

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Katedra biologických disciplín

---

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

**VLIV MINERÁLNÍHO HNOJENÍ  
NA FOTOSYNTETICKÉ CHARAKTERISTIKY  
OSTŘICE ŠTÍHLÉ (*CAREX ACUTA*)**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Martina Leskovcová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Hana Čížková, CSc.

---

České Budějovice, 2009

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra biologických disciplin

Akademický rok: 2007/2008

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina LESKOVCOVÁ**

Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Agroekologie**

Název tématu: **Vliv minerálního hnojení na fotosyntetické charakteristiky ostřice štíhlé (*Carex acuta*)**

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

Cíl práce: Zhodnocení fotosyntetických charakteristik ostřice štíhlé na vybraných mokřadních biotopech ve vztahu k dodávce živin.

Postup:

1. Zpracování literárního přehledu poznatků získaných o fotosyntetických charakteristikách mokřadních travin.
2. Stanovení světelných křivek fotosyntézy listu přenosným infračerveným analyzátozem LiCor 6400 na dvou vybraných lokalitách opakovaně během období od dubna do října 2008
3. Zhodnocení parametrů světelných křivek ve vztahu k dodávce živin.
4. Diskuse vlastních výsledků s výsledky navazujícího výzkumu a s literárními údaji.

Rozsah grafických prací: **tabulky primárních dat, fotografická příloha**  
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

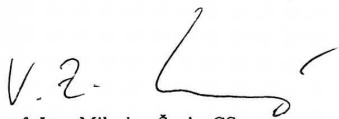
**Seznam odborné literatury: Larcher W., 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha. Mitsch, W. J., Gosselink, J.G., 2000. Wetlands, Third Edition. John Wiley & Sons, New York. Projekt: GA ČR č. 526/06/0276 (Eutrofizace mokřých luk)**

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Hana Čížková, CSc.**  
Katedra biologických disciplin


Datum zadání diplomové práce: **15. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2009**

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13 ④  
370 05 České Budějovice**

  
prof. Ing. Miloslav Soch, CSc.  
děkan

L.S.

  
doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 19. února 2008



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací na téma „Vliv minerálního hnojení na fotosyntetické charakteristiky ostřice štíhlé (*Carex acuta*)“ vypracovala samostatně a při jejím zpracování jsem použila citovanou literaturu.

V Českých Budějovicích dne 30. dubna 2009

.....  
podpis



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. RNDr. Haně Čížkové, CSc. za všestrannou pomoc při získávání dat, vyhodnocování výsledků a za cenné připomínky a rady při tvorbě této práce.

## **Anotace**

Diplomová práce na téma „Vliv minerálního hnojení na fotosyntetické charakteristiky ostřice štíhlé (*Carex acuta*)“ se zabývá sledováním fotosyntetických pochodů v odlišně ošetřovaných porostech. Rostliny ostřice štíhlé byly studovány na dvou lokalitách: Záblatské louky s organickou půdou a Hamr s minerální půdou. Část porostu byla vystavena vysokým dávkám hnojení, zatímco druhá část byla bez přidání živin. Pomocí přístroje Licor 6400 byla měřena čistá asimilace v obou variantách ošetření. Cílem bylo zjistit, zda je čistá asimilace vyšší u hnojených rostlin ve srovnání s nehnojenými rostlinami.

Na lokalitě Záblatských luk nebyla tato skutečnost potvrzena. Oproti tomu na Hamerských loukách byl zjištěn efekt hnojení v druhé polovině vegetační sezóny. Na začátku sezóny byla fotosyntéza, stejně jako na předchozí lokalitě, vyšší u nehnojeného porostu, avšak na konci sezóny, po druhé seči, se prokázala vyšší rychlost fotosyntézy u rostlin hnojených.

**Klíčová slova:** fotosyntéza, ostřice štíhlá, Licor 6400

## **Annotation**

The MSc. thesis „Effect of mineral fertilization on photosynthetic characteristics of *Carex acuta*“ deals with photosynthetic characteristics of plants subjected to different nutrient regimes. Stands dominated with *Carex acuta* were studied in two localities: Záblatské louky with organic soil and Hamr with mineral soil. The experimental treatment was subjected to high fertilization, while the control treatment received no nutrient addition. The net assimilation was measured using Licor 6400. The aim was to find out whether the net assimilation was higher in fertilized plants as compared with non-fertilized plants.

In spring the fertilized plants did not have higher photosynthetic rates at either locality, probably because of water limitation. The positive effect of fertilization was proved only at Hamerské louky after the second cut.

