



## **Středoškolská technika 2012**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **VLIV SPEKTRÁLNÍHO SLOŽENÍ SVĚTLA NA ROSTLINY**

**Barbora Vítková**

První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové

Brandlova 875, Hradec Králové

# STŘEDOŠKOLSKÁ TECHNIKA 2012

VLIV SPEKTRÁLNÍHO SLOŽENÍ SVĚTLA NA ROSTLINY

THE EFFECT OF SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT ON PLANTS

Autor: Barbora Vítková

Škola: První soukromé jazykové gymnázium Hradec  
Králové, spol. s r. o.

Konzultant: Mgr. Miroslav Ouhrabka, CSc., UHK

Hradec Králové 2012

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracovala samostatně, použila jsem pouze podklady (literaturu, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu a postup při zpracování a dalším nakládání s prací je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Kostelci nad Orlicí dne 13. 3. 2012

Podpis:

---

Barbora Vítková

## PODĚKOVÁNÍ

Autor by rád poděkoval následujícím osobám:

Konzultantovi projektu, profesorovi Miroslavu Ouhrabkovi, za čas věnovaný konzultacím a případným korekcím projektu.

Rodině za poskytnutí prostorů k vykonání projektu a především Blance Zárubové za dohlížení na správný chod experimentu v době mé nepřítomnosti.

## ANOTACE

Cílem projektu bylo zjistit vliv monochromatického záření na rostliny, jaké obranné faktory rostlina vůči monochromatickému záření využívá, míru adaptability rostliny a vliv doby ozařování a velikosti ozařování na různé druhy rostlin.

K provedení experimentu byl jako zdroj monochromatického záření využit laser umístěný v naprosto zatemněné místnosti. Nepřetržitému záření laseru o různé hodnotě a době trvání byly vystaveny postupně dvě rostliny, řeřicha zahradní a hrách setý. Současně bylo pozorováno 5 kontrolních rostlin pod světlem normálního složení.

Výsledkem prohlédnutí ozařovaného listu řeřichy zahradní pod mikroskopem po 14 dnech ozařování o hodnotě  $30 \text{ mW}/0,625 \text{ cm}^2$  ( $48 \text{ mW}/\text{cm}^2 + 10\%$  ztráta použitím rozptylky na zvětšení plochy záření na  $5 \times 12,5 \text{ mm}$ ) bylo pozorování vystouplé žilnatiny a odumřelých buněk. Při pozorování listu hrachu setého vystaveného monochromatickému ozařování o hodnotě  $30 \text{ mW}/0,1 \text{ cm}^2$  ( $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) bez použití rozptylky po 34 dní bylo již 16. den zaznamenáno úplné propálení listu na místě dopadu fotonů a značná míra degenerace po celé ploše listu, až po úplné odumření buněk v bezprostřední blízkosti míst, kde působilo záření.

Jelikož obě rostliny postrádaly záření o modré vlnové délce, která ovlivňuje stav průduchů a regulaci vody, docházelo i za pravidelného zalévání k vysychání. Na druhou stranu byly obě rostliny schopny jisté míry adaptability vůči monochromatickému záření, jelikož i přes nevyhovující podmínky dokázaly přežít déle než rostliny pod zdrojem záření o obyčejném spektrálním složení za stejného přísunu vody a stejné teplotě i vlhku v místě pozorování.

Nalezením vhodné kombinace světelných zdrojů s patřičnou kombinací vlnových délek a intenzity s ohledem na druh a využití rostliny a její různá stadia vývoje, je možné zvýšit kvalitu a zlepšit podmínky pro rostliny.

KLÍČOVÁ SLOVA: monochromatické záření; laser; rostliny; spektrální složení světla

## ANNOTATION

The purpose of this project was to ascertain the effect of monochromatic light on plants, the defensive factors the plant used against it, the extent of adaptability of the plant and the effect of duration and amount of the radiation on various types of plants.

The monochromatic light source used in the project was a laser situated in an utterly darkened room. The plants used in the experiment, garden cress and pea, were one by one ceaselessly exposed to the monochromatic light of various intensity and duration. Simultaneously, 5 other plants of the same kind placed under normal light were observed.

The result of the microscopic examination of the garden cress leaf after 14 days of radiation of  $30 \text{ mW}/0,625 \text{ cm}^2$  ( $48 \text{ mW}/\text{cm}^2 + 10\%$  loss by using the concave to extend the area of the radiation to  $5 \times 12,5 \text{ mm}$ ) was an observation of the venation ascending on the surface of the leaf and dead cells. During the observation of the pea plant, which was exposed to the radiation  $30 \text{ mW}/0,1 \text{ cm}^2$  ( $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) without using the concave for 34 days, the utter pierce through the leaf on the spot of the incidence of photons was visible already the 16th day of the experiment and a considerable extent of degradation all over the

leaf beginning with the dead cells closest to the spot of the incidence of photons was observed.

Since the plants lacked blue wavelengths, which affect the state of pores and therefore water regulation, the leaves were drying out even though the plants were regularly watered. On the other hand, the plants also developed an adaptability to the radiance of monochromatic light for the observed plants enduring the monochromatic light lasted even longer than the plants under the light of normal spectral composition in general, though the thermal, water and pressure conditions and the humidity of air were identical for both plants exposed to monochromatic light and plants exposed to normal daylight.

Having found appropriate combination of light sources with relevant combination of wavelengths and intensity corresponding to a specific kind of plant, its use and various periods of development, it is possible to increase the quality of plants and enhance conditions for the plant growth.

KEY WORDS: monochromatic light; laser; plants; spectral composition of light

# OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Záření.....	9
2.1	Sluneční záření.....	9
2.1.1.	Rostlina a záření .....	10
2.2	Monochromatické záření.....	11
3	Aparatura.....	11
3.1	Rostliny .....	11
3.2	Materiály .....	12
3.3	Sestavení aparátu .....	13
4	Metodika .....	14
4.1	První část.....	14
4.2	Druhá část.....	14
5	Výsledky .....	14
5.1	Měření .....	14
5.1.1.	Řeřicha zahradní .....	14
5.1.2.	Hrách setý.....	15
5.1.3.	Energie fotonů.....	15
5.2	Sluneční záření.....	16
5.2.1.	Spektrum .....	16
5.2.2.	Intensita .....	17
5.3	Absorbce.....	18
5.3.1.	Monochromatické záření .....	18
6	Závěr .....	20
7	Seznam použité literatury a zdrojů.....	21
8	Přílohy.....	1
8.1	Příloha 1 .....	1

# 1 ÚVOD

Sluneční záření se dá považovat za nejdůležitější faktor pro růst rostlin, uvažujeme-li jeho nezbytnost při základním rostlinném procesu, tj. fotosyntéze, přestože ve své podstatě na něm závisí i všechny ostatní děje v rostlinném organismu a tím pádem také samotný život na celé naší planetě vzhledem k tomu, že zelené rostliny jsou pro heterotrofní organismy, tedy veškerou zemskou faunu včetně člověka, jediným možným způsobem příjmu potřebných organických látek, které heterotrofní organismy samy vyprodukovat neumějí.

Účelem práce je vymezit vliv spektrálního složení světla na rostliny v ohledu na monochromatické záření. Práce se skládá z experimentálního pozorování o dvou částech, kdy je v každé části pozorována rostlina jiného druhu a ozařována monochromatickým zářením o jiné intenzitě a době ozařování. Dále práce obsahuje měření, výpočty výsledků a závěry z toho vyvozené.

Jako informační materiály posloužily zdroje zabývající se biochemií a fyziologií rostlin, případně studie slunečního záření a jeho efektů na živé organismy, přičemž pro nedostatek zdrojů v českém jazyce musela být většina informací čerpána ze zdrojů psaných v angličtině.

Vedlejším účinkem této práce se dá také stanovit hlubší poznání dějů a funkcí rostlin v závislosti na světelné podmínky jak spektrálního tak kvantitativního charakteru a jejich vzájemnou interakci.

