

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Zemědělská fakulta**

**katedra AGROEKOLOGIE**

---



**EKOLOGICKÉ APLIKACE VE SKLENÍKU SE  
SOLÁRNÍMI RASTRY**

**Bakalářská práce**

Autor práce: Martina Leskovcová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc

---

České Budějovice, duben 2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina LESKOVCOVÁ**

Studijní program: **B4131 Zemědělství**

Studijní obor: **Agroekologie**

Název tématu: **Ekologické aplikace ve skleníku se solárními rastry**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Bakalářská práce navazuje na projekt VaV/300/05/03 - Modulární skleník s vysokou účinností přeměny sluneční energie a recyklací vody využívající optické rastry. V návaznosti na měření mikroklimatických a světelných parametrů solárního skleníku budou prováděna dílčí měření a srovnání fotosyntetických a produkčních ukazatelů modelových rostlin, zejména měření fotosyntetické bilance  $\text{CO}_2$  v souvislosti s primární produkcí nadzemní příp. podzemní biomasy, měření a srovnání stavby, rozvoje a mohutnosti asimilačního aparátu apod. Dále měření a srovnání charakteristik vodního režimu - např. intenzity transpirace, transpiračního koeficientu, vodní bilance apod., případně rozdíly v příjmu, akumulaci a využití základních živin.

Postup prací:

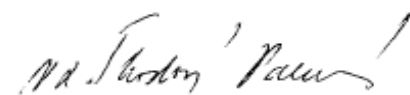
1. Vypracovat literární rešerši problematiky.
2. Provést v opakovaných variantách hodnocení primární produkce nadzemní a podzemní biomasy modelových rostlin.
3. Provést v opakovaných variantách měření a srovnání rozvoje a mohutnosti asimilačního aparátu modelových rostlin.
4. Vyhodnotit fotosyntetickou bilanci  $\text{CO}_2$  u modelových rostlin v návaznosti na měření mikroklimatických a světelných parametrů solárního skleníku.

Rozsah práce: 40 stran textu včetně tabulek  
Rozsah příloh: mapová, graf., fotogr. příloha  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

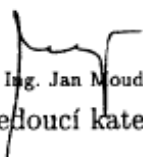
Jirka, V. (ed.) Sluneční energie - Využití ve skleníku s optickými rastry.  
Dykyjová, D. a kol. (1989) Metody studia ekosystémů. Academia Praha.  
Pokorný, J. Ekofyziologie rostlin - materiály k přednášce na PřF UK.  
<http://botany.natur.cuni.cz/cz/studium/ekofyziologie.php>  
Materiály firmy ENKI o.p.s. k projektu VaV - Skleník se solárními rastry.

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.  
Katedra agroekologie  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Brom  
Laboratoř aplikované ekologie  
Ostatní konzultanti: Ing. Vladimír Jirka, CSc.  
Ústav fyzikální biologie  
Datum zadání bakalářské práce: 17. února 2006  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2007

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

  
prof. Ing. Magdalena Hrabánková, CSc.  
děkanka

L.S.

  
prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. února 2006

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci na téma „Ekologické aplikace ve skleníku se solárními rastry“ vypracovala samostatně a při jejím zpracování jsem použila citovanou literaturu.

V Českých Budějovicích 20. 4. 2007 .....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí práce paní doc. RNDr. Emilii Pecharové, CSc. za vedení této práce. Dále pak panu Ing. Jakubovi Bromovi za jeho konzultace a užitečné rady. A také Bc. Lukášovi Dvořákovi za pomoc s grafickou stránkou této práce.

## **Anotace**

Bakalářská práce na téma „Ekologické aplikace ve skleníku se solárními rastry“ se zabývá sledováním rostlin, druhu *Phaseolus vulgaris* L., (tj. fazol obecný), jež byly pěstovány před čtyřmi různě barevnými stěnami v modulárním skleníku se solárními rastry. V závislosti na charakteru odraženého záření od barevných stěn byla předpokládána různá růstová schopnost rostlin v ohledu listové plochy, celkové biomasy, některých růstových parametrů listů a také v intenzitě fotosyntézy.

Statistickým vyhodnocením však nebyl prokázán vliv barevných stěn na velikost listové plochy, hmotnost biomasy a intenzity fotosyntézy. Jediný vliv byl prokázán v případě sledovaných parametrů listů, avšak ne u všech.

**Klíčová slova:** fotosyntéza, primární produkce, biomasa, listová plocha

## **Annotation**

This Bachelor's thesis is concerned with an observation of plants, especially generic beans (*Phaseolus vulgaris* L.), which were grown in front of varicoloured walls of greenhouse with solar rasters four years ago. It was supposed, according to a way of reflected solar radiation from the coloured walls, a different growth ability of plants in regard for leaf areas, a gross biomass, some of growth parameters of leaves and a photosynthetic rate as well.

There was not discovered any possibility of influence of the walls relating to leaf areas, a weight of biomass and the photosynthetic rate. The influence was only set down in some of the parameters of leaves.

**Key words:** photosynthesa, primary production, biomass, leaf area

## Obsah

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD.....</b>                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Cíle práce .....                                     | 2         |
| <b>2. LITERÁRNÍ PŘEHLED .....</b>                        | <b>3</b>  |
| 2.1 Popis modulárního skleníku se solárními rastry ..... | 3         |
| 2.2 Fotosyntéza .....                                    | 4         |
| 2.2.1 Fotosyntetické struktury .....                     | 4         |
| 2.2.2 Fotosyntetická kapacita.....                       | 7         |
| 2.2.3 Faktory ovlivňující fotosyntézu .....              | 8         |
| 2.2.4 Bilance výměny plynů .....                         | 10        |
| 2.3 Produkce biomasy .....                               | 10        |
| 2.3.1 Produkce sušiny .....                              | 11        |
| 2.4 Růst rostlin.....                                    | 14        |
| 2.4.1 Růstové fáze.....                                  | 14        |
| 2.4.2 Rychlost a dynamika růstu.....                     | 15        |
| 2.4.2 Činitelé růstu a vývoje .....                      | 17        |
| <b>3. METODIKA.....</b>                                  | <b>18</b> |
| <b>4. VÝSLEDKY A DISKUSE.....</b>                        | <b>20</b> |
| 4.1 Stanovení velikosti listové plochy .....             | 20        |
| 4.2 Hodnocení primární produkce nadzemní biomasy .....   | 23        |
| 4.3 Stanovení sušiny modelových rostlin .....            | 27        |
| 4.4 Fotosyntetická bilance .....                         | 29        |
| 4.5 Růst rostlin.....                                    | 31        |
| <b>5. ZÁVĚR .....</b>                                    | <b>38</b> |
| <b>6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>                 | <b>40</b> |
| <b>7. PŘÍLOHY.....</b>                                   | <b>42</b> |

# 1. ÚVOD

Rostlinná společenstva prošla evolučním vývojem trvajícím miliardy let. Rostliny, respektive zelené organismy jsou obdařeny obdivuhodnou schopností transformace životně důležité energie Slunce na energii chemickou a tuto energii následně využít ke svému profitu. Tento, v přírodě po miliardy let se vyvíjející a spolehlivě fungující, nesmírně komplikovaný proces nazval člověk jednoduše jako fotosyntéza.

Člověk je na rostlinách závislý více, než si mnozí z nás uvědomují. Nejen že nám poskytují kyslík, který nám umožňuje dýchání, ale rostliny tvoří i nedílnou součást naší každodenní obživy. Pro některé jedince se staly dokonce jedinou složkou potravy.

Lidé pěstují rostliny odnepaměti a i nadále pěstovat budou. V dřívějších dobách však nebylo třeba velké produkce a řízeného pěstování, avšak s neustálým rozvojem civilizace a s tím i rostoucím počtem obyvatel na Zemi, je třeba otázku produkce rostlin, respektive efektivnosti pěstování a využívání začít řešit. Doposud je tento problém řešen zvyšováním odolnosti rostlin proti nejrozličnějším stresorům, dále pak dávkováním nejrozličnějších podpůrných prostředků růstu aj. To je sice jedna z možností, ale při těchto aplikacích je nadměrně zatěžováno životní prostředí, jehož kvalita se s každým kilogramem použitého hnojiva a pesticidů zhoršuje. Lidé si tento fakt ale začínají pomalu uvědomovat, a proto se hledají řekněme alternativní, ale i přesto efektivní způsoby pěstování rostlin. Jedna z možností je pěstování rostlin ve sklenících se solárními rastry a využívat tak efektivněji energii Slunce.

Skleník se solárními rastry má několik nesporných výhod. První výhodou je, že získaná energie slunečního záření v období plného svitu, kdy je energie přebytek, může být uchována a využita v době pozdější, kdy je energie nedostatek. Další výhodou je propustnost rastru pro přímé sluneční záření v zimě, kdy je Slunce nízko na obloze a částečné omezení průchodu slunečních paprsků v létě, kdy je Slunce vysoko na obloze a objekt je přehříván.

Z výše uvedených důvodů jsem se rozhodla této problematice věnovat v rámci své bakalářské práce. Myslím si, že je to problematika velice zajímavá a její praktické aplikace se přímo nabízejí. Zjištěné poznatky může aplikovat v podstatě každý z nás.

V literárním přehledu popisují problematiku fotosyntézy, primární produkce rostlin a růstu rostlin. V empirické části poté prezentuji výsledky výzkumu, jež byl proveden v modulárním skleníku v Třeboni v období od 6. dubna 2006 do 1. prosince

2006. Tato bakalářská práce navazuje na projekt MŽP ČR VaV/300/05/03 – Modulární skleník s vysokou účinností přeměny sluneční energie a recyklací vody využívající optické rastry.

## **1.1 Cíle práce**

- ✦ Vypracovat literární přehled dané problematiky;
- ✦ provést v opakovaných variantách hodnocení primární produkce nadzemní biomasy modelových rostlin;
- ✦ provést v opakovaných variantách měření a srovnání rozvoje a mohutnosti asimilačního aparátu modelových rostlin;
- ✦ vyhodnotit fotosyntetickou bilanci CO<sub>2</sub> u modelových rostlin v návaznosti na měření mikroklimatických a světelných parametrů solárního skleníku.



## **2. LITERÁRNÍ PŘEHLED**

### **2.1 Popis modulárního skleníku se solárními rastry**

Stavba byla financována z projektu VaV/300/05/03 „Modulární skleník s vysokou účinností přeměny sluneční energie a recyklací vody využívající optické rastry. Projekt začal koncem roku 2003, stavba probíhala v období od poloviny roku 2004 do začátku roku 2005. Poté byly dodělávány ještě vnitřní technologie.

Skleník je koncipován jako asymetrický se sedlovou střechou. Střecha má sklon v klasické střešové variantě 35° a ve věžové variantě 15° vždy s orientací hřebene západ – východ. Jižní střecha nebo stěna je zasklena izolačními dvojskly se skleněnými rastry, které tvoří vnější sklo dvojskla s orientací rastru dovnitř.

Zařízení se skládá celkem ze šesti čtyřmetrových stavebních modulů. Od západu tvoří stavbu dva moduly věžové, kdy první z nich je zasklen pasivními odraznými rastry a druhý je osazen fasádovými kolektory SOLARGLAS SFI, pracujícími jako světelné a tepelné žaluzie. Třetí čtyřmetrový modul je technologický. Jeho střecha je pokryta vakuovými kolektory HELIOSTAR 400V a jako jediný není pěstební, ale nachází se pod ním veškerá technologie: akumulční nádrže, vzduchotechnická vytápěcí jednotka, čerpadla, armatury, řídicí jednotka atd. Následují tři pěstební moduly střešní, první z nich je s koncentračním kolektorem s lineární čočkou a s fototermálními absorbéry, druhý hybridní s vodou chlazenými fotovoltaickými absorbéry z monokrystalického křemíku a poslední pasivní s odraznými rastry. Zasklívací i nosné konstrukce jsou shodné a proto se po dokončení experimentů mohou moduly osadit a provozovat vybavené nejefektivnější z odzkoušených a odměřených technologií.

Součástí konstrukce jsou dva systémy větrání. První je přirozený systém – aerace, kdy je otevřeno okno ve spodní části a zároveň proti němu v severní střešní části. Druhý systém je nucený a je zároveň využit pro teplovzdušné vytápění. Z prostoru pod hřebenem skleníku se sbírá ohřátý vzduch a k němu se přes vzduchotechnickou jednotku přimíchává čerstvý venkovní vzduch, nasávaný zemním kanálem (v létě chlazení, v zimě předehřev), který se rozvede do výustek u stěn skleníku. Tento systém vytápění je společný u všech modulů. Jeho výhodou je využití ohřátého vzduchu pod střechou skleníku, kterého se u klasických koncepcí byla snaha zbavit (Anonymus 1).

## 2.2 Fotosyntéza

Fotosyntéza je velmi komplikovaný proces probíhající v zelených částech rostlin, ve specializovaných plastidech, které se nazývají chloroplasty. Princip fotosyntézy spočívá v absorpci energie elektromagnetického záření a v jeho transformaci na energii chemickou (Šebánek et al., 1989). Je to rozhodující proces zisku nové energie živými systémy naší planety. Fotosyntéza zahrnuje jednak fotochemické procesy, které probíhají za přítomnosti světla, a jednak enzymatické procesy nevyžadující světlo (tzv. temnostní reakce). Dále pak procesy difúze, které umožňují výměnu oxidu uhličitého a kyslíku mezi chloroplasty a vnějším vzduchem. Každý z těchto dílčích procesů je ovlivňován vnitřními a vnějšími faktory a může limitovat výtěžek celého procesu fotosyntézy (Larcher, 1988). Podrobným popisem procesu fotosyntézy se zabývají Pavlová, 2005; Hejnák et al., 2005; Pavel, 1983; Šesták, 1971 a další autoři.

Organismy, které mají schopnost fotosyntézy, se nazývají fotoautotrofní. Patří mezi ně nejen eukaryotní organismy, tedy vyšší rostliny, zelené a hnědé řasy, ale i organismy prokaryotní – jednobuněčné sinice a zelené a purpurové bakterie. Ostatní biotické složky ekosystému jsou organismy heterotrofní, které využívají energií bohaté organické látky vytvořené rostlinami (Hejnák et al., 2005).

### 2.2.1 Fotosyntetické struktury

#### Listy

Listy jsou nejvýznamnější morfologickou strukturou rostlin adaptovanou pro zabezpečení celého komplexu procesů souhrnně označovaných jako fotosyntéza. Jsou vývojově přizpůsobené k maximální absorpci slunečního záření a k maximálnímu zkrácení transportních drah při výměně plynů mezi vnitřním prostorem listu a okolní atmosférou (Procházka et al., 1998).

Nejdůležitější regulátory difúzního procesu jsou **průduchy**. Změnami šíře štěrbin průduchů ovládá rostlina současně vstup  $\text{CO}_2$  do listu a uvolňování vodní páry. Počet, rozložení, velikost, tvar a pohyblivost průduchů se mohou lišit podle stanoviště a také mezi jednotlivými rostlinami.

Podle Procházky et al. (1998) je rozhodujícím anatomickým rozměrem šířka štěrbin. Šířka štěrbin při maximálním otevření závisí na tvaru a vlastnostech stěn svěřacích buněk a určuje nejvyšší možnou rychlost průchodu plynů. Mezi nejdůležitější

vnější faktory ovlivňující šířku štěrbin patří vodní potenciál rostliny. Průduchy mohou být plně otevřeny, jen když je turgorový potenciál vysoký. Dalšími faktory jsou vzdušná vlhkost, světlo a teplota. Společné působení vnějších faktorů vede ke střednímu otevření průduchových štěrbin. Průduchy bývají úplně otevřeny jen zřídka a krátce. Z vnitřních faktorů, ovlivňujících otevření průduchové štěrby, jsou nejvýznamnější fytohormony. Prostřednictvím kyseliny abscisové, cytokininů a giberelinů může být regulační systém průduchů přizpůsoben procesům růstu a vývoje a sezónnímu rytmu aktivity rostliny.