**Key words:** photosynthesis, *Carex acuta*, Licor 6400

# Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. CÍLE PRÁCE .....	2
<b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>3</b>
2.1. VLIV MINERÁLNÍ VÝŽIVY NA PROCES FOTOSYNTÉZY .....	3
2.1.1. Vliv jednotlivých minerálních prvků na fotosyntézu .....	3
2.1.2. Strategie rostlinných populací .....	5
2.2. FOTOSYNTÉZA JAKO VÝMĚNA PLYNŮ .....	6
2.2.1. Vliv meteorologických podmínek na fotosyntézu.....	7
2.2.2. Princip infračerveného analyzátoru .....	8
2.2.3. Metody měření rychlosti fotosyntézy .....	8
2.2.4. Matematické modely fotosyntézy .....	9
2.3. PROSTŘEDÍ MOKŘADŮ .....	11
2.4. MOKŘADNÍ ROSTLINY .....	13
2.4.1. Přehled dat o fotosyntéze mokřadních rostlin .....	13
2.4.2. Charakteristika <i>Carex acuta</i> .....	16
2.4.3. Vegetace vysokých ostřic .....	17
<b>3. POPIS STUDOVANÝCH LOKALIT</b> .....	<b>18</b>
3.1. PŘÍRODNÍ REZERVACE ZÁBLATSKÉ LOUKY .....	19
3.2. HAMERSKÉ LOUKY V NIVĚ ŘEKY NEŽÁRKY .....	20
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>21</b>
4.1. USPOŘÁDÁNÍ POKUSU A VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	21
4.2. MATEMATICKÉ VYHODNOCENÍ DAT .....	22
<b>5. VÝSLEDKY</b> .....	<b>24</b>
5.1. POPIS METEOROLOGICKÝCH A TECHNICKÝCH PODMÍNEK PŘI ZÍSKÁVÁNÍ DAT .....	24
5.2. SROVNÁNÍ FOTOSYNTETICKÝCH CHARAKTERISTIK A TEMNOSTNÍHO DÝCHÁNÍ .....	25
5.2.1. Fotosyntetické charakteristiky pro ozáření $600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .....	25
5.2.2. Fotosyntetické charakteristiky pro ozáření $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .....	26
5.2.3. Srovnání hodnot temnostního dýchání .....	27
5.3. SROVNÁNÍ RŮSTOVÝCH PARAMETRŮ .....	28
5.4. MAXIMÁLNÍ RYCHLOST FOTOSYNTÉZY A ÚČINNOST VYUŽITÍ ZÁŘENÍ.....	30
5.5. STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT .....	31
<b>6. DISKUSE</b> .....	<b>34</b>
6.1. MOŽNÉ ZDROJE CHYB .....	34
6.2. VZTAH ZJIŠTĚNÝCH ÚDAJŮ K VÝSLEDKŮM JINÝCH AUTORŮ V RÁMCI PROJEKTU ....	35
6.3. POROVNÁNÍ ZJIŠTĚNÝCH ÚDAJŮ S OSTATNÍMI AUTORY .....	36
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	<b>38</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>40</b>
<b>9. PŘÍLOHY</b> .....	<b>44</b>

## 1. ÚVOD

Mokřady jsou velmi významné biotopy, které se v oblasti Třebońska, kde byl prováděn výzkum pro tuto práci, vyskytují v poměrně velkém množství. Úloha těchto unikátních biotopů je nezastupitelná. Mokřady mají mnoho důležitých funkcí, z nichž mezi hlavní patří zejména retenční schopnost a přirozená zásobárna vody, poskytování podmínek pro existenci mnoha rostlinných a živočišných druhů, což je podmínkou pro zachování vysoké biodiverzity v rámci regionu a v neposlední řadě také schopnost zachycovat nadbytečné látky a živiny z okolního prostředí. V dobách intenzifikace zemědělství byly mokřady lidmi vnímány spíše negativně. Z tohoto pohledu bránily rozrůstání zemědělských ploch a byly tedy ve velkém množství odvodňovány, vysoušeny a převáděny na zemědělskou půdu. Dnes je již vnímání většiny lidí v tomto směru pozitivně změněno. Mnoho mokřadních společenstev bylo v minulosti ovlivněno nesprávně provedenými melioracemi, a proto bychom v dnešní době mokřadům měli věnovat zvýšenou pozornost. Je tedy nanejvýše vhodné zabývat se studiem ať už přímo mokřadů, či rostlin na těchto mokřadech se vyskytujících.