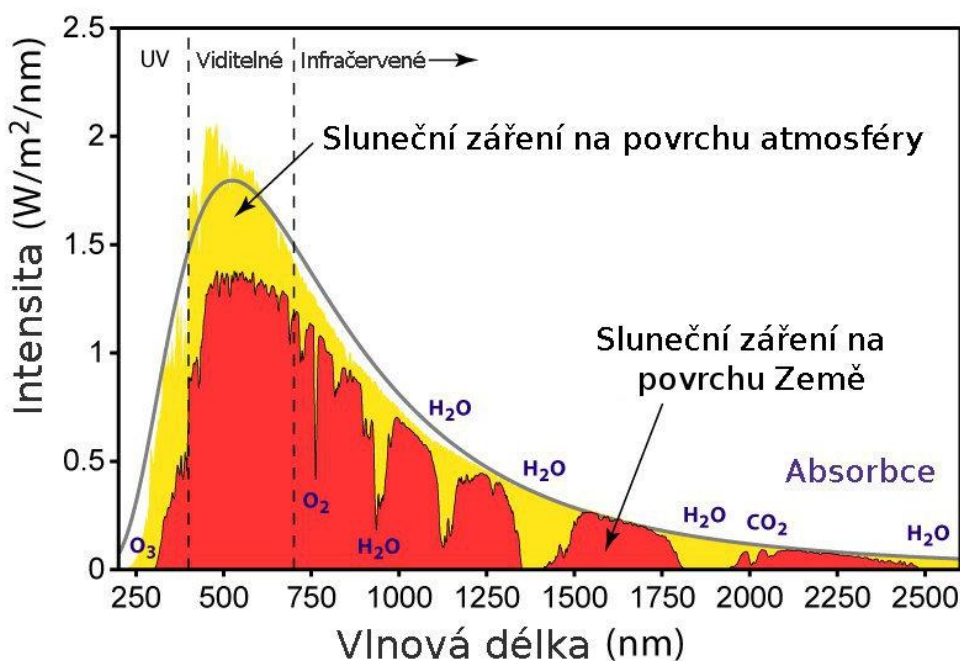


## 2 ZÁŘENÍ

### 2.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

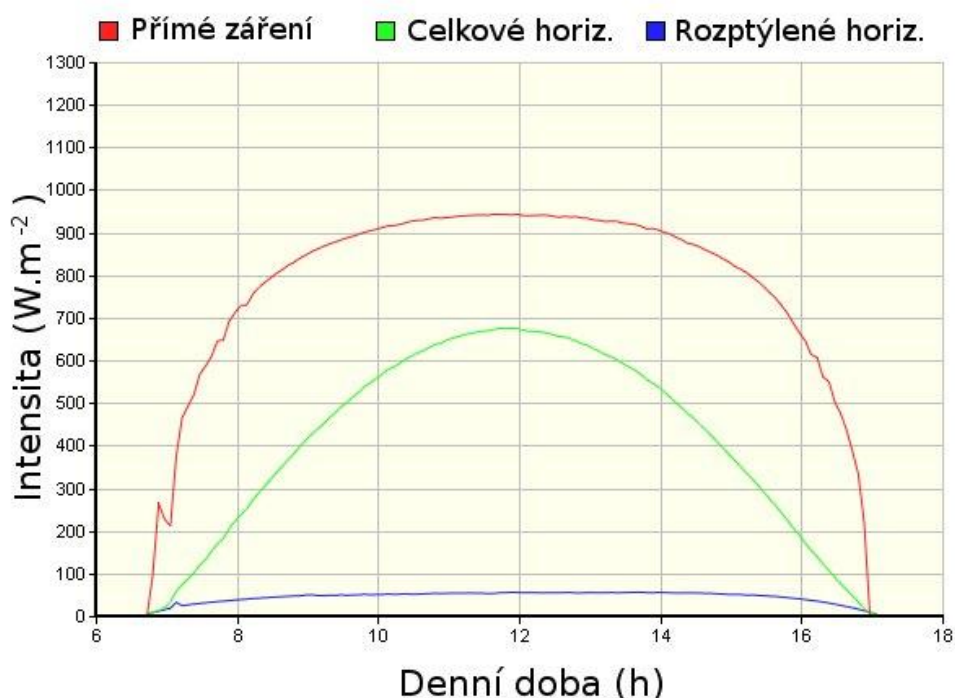
Slunečním zářením se obecně označuje elektromagnetické záření Slunce. Jeho spektrum se skládá z vlnových délek od zhruba 100 nm až po 1 mm (viz Obr. 1), tedy z UV záření (pod 400 nm), viditelného světla (400 – 750 nm) a infračerveného záření (nad 750 nm) o různé intenzitě, která se může měnit v závislosti na zeměpisné šířce a délce, ročních obdobích, oblačnosti a na času, kdy je měřena.

Některé vlnové délky slunečního spektra jsou pohlcovány atmosférou – týká se to hlavně ultrafialového záření, kdy ozonová vrstva zcela pohlcuje vlnové délky pod 290 nm a částečně od 290 do 320 nm, a infračerveného záření, kde jsou pohlceny jen určité vlnové délky. Míra pohlcení závisí na síle vrstvy atmosféry, tedy na rovníku je pohlcení větší než v polárních oblastech.



Obr. 1 Graf spektra slunečního záření dopadajícího na povrch atmosféry (žlutá) a na povrch Země (červená) a spektrum abs. černého tělesa (šedá) v závislosti na intenzitě záření. Modře jsou vyznačeny oblasti zvýšené absorpce ozonem, kyslíkem a vodní párou. (Upraveno z cs.wikipedia.org)

Záření dopadající na povrch atmosféry se rovná přibližně 1 373 W/m<sup>2</sup> a je nazýváno solární konstantou. V průběhu dne se pak intenzita mění v závislosti na denní době. (viz Obr. 2)

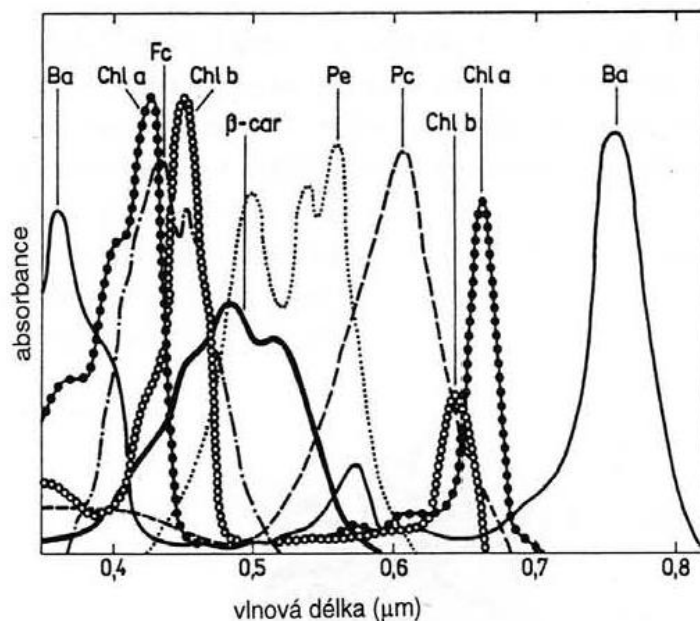


Obr. 2 Graf závislosti intenzity slunečního záření na denní době z 12. Května 2011. Červená linie znázorňuje přímé záření, které dopadá na povrch Země, zelená ukazuje celkové horizontální záření, tj. záření přímé i nepřímé, např. při zastínění mraky, a modrá záření horizontální rozptýlené, tedy záření odražené. (Upraveno z csirosolarblog.com)

### 2.1.1. ROSTLINA A ZÁŘENÍ

Rostlina absorbuje vlnové délky a energii záření v různých poměrech (viz Obr. 12), avšak nejdůležitějším spektrem záření je pro zelené rostliny tzv. fotosynteticky aktivní záření (zkratka ZAH) o rozsahu 380 až 760 nm. Zelená rostlina tak pro fotosyntézu využívá záření o přibližném rozmezí jako je viditelné světlo (tedy 400 – 750 nm).

