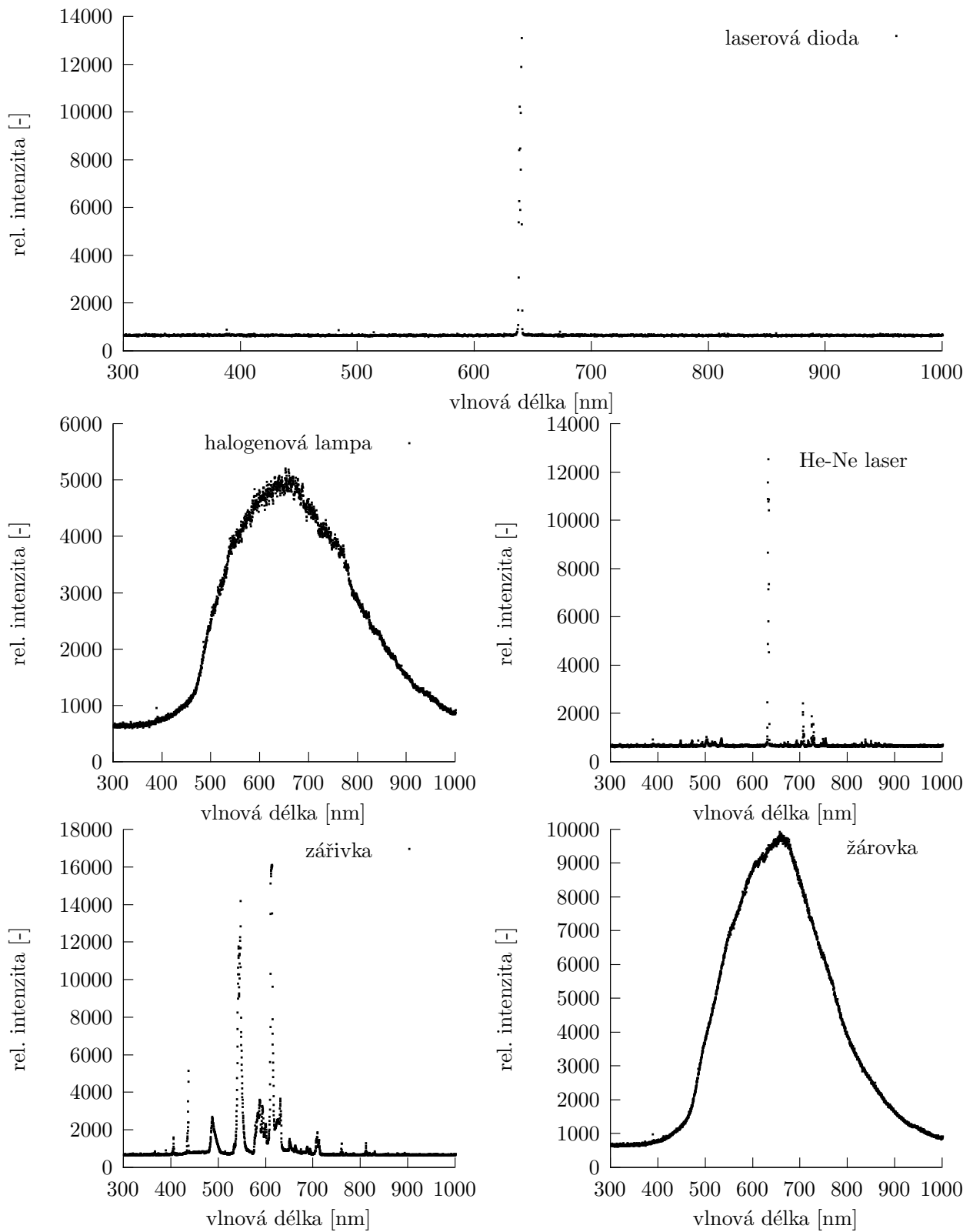
Graf 3: Vlastnosti spektrální čáry LD. Závislosti polohy a šířky čáry na teplotě a výkonu.