Tato diplomová práce se zabývá sledováním vlivu různě intenzivního způsobu hnojení na fotosyntetické pochody jedné z významných mokřadních rostlin, ostřice štíhlé (*Carex acuta*). Sledování této rostliny a jejích fotosyntetických charakteristik bylo uskutečněno na dvou lokalitách, a to na mokřých loukách u obce Hamr a na Záblatských loukách. Sledované lokality se nacházejí v Třeboňské pánvi a jsou součástí Chráněné krajinné oblasti Třeboňsko. Práce je součástí projektu GA526/06/0276 - Eutrofizace mokřých luk: Vliv na interakce půda - rostliny s důrazem na transformace uhlíku a dusíku (2006-2008, GA0/GA).



## 1.1. Cíle práce

Cílem této práce je zhodnocení fotosyntetických charakteristik ostřice štíhlé na vybraných mokřadních biotopech ve vztahu k dodávce živin. Hypotézou pro tuto práci je předpoklad zvýšení rychlosti fotosyntézy vlivem přísunu většího množství živin, na rozdíl od rostlin, které nebyly ovlivněny hnojením.

Metodický postup práce je následující:

1. Zpracování literárního přehledu poznatků získaných o fotosyntetických charakteristikách mokřadních travin.
2. Stanovení světelných křivek fotosyntézy listu přenosným infračerveným analyzátozem LiCor 6400 na dvou vybraných lokalitách opakovaně během období od dubna do října 2008.
3. Zhodnocení parametrů světelných křivek ve vztahu k dodávce živin.
4. Diskuse vlastních výsledků s výsledky navazujícího výzkumu a s literárními údaji.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1. Vliv minerální výživy na proces fotosyntézy

Mezi fotosyntézou a minerálními živinami existuje vzájemná podmíněnost. Produkty fotosyntézy jsou nezbytné pro zabezpečení energie nutné k příjmu většiny minerálních živin a musí vyprodukovat i dostatek uhlíkových skeletů pro zabudování živin do metabolicky aktivních, stavebních nebo rezervních struktur (Procházka, 1998.)

Vliv minerální výživy na fotosyntézu je velmi proměnlivý. V půdách, kde není opravdový nedostatek důležitých minerálních živin, je dostupnost minerálních látek méně závažná než vliv klimatických faktorů. V každém případě je však téměř vždy možné zvyšovat výtěžek fotosyntézy umělou dodávkou živin. Na druhé straně některé látky ve zvláště vysokých koncentracích (např. ionty těžkých kovů a látky znečišťující ovzduší) mohou fotosyntézu narušovat (Larcher, 1988).

Působení minerálních živin na fotosyntetický aparát je dle Nátra (2002) 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.

Výživa tedy průběh fotosyntézy ovlivňuje jak přímo dostupností prvků, které jsou součástí metabolitů, koenzymů a pigmentů a působí jako katalyzátory dílčích procesů fotosyntézy, tak nepřímo tím, že má vliv na otvírání průduchů, anatomickou strukturu listu apod (Larcher, 1988).

#### 2.1.1. Vliv jednotlivých minerálních prvků na fotosyntézu

Dle Nátra (2002) byl prokázán negativní vliv deficitu na rychlost čisté fotosyntézy následujících prvků N, P, Mg, S, Ca, Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo.

Velmi významné postavení ve výživě rostlin má dusík. Je součástí základních organických sloučenin podmiňujících existenci života, a to bílkovin a nukleových kyselin. Je také jedním ze základních komponentů chlorofylu (Hejnák, 2005). Jedním z prvních projevů nedostatku dusíku je pokles hodnoty udávající poměr sušiny nadzemní části a kořenů. Změna tohoto poměru je spíše způsobena poklesem rychlosti růstu nadzemní části, než zvýšením rychlosti růstu kořenů. Dle interpretace některých

autorů vysílají kořeny při nedostatku dusíku signál do nadzemní části rostliny, která reaguje téměř okamžitě snížením rychlosti růstu (Hejnák, 2005). Nedostatek dusíku v rostlině ovlivňuje řadu důležitých fyziologických pochodů včetně asimilace CO<sub>2</sub> a projevuje se inhibicí růstu a vývoje rostlin a také nedostatkem chlorofylu (Pavlová, 2005). Nedostatek dusíku nepřímo ovlivňuje fotosyntézu tím, že se vyvíjejí malé listy s méně pohyblivými průduchy, zatímco nadbytek způsobuje nadměrné dýchání, a tak snižuje výtěžek fotosyntézy (Larcher, 1988).