Chlorofyly a některé další pigmenty aktivně se podílející na procesu fotosyntézy absorbují různé barevné složky spektra slunečního záření v různém množství (viz Obr. 3). Obsah a vzájemný obsah pigmentů je v různých rostlinách odlišný, nelze tedy stanovit všeobecně platnou závislost účinnosti fotosyntézy na vlnové délce (barevné složce) světla pro všechny druhy rostlin. Například chlorofyl nejlépe absorbuje modrofialové a červené části spektra a vzhledem k tomu, že chlorofyl je v procesu fotosyntézy nejdůležitějším pigmentem a ostatní jsou jen pigmenty doplňkové, lze tvrdit, že nejvíce se na fotosyntéze podílí část spektra v modrofialové a červené oblasti (přibližně 400 – 500 nm a 600 – 700 nm).



Obr. 3 Absorpční spektra fotosyntetických pigmentů. Fc - fykoxantin, Pc - Fykocyanin, Pe fykoerytrin, Ba - bakteriochlorofyl, Chl a - chlorofyl a, Chl b - chlorofyl b, β-car – β-karoten. (Podle S. Procházka, 1998)

Různá barevná spektra mají na rostlinu také vliv v závislosti na stádiu vývoje rostliny. „Červené a oranžové spektrum iniciuje produkci rostlinných hormonů, které aktivují produkci květů a rašení. Modré světlo ovlivňuje stav průduchů a tím reguluje množství vody. Červené světlo stimuluje produkci květů a růst listů. Příliš mnoho červeného světla však způsobuje vytahování rostliny. Červené spektrum také navozuje klíčení a modré spektrum podporuje růst semen.“ (citace, 28.1.2012, <http://www.ledactive.cz>)

## 2.2 MONOCHROMATICKÉ ZÁŘENÍ

Monochromatické záření je charakterizováno jako elektromagnetické záření, jehož spektrum obsahuje jen jednu frekvenci nebo úzký pás frekvencí, tedy obsahuje jen jistou vlnovou délku (barvu).

Na rozdíl od slunečního, monochromatické záření nemá na Zemi přírodní zdroj. Nejběžnějšími zdroji monochromatického záření bývají lasery, ale lze jej získat také filtrováním bílého světla (např. Slunce nebo žárovky) pomocí mřížkového nebo hranolového monochromátoru.

## 3 APARATURA

### 3.1 ROSTLINY

K experimentu byly využity dvě rostliny: řeřicha zahradní (*Leppidum sativum*) a hrách setý (*Pisum sativum*). Tito zástupci rostlinné říše byli vybráni z čistě praktických důvodů, jak řeřicha zahradní, tak hrách setý se řadí z hlediska pěstování k méně náročným rostlinám. K růstu nepotřebují žádné speciální prostředky, jsou tolerantní k prostředí a mohou být zasety prakticky v kterékoli roční době, což se vzhledem k experimentální době začínající v listopadu jeví jako ideální parametry.

Od každého druhu bylo zasazeno celkem šest rostlin, z toho pět sloužilo jako kontrolní rostliny, které byly ozařovány denním světlem o normálním spektrálním složení.

### 3.2 MATERIÁLY

Technické vybavení:

Školní stabilizovaný zdroj TESLA BK 127 (Obr. 4)

Laser Laserex LDP – 450AV (Obr. 5)

Rozptylka (Obr. 6)

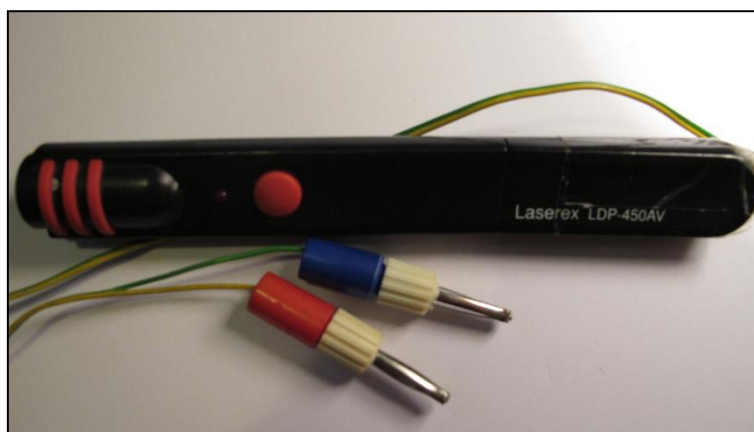
Mechanické vybavení:

Stojan na uchycení laseru

2 polohovatelné držáky k uchycení laseru a rozptylky na stojan



Obr. 4 Stabilizovaný zdroj



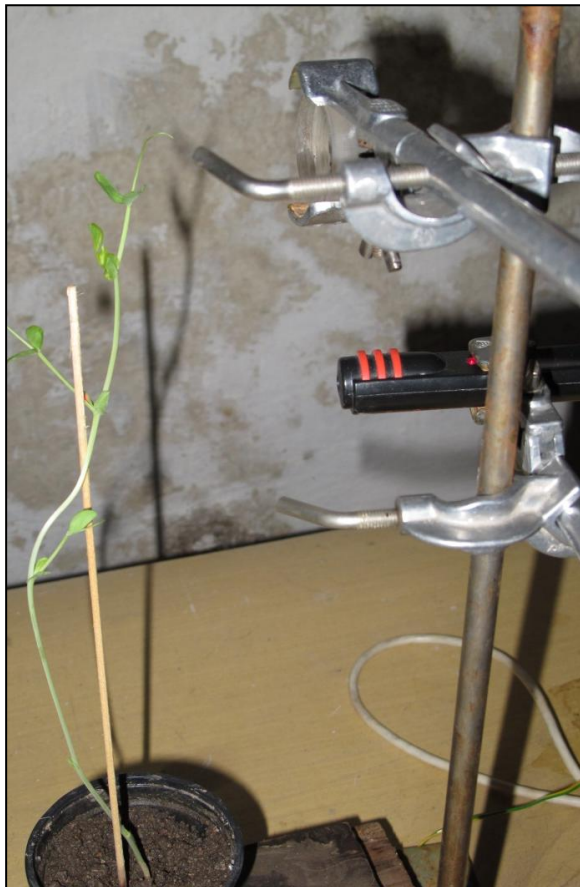
Obr. 5 Laser využitý k projektu.



Obr. 6 Rozptylka.

### 3.3 SESTAVENÍ APARÁTU

Laser byl zapojen do síťově napájeného zdroje s regulací napětí na 4,5 V. Na stojan byl laser připevněný v držáku, který stlačením ramen udržoval laser zapnutý. Při pozorování řeřichy byl nad laserem připevněn držák svírající rozptylku tak, aby paprsek laseru procházel skrz. Rostlina byla umístěna před aparát tak, aby paprsek směřoval na určený list rostliny. (Ob. 7)



Obr. 7 Rozložení aparátu při pozorování hrachu setého bez použití rozptylky.

## 4 METODIKA

Aparát byl umístěn v naprosto zatemněné místnosti se stálým přístupem vzduchu a bez rušivých elementů v podobě přílišného vlhka, sucha, mrazu nebo teploty.

### 4.1 PRVNÍ ČÁST

První část experimentu zahrnovala ozařování řeřichy zahradní, která byla zasazena 09. 11. 2011 a pod ozařování monochromatickým světlem byla vložena 20. 11. 2011. Paprsek laseru byl namířen na list se zvětšením plochy záření rozptylkou na 5x12,5 mm.

Experiment byl veden 14 dnů, do 04. 12. 2011, za každodenního zalévání a pozorování. Kontroly byly prováděny třikrát denně za světla přenosné svítilny. Při každé kontrole bylo nutné zkontrolovat polohu plochy působení záření paprsku, aby se vlivem růstu rostliny nepřesouvala.