Otevírání a zavírání průduchů je dle Larchera (1988) způsobeno rozdílem turgoru svěřacích a přilehlých pokožkových buněk (buněk podpůrné). Jestliže začne turgor svěřacích buněk převyšovat turgor buněk podpůrných, průduchy se uzavírají, pokud tlak není větší, zůstávají zavřeny. Funkce průduchů může být také narušena vnějšími vlivy, jako např. toxickými exkrekty rostlinných parazitů a také např. oxidem siřičitým ( $\text{SO}_2$ ), ozónem ( $\text{O}_3$ ) a některými fungicidy.

Řízení pohybu průduchů není ještě zcela objasněno. Larcher (1988) předpokládá, že pohyb je řízen dvěma ovládacími okruhy, z nichž jeden je spojen s  $\text{CO}_2$  a druhý s  $\text{H}_2\text{O}$ . Ovládací okruh  $\text{CO}_2$  pracuje podle parciálního tlaku oxidu uhličitého v mezibuněčném prostoru. Jeho vliv je více patrný za tmy, když se epidermis dostává do styku se vzduchem o různé koncentraci  $\text{CO}_2$ . Je-li koncentrace  $\text{CO}_2$  vysoká (nad  $150 - 250 \mu\text{l}^{-1}$ ) jsou průduchy zavřené a otevírají se, až když koncentrace poklesne. Na světle tlak  $\text{CO}_2$  v mezibuněčném prostoru u C3 a C4 rostlin klesá, protože je  $\text{CO}_2$  využíván v procesu fotosyntézy. Otevírání průduchů na světle je tedy způsobeno hlavně spotřebou  $\text{CO}_2$ . Ovládací kruh  $\text{H}_2\text{O}$  funguje při nedostatku vody, v listech se tvoří kyselina abscisová, která blokuje osmoregulaci svěřacích buněk. Tím se postupně snižuje stupeň otevření průduchů, takže když začne hrozit vážný nedostatek vody, zůstávají průduchy zavřené.

## **Chloroplasty**

Chloroplast je nejmenší strukturní i funkční jednotkou, která je schopna absorbovat záření, fixovat  $\text{CO}_2$  a zabudovávat uhlík do sacharidů (Procházka et al., 1998). Vnitřní struktura chloroplastu se skládá z dvojité membrány, uzavírající stroma a z lamelárního membránového systému. Ten je tvořen paralelně vedle sebe seřazenými dvojitými lamelami – tzv. tylakoidy (Šebánek et al., 1989). Tylakoidy vytvářejí

sloupkovitá grana a rozbíhají se i do stromatu v podobě plochých či trubkovitých útvarů. Podle umístění je možné tylakoidy rozdělit na granální a stromatické. Chlorofyl je uložen na obou typech tylakoidů, i když na granálních je ve vyšší koncentraci (Hess, 1983). Membránový systém chloroplastů mnohonásobně zvyšuje plochu a vnitřně je velmi složitý.

Na lepší využívání světelné energie slouží pohyby chloroplastů v buňce. Haspelová (1981) tvrdí, že při slabém osvětlení zaujímají polohu blízko buněčné stěny, která leží kolmo na úhel dopadu světla. Při silném osvětlení mohou chloroplasty změnit polohu až o 90°, čímž se zamezí případnému poškození fotooxidací.

### **Fotosyntetické pigmenty**

K fotosyntetickým pigmentům patří chlorofyly a karotenoidy. Jsou umístěny v přesně vymezených částech tylakoidů, s ohledem jak na absorpci světelné energie, tak i vzhledem k termodynamickým zákonitostem. U vyšších rostlin odpovídá všem požadavkům absorpce světelného záření určité vlnové délky především chlorofyl *a*, dále karotenoidy a také chlorofyl *b* (Šebánek et al., 1989). Základní podmínkou fotosyntézy je energetická účinnost světelného záření, které je pigmenty absorbováno. Pro průběh fotosyntetických procesů v zelených rostlinách se využívá radiační energie vlnové délky mezi 380 a 710 nm. Toto fotosynteticky účinné záření (PhAR) je důležitou veličinou v rostlinné ekologii (Larcher, 1988). Dle Richtera (1978) může být světlo rozděleno do spektrálních barev červené, oranžové, zelené, modrozelené, modré a fialové. Každá barva koresponduje s určitou vlnovou délkou. Rekombinací těchto všech barev spektra je produkováno viditelné světlo. Spektrálnímu složení se rostliny mohou přizpůsobovat. U suchozemských rostlin se ukazuje, že záření, v němž převládá červená složka, zvyšuje tvorbu chlorofylu *a*. Je – li však ve větší míře přítomna zelená a modrá složka záření, akumuluje se chlorofyl *b* a karotenoidy (Larcher, 1988).

**Chlorofyly** tvoří asi 1% sušiny zelených částí rostliny a patří mezi nejdůležitější fotosyntetické pigmenty rostlin (Richter, 1978). Základem jejich struktury jsou porfyriny. V současné době je známo 7 typů těchto zelených barviv: chlorofyly *a*, *b*, *c*, *d*, *e* a bakteriochlorofyly *a* a *b*. Nejvíce rozšířený a nejdůležitější je modrozelený chlorofyl *a*, který se vyskytuje u všech vyšších rostlin, řas a sinic. Žlutozelený chlorofyl *b* se

vyskytuje u vyšších rostlin, zelených řas a krásnooček, ostatní chlorofyly se nacházejí pouze v řasách.

Jednotlivé pigmenty se v procesu fotosyntézy opotřebovávají a dochází k jejich neustálé obnově. Denně se obnoví přibližně 5 – 8 % celkového množství chlorofylu.

Chlorofyly absorbují fialové a modré světlo s maximem mezi 440 a 480 nm a oranžovo - červené světlo s maximem mezi 650 a 680 nm. Prakticky vůbec nepohlcují zelenou část spektra (Hejnák et al., 2005).

**Karotenoidy** jsou pomocná fotosyntetická barviva, mající žlutou, oranžovou a červenou barvu. Je známo asi 30 typů a byly zjištěny u všech organismů schopných fotosyntézy. Absorbují světelné záření o vlnových délkách od 400 do 520 nm, tedy fialové a modré až modrozelené. Zachycená světelná energie je potom přenesena na chlorofyly, kde se využije v procesu fotosyntézy (Hejnák et al., 2005).

Karotenoidy jsou izoprenoidy, jejichž základní skelet obsahuje 40 atomů uhlíku. Jsou to buď uhlovodíky - což jsou karoteny, nebo jejich kyslíkaté deriváty, tedy xantofyly. Z karotenů se v listech vyšších rostlin vyskytuje nejčastěji beta – karoten, z xantofylů pak violoxantin či lutein (Procházka et al., 1998).

## 2.2.2 Fotosyntetická kapacita

Dle Larchera (1988) představuje pojem fotosyntetická kapacita rostlin maximální čistou rychlost fotosyntézy rostliny v daném stadiu vývoje a aktivity, při přirozeném obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře a optimálních podmínkách vzhledem ke všem dalším faktorům. Jednotlivé druhy rostliny se mohou svojí fotosyntetickou kapacitou velice lišit. Příčiny specifických rozdílů v kapacitě rostliny čisté fotosyntézy spočívají nejen v účinnosti enzymů a velikosti fotorespirace, ale i v anatomických zvláštностech struktury listů, průchodnosti mezibuněčného systému pro vzduch i tvaru rozložení průduchů.

Fotosyntetická kapacita se také mění v průběhu vývoje. Ve fázi rašení je zpočátku tak nepatrná, že ji převyšuje velmi intenzivní, současně probíhající dýchání, spojené se syntézou nových tkání. Jakmile se však rozvinou listy, vzrůstá kapacita pro intenzivní fixaci CO<sub>2</sub> rychle. Mladé, plně vyvinuté listy tvoří z hlediska fixace CO<sub>2</sub> vrchol a už o několik dnů nebo týdnů později se začíná fotosyntetická kapacita snižovat a klesá postupně se stárnutím asimilačních orgánů.

Fotosyntetická kapacita je dle Langeho et al. (1982) obecně vyšší u C4 rostlin než u rostlin C3.

Fotosyntetická kapacita se liší i v aktivních a klidových obdobích. Během zimního období může fotosyntetická kapacita klesnout až k nule, při současném snížení respirační aktivity. V oblastech s mírnou zimou není redukce fotosyntézy tak pozoruhodná, ale snížení je rovněž patrné (Larcher, 1988).

### 2.2.3 Faktory ovlivňující fotosyntézu

Faktory ovlivňující fotosyntézu můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na vnitřní a vnější faktory. Vlastní proces ovlivňuje dostatečná přítomnost redukčních ekvivalentů a makroergických látek z probíhající části fotosyntézy. Dále má vliv množství asimilátů, rychlost jejich transportu mimo chloroplast, výše odporu kladených do toku CO<sub>2</sub> do listu, stáří listů aj. Tok elektronů a celou energetiku ovlivňuje především množství chlorofylu, přičemž není přímá závislost mezi jejich množstvím a rychlostí fotosyntézy (Šebánek et al. 1989). Z vnějších faktorů se nejvíce projevují vlivy jako světelné záření, koncentrace CO<sub>2</sub>, rychlost difúze CO<sub>2</sub> k listům, teplota, obsah vody v prostředí, dostatečná sorpce minerálních živin aj. (Dvořák et al., 1966). Uvedené faktory nepůsobí vždy jen izolovaně, ale dochází ke složitým interakcím.

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující průběh fotosyntézy patří světlo. Světlo je přirozeně rozhodujícím faktorem energetické bilance. Důležité je jeho spektrální složení i intenzita světla. Nejvýhodnější je oblast červeného světla, dávající sice méně energie, avšak s velkou využitelností. Na intenzitu světla jsou rostliny značně adaptovány. Rozdíly mezi stínomilnými a světlo milnými rostlinami jsou značné (Šebánek et al., 1989). Vysoké hodnoty intenzity světla vedou k porušení permeability cytoplazmy a k nevratné fotooxidaci fotoreceptorů.

Dalším důležitým faktorem je teplota. Teplota ovlivňuje celý pochod asimilace CO<sub>2</sub> zcela jednoznačně. Vzhledem k evoluci rostlin existuje mnoho rozdílných druhů a typů, u nichž je teplota optimální od 0°C (lišejníky) až po 50°C (termofilní sinice). Běžně se optimum pohybuje mezi 20–30°C. U většiny rostlin fotosyntéza ustává již v oblasti několika stupňů nad nulou. Snížování teploty vede k nižší syntéze, až k úplnému zastavení procesů, totéž nastává i při zvyšování teploty nad optimum (Šebánek et al., 1989).

Správný průběh fotosyntézy je také ovlivňován přítomností vody. Voda souvisí s celkovým metabolismem, transportem, činností enzymů a i se sorpcí živin, osmózou aj. Předně je složkou rovnice fotosyntézy, tedy je donorem elektronů pro prvou světelnou reakci (Šebánek et al., 1989). Působení vody na rychlost fotosyntézy je výstižně vyjádřeno hodnotou vodního sytostního deficitu, který je procentickým vyjádřením množství vody, jež rostlině chybí do plného nasycení. Nedostatek vody se projevuje přivřením průduchů a snižuje i rychlost fixace  $\text{CO}_2$  v chloroplastech (Nátr, 2002).

Fotosyntéza je také ovlivňována obsahem  $\text{CO}_2$ , jehož průměrný obsah ve vzduchu se nyní pohybuje kolem 0,0038% a stále se zvyšuje. Zvýšení koncentrace  $\text{CO}_2$  v experimentálních podmínkách vede k pozitivním růstovým efektům. Koncentrace  $\text{CO}_2$  se někdy uměle zvyšuje za účelem zvýšení produkce u skleníkových kultur (Pavlová, 2005).

Proces fotosyntézy by nebyl možný bez zeleného barviva, jež se nazývá chlorofyl. Přítomnost chlorofylu v rostlinách je samozřejmý předpoklad pro fotosyntézu. Obsah chlorofylu (a + b) se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,6 g·m<sup>-2</sup> listové plochy, což odpovídá přibližně 0,5 až 2,0% sušiny listu. Poměr chlorofylu a : b se udává v rozmezí 2,0 až 3,5. Ve většině případů nebyla zjištěna závislost rychlosti čisté fotosyntézy na obsahu chlorofylu. Jeho množství se však stává limitujícím činitelem u listů vyvíjejících se při nedostatku světla, deficitu vody a minerálních živin nebo v důsledku napadení různými chorobami (Nátr, 2002).

Vliv na průběh fotosyntézy má dle Nátra (2002) i obsah minerálních živin. Byl prokázán negativní vliv deficitu na rychlost čisté fotosyntézy následujících prvků: N, P, Mg, S, Ca, Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo. Působení minerálních živin na fotosyntetický aparát je mnohostranné, protože minerální živiny ovlivňují vytváření morfologické a anatomické struktury rostlin a průběh fyziologických procesů a mimoto se podílí na stavbě chloroplastů, kde jsou součástí jednotlivých struktur a složkou enzymů.

Na správný průběh fotosyntézy nepůsobí pouze vnější faktory, ale také faktory vnitřní, jako je např. stáří samotné rostliny či jednotlivých orgánů. Stáří rostliny je významný faktor ovlivňující rychlost fotosyntézy. U mladého rostoucího listu stoupá rychlost fotosyntézy až k určitému maximu, kterého bývá dosaženo ještě před ukončením růstu listu, tj. před vytvořením jeho maximální plochy. Toto období tzv. fotosyntetické dospělosti listu trvá různě dlouho a pak postupně klesá (Nátr, 2002).

## 2.2.4 Bilance výměny plynů

Pro tvorbu organické sušiny rostlinou je rozhodující průměrný celkový denní příjem  $\text{CO}_2$ . Z hlediska časového faktoru je rozhodujícím faktorem pro fixaci uhlíku délka doby, po kterou rychlost příjmu  $\text{CO}_2$  převyšuje rychlost dýchání. Od celkové sumy denního příjmu  $\text{CO}_2$  se musí nejdříve odečíst množství  $\text{CO}_2$  uvolněného listy v noci. Výsledná čistá spotřeba  $\text{CO}_2$  při fotosyntéze za 24 hodin je denní bilance  $\text{CO}_2$  a součet denních bilancí dává roční bilanční  $\text{CO}_2$  (Larcher, 1988).

**Denní bilance** je kladná, jestliže příjem  $\text{CO}_2$  během dne převyšuje noční ztráty, a je tím větší, čím příznivější je průběh faktorů působících během dne na fotosyntézu a čím kratší a chladnější je noc.

**Roční bilance** vykazují tím větší zisk, čím déle byly rostliny schopny dosahovat velkých nebo alespoň malých kladných denních bilancí. Značných výtěžků mohou rostliny dosahovat i při středních denních bilancích, pokud je doba vhodná pro asimilaci dostatečně dlouhá (Larcher, 1988).

Bilance  $\text{CO}_2$  celé rostliny zahrnuje celkovou hrubou fotosyntézu a celkové roční dýchání listů, stonků, květů, plodů a kořenů. Celkovou bilanci  $\text{CO}_2$  lze podle Larchera (1988) vyjádřit matematicky:

$$\text{Celková bilance } \text{CO}_2 = W_L \sum F_g - W_L \sum R_L - W_S \sum R_S - W_R \sum R_R$$

$W_L \sum F_g$  .....celková hrubá fotosyntéza, kde  $l$  je počet denních hodin  
v roce a  $W_L$  je hmotnost listů

$W_L \sum R_L$  .....celkové roční dýchání listů

$W_S \sum R_S$  .....celkové roční dýchání stonků, květů a plodů

$W_R \sum R_R$  .....celkové roční dýchání kořenů

## 2.3 Produkce biomasy

### Základní pojmy:

- **Biomasa** je hmotnost sušiny živých organismů (včetně jejich neživých částí, tj. opad, stařina) v daném čase na určitém stanovišti. (Dykyjová, 1989)



- **Primární produkci** rozumíme vytvořenou nadzemní i podzemní biomasu (rostliny, porostu) za jednotku času na jednotku plochy, je výsledkem fotosyntetické asimilace CO<sub>2</sub> a řady dalších faktorů (intenzita respirace, vodní režim) (Anonymus 2).
- **Hrubá produkce** je dána teoreticky celkovou produkcí sušiny, včetně té, která byla za stejnou dobu prodýchána nebo jinak vydána, a té, která byla ztracena odumřením nebo opadem částí rostlinných orgánů. (Šesták et al., 1966).
- **Čistá produkce** je tvořena tím množstvím sušiny, které zůstává po odečtení podílů, které byly rostlinou ztraceny prodýcháním a jiným výdejem i opadem odumřelých částí (Šesták et al., 1966).
- **Výnos** je produkce biomasy, pro kterou byl daný druh nebo porost kultivován (Anonymus 2).