Pro biosyntézu chlorofylu má význam draslík, v jehož přítomnosti využívají rostliny mnohem lépe železo při biosyntéze chlorofylu (Hejnák, 2005). Dle Larchera (1988) draslík také účinkuje v transportním systému elektronů v thylakoidech.

Fosfor bývá v půdním roztoku vždy jen ve velmi malé koncentraci a malá je i jeho zásoba v půdě. V rostlině plní velmi rozmanité funkce. Je stavební součástí nukleových kyselin a fosfolipidů, zajišťuje rychlé energetické výměny pomocí vazeb v nukleotidech (ATP, GTP) a svou koncentrací reguluje celou řadu procesů jako rychlost respirace a fotosyntézy (Anonymus 4).

Působení hořčíku na fotosyntézu je mnohostranné. Hořčík je nezbytnou součástí chlorofylu a dále má podíl na utváření gran a světlosběrných pigmentů v chloroplastech, kde je lokalizováno až 20% veškerého hořčíku v rostlině (Hejnák, 2005). V primární fázi fotosyntézy, kdy jsou protony přenášeny ze stromatu do lumenu thylakoidů, je Mg<sup>2+</sup> z lumenu uvolňován do stromatu, kde kompenzuje úbytek kladných nábojů a současně aktivuje některé enzymy Calvinova cyklu, např. Rubisco fruktóza – 1,6 – bifosfát fosfatázu. Hořčík pozitivně ovlivňuje aktivitu RNA polymeráz a mnoha dalších enzymů (Pavlová, 2005). Při nedostatku Mg<sup>2+</sup> se snižuje v listech obsah fotosynteticky aktivních pigmentů, a to jak chlorofylu, tak i karotenoidů. A dále se mění množství chlorofylu *a* ve prospěch chlorofylu *b* (Hejnák, 2005).

Nedostatek síry vyvolává poruchu syntézy proteinů a chlorofylu, a v důsledku toho dochází ke zpomalení růstu nadzemních částí (Anonymus 4).

Pro syntézu chlorofylu je nezbytné železo, které tvoří součást hemových skupin cytochromů. Nejvíce se železo hromadí v listech a při jeho silném nedostatku vykazují listy snížený obsah chlorofylu, který velmi dobře koreluje i se sníženým obsahem enzymu Rubisco (Hejnák, 2005).

### 2.1.2. Strategie rostlinných populací

Jednotlivé rostlinné druhy se během evoluce adaptovaly na podmínky různých biotopů. Způsoby adaptace, které umožňují rostlinám úspěšně přežít v různých stanovištních podmínkách, nazývá Slavíková (1983) strategiemi. Strategie tedy zahrnuje soubor vlastností rostlinného druhu, které umožňují jeho růst, vývoj i rozmnožování, v daných podmínkách prostředí. Průběžně se vyvinuly tři typy strategie, a to ruderální strategové (R – strategové), konkurenční strategové (C - strategové) a strategové snášející stres (S - strategové).

Ruderální strategové se vyznačují velkou reprodukční kapacitou a rychlou klíčivostí, rychlou tvorbou biomasy a vysokou produkcí. Jsou to druhy s krátkým životním cyklem, které přežívají období nepříznivých podmínek ve formě semen a plodů. Tyto rostliny rostou na stanovištích s velkým množstvím živin, energie a vody. Dle Slavíkové (1983) je příkladem R – strategů je hořčice rolní (*Sinapsis arvensis*), kokoška pastuščí tobolka (*Capsella bursa pastoris*), merlík (*Chenopodium sp. div.*), lebeda (*Atriplex sp. div.*) a mnohé jiné plevele.

Konkurenční strategové jsou druhy s vysokou konkurenční schopností. Jsou to relativně velké rostliny s velkou asimilační plochou a hustým zápojem listů. Mají schopnost intenzivně využívat zdroje výživy pouze v době vegetačního růstu a většina asimilátů a minerálních živin je rychle přemísťována do vegetativních částí a rezervních orgánů rostlin. Na stres odpovídají rychlou změnou poměru podzemní biomasy k nadzemní biomase,  $R / S$  se zvětšuje, až dosahuje hodnoty větší než 1. Optimum růstu těchto rostlin a tedy jejich strategie je optimální na stanovištích s dostatečnou zásobou minerálních látek a vody, kde přitom nedochází k narušování jejich biomasy.