Současně bylo normálnímu dennímu světlu o obyčejném spektrálním složení záření vystaveno 5 kontrolních rostlin, které byly zalévány vodou ze stejného zdroje.

Teplota, tlak, ani vlhkost vzduchu se mezi zatemněnou místností a místem ozařování denním světlem nelišily.

Po zakončení ozařování byl ozařovaný list a list vybrané kontrolní rostliny pozorován pod mikroskopickým zvětšením.

### 4.2 DRUHÁ ČÁST

Druhá experimentální část projektu se skládala z ozařování hrachu setého, který byl zasazen 20. 11. 2011 a vystaven ozařování bez použití rozptylky na zvětšení plochy působení záření, tedy plocha záření zůstala 5x2 mm. 04. 12. 2011. Experiment trval 34 dnů, tedy do 07. 01. 2012. Opět byl experiment třikrát denně kontrolován a ve stejnou dobu pozorováno 5 kontrolních rostlin.

Vnější vlivy, tzn. zdroj vody, teplota, vlhkost vzduchu, etc., se opět nelišily.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 MĚŘENÍ

#### 5.1.1. ŘEŘICHA ZAHRADNÍ

Za předpokladu, že na řeřichu zahradní působil laser o výkonu  $60 \text{ mW/cm}^2$ , přičemž obsah plochy působení se rovnal  $0,625 \text{ cm}^2$ , na jeden  $\text{cm}^2$  působilo záření o hodnotě  $48 \text{ mW/cm}^2$ , tedy, upravíme-li to na vhodnější jednotku, o  $480 \text{ W/m}^2$ . Vzhledem k tomu, že laserový paprsek působil přes rozptylku, počítáme se ztrátou kolem 10% (tedy  $48 \text{ W/m}^2$ ). Výsledná hodnota ozařování tak vychází na  $432 \text{ W/m}^2$ . (viz Tab. 1)

Laserové záření řeřichu ozařovalo 14 dní, tedy 336 hodin, přičemž výslednou reakcí rostliny na monochromatické ozařování o takové hodnotě bylo vystupování žilnatiny, odumření buněk a vysychání listu na místě dopadu fotonů (otevření a odumření stomat).

### 5.1.2. HRÁCH SETÝ

Na hrách setý působil tentýž laser za obsahu plochy záření  $0,1 \text{ cm}^2$ . Nebylo použito rozptylky, tedy nepočítáme se žádnými ztrátami, hodnota ozařování se pak rovná  $300 \text{ mW/cm}^2$ , tzn.  $3000 \text{ W/m}^2$ , což je více než šestkrát větší hodnota než u prvního experimentu. (viz Tab. 1)

Hrách byl záření vystaven po 34 dní, tedy 816 hodin. Výslednou reakcí rostliny na ozařování o takové hodnotě byla značná míra degenerace, která postupovala až po úplné odumření buněk v bezprostřední blízkosti místa působení záření po celém listu a k úplnému propálení listu na místě dopadu fotonů došlo již šestnáctý den pozorování.



Obr. 8 Srovnání fotografií listu hrachu pod normálním světlem (vlevo) a laserem (vpravo).

### 5.1.3. ENERGIE FOTONŮ

Pokud:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(650 \cdot 10^{-9} \text{ m})} \quad (1)$$

(kde  $E$  je energie fotonu,  $h$  Planckova konstanta ( $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ),  $c$  rychlost světla ( $2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$  a  $\lambda$  vlnová délka), pak energie fotonů používaného laseru o vlnové délce  $650 \text{ nm}$  se rovná  $3,056115077 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . (viz Tab. 1)

Protože energie 1 fotonu je příliš malá jednotka, využívá se jednotka odpovídající jednomu molu fotonů.

Jeden mol fotonu má pak za těchto okolností energii ( $E$ ) dle této závislosti:

$$E = N_A \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \cdot (6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(650 \cdot 10^{-9} \text{ m})} \quad (2)$$

(kde  $N_A$  se rovná Avogadrově konstantě, tedy  $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ). Energie jednoho fotonu záření o vlnové délce  $650 \text{ nm}$  se pak rovná  $1,84039 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . (viz Tab. 1)

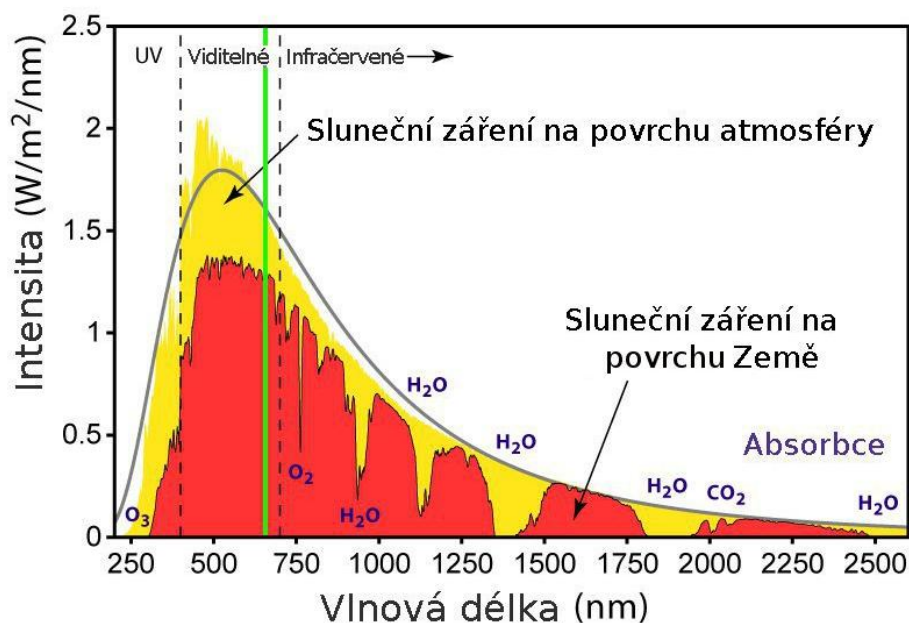
Vlnová délka [nm]	Rostlina	Plocha působení záření [cm <sup>2</sup> ]	Hodnota ozařování (bez ztráty) [mW/cm <sup>2</sup> ]	Hodnota ozařování [W/m <sup>2</sup> ]	Doba ozařování [h]	Energie [J]	Energie fotonů na 1 mol [J mol <sup>-1</sup> ]
650 nm	Řeřicha zahradní	0,625 cm <sup>2</sup>	48 mW/cm <sup>2</sup>	432 W/m <sup>2</sup>	336 h	3,056115077 · 10 <sup>-19</sup> J	1,84039 · 10 <sup>5</sup> J mol <sup>-1</sup>
	Hrách setý	0,1 cm <sup>2</sup>	300 mW/cm <sup>2</sup>	3000 W/m <sup>2</sup>	816 h		

Tab. 1 Hodnoty.