### 2.3.1 Produkce sušiny

Asimilovaný uhlík, který není prodýchán, zvyšuje hmotnost sušiny rostliny a může být použit pro růst nebo pro vytváření zásob. Akumulace uhlíku se tedy projevuje zvyšováním hmotnosti rostlin, kterou můžeme přímo měřit vážením sklizených a usušených rostlin. Zvětšování biomasy rostlin, způsobené hromaděním produktů asimilace, se nazývá produkce sušiny.

Rychlost produkce, nebo též produktivita, vyjadřuje přírůstek sušiny za jednotku času v produkčním období. Rychlost produkce jednotlivých rostlin se vyjadřuje pomocí **čistého výkonu asimilace** (NAR) nebo **měrné rychlosti růstu** (RGR) (Larcher, 1988).

Mezi další ukazatele růstové analýzy patří poměrná olistěnost, pokryvnost listoví, specifická listová plocha a poměrná listová hmotnost.

#### Čistý výkon asimilace NAR

NAR je podle Larchera (1988) přírůstek hmotnosti sušiny, v časovém okamžiku vztažený na asimilační plochu, jejíž fotosyntetická aktivita přírůstek způsobila. NAR lze vypočítat dle uvedené rovnice (2.1).

$$NAR = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{A} \quad [g \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}] \quad (2.1)$$

$dW$  ..... přírůstek hmotnosti sušiny [g]

$dt$  ..... časový okamžik [den]

$A$  ..... asimilační plocha [m<sup>2</sup>]

Uvedený vzorec vyjadřuje okamžitou rychlost asimilace za předpokladu, že listová plocha zůstává během akumulace hmoty konstantní. Ve skutečnosti však celková listová plocha neustále vzrůstá. Pro zvětšující se listovou plochu definoval průměrný čistý výkon asimilace Watson (1974) v rovnici (2.2).

$$NAR = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \cdot \ln \frac{A_2/A_1}{t_2 - t_1} \quad [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}] \quad (2.2)$$

$W_1$  ..... hmotnost sušiny v čase  $t_1$  [g]

$A_1$  ..... listová plocha celé rostliny v čase  $t_1$  [m<sup>2</sup>]

$W_2$  ..... hmotnost sušiny v pozdějším čase  $t_2$  [g]

$A_2$  ..... listová plocha v pozdějším čase  $t_2$  [m<sup>2</sup>]

### Měrnou rychlost růstu RGR

Měrnou rychlost růstu vyjadřuje Nátr (2000) jako přírůstek hmotnosti sušiny za určitý časový interval, vztažený na průměrnou hodnotu sušiny během uvedeného intervalu. Matematicky lze vyjádřit rovnicí (2.3)

$$RGR = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{W} \quad [\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}] \quad (2.3)$$

$dW$  ..... přírůstek hmotnosti sušiny [g]

$dt$  ..... časový okamžik [den]

$W$  ..... celková hmotnost sušiny [g]

### Poměrná olistěnost (LAR)

Poměrnou olistěností rozumíme poměr listové plochy k celkové hmotnosti sušiny. Je to důležitá hodnota, která udává relativní mohutnost jedné z nejpodstatnějších složek celkového fotosyntetického aparátu, listové plochy (Šesták et al., 1966). Počítá se dle rovnice (2.4).

$$LAR = \frac{A}{W} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.4)$$

A.....listová plocha [ $\text{cm}^2$ ]

W.....celková hmotnost sušiny [g]

### Specifická listová plocha (SLA)

Specifická listová plocha je vyjádřena jako listová plocha vztažená na sušinu listů.

Tento vztah vyjadřuje rovnice (2.5). (Anonymus 2)

$$SLA = \frac{A}{W_L} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.5)$$

$W_L$ .....hmotnost sušiny listů [g]

A.....listová plocha [ $\text{cm}^2$ ]

### Poměrná listová hmotnost (LMR)

Poměrnou listovou hmotnost vyjadřujeme jako poměr sušiny listů vůči celkové sušině rostliny, dle uvedené rovnice (2.6) (Anonymus 2).

$$LMR = \frac{W_L}{W} \quad [\text{g} \cdot \text{g}^{-1}] \quad (2.6)$$

$W_L$  .....hmotnost sušiny listů [g]

W .....celková hmotnost sušiny [g]

### Pokryvnost listoví (LAI)

Pokryvnost listoví vyjadřuje vztah mezi listovou plochou porostu a rozlohou půdy která tomuto porostu připadá. Optimální LAI pro maximální výkon může být dobrým kritériem pro určení správného způsobu pěstování kulturních rostlin (Šesták et al., 1966). Vzorec pro výpočet LAI uvádí Rychnovská (1978) jako rovnici (2.7).

$$LAI = \frac{A}{P} \quad [\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.7)$$

A ..... listová plocha [ $\text{cm}^2$ ]

P ..... plocha porostu [ $\text{m}^2$ ]

Nejvyšší i průměrné hodnoty rychlostí čisté asimilace rostlin závisí v první řadě na morfologické a fyziologické povaze rostlin. Nejrychleji se zvětšuje biomasa bylin, zhruba desetkrát pomaleji se zvětšuje biomasa dřevin a nejpomaleji narůstá biomasa CAM rostlin. Na produkci sušiny působí také faktory prostředí, které řídí výměnu  $\text{CO}_2$  a bilanci uhlíku. Produkce sušiny má podobně jako fotosyntéza teplotní optimum (Larcher, 1988).

## **2.4 Růst rostlin**

Růst je jedním z nejobecnějších projevů života obecně a tedy i rostlin. Znamená nevratné přibývání na hmotnosti a objemu. Souvisí s dělením buněk, jejich zvětšováním a diferenciací. Tyto fáze růstového procesu nejsou však přesně odděleny a mohou v pletivech probíhat současně nebo se mohou překrývat (Laštůvka, 1987). Časový sled růstových a diferenciačních změn lze podle Hejnáka et al. (2005) shrnout pod pojem vývoj.

### **2.4.1 Růstové fáze**

U vyšších rostlin je růst výsledkem zvětšování počtu buněk a jejich objemu a hmotnosti. Růst je vázán na specializovaná pletiva s růstovou schopností – meristémy. Již v embrionálním stavu se vyčleňují dva typy primárních meristémů, jeden pro růst kořenů a druhý pro růst nadzemních částí. Tyto meristémy jsou v aktivním stavu ve vrcholových částech rostliny po celý její život. U listů a plodů jsou dělení a zvětšování objemu buněk odděleny spíše časově, takže v rané etapě tvorby těchto orgánů převažuje dělení buněk, v pozdější zvětšování jejich objemu. U rostlinné buňky lze rozlišit tři růstové fáze: fázi zárodečnou (embrionální), fázi prodlužovací (prolognační), fázi rozlišovací (diferenciační).

V zárodečné fázi se tvoří nepřímým dělením buněk meristematického pletiva nové buňky. Dělení buněk je prvním růstovým projevem. V dělicích se buňkách dochází

k několika pravidelně se opakujícím změnám, které označujeme jako fáze buněčného cyklu. Jde o interfázi a mitózu (Hejnák et al., 2005).

Buňky v prodlužovací fázi přijímají velké množství vody a mohou svůj objem zvětšit 20 – 50krát. V buňce se tvoří vakuoly, které zatlačí cytoplazmu k buněčné stěně. Prodlužovací fáze je soustředěna do určitých oblastí nazývaných růstové zóny. U stonku a kořenů se tato zóna nachází většinou těsně v blízkosti vrcholových meristémů.

Podle Laštůvky (1987) následuje rozlišovací fáze obvykle po prodlužovací fázi. V této fázi se dokončuje výstavba struktur a dochází k funkční specializaci buňky. Diferenciace formuje jednotlivé buňky, např. buňky pletiv s funkcemi krycími, základními a vodivými a tvoří se zároveň celé orgány.

## **2.4.2 Rychlost a dynamika růstu**

Rychlost a dynamika růstu u jednoletých rostlin je odlišná od rychlosti a růstu rostlin vytrvalých. Jednoleté rostliny musí podle Larchera (1988) umět co nejlépe využívat krátké časové období, v němž jsou vhodné podmínky pro růst, kvetení a tvorbu plodů. Tyto rostliny musí využívat asimiláty tak, aby vytvořily potřebná asimilační pletiva v nejkratším možném čase. Takto se chovají, i když mohou k růstu využít delší časové období. Princip jejich růstu spočívá v tom, že nejdříve využívají velkou část asimilátů ke tvorbě listů, které se pak podílejí na produkci a zvyšují příjem CO<sub>2</sub> rostlinou. Zatímco se přednostně rozvíjejí fotosynteticky aktivní orgány, hmotnost těch částí rostliny, které jen dýchají, zůstává malá, čímž se celková bilance uhlíku zlepšuje. Ve fázi kvetení se systém rozdělování asimilátů mění ve prospěch reprodukčních orgánů, které přijímají tak velký díl asimilátů, že všechny ostatní části rostliny dostávají méně, než potřebují k vlastnímu zachování – starší listy se i svrašťují. V důsledku rozdělování asimilátů se v průběhu životního cyklu těchto rostlin značně mění podíly listů, stonků, kořenů a reprodukčních orgánů na celkové hmotnosti rostliny.

V podmínkách příznivého prostředí, zajišťuje tento způsob ukládání produktů asimilace bujný růst a nadměrnou plodnost. Pokud jsou ale podmínky pro život rostliny méně vhodné, zvláště při nedostatku vody, nebo na chudých půdách, musí rostlina budovat rozsáhlý kořenový systém, který se však vytváří na úkor rozvoje listové plochy, což vede k menšímu fotosyntetickému výtěžku a ke snížení konkurenční schopnosti.

Jednoleté rostliny jsou tedy přizpůsobeny zejména k využívání vhodných podmínek a méně než jiné rostliny snášejí delší období nepříznivých podmínek.

Oproti tomu vytrvalé rostliny, nebo-li byliny, které žijí několik let, obvykle nejdříve procházejí vývojem podobným jednoletých rostlin. Po vytvoření vegetativních orgánů ukládají asimiláty do zásoby, než začnou kvést. Ke konci prvního vegetačního období ukládají přebytky asimilátů do stonků a především do podzemní části rostliny, které se mohou vyvinout v mohutné zásobní orgány. Vytrvalé byliny kvetou až tehdy, když mají dostatek zásob asimilátů na to, aby se kvetením nevyčerpaly. Asimiláty, uložené v jednom roce, jsou v dalším roce využity nejprve pro růst nadzemních částí rostliny. Jakmile je rostlina schopna kvést a má-li dostatek živin, mají květy a plody v zásobování asimiláty přednost před jejich ukládáním do vegetativních zásobních orgánů. Před koncem vegetační sezóny jsou asimiláty opět přednostně ukládány do podzemních částí rostliny.

Vytrvalé rostliny mají výhodu v místech, kde období vhodné pro produkci není dost dlouhé, aby umožnilo dostatečnou akumulaci asimilátů pro tvorbu květů a plodů, a také tam, kde rostliny kvetou tak časně, že nově rostoucí listy nemohou zajistit potřebné zásoby asimilátů. Společnou vlastností vytrvalých rostlin je přítomnost zásobních orgánů, jako jsou oddenky, hlízy, ztloustlé kořeny a cibule. Tyto druhy mají navíc často rozsáhlý kořenový systém, takže hmotnost sušiny podzemních částí činí dvakrát a někdy až čtyřikrát více hmotnosti sušiny nadzemních částí (Larcher, 1988).

Rostlinné druhy, jako je například *Phaseolus vulgaris* L., který byl pěstován pro získání dat k této bakalářské práci, je rostlina jednoletá. Patří navíc do skupiny lián, neboli popínavých rostlin. Popínavé rostliny jsou zvláštní skupinou rostlin, vzhledem k tomu, že nejsou schopny samy vyrůst vzhůru, vždy potřebují oporu, po které jsou schopny vyšplhat v některých případech až do výšky 20 metrů. V přírodě takovou oporu většinou zajišťují jiné rostliny, v zahradách a sklenících jsou to různé opěry, zídky nebo drátky či provázky. Využití lián ve výsadbách je velmi široké, protože poskytují mnoho výhod. Jednou z nich je nepatrná půdorysná plocha v porovnání s mohutným objemem a vzrůstem těchto rostlin (Anonymus 3). Dalším, rozhodně nezanedbatelným plusem, je jejich rychlý růst.

## 2.4.2 Činitelé růstu a vývoje

Činitele růstu a vývoje rostlin můžeme rozdělit do dvou základních skupin, a sice na činitele vnitřní a činitele vnější.

Do vnitřních činitelů zařazujeme látky, které regulují růstové a vývojové procesy rostlin. Existují přirozené růstové regulátory i syntetické regulátory. Přirozené regulátory dále dělíme na fytohormony a další látky s regulační aktivitou.

Fytohormony definuje Hejnák et al. (2005) jako organické sloučeniny, které jsou účinné ve velmi nízkých koncentracích. Vyvolávají biochemické, fyziologické a morfologické reakce buď přímo v místě svého vzniku, nebo v místech, kam jsou transportovány vodivými pletivy či difúzí. V současné době je nejvíce poznatků o fytohormonech tří skupin označovaných jako auxiny, gibereliny a cytokininy. K rozšířeným fytohormonům ještě patří kyselina abscisová a etylén. Podrobnosti o problematice fytohormonů uvádějí Pavlová, 2005 a Procházka et al., 1998.

Mezi vnější činitele řadíme především teplotu a záření.

Záření je pro rostlinu zdrojem energie pro fotosyntézu a metabolické, růstové a vývojové procesy. Rostliny ovlivňuje svou intenzitou, spektrálním složením a periodicitou. Viditelné záření je nejdůležitějším faktorem prostředí ovlivňujícím růst a vývoj rostlin. Se stoupající intenzitou dopadajícího světelného záření se až do určité mezní hranice zvyšuje rychlost fotosyntézy, tvorba asimilátů a zprostředkovaně i růst. Vysoká intenzita záření brzdí prodlužovací růst, je podporován růst kořene na úkor nadzemní části. Naopak při nižší intenzitě záření je podporován růst nadzemní části. Na růstových a vývojových procesech v rostlině se z celého spektra nejvíce podílí záření modré a červené. Modré podporuje především vegetativní růst, červené záření v kombinaci s modrým iniciuje kvetení (Hejnák et al., 2005).

Kromě záření je dalším důležitým vnějším činitelem již zmiňovaná teplota. Pro růst každé rostliny jsou důležité tzv. kardinální body: teplotní minimum optimum a maximum. V teplotním minimu se růst zastavuje, v optimu roste rostlina nejrychleji a v maximu se opět růst zastavuje. Růst naprosté většiny rostlin probíhá jen v poměrně úzkém teplotním rozmezí zhruba od 5 do 40°C. Teplotní minimum pro růst kořenů zpravidla leží níže než teplotní minimum pro růst nadzemní části téže rostliny. Na teplotě je závislá též rychlost fotosyntézy, dýchání a transpirace, příjem živin z půdy aj. To vše ovlivňuje růst rostliny (Hejnák et al., 2005).

### 3. METODIKA

Všechna měření pro získání dat byla prováděna na rostlinách druhu *Phaseolus vulgaris* L., tj. fazol obecný (viz. obrázek vpravo). Rostliny byly pěstovány před stěnou, která byla natřená v pruzích barvou červenou, modrou, oranžovou a bílou. Měření a sledování růstu se provádělo ve dvou pokusných cyklech. První pokusný cyklus byl proveden na jaře roku 2006 a druhý cyklus na podzim roku 2006.