Stres snášející strategové jsou rostliny, jež jsou schopny růst na stanovištích, které se ve zdrojích výživy, záření a vody odchyľují od průměrných hodnot tak, že výživa je limitujícím faktorem pro tvorbu jejich biomasy a kde vytvořená biomasa není narušována. Společnými znaky těchto rostlin jsou vlastnosti jako pomalý růst, nízká produkce, květy a semena nemají každý rok, jsou to vytrvalé rostliny, mají malé listy a šíří se často vegetativně. Mají pomalý obrát uhlíku, minerálních látek a vody. S – strategové mají optimum svého růstu na neproduktivních stanovištích s některým limitujícím faktorem. Vyskytují se i na stanovištích, kde zdroje výživy byly sníženy

druhotně růstem a odčerpáním živin jinými rostlinami. Mezi tyto strategie patří např. borovice (*Pinus*), smrk (*Picea*) a vřes obecný (*Calluna vulgaris*) (Slavíková, 1983).

Jednotlivé strategie se liší mimo jiné i typickou odpovědí na změny v dostupnosti živin. Pozitivní odpověď na zvýšenou dodávku živin lze očekávat spíše u ruderalních a konkurenčních strategií, kdežto stres tolerantní druhy obvykle nejsou schopny zvýšenou dodávku živin využít k zvýšení produkce.

## 2.2. Fotosyntéza jako výměna plynů

Na úrovni celého listu se fotosyntéza projevuje jednak tvorbou asimilátů, tedy zvýšením hmotnosti sušiny, jednak tokem  $\text{CO}_2$  do listu. Tento krok se děje téměř výhradně difúzí (Procházka, 1998). Difúze je proces transportu určený pouze gradientovým rozdílem difundující složky mezi zdrojovým místem a místem spotřeby. V případě  $\text{CO}_2$  to je rozdíl v koncentraci  $\text{CO}_2$  ve vnější atmosféře listu a jeho koncentrací ve stromatu chloroplastů (Marek, 2009).

Dráha molekul  $\text{CO}_2$  je poměrně složitá. Nejprve procházejí tenkou vrstvičkou vzduchu těsně při povrchu listu (tzv. hraniční vrstva – odpor hraniční), dále procházejí průduchy a intercelulárními vrstvami (odpor stomatální) a nakonec pronikají stěnou buněk, plazmalezmou, cytozolem, membránami chloroplastů (mezofylový odpor) až do vlastního místa karboxylace (Procházka, 1998).

Analýza difúzních odporů znamená velký přínos pro studium fyziologie fotosyntézy, kde rychlost příjmu  $\text{CO}_2$  jednotkou plochy povrchu listu za jednotku času je mírou rychlosti tzv. čisté fotosyntézy  $P_n$ .

Řízení otevřenosti průduchové štěrbině je velice komplikované a doposud není plně objasněno (Marek, 2009). Kromě přímého vlivu světla na otvírání průduchů existují ještě nejméně dva další účinné regulační systémy se zpětnou vazbou. První je řízen koncentrací  $\text{CO}_2$  v intercelulárách a zajišťuje tok  $\text{CO}_2$  přiměřený potřebám fotosyntézy, druhý systém řízený stavem vody v pletivech (s přenosem signálů pomocí kyseliny abscisové) přizpůsobuje tok vodní páry z listu možnostem příjmu vody rostlinou a chrání ji před nadměrnou ztrátou (Anonymus 4).

### 2.2.1. Vliv meteorologických podmínek na fotosyntézu

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující průběh fotosyntézy patří světlo. Důležité je jeho spektrální složení i intenzita světla. Nejvýhodnější je oblast červeného světla, dávající sice méně energie, avšak s velkou využitelností (Šebánek et al., 1989). Pokud jsou listy vystaveny zvyšující se intenzitě světla, zvyšuje se příjem  $\text{CO}_2$  nejdříve úměrně s intenzitou a pak pomaleji až k maximální hodnotě příjmu (Larcher, 1988). Za tmy jsou průduchy u většiny rostlin uzavřeny a výměna plynů neprobíhá (Anonymus 4).

Teplota působí na fotosyntézu prostřednictvím sekundárních procesů, fotochemický proces je na teplotě téměř nezávislý. Fixace a redukce  $\text{CO}_2$  se při zvyšování teploty zrychlují, až dosáhnou maximální hodnoty. Pokud je teplota extrémně vysoká nebo nízká, je příjem  $\text{CO}_2$  zcela potlačen. Rostliny se po znovuoobnovení příznivějších podmínek zotavují poměrně pomalu (Larcher, 1989). Běžně se optimum teploty pro proces fotosyntézy pohybuje mezi 20 – 30°C. U většiny rostlin fotosyntéza ustává již v oblasti několika stupňů nad nulou (Šebánek et al., 1989).