## 5.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

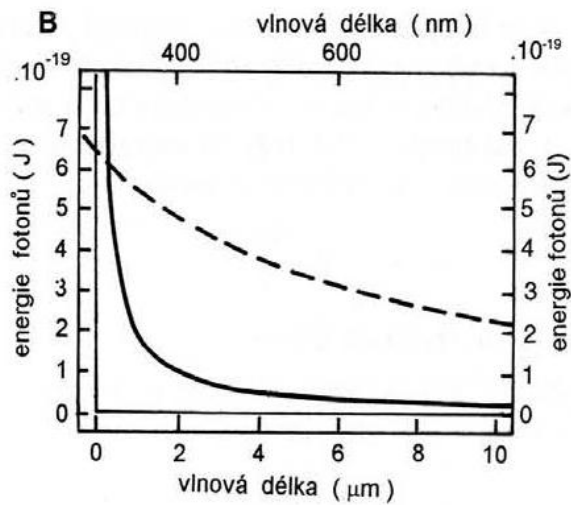
### 5.2.1. SPEKTRUM

Na rozdíl oproti monochromatickému záření, sluneční záření je plnospektrální, jeho energie se tedy liší, protože obsahuje různé vlnové délky (viz Obr. 9) a každá vlnová délka má jinou energii fotonů. V zásadě platí, že vlnová délka záření je nepřímo úměrná energii fotonů – tedy z viditelného spektra má fialové a modré záření o menší vlnové délce větší energii než červené o větší vlnové délce. (viz Obr. 10) „Pro procesy, jako je fotosyntéza, je právě energie jednoho fotonu a počet fotonů v příslušném záření rozhodující. Například na fixaci 1 molekuly CO<sub>2</sub> je ve fotosyntéze potřeba 8 molů fotonů. Použijeme-li například modré světlo ( $\lambda = 460$  nm), je minimální energie rovna  $8N_Ahc/\lambda$ , tj.  $2,082 \cdot 10^6$  J mol<sup>-1</sup>. Oproti tomu za využití červeného světla ( $\lambda = 660$  nm), minimální hodnota bude  $1,410 \cdot 10^6$  J mol<sup>-1</sup>. Tím pádem je účinnost využití červeného světla pro fixaci 1 molekuly CO<sub>2</sub> vyšší než u modrého světla.“ (S. Procházka, 1998)



Obr. 9 Spektrum slunečního záření (červená) a monochromatického záření (zelená). (Upraveno z cs.wikipedia.org)

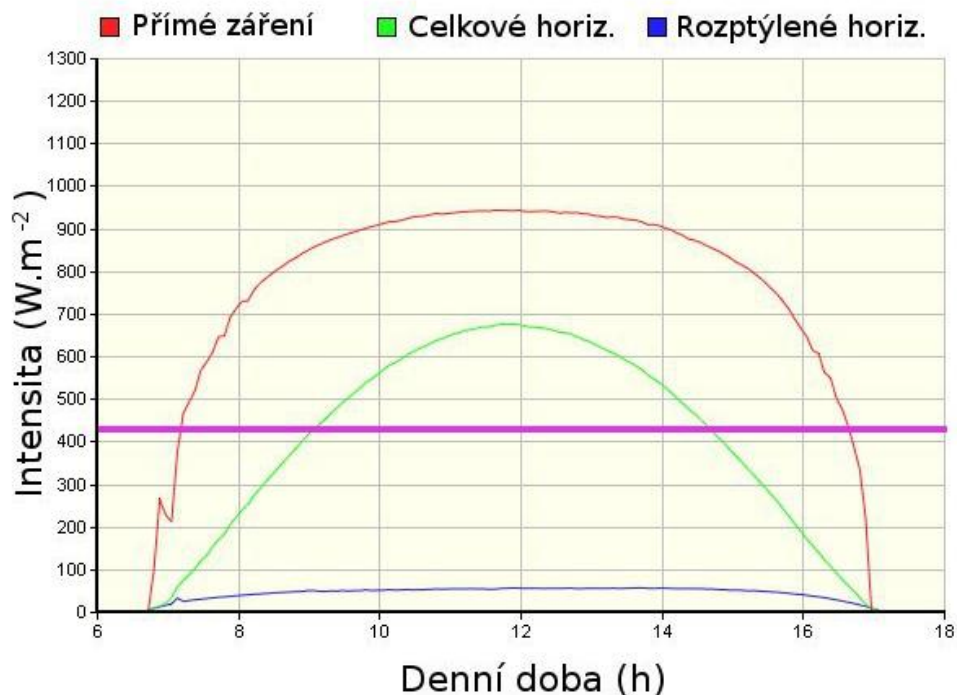




Obr. 10 Závislost energie fotonů na vlnové délce. (Převzato z S. Procházka, 1998)

### 5.2.2. INTENSITA

Zatímco hodnota monochromatického záření zůstává po celou dobu stejná, hodnota normálního slunečního záření se během dne mění, asi dle následujícího grafu.



Obr. 11 Graf závislosti intenzity slunečního záření na denní době z 12. Května 2011. Červená linie znázorňuje přímé záření, které dopadá na povrch Země, zelená ukazuje celkové horizontální záření, tj. záření přímé i nepřímé, např. při zastínění mraky, a modrá záření horizontální rozptýlené, tedy záření odražené. Fialová znázorňuje monochromatické záření. (Upraveno z csirosolarblog.com)

Ráno a k večeru je hodnota intenzity slunečního záření nižší, v poledne stoupá až na  $1400 \text{ W/m}^2$  v závislosti na ročním období a poloze. Vzhledem k tomu, že obě části experimentu probíhaly v rozmezí od konce listopadu do začátku ledna, kdy maximální hodnota záření nepřevyšuje  $450$  až  $500 \text{ W/m}^2$ , budeme-li počítat s křivkou hodnot intenzity záření jako s částí (přibližně s  $6/7$  poloviny) obvodu kružnice, pak:

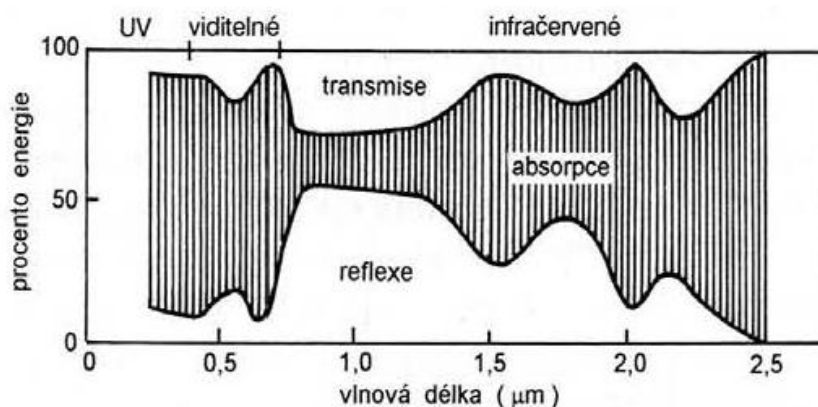
$$\frac{2\pi r}{2} \cdot \frac{6}{7} : 2r \cdot \frac{7 \cdot 60^2}{2r} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 60}{r} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 60}{500} \quad (3)$$

(kde  $r = 500$ , tedy maximální hodnota slunečního záření za den v období konce listopadu až prosince za předpokladu, že průměrná doba slunečního záření je v tomto období asi 7 hodin denně). Průměrná intenzita slunečního záření za den bude pak zhruba  $34 \text{ W/m}^2$ .

### 5.3 ABSORBCE

Rostlina je schopna z poskytovaného záření pojmout jen některé vlnové délky, obzvláště vlnové délky viditelného spektra, které absorbuje více, naproti tomu vlnové délky infračerveného záření absorbuje jen velice málo a většinu jejich energie odráží.

Sluneční záření je tedy listem buď pohlceno (absorbce), odraženo (reflexe), nebo jím projde (transmise). Poměry absorbce, reflexe a transmise se mohou měnit podle tvaru a povrchu listů, úhlu dopadání záření a složení pigmentů v listu, ale nejdůležitějším a převažujícím faktorem je vlnová délka dopadajícího záření. (viz Obr. 12)



Obr. 12 Spektrální závislost odrazu (reflexe), pohlcení (absorbce) a propustnosti (transmise) sluneční energie dopadající na povrch listu v oblasti ultrafialového (UV), viditelného (fotosynteticky aktivního) a infračerveného (IČ) záření. (Převzato z S. Procházka, 1998)

#### 5.3.1. MONOCHROMATICKÉ ZÁŘENÍ

Na základě závislosti procentuálního poměru absorbce, transmise a reflexe k vlnové délce záření  $650 \text{ nm}$  (dle Tab. 2), pozorované rostliny z dodané energie  $1,84039 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  pohltily asi 76%, tj.  $1,39869 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ , odrazily přibližně 13%, tj.  $0,20244 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  a prošlo jimi 11% energie, tj.  $0,23925 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

Vlnová délka 650 nm	Energie [J mol <sup>-1</sup> ]	Procento absorpce	Absorbce [J mol <sup>-1</sup> ]	Procento transmise	Transmise [J mol <sup>-1</sup> ]	Procento reflexe	Reflexe [J mol <sup>-1</sup> ]
Řeřicha zahradní	1,84039 · 10 <sup>5</sup> J mol <sup>-1</sup>	76%	1,39869 · 10 <sup>5</sup> J mol <sup>-1</sup>	13%	0,23925 · 10 <sup>5</sup> J mol <sup>-1</sup>	11%	0,20244 · 10 <sup>5</sup> J mol <sup>-1</sup>
Hrách setý							

Tab. 2 Hodnoty absorpce.