V prvním pokusném cyklu byly rostliny pěstovány po dvou rostlinách na jednom provázku. Před stěnu byly rostliny dány ve dvou řadách. Rostlin bylo celkem 66. Pro pěstování byla použita pnoucí forma fazolu obecného, žlutoluská odrůda. První cyklus začal výsevem rostlin 6. dubna 2006 a od 17. května do 14. června se provádělo měření v intervalu zhruba sedmi dní. U každé rostliny byla měřena celková výška a počet vyvinutých listů. Ve dnech 21. - 23. června byla provedena destruktivní analýza, při které byly jednotlivé rostliny rozděleny na etáže po 0,5 metru. Každá etáž byla hodnocena zvlášť a byla u ní měřena velikost listové plochy pomocí skeneru a softwaru ScionImage for Windows. Dále se v každé etáži vážila čerstvá biomasa. Zvlášť byly rozděleny a zváženy listy, stonky a plody a zapsána jejich hmotnost pro následné vyhodnocení.

Ve druhém cyklu byly pěstovány rostliny ve třech řadách, tentokrát každá zvlášť na jednom provázku. Rostlin bylo celkem 60. Opět byl pěstován fazol obecný forma pnoucí, tentokrát odrůda melírovaná. Rostliny byly vysety 7. září 2006. Opět se sledoval růst v intervalech sedmi dní. Sledování a měření rostlin začalo 25. září a pokračovalo do 20. listopadu 2006. Kromě výšky rostlin a počtu vyvinutých listů byly měřeny růstové parametry u třech listů na každé rostlině. Měření probíhalo vždy na stejných listech, na listu děložním, na listu ve výšce 1 metru a ve výšce 2 metrů. U každého listu byla změřena délka řapíku, délka listu a také délka a šířka jednotlivých lístků. Ve dnech 29. listopadu a 1. prosince byla stejným způsobem jako v prvním cyklu, provedena destruktivní analýza. Měřila se velikost listové plochy po jednotlivých etážích 0,5 m a vážila čerstvá biomasa pro listy, stonky a plody po jednotlivých etážích 0,5 m. Navíc byla u osmi náhodně vybraných rostlin, z nichž vždy dvě byly pěstovány před stejně



barevnou stěnou, zvážena sušina. Biomasa rostlin byla sušena při 85 °C po dobu 12 hodin. Dle Dykyjové (1989) je 85 °C teplota, při níž nedochází k rozpadu substancí. Poté byla sušina zvážena na laboratorních předvážkách. Sušina byla vážena zvlášť pro listy, stonky a plody v každé etáži po 0,5 m. V termínu 8. listopadu 2006 bylo provedeno měření intenzity fotosyntézy pomocí porometru Li 6400 System (LiCOR, Nebraska USA). V každé barevné skupině byla intenzita fotosyntézy změřena 5krát zhruba po půl hodině. Při měření intenzity fotosyntézy byly zároveň měřeny faktory prostředí jako je teplota listu, teplota vzduchu, konduktivita, intenzita transpirace, vstup a výstup H<sub>2</sub>O v listu, vstup a výstup CO<sub>2</sub> v listu a záření.

Statistické hodnocení dat bylo provedeno pomocí statistického balíku STATISTICA 6.0 CZ (StatSoft, Inc. 2001). Pro hodnocení rozdílů mezi sledovanými skupinami byla použita analýza variance (ANOVA). V případě sledovaných růstových vlastností byla použita ANOVA pro opakovaná měření bez užití faktorů (pouze 1 stupeň volnosti) a následně byl použit Tukeyův HSD post-hoc test. Pro statistické porovnání výsledků destruktivního odběru biomasy (hmotnost biomasy analyzovaných částí rostlin, listová plocha) byla použita jednocestná ANOVA. Pro vyhodnocení měření intenzity fotosyntézy a faktorů na ní působících byla použita analýza kovariance (ANCOVA). Všechny statistické testy byly hodnoceny na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

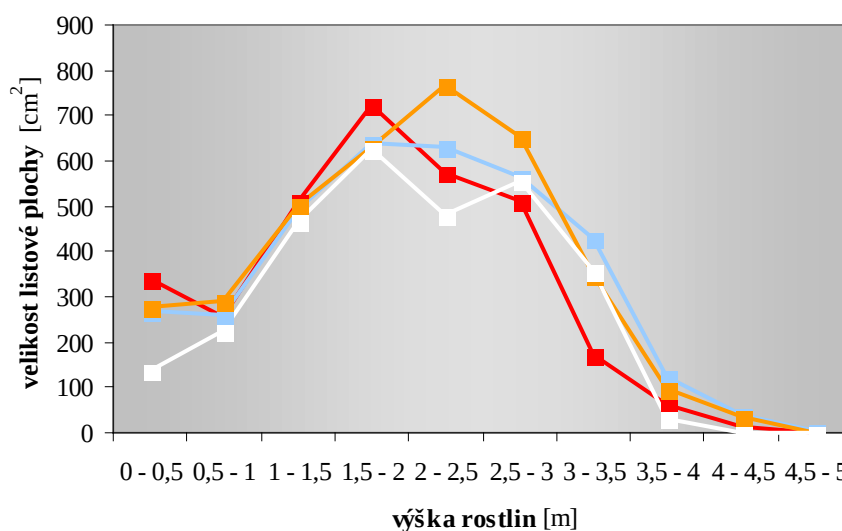
## 4. VÝSLEDKY A DISKUSE

### 4.1 Stanovení velikosti listové plochy

Velikost listové plochy je důležitý ukazatel při sledování růstu a vývoje rostlin. Hypotézou v případě listové plochy byla předpokládaná schopnost vytvořit různě velkou listovou plochu v jednotlivých barevných skupinách, vlivem odraženého záření od okolních různě barevných ploch.

Listová plocha byla stanovena v obou pokusných cyklech. Velikost listové plochy byla hodnocena v každé etáži po 0,5 metru a také celková listová plocha pro danou barevnou skupinu.

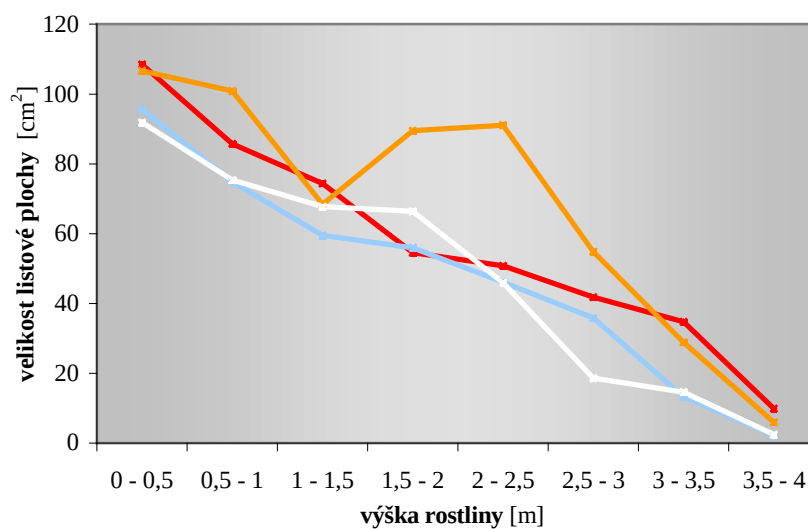
Rozložení listové plochy v jednotlivých etážích v prvním pokusném cyklu znázorňuje graf (Obr. 1). V každé z barevných skupin jsem z hodnot listové plochy vypočítala aritmetický průměr pro každou etáž. Listová plocha je ve všech barevných skupinách největší ve výšce 1,5 – 3,5 metru, tedy ve čtvrté až sedmé etáži. Mimoto bílá skupina vykazuje pokles listové plochy ve výšce 2 – 2,5 metru. Celkově lze konstatovat, že největší listová plocha je zhruba v prostřední části rostlin. Dolní část a horní část rostlin má listovou plochu výrazně menší.



**Obr. 1.** Průměrná velikost listové plochy [cm<sup>2</sup>] v jednotlivých etážích [0,5m] (první cyklus)

Druhý cyklus je znázorněn v grafu (Obr. 2). Oproti prvnímu cyklu je zde značný rozdíl v rozložení listové plochy. Rostliny si v tomto cyklu vytvořily největší listovou plochu ve výšce okolo 0,5 metru, což odpovídá první a druhé etáži. Poté velikost listové

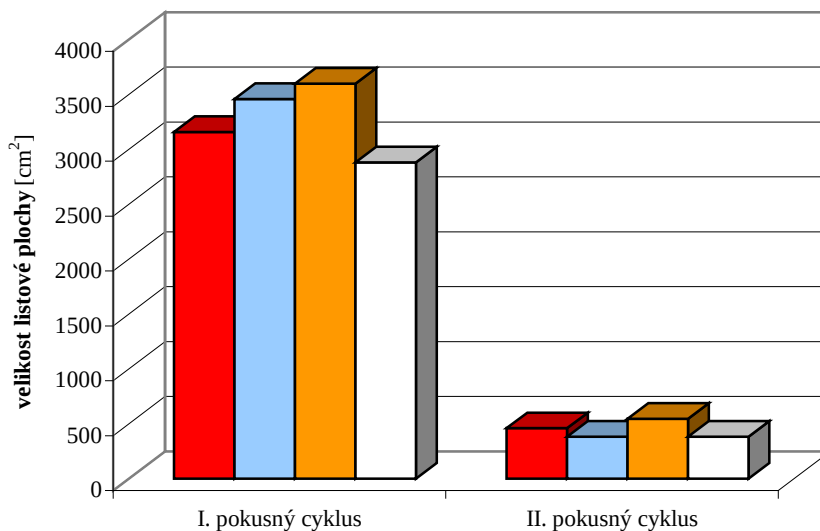
plochy pozvolna klesala. Jediná oranžová skupina vykazuje zvýšení ještě ve výšce 1,5 – 2,5 metru. Nahromadění velkého množství listové plochy v dolní části rostlin bylo pravděpodobně způsobeno určitým zastíněním rostlin. Rostliny byly pěstovány ve třech řadách a později si nejspíše začaly stínit v horních částech a proto si vytvořily větší listovou plochu v dolní části. Zvýšení listové plochy v dolní části jsem zpozorovala jen u některých rostlin, avšak ve všech barevných skupinách.



**Obr. 2.** Průměrná velikost listové plochy [cm<sup>2</sup>] v jednotlivých etážích [0,5 m] (druhý cyklus)

V dalším grafu (Obr. 3) je zhodnocena celková listová plocha pro dané barevné skupiny. Pro každou skupinu jsem vypočítala aritmetický průměr. V prvním cyklu pokusů byla listová plocha přibližně 8krát větší, což bylo zřejmě způsobené několika faktory. Největší vliv mělo pravděpodobně technické zařízení skleníku. Při pěstování rostlin v prvním cyklu nebyly ve skleníku ještě instalovány absorbéry, takže veškerá sluneční energie šla přímo do skleníku. Při druhém cyklu pěstování rostlin již byly absorbéry do skleníku instalovány a rostliny neměly k dispozici tolik sluneční energie. Dalším faktorem mohlo být použití jiné odrůdy fazolu obecného a také jiná technika pěstování. V prvním cyklu byly rostliny pěstovány volně v půdě, v druhém byl růst rostlin omezen ponecháním rostlin v květináčích. Jistý vliv mohly mít také někteří škůdci a choroby, které se ve skleníku v druhém cyklu vyskytly.

Co se týče průměrné celkové velikosti listové plochy, vede mezi barevnými skupinami v obou cyklech skupina oranžová. Druhou největší listovou plochu měla v prvním cyklu skupina modrá a v druhém cyklu skupina červená. Nejmenší listovou plochu měla v obou cyklech bílá skupina. Bílá skupina mohla být, nejen v ohledu listové plochy, ale i v ohledu hmotnosti biomasy, ovlivněna jejím umístěním. Byla umístěna v rohu skleníku a rostliny byly celkově menší a slabší než rostliny v jiných skupinách.



**Obr. 3.** Srovnání celkové průměrné velikosti listové plochy [cm<sup>2</sup>] v obou cyklech pokusů

Rozdílnost celkové velikosti listové plochy v jednotlivých barevných skupinách byla hodnoceno také statisticky. Pro vyhodnocení byla použita jednocestná ANOVA. V případě listové plochy nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl ve schopnosti rostlin vytvořit různě velkou listovou plochu v závislosti na okolních různě barevných plochách. Barevné skupiny mezi sebou nevykazují rozdíly. Může to být způsobeno malým počtem dat použitých pro statistiku. Vyhodnocení je uvedeno v tabulce I.

**Tabulka I.** Statistické hodnocení (jednocestná ANOVA) velikosti listové plochy [cm<sup>2</sup>] pro jednotlivé barevné skupiny v obou pokusných cyklech

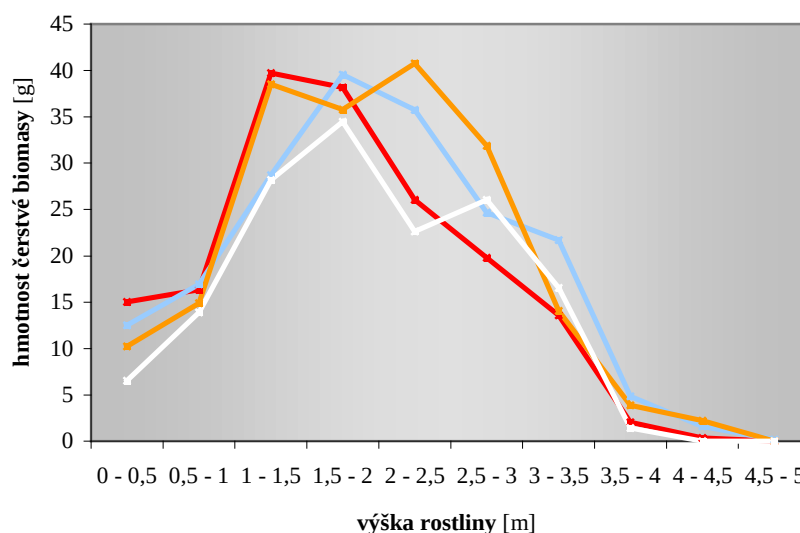
|                           | sv | F      | p        | n |
|---------------------------|----|--------|----------|---|
| <b>I. pokusný cyklus</b>  | 3  | 0,2414 | 0,866677 | 8 |
| <b>II. pokusný cyklus</b> | 3  | 1,7828 | 0,170271 | 9 |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků

## 4.2 Hodnocení primární produkce nadzemní biomasy

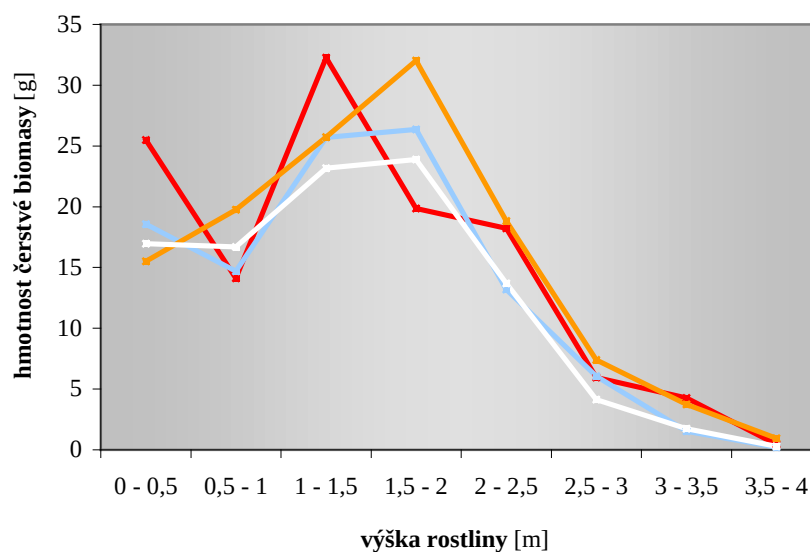
Stejně jako u listové plochy byla u vytváření biomasy předpokládána hypotéza odlišné hmotnosti biomasy v jednotlivých barevných skupinách, vlivem odraženého záření od okolních různě barevných ploch.

V následující části je zhodnocena průměrná čerstvá biomasa po etážích po 0,5 metru. Hodnocení biomasy po etážích v prvním pokusném cyklu je zobrazeno v grafu (Obr. 4). Všechny barevné skupiny mají největší hmotnost biomasy ve výšce 1 – 2,5 metru, to znamená třetí až pátá etáž. Nejmenší hmotnost biomasy se vyskytuje v posledních třech etážích, to znamená ve výšce 3,5 – 5 metru.