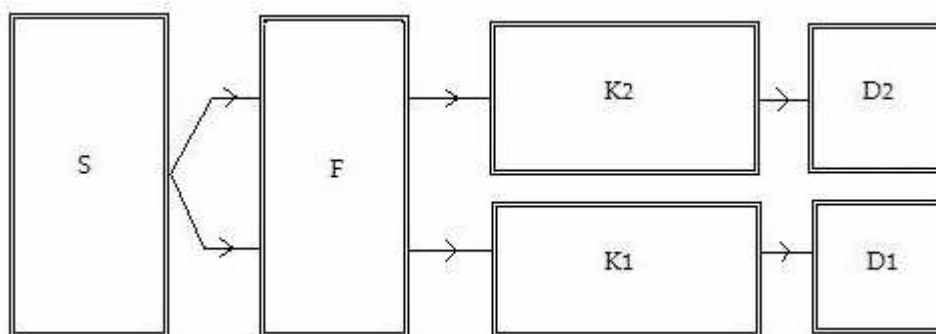
Voda je důležitá pro zachování vysokého vodního potenciálu protoplazmy. Ztráta vody má na fotosyntetický proces přímý inhibiční účinek, a to jak na elektronový transport v primárních reakcích, tak na biochemické děje a aktivitu enzymů v sekundárních reakcích. Příjem  $\text{CO}_2$  dosahuje normálních rychlostí jen v úzkém rozsahu dostatečného zásobování vodou, mimo něj začíná klesat a nakonec se zastaví. (Larcher, 1989). Nedostatek vody v listu, provázený poklesem vodního potenciálu a turgoru, způsobuje zavírání průduchů za i jinak příznivých okolností, neboť ochrana listu před nadměrnou ztrátou vody má prioritu před maximalizací toku  $\text{CO}_2$  pro fotosyntézu (Anonymus 4). Působení vody na rychlost fotosyntézy je výstižně vyjádřeno hodnotou vodního sytostního deficitu, který je procentickým vyjádřením množství vody, jež rostlině chybí do plného nasycení (Nátr, 2002).

Faktory prostředí nepůsobí izolovaně, rychlost výměny plynů je výsledkem souhry mnoha vnitřních faktorů a faktorů prostředí. Z mnoha faktorů obvykle jeden rychlost fotosyntézy v dané chvíli limituje, zatímco jiné ji nadále podporují. I jednotlivě bývají vnější faktory v přírodě v optimu jen zřídka a po krátkou dobu. Při vzájemném prolínání jejich vlivů, lze proto těžko maxima dosáhnout. V klimatických podmínkách převažujících ve středních zeměpisných šířkách je nejdůležitějším faktorem, který

sníží výtěžek asimilace CO<sub>2</sub> rostlin, nedostatek světla. Z globálního hlediska je ale nejdůležitějším faktorem limitujícím asimilaci CO<sub>2</sub> nedostatek vody (Larcher, 1989).

### 2.2.2. Princip infračerveného analyzátoru

Analýza látek v infračervené oblasti spektra je jednou z nejrozšířenějších metod založených na vzájemném působení hmoty a elektromagnetického záření. Pro infračervenou analýzu jsou vhodné zvláště plyny a páry, jež mají všeobecně velmi složitý průběh spektra. Z nejběžnějších plynů se jedná např. o CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, NO, CH<sub>4</sub>. Analyzátoři užívané pro zjištění výměny CO<sub>2</sub> jsou založeny na principu pozitivní filtrace. Tyto analyzátoři pracují se selektivním detektorem záření. Koncentrace zjišťovaného plynu se měří tím, že se porovnává energie zachycená komorou D<sub>1</sub> s energií zachycenou komorou D<sub>2</sub>, jež se mění podle koncentrace měřeného plynu v kyvetě K<sub>2</sub>. Schéma rozmístění je znázorněno na obrázku 1, kde S značí neselektivní zdroj záření, F filtr, K<sub>1,2</sub> znázorňuje měrnou a srovnávací kyvetu a D<sub>1,2</sub> komory detektoru. Selektivnosti měření je dosaženo tím, že vlastním přijímačem energie je druh plynu, jehož koncentraci chceme zjišťovat. Tento plyn pohltí z celého spojitého spektra pouze záření ve svém absorpčním pásmu, na záření ostatních vlnových délek, které tento plyn neabsorbuje, detektor nereaguje (Šesták a Čatský, 1966).