## 6 ZÁVĚR

Jelikož obě rostliny, hrách setý i řeřicha, postrádaly záření o modré vlnové délce, která ovlivňuje stav průduchů a regulaci vody, docházelo i za pravidelného a dostačujícího zalévání k vysychání. Na druhou stranu ovšem byly obě rostliny schopny jisté míry adaptability vůči monochromatickému záření, jelikož i přes nevyhovující podmínky k produkci fotosyntézy dokázaly přežít mnohem déle než bylo původně očekáváno a dokonce i déle, než rostliny sloužící jako kontrola pozorování, které byly umístěny pod zdroj záření o obyčejném spektrálním složení za stejného přísunu vody a stejné teplotě i vlhku v místě pozorování. Při prvním měření z pěti kontrolních rostlin tři odumřely již před zakončením pozorování, u druhého měření odumřely čtyři rostliny, zatímco pozorovaným exemplářům ozařovaným laserem se podařilo přežít, a to i přes to, že se jim nedostávalo náležitých světelných podmínek.

Na základě vlivu spektrálního složení světla na různé rostlinné procesy by se dalo určit, které zdroje záření je vhodnější využít pro jaké účely. Například fluorescentní bílá zářivka má velký obsah modrých vlnových délek a dala by se tak použít při zasazování semen na podporu jejich růstu. Žárovky mají oproti tomu vysoké hodnoty červeného spektra a asi nejvíce se podobají spektru slunečního záření, i když většinou produkují moc tepla na to, aby byly pro rostliny dobrým zdrojem světla. Další příklady spektrálního složení různých zdrojů záření viz Příloha 1)

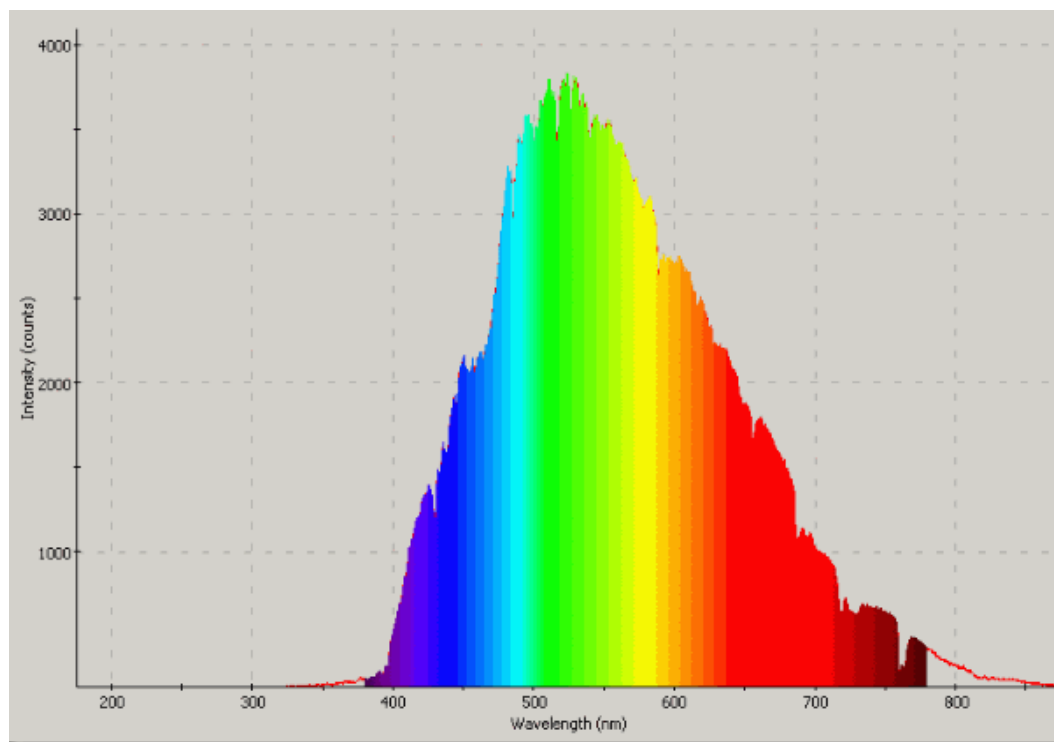
Sluneční záření obsahuje poměrně velké spektrum zeleného a žlutého světla, která rostliny moc nevyužijí a většinu jej odrážejí zpět. Nalezením vhodné kombinace světelných zdrojů s potlačeným spektrem zelených a žlutých vlnových délek a správnou kombinací intenzity vlnových délek červeného a modrého spektra s uvážením účelu a typu pěstované rostliny by se dala zvýšit kvalita a zlepšit podmínky rostlin.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

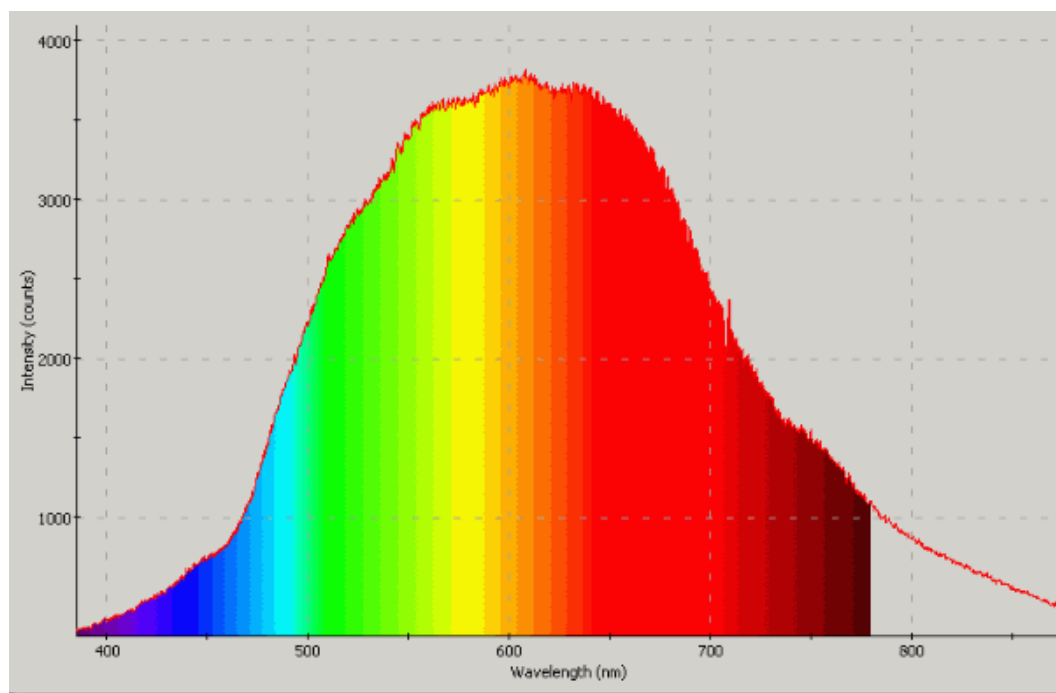
1. **Cooper, John Philip. 1975.** *Photosynthesis and productivity in different environments*. s.l. : International Biological Programme, 1975. 0521205735.
2. Effects of Colors on Plants. [Online] [Citace: 28. Srpen 2011.] <http://www.cheapvegetablegardener.com>.
3. Enviromental Factors That Affect Plant Growth. [Online] [Citace: 27. Srpen 2011.] <http://ag.arizona.edu>.
4. Jak fungují barvy světla na rostliny? [Online] [Citace: 1. Leden 2012.] <http://www.ledactive.cz>.
5. **Lincoln Taiz, Eduardo Zeiger. 2010.** *Plant Physiology*. s.l. : Sinauer Associates, 2010. 0878935657.
6. **Mishra, Shubhrata R. 2004.** *Photosynthesis in Plants*. s.l. : Discovery Publishing House, 2004. 8171418910.
7. **2011.** Perfect Day for Solar Power. [Online] 18. Květen 2011. [Citace: 20. Leden 2012.] <http://csirosolarblog.com>.
8. **S. Procházka, I. Macháčková, J. Krekule, J. Šebánek. 1998.** *Fyziologie rostlin*. Praha : Academia, 1998.
9. **2008.** Světelné zdroje - lineární zářivky. [Online] 20. Březen 2008. [Citace: 4. Leden 2012.] <http://www.earch.cz>.
10. **Tikhomirov, Alexander A.** Spectral Composition of Light and Growing of Plants in Controlled Environments. [Online] [Cited: 4 Leden 2011.] <http://www.contolledenvironments.org>.
11. **Yi-Ping Chen, Yong-Jun Liu, Xun-Ling Wang, Zhao-Yu Ren, Ming Yue.** Effect of Microwave and He-Ne Laser on Enzyme Activity and Biophoton Emission of *Isatis indigotica* Fort. [Online] [Citace: 28. Prosinec 2011.] <http://www.llqg.ac.cn>.