**Obr. 4.** Průměrná hmotnost celkové čerstvé biomasy [g] v jednotlivých etážích [0.5 m] (první cyklus)

Druhý cyklus je znázorněn v grafu (Obr.5). Modrá, oranžová a bílá skupina mají maximum hmotnosti biomasy ve výšce 1,5 – 2 metru. Na rozdíl od těchto skupin má červená skupina biomasu rozloženou jiným způsobem. Poměrně velké množství má nahromaděné do výšky 0,5 metru, poté biomasa výrazně klesá a ve výšce 1 metru opět stoupá. Po tomto zvýšení už hmotnost biomasy víceméně klesá.

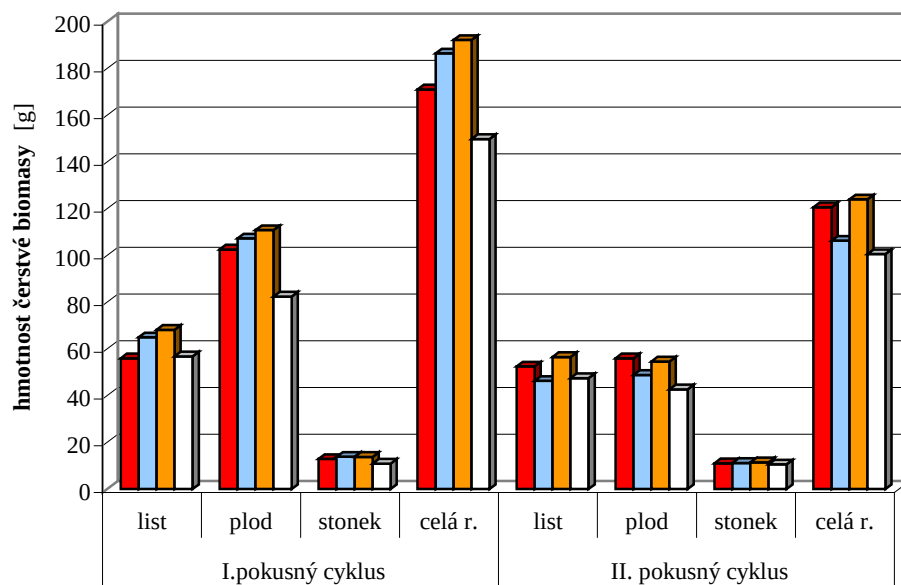


**Obr.5.** Průměrná hmotnost celkové čerstvé biomasy [g] v jednotlivých etážích [0.5 m] (druhý cyklus)

Celkovou biomasu jsem stejně jako listovou plochu vyhodnotila aritmetickým průměrem pro danou barevnou skupinu. Celková biomasa je uvedena v grafu (Obr. 6). Mezi oběma cykly je patrný rozdíl v množství celkové čerstvé biomasy. V prvním cyklu vytvořily rostliny větší množství biomasy ve všech barevných skupinách v případě listů, stonků, plodů i celé rostliny než v druhém cyklu. Nejvíce je rozdíl patrný v hmotnosti biomasy plodů. První cyklus je z hlediska produkce plodů výrazně úspěšnější, což však může být ovlivněno provedením destruktivní analýzy v dřívějším čase u druhého cyklu a zejména použitím jiné odrůdy fazolu obecného. Rostliny měly v obou cyklech jiné světelné a teplotní podmínky, první cyklus byl pěstovaný na jaře při větších průměrných teplotách a druhý na podzim. Teplotní a světelné poměry mají zásadní vliv na výnos rostlin. Fazol obecný je dle Šnobla a Pulkrábka et al. (2005) rostlina teplomilná. Teplotní podmínky jsou tedy pro růst těchto rostlin důležité.

Mezi barevnými skupinami je také vidět jistý rozdíl. V prvním cyklu je největší množství biomasy listů, plodů, stonků a celé rostliny v oranžové skupině. Druhé největší množství biomasy vytvořila skupina modrá, poté červená a naposledy bílá. V druhém cyklu se stejně jako v prvním cyklu vytvořilo největší množství biomasy v oranžové skupině pro listy, stonky i pro celou rostlinu, ale plody mají největší hmotnost ve skupině červené. Po oranžové skupině následuje červená skupina, poté modrá skupina a nejmenší biomasu vytvořila opět skupina bílá.

Souhrnně lze označit jako nejproduktivnější skupinu v obou cyklech oranžovou, po oranžové následují červená s modrou a jako poslední je skupina bílá.



**Obr. 6.** Průměrná hmotnost celkové čerstvé biomasy [g] pro listy, plody, stonky a celou rostlinu.

Vzhledem k tomu, že biomasa byla stanovena po jednotlivých etážích zvlášť pro všechny rostlinné části, je možné zhodnotit, jak si rostlina ukládá biomasu listů, stonků a plodů v závislosti na výšce rostliny. Hodnoty hmotností jsem pro každou etáž a barevnou skupinu vypočítala aritmetickým průměrem.

Listy jsou v obou cyklech rozloženy zcela rozdílně, v barevných skupinách však rozdíly nejsou velké. Oba cykly mají velmi podobný průběh jako rozložení listové plochy. První cyklus má největší hmotnost listové biomasy zhruba uprostřed celkové výšky rostliny, dolní část rostlin má biomasu listů již menší a horní část má velmi malou listovou biomasu. Na rozdíl od prvního cyklu má druhý cyklus biomasu listů největší v dolní části rostlin a poté se biomasa pomalu snižuje.

Stonek je v obou cyklech rozdílně rozložen, pro barevné skupiny je však průběh vždy stejný. První cyklus má největší biomasu stonku ve výšce do 0,5 metru, v další etáži se biomasa mírně sníží a pak opět roste až do výšky 2 metrů, po 2 metrech se biomasa stonku snižuje. V druhém cyklu má stonek stejný průběh jako biomasa listů v druhém cyklu. V první etáži je hmotnost biomasy nejvyšší a pak se rovnoměrně snižuje.

Biomasa plodů je jako jediná velmi podobně rozložena v obou pokusných cyklech. Největší biomasu mají rostliny zhruba uprostřed celkové výšky. Pro první cyklus to znamená ve výšce 0,5 – 3,5 metru a pro druhý cyklus ve výšce 1 – 2,5 metru. V dolní a horní části mají rostliny většinou velmi malou biomasu plodů. Grafy znázorňující rozložení biomasy jednotlivých rostlinných částí uvádím v příloze I. na straně 43 - 44.

Biomasa celková a biomasa listů je v úzké souvislosti s listovou plochou. Produkce biomasy je dle Nátra (2002) určena množstvím absorbovaného slunečního záření, které ovšem závisí především na velikosti asimilační, tedy listové, plochy. Dále produkce biomasy závisí na účinnosti, s níž je absorbované záření využito ve fotosyntéze. Lze tedy výslednou hmotnost celkové biomasy určit jako součin průměrné asimilační plochy, rychlosti fotosyntézy a vegetační doby. Grafy znázorňující vztah mezi listovou plochou, biomasou celkovou a biomasou listů uvádím v příloze I. na straně 46.

Celková biomasa v barevných skupinách byla hodnocena statisticky pomocí jednocestné ANOVy. Předpokládaná hypotéza pro vytváření čerstvé biomasy byla statistickým vyhodnocením výsledků vyvrácena. Barevné skupiny se v případě celkové hmotnosti čerstvé biomasy rostlin statisticky neliší. Stejně jako u listové plochy může mít na statistické vyhodnocení vliv malý počet použitých dat. Vyhodnocení je uvedeno v tabulce II. a v tabulce III.

**Tabulka II.** Statistické vyhodnocení čerstvé biomasy v prvním pokusném cyklu jednocestnou analýzou variance

|                      | <b>SV</b> | <b>F</b> | <b>p</b> | <b>n</b> |
|----------------------|-----------|----------|----------|----------|
| <b>stonek</b>        | 3         | 2,1655   | 0,114400 | 8        |
| <b>list</b>          | 3         | 0,7234   | 0,546523 | 8        |
| <b>plod</b>          | 3         | 2,8864   | 0,053236 | 8        |
| <b>celá rostlina</b> | 3         | 0,4440   | 0,723389 | 8        |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n - počet porovnávaných vzorků

**Tabulka III.** Statistické vyhodnocení čerstvé biomasy v druhém pokusném cyklu jednocestnou analýzou variance

|                      | <b>SV</b> | <b>F</b> | <b>p</b> | <b>n</b> |
|----------------------|-----------|----------|----------|----------|
| <b>stonek</b>        | 3         | 0,2717   | 0,845231 | 8        |
| <b>list</b>          | 3         | 0,2306   | 0,874256 | 8        |
| <b>plod</b>          | 3         | 1,0328   | 0,393195 | 8        |
| <b>celá rostlina</b> | 3         | 0,7578   | 0,527208 | 8        |

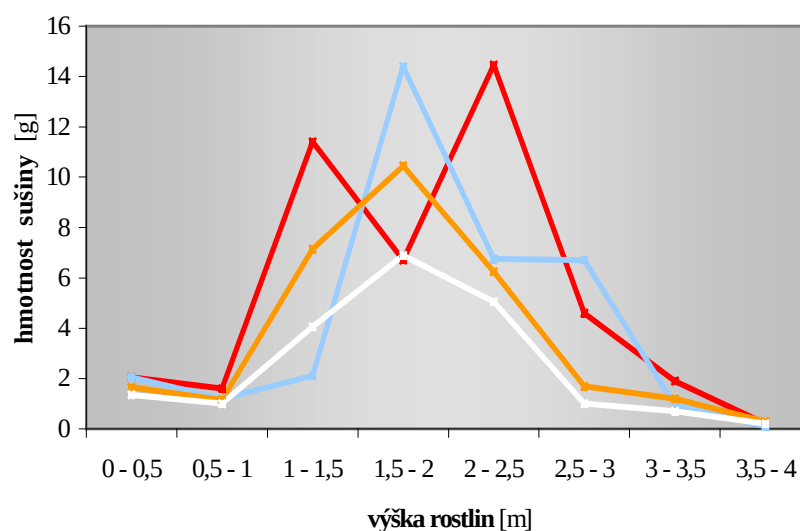
sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n - počet porovnávaných vzorků



### 4.3 Stanovení sušiny modelových rostlin

Sušina byla stanovena jen ve druhém pokusném cyklu. Náhodně byly vybrány z každé barevné skupiny dvě rostliny a u nich byla stanovena sušina po etážích 0,5 metru zvlášť pro stonek, list a plod. Vzhledem k malému počtu rostlin, u kterých byla sušina stanovena nejsou výsledky zhodnoceny statisticky. Data byla vyhodnocena aritmetickým průměrem pro každou barevnou skupinu.

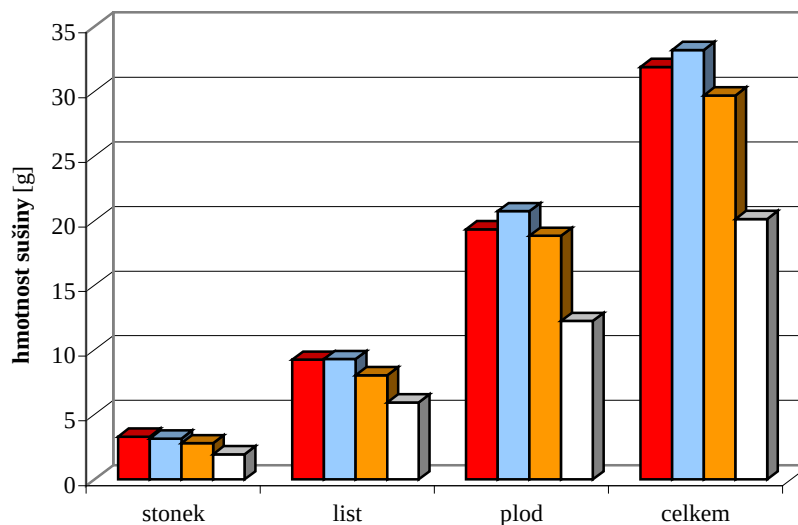
Graficky jsou průměrné celkové hmotnosti sušiny v jednotlivých etážích znázorněné v následujícím grafu (Obr. 7). U modré, oranžové a bílé skupiny jsou nejvyšší hodnoty sušiny zaznamenány ve výšce 1,5 – 2 metry, tedy ve čtvrté etáži. Jediná červená skupina má maxima dvě. První je ve výšce 1 – 1,5 metru a druhé ve výšce 2 – 2,5 metru.



**Obr. 7.** Průměrná hmotnost sušiny [g] v jednotlivých etážích [0,5 m]

V hodnocení sušiny listů, plodů, stonků a celé rostliny jsou mezi barevnými skupinami patrné jisté rozdíly. Sušina stonku je největší v červené skupině, dále v modré, oranžové a bílé. Sušina listu je na tom téměř stejně jako sušina stonku, s tím rozdílem, že červená a modrá skupina jsou na stejné úrovni, poté následuje oranžová a nakonec bílá skupina. Plody mají největší hmotnost sušiny v modré skupině, následuje červená, oranžová a bílá. V celkovém hodnocení vychází nejvíce sušiny na skupinu modrou, poté na červenou, oranžovou a nejmenší celkovou sušinu má skupina bílá. Celkové hodnocení

je nejvíce ovlivněno hmotností sušiny plodů, které jsou z celé rostliny nejtěžší. Graficky je průměrná sušina stonků, listů a plodů znázorněna v grafu (Obr. 8).



**Obr. 8.** Grafické znázornění průměrné sušiny [g] listu, plodu, stonku a celé rostliny

V následujícím textu je zhodnoceno rozložení sušiny jednotlivých částí rostlin v závislosti na výšce rostlin.

Listy jsou v každé z barevných skupin rozloženy rozdílně. Bílá skupina má sušinu listů velmi vyrovnanou ve všech etážích, oranžová je stejnoměrně rozložena do výšky 1,5 metru, pak prudce vzrostla a poté klesala až do poslední etáže. Červená skupina je poměrně vyrovnaně rozložena s jistým zvýšením ve výšce 0,5 – 1,5 metru a dalším zvýšením ve výšce 2,5 – 3 metru. Modrá skupina je také poměrně vyrovnaně rozložena se mírným zvýšením hmotnosti ve výšce 1,5 – 2 metry a také ve výšce 2,5 – 3 metry.

Sušina stonků má nejvyšší hmotnost v první etáži, tedy ve výšce 0 – 0,5 metru, a dále je rozložena stejnoměrně s určitým zvýšením hmotnosti ve výšce 2 – 2,5 metru. Toto platí pro všechny barevné skupiny.

Plody jsou ve všech barevných skupinách soustředěny ve výšce cca 1 – 3 metry, v horní a dolní části rostlin se téměř vůbec nevyskytují.

Tabulky s hodnotami sušiny jednotlivých orgánů jsou uvedeny v příloze II. na straně 47.

#### 4.4 Fotosyntetická bilance

Fotosyntéza byla měřena pomocí porometru Li 6400 Systém. Jako doplňující faktory byly měřeny teplota listu, teplota vzduchu, konduktivita, záření, vstup a výstup CO<sub>2</sub>, vstup a výstup H<sub>2</sub>O. Některé z těchto faktorů byly započítány do statistického zpracování výsledků. Byla předpokládána odlišná intenzita fotosyntézy u barevných skupin, vlivem odraženého záření od okolních různě barevných ploch. Statistické vyhodnocení dat je uvedeno v tabulce IV. Statisticky významná hodnota je v tabulce IV. vyznačena tučně.