**Obrázek 1.** Schéma infračerveného analyzátoru

### 2.2.3. Metody měření rychlosti fotosyntézy

Metody měření P<sub>n</sub> lze členit podle měřeného objektu. Jedním z objektů měření jsou izolované chloroplasty či jejich fragmenty. Při jejich studiu se nejčastěji měří rychlost výdeje CO<sub>2</sub>. Dalšími objekty jsou izolovaná pletiva nebo části listových čepelí, jejichž výhodou je poměrná homogenita celého vzorku i jeho izolace od vlivu ostatních

částí rostliny. Dále se používá izolovaný list, který je dobře manipulovatelný a představuje přirozený fotosyntetický celek. Také je možno použít intaktní list, tato metoda byla použita i v této práci. Měření intaktních listů patří k standardním postupům. Nevýhodou bývá dosti velká heterogenita celé listové čepele. Dále se jedná o měření celé rostliny. Posledním objektem je soubor rostlin či celý porost. Stanovení fotosyntetické produkce porostu spadá do oblasti ekologie nebo ekofyziologie rostlin (Procházka et al., 1998).

Dále jsou uvedeny typy metod měření fotosyntézy.

Metoda stanovení parametrů fluorescence chlorofylu *a* poskytuje informace o stavu a funkci asimilačního aparátu ve vztahu k procesům spojeným se záchytem kvant zářivé energie a transportem elektronů mezi PSII a PSI (Marek, 2009).

Gravimetrické metody jsou založeny na přírůstku hmotnosti sušiny. Z rostliny se odebere soubor poloviny listů na počátku experimentu a druhá polovina na konci experimentu. Délka experimentu je obvykle několik hodin, maximálně jedna světelná perioda v rámci čtyřadvacetihodinového cyklu. Rozdíl v hmotnosti sušiny obou polovin listových čepelí přepočtený na jednotku jejich plochy je mírou  $P_n$  (Procházka, 1998). Gravimetrická metoda patřila ke klíčovým metodám studia fotosyntézy v 60. letech 20. století, později byla nahrazena metodami gazometrickými.

Gazometrické metody měření fotosyntézy jsou metody nepřímé, založené na stanovení rychlosti příjmu oxidu uhličitého plošnou jednotkou asimilačního aparátu rostlin. Metoda použitá v této práci patří právě do skupiny gazometrických metod.

V podstatě je možné stanovit dva základní typy závislosti rychlosti příjmu  $CO_2$ , a to závislost na měnící se koncentraci  $CO_2$  (tzv.  $CO_2$  křivka) a dále závislost na měnící se intenzitě fotosynteticky aktivní radiace (tzv. světelná křivka) (Marek, 2009).

#### 2.2.4. Matematické modely fotosyntézy

Kvantitativní vyjadřování závislostí rychlosti fotosyntézy na vnějších faktorech je dle Procházky (1998) velmi rozšířeno. Tyto popisy jsou racionálním vyjádřením vlastních experimentálních výsledků, jsou vhodné pro interpolaci hodnot a v neposlední řadě umožňují odvodit z experimentálních dat parametry významně charakterizující funkce fotosyntetického aparátu, jako je maximální rychlost fotosyntézy  $A_{max}$ ,



maximální účinnosti přeměny dopadající zářivé energie  $\alpha$ , vodivosti pro  $\text{CO}_2$  apod (Procházka, 1998).

Na zpracování dat v této diplomové práci byla použita rovnice Michaelise a Mentenové pro popis závislosti rychlosti příjmu  $\text{CO}_2$  na intenzitě záření dopadajícím na povrch listu. Tento vztah popisuje rovnice 2.1.

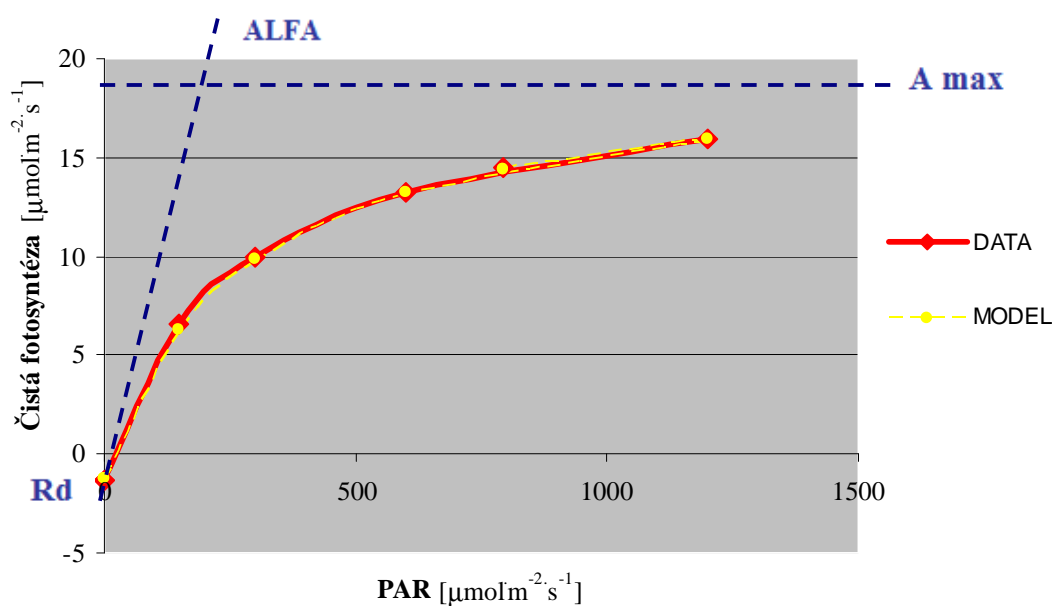
$$P_n = \frac{\alpha \cdot I \cdot A_{\max}}{\alpha + A_{\max}} \quad (2.1.)$$