## 8 PŘÍLOHY

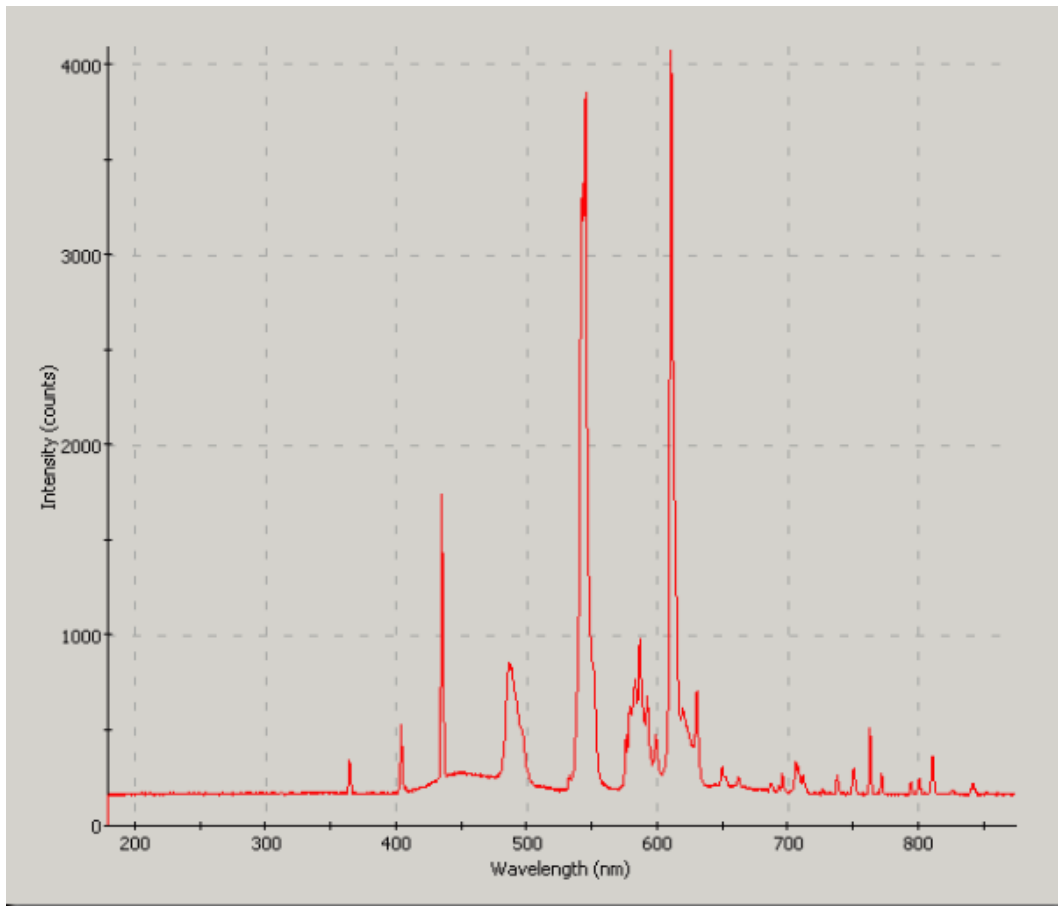
### 8.1 PŘÍLOHA 1



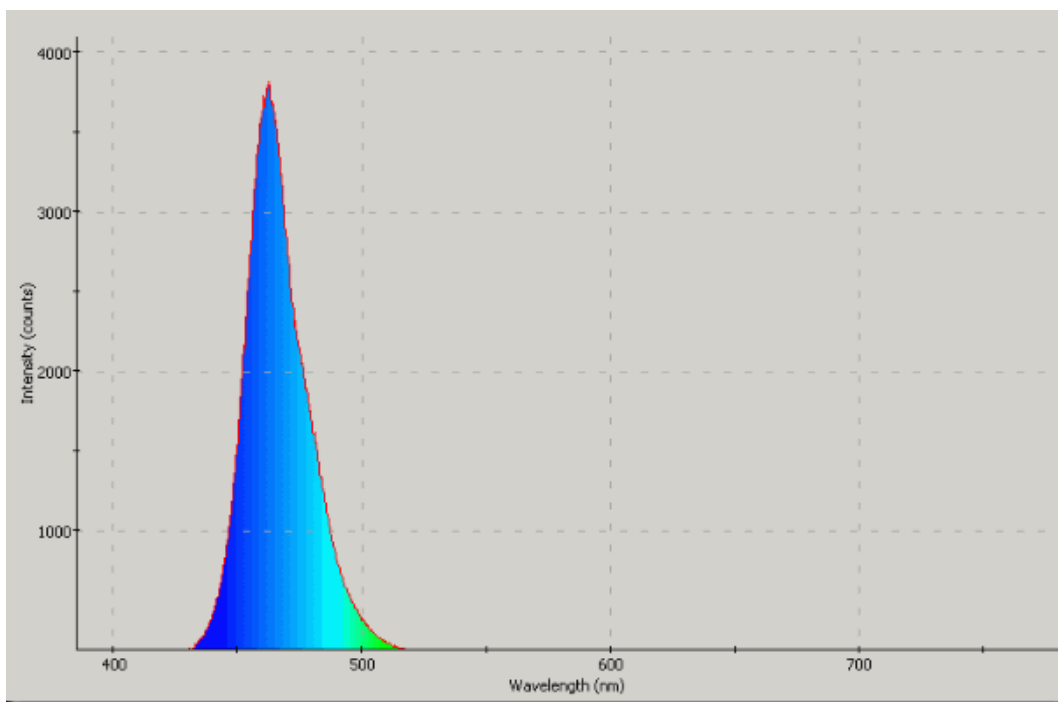
Př. 1 Spektrum slunečního záření. (Převzato z cheapvegetablegardener.com)