**Tabulka IV.** Statistické vyhodnocení (ANCOVA) intenzity fotosyntézy daných faktorů

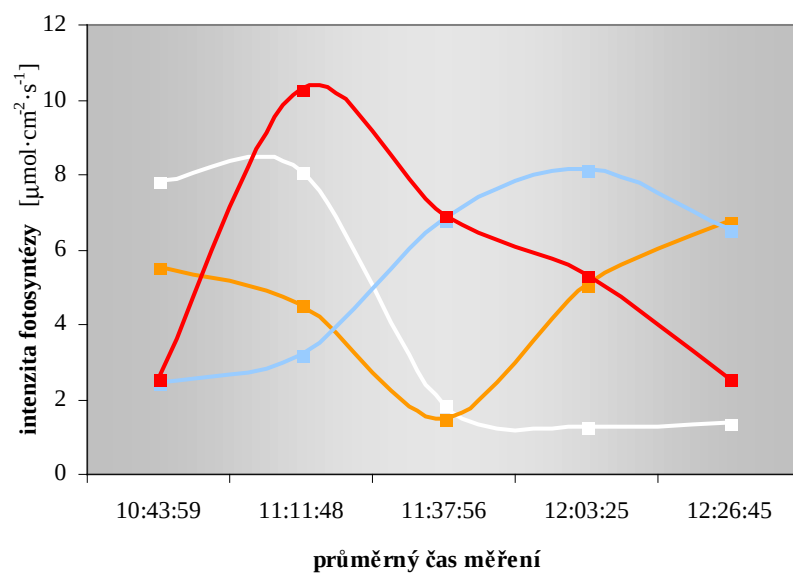
|           | Teplota<br>listu<br>°C | Teplota<br>vzduchu<br>°C | Záření<br>%     | Vodní sytostní<br>doplňek<br>mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> | Konduktivita<br>KPa | Barevné<br>skupiny | Intenzita<br>fotosyntézy<br>μmol·cm <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> |
|-----------|------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>sv</b> | 1                      | 1                        | 1               | 1                                                                  | 1                   | 3                  | 3                                                                  |
| <b>F</b>  | 0,41387                | 0,04202                  | 33,56322        | 1,01703                                                            | 0,35573             | 3,51300            | 0,27919                                                            |
| <b>p</b>  | 0,533195               | 0,841333                 | <b>0,000120</b> | 0,334894                                                           | 0,562958            | 0,052710           | 0,839601                                                           |
| <b>n</b>  | 5                      | 5                        | 5               | 5                                                                  | 5                   | 4                  | 5                                                                  |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků

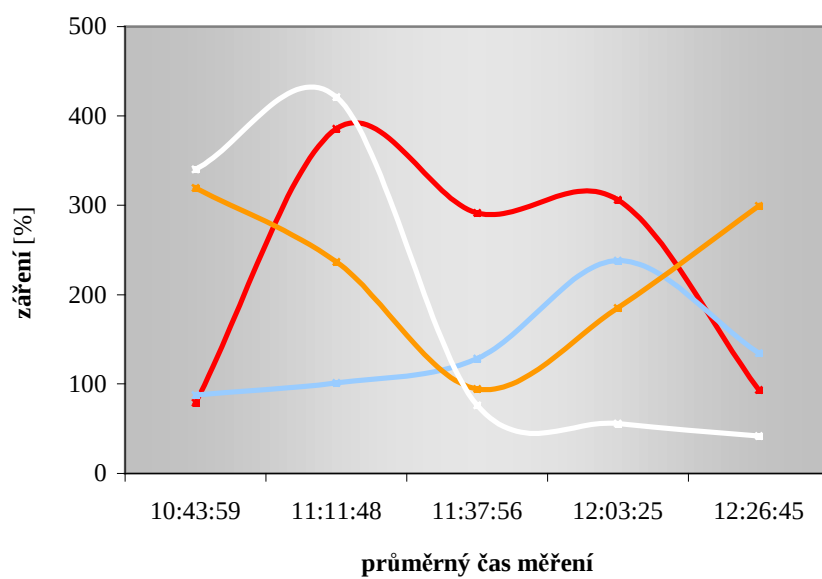
Statisticky nebyl prokázán vliv odraženého záření od různě barevných stěn na intenzitu fotosyntézy. Mezi barevnými skupinami není rozdíl, hypotéza byla tedy v tomto případě také vyvrácena. V otázce faktorů zde je patrný vysoký efekt jediného faktoru a to záření (ANCOVA). Záření je dle Nátra (2002) limitujícím faktorem pro fotosyntézu. Faktory prostředí však nikdy nepůsobí izolovaně, ale ve společné interakci. Rychlost a intenzita fotosyntézy je výsledkem souhry mnoha faktorů jak vnitřních faktorů, tak i faktorů prostředí.

Dalším započítaným faktorem je teplota vzduchu a teplota listu. V tomto případě nebyla závislost na tomto faktoru statisticky významná. Larcher (1988) tvrdí, že teplota působí na fotosyntézu prostřednictvím sekundárních procesů, fotochemický proces je na teplotě téměř nezávislý.

V následujícím grafu je znázorněn průběh měřené intenzity fotosyntézy (Obr. 9) a také grafické znázornění záření měřeného ve stejném čase jako intenzita fotosyntézy (Obr. 10).



**Obr. 9.** Průměrná intenzita fotosyntézy v daném čase v průběhu měření



**Obr. 10.** Průměrné záření v daném čase v průběhu měření

Na předchozích grafech je patrný vysoký vliv záření na fotosyntézu. Uvedené grafy mají ve všech barevných skupinách velmi podobný průběh.

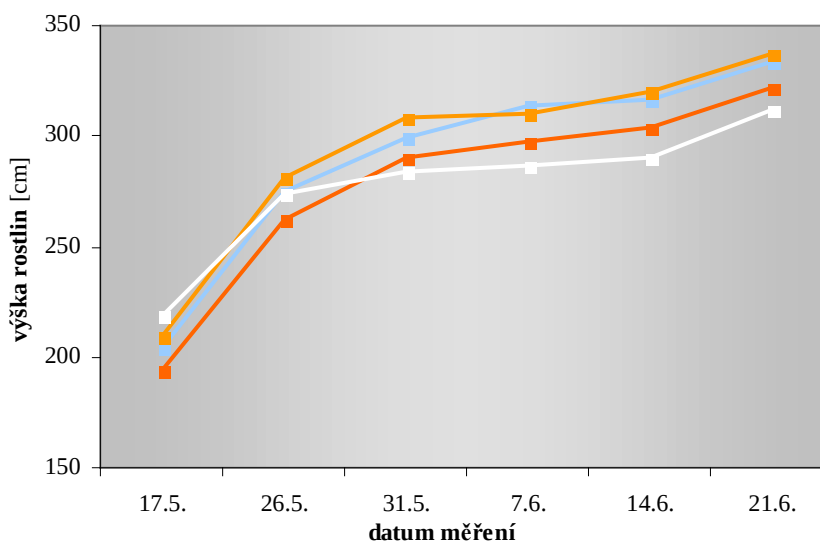
## 4.5 Růst rostlin

Růst rostlin byl sledován v obou pokusných cyklech. V prvním cyklu byla v týdenních intervalech sledována výška rostlin a počet vyvinutých listů, v druhém cyklu kromě výšky rostlin a počtu vyvinutých listů ještě růstové parametry u děložního listu a listu třetí a páté etáže.

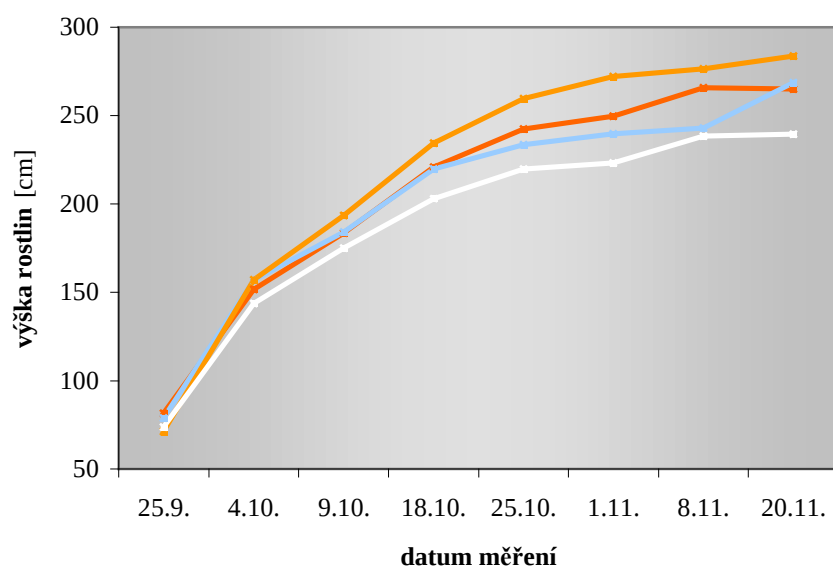
### a) Hodnocení výšky rostlin a počtu vyvinutých listů sledovaných v týdenních intervalech

Vzhledem k tomu, že lze růst rostlin do výšky a počet vyvinutých listů porovnat v obou pokusných cyklech, uvádím zde vždy oba grafy pro jednotlivé cykly. V grafu (Obr. 11) je znázorněna výška rostlin v průběhu měření v týdenním intervalu v prvním pokusném cyklu. Růst rostlin do výšky byl po prvním týdnu měření poměrně rychlý, poté se výška zvyšovala pomaleji, pak nastal opět rychlejší nárůst rostlin.

Druhý cyklus měření je zachycen v grafu (Obr. 12). Výška rostlin v tomto cyklu se poměrně rychle zvyšovala zhruba do pátého měření, tedy do 25.10., poté už růst rostlin do výšky nebyl tak intenzivní.

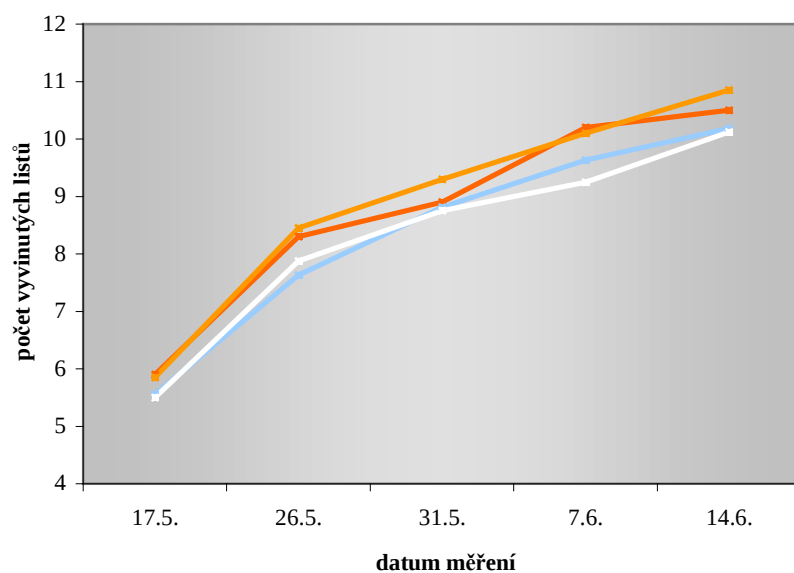


**Obr. 11.** Průběh růstu rostlin do výšky v prvním cyklu

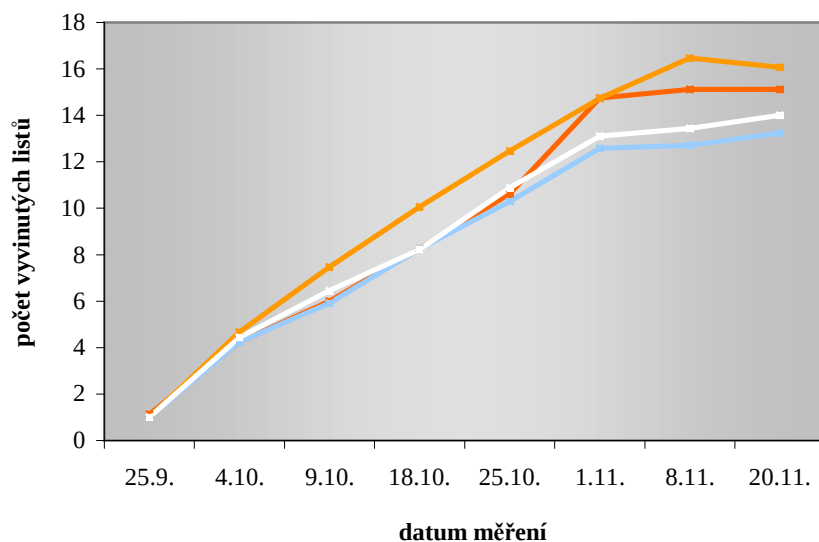


**Obr. 12.** Průběh růstu rostlin do výšky v druhém cyklu

Počet vyvinutých listů měl v obou cyklech velmi podobný průběh jako výška rostlin. Pro znázornění jsou níže uvedeny oba grafy (Obr. 13) a (Obr. 14). Oba sledované parametry se v době sledování rovnoměrně zvyšovaly.



**Obr. 13.** Počet vyvinutých listů v prvním cyklu



**Obr. 14.** Počet vyvinutých listů v druhém cyklu

Statistické hodnocení výšky rostlin a počtu vyvinutých listů bylo provedeno pomocí ANOVy pro opakovaná měření a Tukeyho HSD post-hoc testem. Byl zde zjištěn statisticky významný rozdíl mezi barevnými skupinami. Výsledky jsou uvedeny v tabulce V. Statisticky významné hodnoty jsou v tabulce označeny tučně.

**Tabulka V.** Statistické porovnání výšky rostlin a počtu vyvinutých listů v průběhu sledování

| ANOVA pro opakovaná měření (bez interakce) |    |       |             |   | Tukey HSD test |       |              |              |
|--------------------------------------------|----|-------|-------------|---|----------------|-------|--------------|--------------|
|                                            | sv | F     | p           | n |                | M     | O            | B            |
| výška<br>rostlin                           | 3  | 16,07 | <b>0,00</b> | 8 | C              | 0,716 | 0,074        | <b>0,002</b> |
|                                            |    |       |             |   | M              |       | <b>0,008</b> | <b>0,021</b> |
|                                            |    |       |             |   | O              |       |              | <b>0,000</b> |
| počet<br>listů                             | 3  | 11,72 | <b>0,00</b> | 8 | C              | 0,062 | <b>0,036</b> | 0,503        |
|                                            |    |       |             |   | M              |       | <b>0,000</b> | 0,592        |
|                                            |    |       |             |   | O              |       |              | <b>0,002</b> |

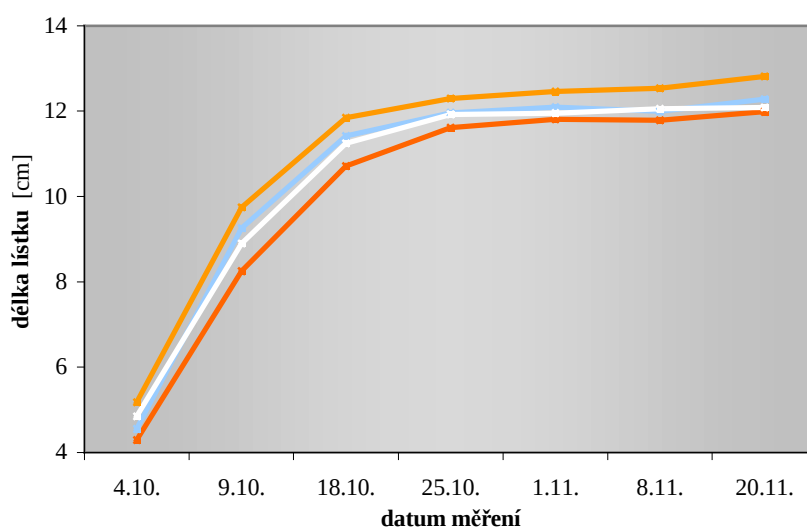
sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků;  
C – červená skupina; M – modrá skupina; O – oranžová skupina; B – bílá skupina

## b) Hodnocení růstových parametrů děložního listu, listů třetí etáže a listu páté etáže sledovaných v týdenních intervalech

U děložního listu se měřila délka řapíku, délka listu a šířka listu. Mezi barevnými skupinami velké rozdíly v průběhu růstu nejsou, celkově však růst děložních listů celkem kolísá. Ke konci pokusu začaly listy usychat a některé dokonce odumíraly. Grafy znázorňující trend růstu jsou uvedeny v příloze I. na straně 45.