Graf 4: Spektrum kalibrační lampy

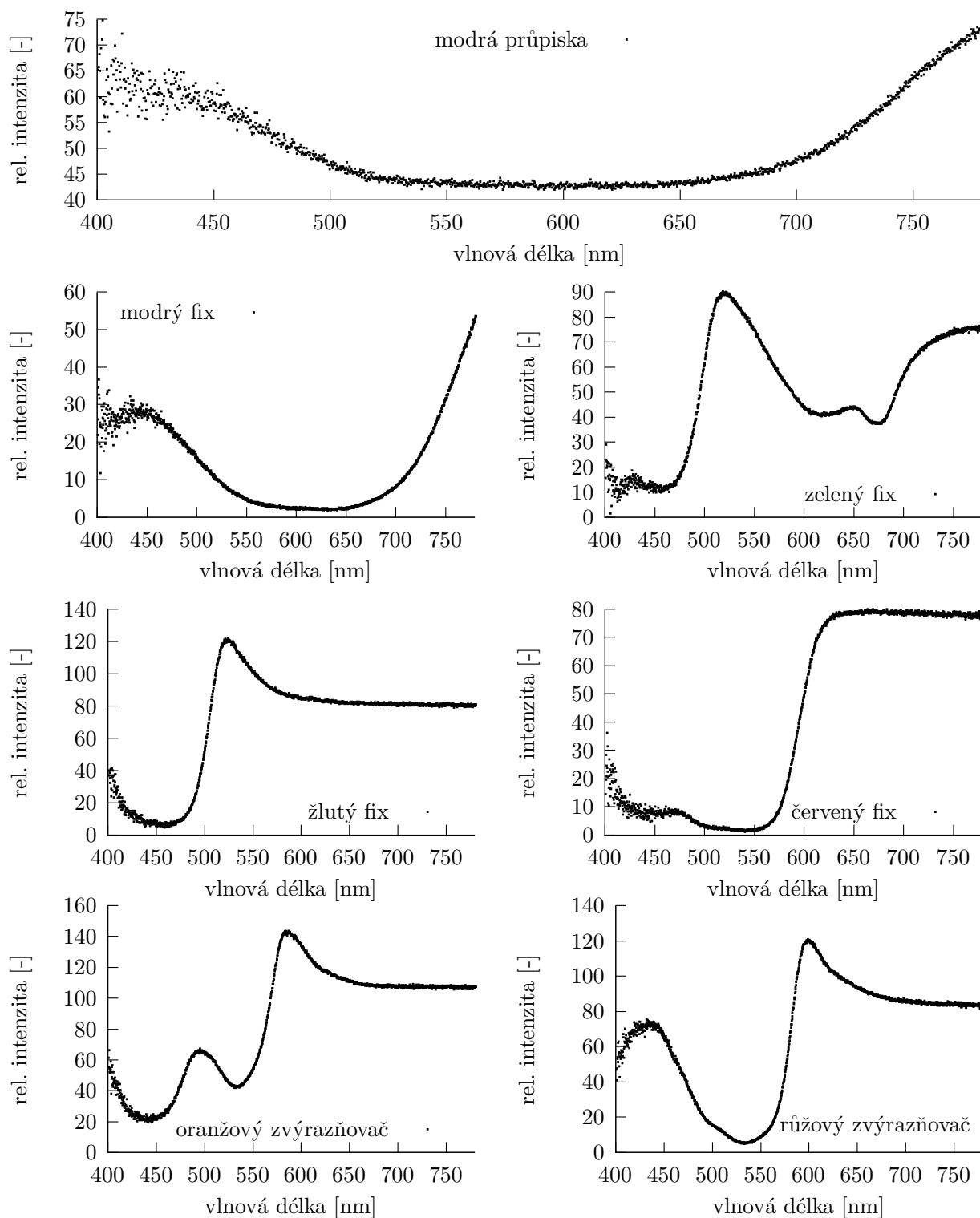


Graf 5: Spektra LED. Údaje na ose y jsou relativní a absolutní hodnoty pro jednotlivé barvy nemohou být navzájem srovnávány. Jde pouze o tvar spekter.



Graf 6: Spektra ostatních použitých zdrojů světla. Jde pouze o tvar spekter.

Reflexní spektra obarvených ploch pro úhel dopadu 45°



Graf 7: Reflexní spektra obarvených ploch pro úhel dopadu 45°. Jednotlivé grafy ukazují postupně spektra pro modrou propisku, modrý, zelený, žlutý a červený fix a oranžový a růžový zvýrazňovač. Údaje na ose y jsou relativní a absolutní hodnoty pro jednotlivé barvy nemohou být mezi sebou srovnávány. Jde pouze o tvar spekter.