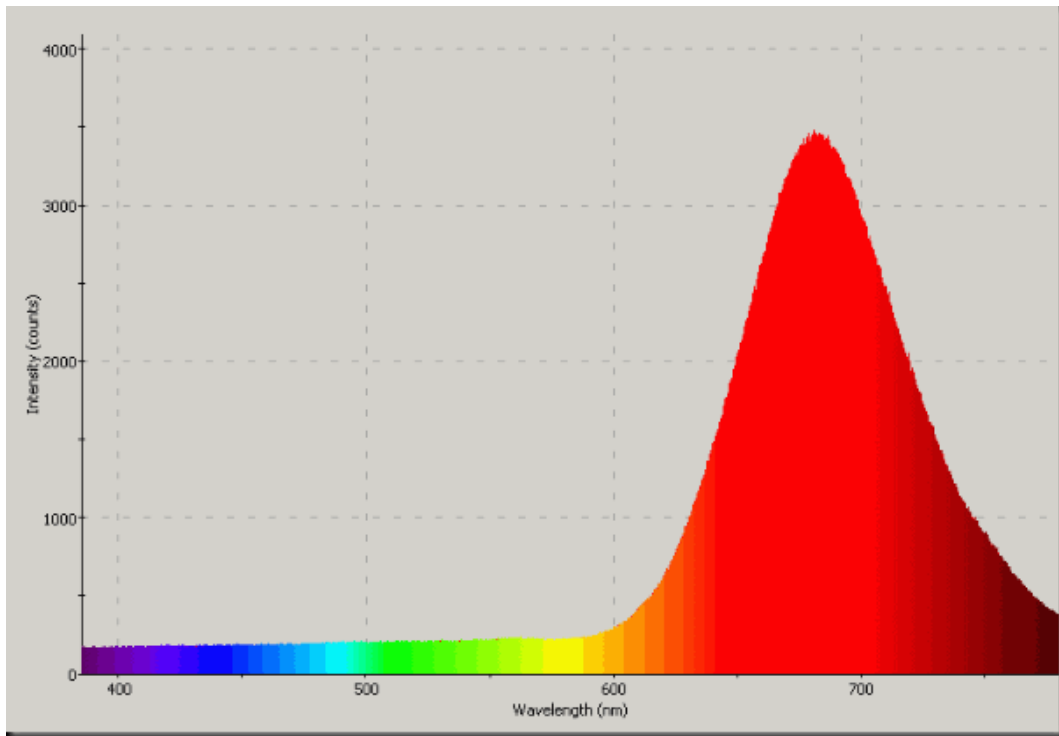
Př. 2 Spektrum žárovky. (Převzato z cheapvegetablegardener.com)



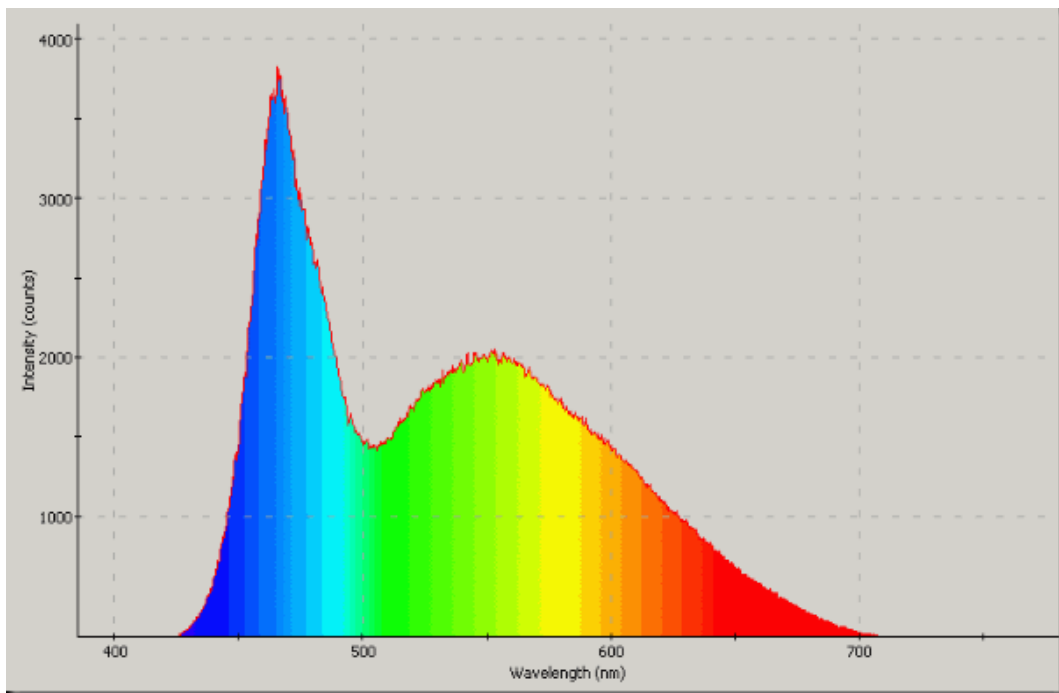
Př. 3 Spektrum fluorescenční žárovky. (Převzato z cheapvegetablegardener.com)



Př. 4 Spektrum modré LED nízké spotřeby (5mm). (Převzato z cheapvegetablegardener.com)

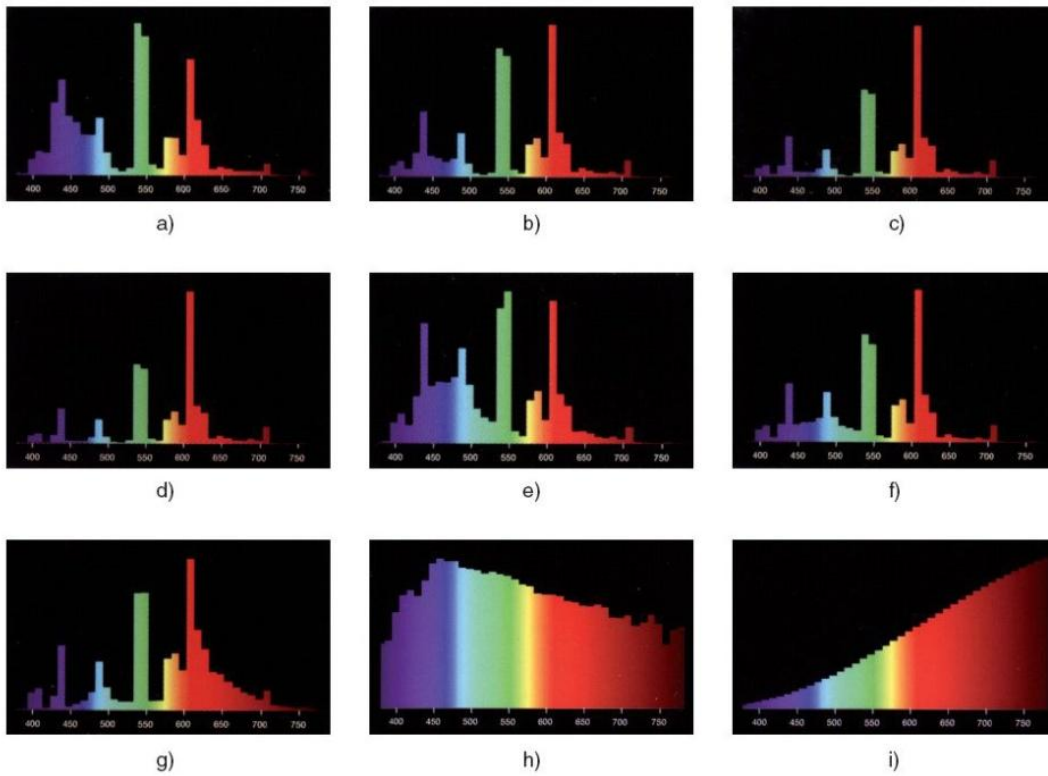


Př. 5 Spektrum červené LED nízké spotřeby (5mm). (Převzato z cheapvegetablegardener.com)



Př. 6 Spektrum bílé LED nízké spotřeby (5mm). (Převzato z cheapvegetablegardener.com)





a – žárovka 865 chladně bílá s třípásmovým lumínoforem	f – žárovka 940 neutrálně bílá de luxe
b – žárovka 840 neutrálně bílá s třípásmovým lumínoforem	g – žárovka 930 teple bílá de luxe
c – žárovka 830 teple bílá s třípásmovým lumínoforem	h – denní světlo D65
d – žárovka 827 typu Interna s třípásmovým lumínoforem	i – běžná žárovka
e – žárovka 965 chladně bílá (denní) de luxe	

Př. 7 Srovnání spektrálního složení různých zdrojů světla (Převzato z earch.cz)