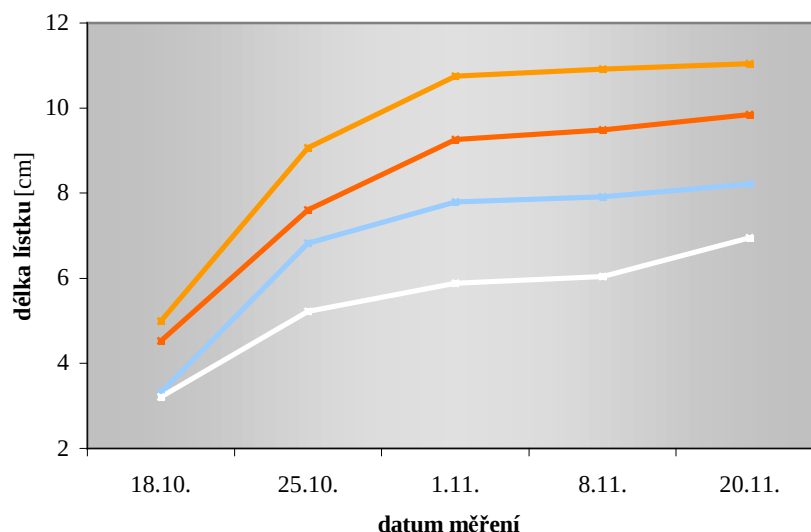
Ve třetí etáži má délka a šířka všech tří lístků stejný průběh s mírnými odchylkami. Růst listů třetí etáže lze matematicky přibližně popsat pomocí logaritmické funkce. Mezi barevnými skupinami pak žádné rozdíly v průběhu růstu nejsou, všechny lístky se u čtyř barevných skupin vyvíjely stejně. Pro znázornění je zde uveden graf (Obr. 15) délky prvního lístku listu třetí etáže. Ostatní grafy z důvodu jejich vysokého počtu neuvádím.

Listy v páté etáži v barevných skupinách tentokrát vykazují určité odlišnosti. Zejména bílá skupina. Délka a šířka se u oranžové, modré a červené skupiny zvyšuje po celou dobu růstu, na rozdíl od těchto skupin se růst bílé skupiny většinou mírně pozastavuje v období od 1.11 do 8.11. Poté se růst opět zvyšuje rychleji. Na ukázkou typického průběhu růstu lístku listů v páté etáži je zde uveden graf (Obr. 16) s délkou prvního lístku listu páté etáže. Ostatní grafy z důvodu jejich vysokého počtu nejsou uvedeny.



Obr. 15. Délka prvního lístku listu třetí etáže





**Obr. 16.** Délka prvního lístku listu páté etáže

Růstové parametry u děložního listu, listu třetí etáže a listu páté etáže byly hodnoceny také statisticky. Pro vyhodnocení dat byla použita ANOVA pro opakovaná měření a Tukey HSD post-hoc test. Všechny sledované listy statisticky vykazují odlišný růst. Nejvíce se liší barevné skupiny u listu páté etáže, nejméně u děložního listu. Statistické vyhodnocení je uvedeno v tabulce VI, VII a VIII. Hodnoty, které potvrzují odlišnost barevných skupin jsou v tabulce označeny tučně.

**Tabulka VI.** Statistické porovnání růstových parametrů děložního listu

| ANOVA pro opakovaná měření (bez interakce) |    |       |          |   |   | Tukey HSD test |          |          |
|--------------------------------------------|----|-------|----------|---|---|----------------|----------|----------|
|                                            | sv | F     | p        | n |   | M              | O        | B        |
| délka                                      |    |       |          |   | C | 0,999988       | 0,134432 | 0,672310 |
| řapík                                      | 3  | 4,126 | 0,018997 | 8 | M |                | 0,126548 | 0,691856 |
|                                            |    |       |          |   | O |                |          | 0,012839 |
| délka                                      |    |       |          |   | C | 0,894964       | 0,000853 | 0,000603 |
| list                                       | 3  | 13,09 | 0,000049 | 8 | M |                | 0,003837 | 0,002516 |
|                                            |    |       |          |   | O |                |          | 0,997583 |
| šířka                                      |    |       |          |   | C | 0,020302       | 0,000180 | 0,025587 |
| list                                       | 3  | 13,52 | 0,000039 | 8 | M |                | 0,022877 | 0,999598 |
|                                            |    |       |          |   | O |                |          | 0,018121 |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků;  
C – červená skupina; M – modrá skupina; O – oranžová skupina; B – bílá skupina

**Tabulka VII.** Statistické porovnání růstových parametrů listu třetí etáže

| ANOVA pro opakovaná měření (bez interakce) |    |          |          |   | Tukey HSD test |          |          |          |
|--------------------------------------------|----|----------|----------|---|----------------|----------|----------|----------|
|                                            | sv | F        | p        | n |                | M        | O        | B        |
| délka<br>řapík                             | 3  | 77,2701  | 0,000000 | 8 | C              | 0,000179 | 0,044764 | 0,000228 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,000179 | 0,000179 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,025091 |
| délka<br>list                              | 3  | 6,2120   | 0,004387 | 8 | C              | 0,053096 | 0,031520 | 0,995508 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,993723 | 0,033332 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,019533 |
| délka<br>1. lístek                         | 3  | 20,26471 | 0,000005 | 8 | C              | 0,003922 | 0,000180 | 0,023759 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,008380 | 0,826637 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,001430 |
| šířka<br>1. lístek                         | 3  | 10,8697  | 0,000265 | 8 | C              | 0,101358 | 0,000344 | 0,005175 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,033595 | 0,480485 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,422357 |
| délka<br>2. lístek                         | 3  | 3,2022   | 0,048132 | 8 | C              | 0,647965 | 0,030700 | 0,446533 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,266439 | 0,985768 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,431054 |
| šířka<br>2. lístek                         | 3  | 10,94484 | 0,000254 | 8 | C              | 0,099812 | 0,000864 | 0,000687 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,122867 | 0,095723 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,999118 |
| délka<br>3. lístek                         | 3  | 8,60761  | 0,000931 | 8 | C              | 0,065860 | 0,000598 | 0,032307 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,121714 | 0,983923 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,224152 |
| šířka<br>3. lístek                         | 3  | 15,18842 | 0,000036 | 8 | C              | 0,126835 | 0,000236 | 0,000437 |
|                                            |    |          |          |   | M              |          | 0,009506 | 0,040318 |
|                                            |    |          |          |   | O              |          |          | 0,897252 |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků;

C – červená skupina; M – modrá skupina; O – oranžová skupina; B – bílá skupina

**Tabulka VIII.** Statistické porovnání růstových parametrů listu páté etáže

| ANOVA pro opakovaná měření (bez interakce) |    |       |       |   | Tukey HSD test |       |       |       |
|--------------------------------------------|----|-------|-------|---|----------------|-------|-------|-------|
|                                            | sv | F     | p     | n |                | M     | O     | B     |
| délka<br>řapík                             | 3  | 34,57 | 0,000 | 5 | C              | 0,666 | 0,038 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,005 | 0,001 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| délka<br>list                              | 3  | 49,85 | 0,000 | 5 | C              | 0,024 | 0,022 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,002 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| délka<br>1. lístek                         | 3  | 47,77 | 0,000 | 5 | C              | 0,010 | 0,019 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,010 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| šířka<br>1. lístek                         | 3  | 48,53 | 0,000 | 5 | C              | 0,024 | 0,015 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,004 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| délka<br>2. lístek                         | 3  | 52,23 | 0,000 | 5 | C              | 0,025 | 0,003 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,007 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| šířka<br>2. lístek                         | 3  | 55,07 | 0,000 | 5 | C              | 0,020 | 0,002 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,007 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| délka<br>3. lístek                         | 3  | 48,74 | 0,000 | 5 | C              | 0,131 | 0,001 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,011 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |
| šířka<br>3. lístek                         | 3  | 52,63 | 0,000 | 5 | C              | 0,085 | 0,001 | 0,000 |
|                                            |    |       |       |   | M              |       | 0,000 | 0,006 |
|                                            |    |       |       |   | O              |       |       | 0,000 |

sv – stupeň volnosti; F – Fisherova statistika; p – pravděpodobnost; n – počet porovnávaných vzorků;

C – červená skupina; M – modrá skupina; O – oranžová skupina; B – bílá skupina

## 5. ZÁVĚR

Na základě výše uvedených výsledků lze vyvodit tyto závěry:

- ✦ Listová plocha byla v obou pokusných cyklech v závislosti na výšce rostlin rozložena rozdílně. V prvním cyklu měly rostliny listovou plochu nejvíce soustředěnou zhruba uprostřed celkové výšky, zatímco rostliny druhého cyklu vytvořily největší listovou plochu v dolních částech rostlin. Při hodnocení dat pomocí aritmetického průměru byly v barevných skupinách znatelné rozdíly ve velikosti listové plochy. Největší listovou plochu měla skupina oranžová, poté následovala modrá s červenou a nejmenší listovou plochu vytvořila skupina bílá. Statisticky však byla vyvrácena závislost celkové listové plochy na odraženém záření od okolních různě barevných ploch.
- ✦ Biomasy si rostliny v prvním pokusném cyklu vytvářely podobně jako listovou plochu, nejvíce byla biomasa nahromaděná v prostřední části rostlin. Druhý cyklus si vytvořil největší množství biomasy ve výšce 1 – 2 metrů, což je téměř uprostřed celkové výšky rostlin. Celková biomasa rostlin byla nejvíce ovlivněna hmotností plodů, které se vyskytovaly výhradně uprostřed celkové výšky rostlin a měly z jednotlivých rostlinných částí největší hmotnost. Hodnocení celkové hmotnosti biomasy pomocí aritmetického průměru vykazuje rozdíly mezi barevnými skupinami. Stejně jako listovou plochu vytvořila největší množství biomasy skupina oranžová, poté skupina modrá s červenou a poslední byla skupina bílá. Statistickým vyhodnocením výsledků však byla vyvrácena hypotéza vlivu barevných stěn, celková biomasa rostlin se v barevných skupinách statisticky nelišila.
- ✦ Sušina hodnocená pomocí aritmetického průměru vykazovala v barevných skupinách odlišnosti. Největší hmotnost sušiny měla skupina modrá, poté červená skupina, následovala oranžová a poslední byla bílá skupina. V závislosti na výšce rostlin byla sušina rozložena nejvíce ve výšce 1 – 3 metrů ve všech barevných skupinách.

- Vliv barevných stěn na intenzitu fotosyntézy nebyl statisticky prokázán. Rozdíly mezi barevnými skupinami nebyly statisticky významné. Ze zahrnutých faktorů byl jako významný hodnocen vliv záření. Záření jako jediné ovlivňuje intenzitu fotosyntézy ve zvýšené míře. Ostatní faktory jako je teplota vzduchu, teplota listu, konduktivita a vodní sytostní doplněk neovlivňují zásadně průběh fotosyntézy.
- Růstové parametry rostlin sledované v týdenních intervalech byly vyhodnoceny pomocí statistiky. V tomto případě se potvrdila hypotéza, která předpokládala odlišný růst vlivem odraženého záření od různě barevných stěn. Sledované děložní listy, listy třetí etáže a listy páté etáže, stejně tak jako výška rostlin a počet vyvinutých listů vykazovaly rozdíly mezi barevnými skupinami. Nejvíce se lišily parametry u listů páté etáže, méně časté byly rozdíly u listů děložních a listů třetí etáže.

## 6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

DVOŘÁK, M.; ČINČEROVÁ, A. (1966): *Fyziologie rostlin*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 154 s.

DYKYJOVÁ, D. a kolektiv (1989): *Metody studia ekosystémů*. Praha, Academia Praha, 680 s.

HASPELOVÁ – HORATOVIČOVÁ, A. (1981): *Asimilačné farbivá v zdravej a chorej rastline*. Bratislava, Slovenskej akadémie vied, 308 s.

HEJNÁK, V. a kolektiv (2005): *Fyziologie rostlin*. Praha, Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 159 s.

HESS, D. (1983): *Fyziologie rostlin*. Praha, Academia Praha, 341 s.

LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (1982): *Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation*. Berlin, Springer Verlag, 747s.

LARCHER, W. (1988): *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha, Academia Praha, 361 s.

LAŠTŮVKA, Z. (1987): *Fyziologie rostlin*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 192 s.

NÁTR, L. (2000): *Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny*. Praha, ISV nakladatelství, 257 s.

NÁTR, L. (2002): *Fotosyntetická produkce a výživa lidstva*. Praha, ISV nakladatelství, 423 s.

PAVEL, J. (1983): *Fyziologie rostlin*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 206 s.

PAVLOVÁ, L. (2005): *Fyziologie rostlin*. Praha, Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 253 s.

PROCHÁZKA, S.; MACHÁČKOVÁ, I.; KREKULE, J.; ŠEBÁNEK, J. (1998): *Fyziologie rostlin*. Praha, Academia Praha, 484 s.

RICHTER, G. (1978): *Plant Metabolism. Physiology and Biochemistry of Primary Metabolism*. Stuttgart, Georg Thieme Publishers, 475 s.

RYCHNOVSKÁ, M. (1987): *Metody studia travinných ekosystémů*. Praha, Academia Praha, 263 s.

ŠEBÁNEK, J.; PROCHÁZKA, S.; LAŠTŮVKA, Z. (1989): *Fyziologie rostlin*. Brno, Vysoká škola Zemědělská v Brně, 203 s.

ŠESTÁK, Z. (1971): *Fyziologie rostlin speciální: Fotosynthesa*. Praha. Univerzita Karlova v Praze, 155 s.

ŠESTÁK, Z.; ČATSKÝ, J. (1966): *Metody studia fotosyntetické produkce rostlin*. Praha, Academia, 394 s.

ŠNOBL, J.; PULKRÁBEK, J. a kolektiv (2005): *Základy rostlinné produkce*. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 172 s.

StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA Cz [Software for data analyses], version 6. Tulsa.

ANONYMUS 1: Materiály firmy ENKI o.p.s. k projektu VaV/300/05/03

ANONYMUS 2: <http://botany.natur.cuni.cz/cz/studium/ekofyziologie.php>; 2.1.2007

ANONYMUS 3: <http://daz.garten.cz>; 27.3.2007

## 7. PŘÍLOHY

### Seznam příloh

#### I. Grafická příloha

- Grafy hmotností čerstvé biomasy jednotlivých částí rostlin v jednotlivých etážích z obou pokusných cyklů
- Grafy s růstovými parametry u děložního listu
- Grafy znázorňující vztah mezi listovou plochou, celkovou biomasou a biomasou listů

#### II. Tabulková příloha

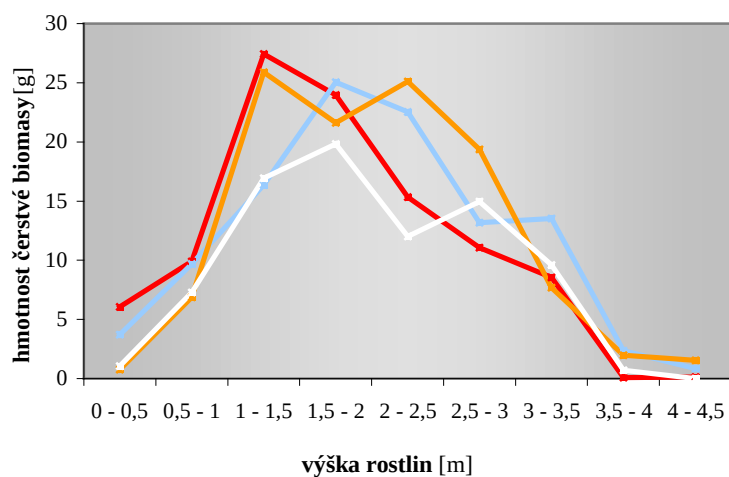
- Tabulky s hodnotami hmotností sušiny jednotlivých částí rostlin v jednotlivých etážích z druhého pokusného cyklu

#### III. Fotografická příloha

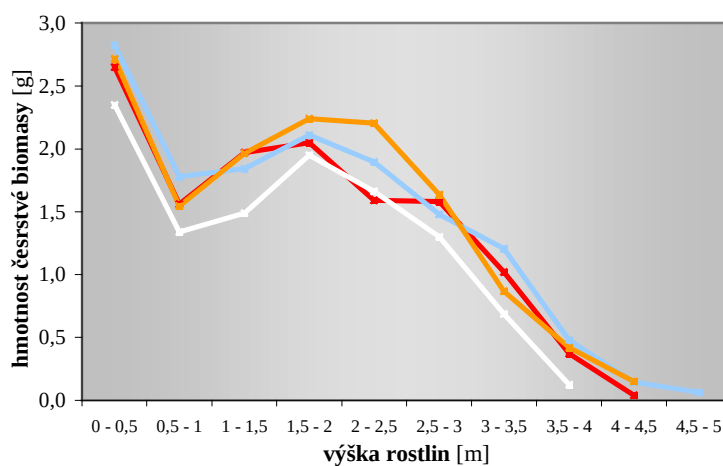
- Fotodokumentace pěstovaných rostlin před barevnými stěnami
- Fotodokumentace interiéru modulárního skleníku



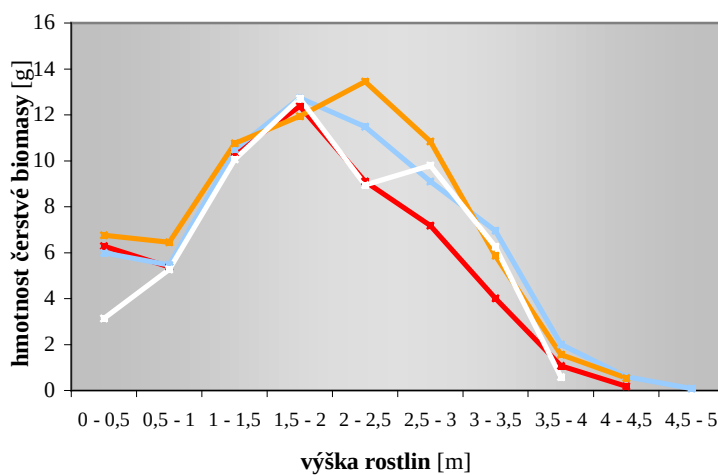
## I. GRAFICKÁ PŘÍLOHA



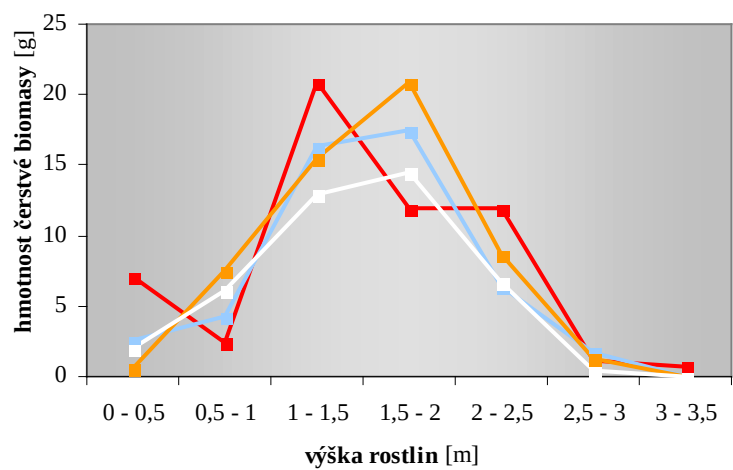
**Obr. 17.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy plodů [g] po etážích [0,5m] (první cyklus)



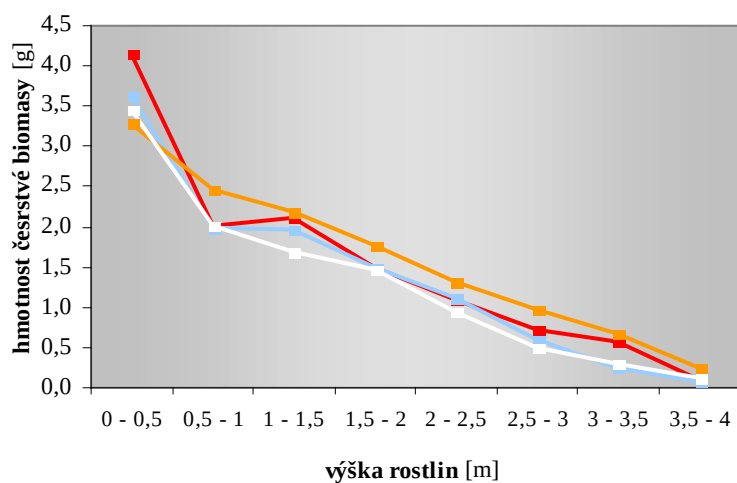
**Obr. 18.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy stonků [g] po etážích [0,5m] (první cyklus)



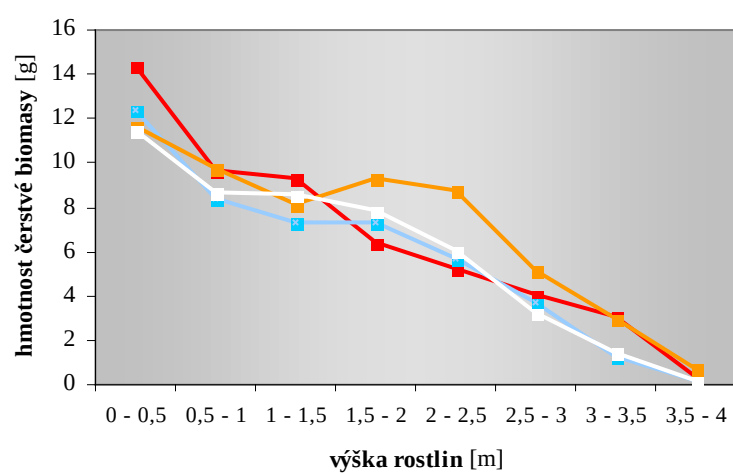
**Obr. 19.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy listů [g] po etážích [0,5m] (první cyklus)



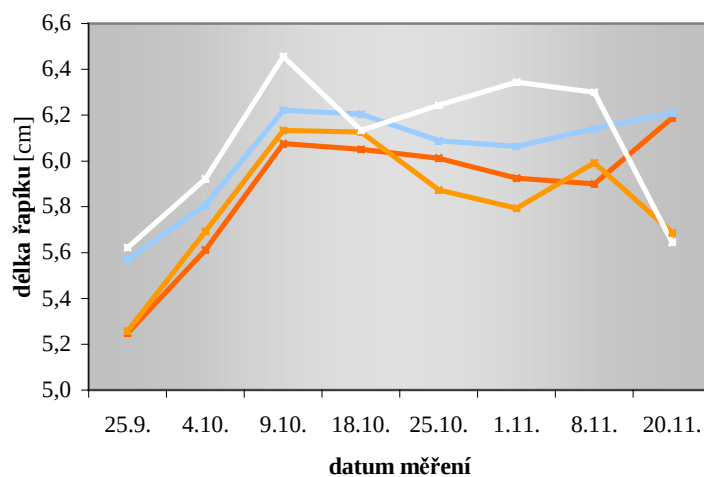
**Obr. 20.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy plodů [g] po etážích [0,5m] (druhý cyklus)



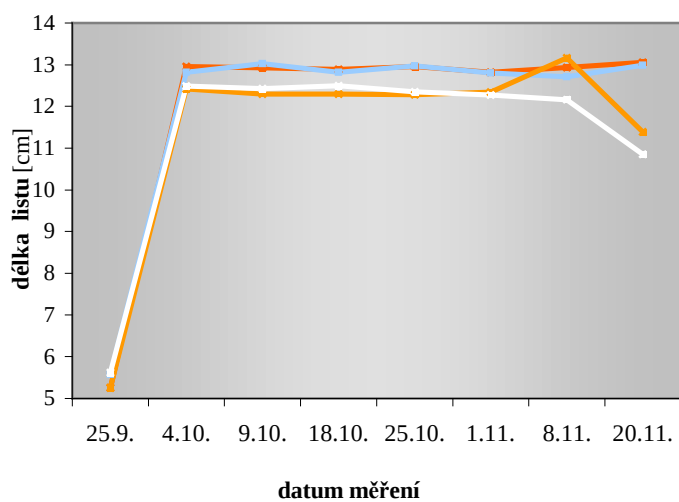
**Obr. 21.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy stonků [g] po etážích [0,5m] (druhý cyklus)



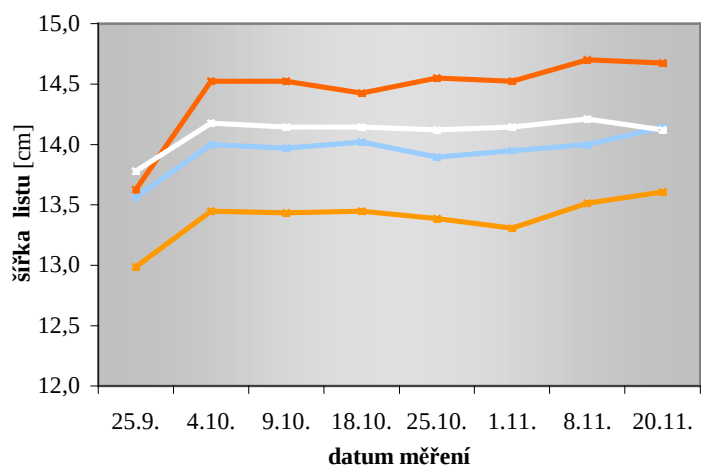
**Obr. 22.** Průměrná hmotnost čerstvé biomasy listů [g] po etážích [0,5m] (druhý cyklus)



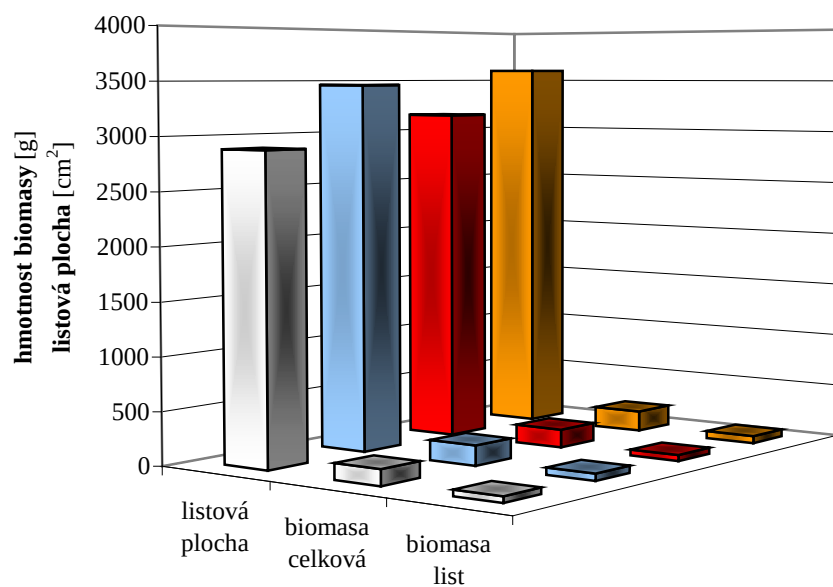
**Obr. 23.** Průměrná délka řapíku [cm] měřená v uvedených datech



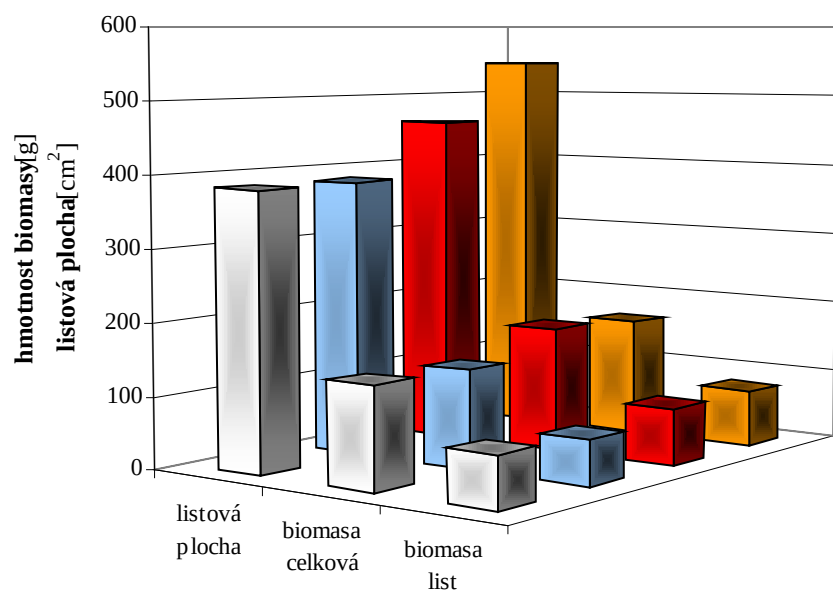
**Obr. 24.** Průměrná délka listu [cm] měřená v uvedených datech



**Obr. 25.** Průměrná šířka listu [cm] měřená v uvedených datech



**Obr. 26.** Znázornění vztahu listové plochy [cm<sup>2</sup>], celkové biomasy [g] a biomasy listů [g]  
(první cyklus)



**Obr. 27.** Znázornění vztahu listové plochy [cm<sup>2</sup>], celkové biomasy [g] a biomasy listů [g]  
(druhý cyklus)

## II. TABULKOVÁ PŘÍLOHA

**Tabulka IX.** Rozložení sušiny listů [g] v jednotlivých etážích [0,5 m]

| <b>výška [m]</b> | <b>0 - 0,5</b> | <b>0,5 - 1</b> | <b>1 - 1,5</b> | <b>1,5 - 2</b> | <b>2 - 2,5</b> | <b>2,5 - 3</b> | <b>3 - 3,5</b> | <b>3,5 - 4</b> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>červená</b>   | 1,4            | 2,5            | 2,4            | 1,05           | 1,55           | 1,55           | 1,15           | 0,1            |
| <b>modrá</b>     | 1,5            | 0,85           | 0,7            | 2              | 1,35           | 2,05           | 0,35           | 0,0            |
| <b>oranžová</b>  | 1,2            | 0,75           | 0,8            | 1              | 3,7            | 2,5            | 1,05           | 0,1            |
| <b>bílá</b>      | 0,95           | 0,85           | 0,75           | 0,95           | 1,05           | 0,8            | 0,5            | 0,1            |

**Tabulka X.** Rozložení sušiny stonků [g] v jednotlivých etážích [0,5 m]

| <b>výška [m]</b> | <b>0 - 0,5</b> | <b>0,5 - 1</b> | <b>1 - 1,5</b> | <b>1,5 - 2</b> | <b>2 - 2,5</b> | <b>2,5 - 3</b> | <b>3 - 3,5</b> | <b>3,5 - 4</b> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>červená</b>   | 1,3            | 0,35           | 0,35           | 0,4            | 0,7            | 0,5            | 0,35           | 0,0            |
| <b>modrá</b>     | 0,55           | 0,35           | 0,35           | 0,65           | 0,6            | 0,45           | 0,2            | 0,0            |
| <b>oranžová</b>  | 0,45           | 0,35           | 0,45           | 0,5            | 0,45           | 0,4            | 0,15           | 0,05           |
| <b>bílá</b>      | 0,4            | 0,15           | 0,3            | 0,4            | 0,75           | 0,2            | 0,2            | 0,0            |

**Tabulka XI.** Rozložení sušiny plodů [g] v jednotlivých etážích [0,5 m]

| <b>výška [m]</b> | <b>0 - 0,5</b> | <b>0,5 - 1</b> | <b>1 - 1,5</b> | <b>1,5 - 2</b> | <b>2 - 2,5</b> | <b>2,5 - 3</b> | <b>3 - 3,5</b> | <b>3,5 - 4</b> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>červená</b>   | 0,0            | 0,0            | 4,15           | 1,9            | 12,2           | 0,7            | 0,4            | 0,0            |
| <b>modrá</b>     | 0,0            | 0,0            | 0              | 11,75          | 4,8            | 4,2            | 0,0            | 0,0            |
| <b>oranžová</b>  | 0,0            | 0,05           | 5,9            | 8,95           | 2,95           | 0,0            | 0,0            | 0,0            |
| <b>bílá</b>      | 0,0            | 0,0            | 3              | 5,55           | 3,7            | 0,0            | 0,0            | 0,0            |

### III. FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA



**Foto 1.** Rostliny pěstované v prvním cyklu (26.5.2006)



**Foto 2.** Rostliny pěstované v druhém cyklu (8.11.2006)





**Foto 3.** Rostliny pěstované v druhém cyklu (9.10.2006)



**Foto 4.** Interiér stavby - technologie