$\alpha$  ..... maximální účinnost přeměny dopadající zářivé energie

$I$  ..... hustota toku zářivé energie

$A_{\max}$  ..... maximální rychlost fotosyntézy

Zjišťované parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  a křivka rovnoosé hyperboly dle Michaelise a Mentenové je znázorněna graficky v obrázku 2.



**Obrázek 2.** Graf znázorňující sledované parametry světelných křivek

### 2.3. Prostředí mokřadů

Ramsarská konvence definuje mokřad jako území s močály, slatinami, rašeliništi a vodami přirozenými nebo umělými, trvalými nebo dočasnými, stojatými i tekoucími, sladkými, brakickými nebo slanými, včetně území s mořskou vodou, jejíž hloubka při odlivu nepřesahuje 6 metrů” (www.env.cz). Dle Mitsche a Gosselinka (2000) je mokřad přechodový ekosystém mezi suchozemským a vodním ekosystémem.

V České republice zastupují mokřady zejména nivní mokřady, lužní lesy, rybníky a jezera se svými litorály, rašeliniště a slatiniště, sladkovodní bažiny a také periodicky zaplavované mokré louky (Chytil et al., 1999).

Mokřady mají tři významné vlastnosti: vyznačují se přítomností vody sahající buď k povrchu půdy nebo alespoň do kořenové zóny, mokřadní půda má zvláštní vlastnosti a liší se od ostatních půd a dále se v mokřadech vyvíjí vegetace adaptovaná k zaplavení a nejsou v nich přítomny rostliny, které nesnášejí zaplavení (Mitsch a Gosseling, 2000).

V krajině plní tyto útvary nezastupitelné funkce, podílejí se na zlepšování kvality vody, slouží jako retenční prostory a podílejí se také na stabilizaci globálních cyklů uhlíku, dusíku a síry. Pro lidstvo zajišťují mokřady celou řadu služeb a poskytují mnoho produktů, na nichž mnohá etnika závisí např. rybolovem, pěstováním rýže a také jako zdrojem pitné vody (Mitsch a Gosselink, 2000). Mokré louky slouží také jako ochrana půdy před vodní erozí, jako filtr pro živiny a v neposlední řadě jako rezervoár cenného genofondu rostlinných i živočišných druhů. Všechny tyto funkce je možno shrnout pod pojem stabilizační prvek v krajině. Svoji stabilizační funkci však mohou mokřadní louky plnit pouze pokud jsou pravidelně hospodářsky využívány, byť extenzivně (Lukavská, 1988).

Tradičním způsobem hospodaření na nivních loukách bylo pravidelné kosení (u nejproduktivnějších typů až 4x ročně), místy i pasení, nebo kombinace obojího, tedy většinou kosení v první části sezóny a přepásání koncem léta a na podzim. Bohužel v současné době je všeobecně velmi nízký zájem o využívání nivních luk a to přesto, že se jedná o nejproduktivnější formace u nás, s nutričně příznivým druhovým složením (Prach, 2003). Zamokřené půdy mají opožděný počátek vegetace, dochází u nich

k hromadění organické hmoty v půdě a únosnost těchto půd je velmi nízká, což znesnadňuje sklizeň (Velich, 1994).

Nivní louky dnes podléhají rychlé degradaci, tato degradace je převážně výsledkem dvou extrémních variant hospodaření. Hospodaření příliš intenzivní či hospodaření žádného. Zároveň v 70. a 80. letech vzrůstala hladina živin v celé krajině. Výsledkem těchto trendů bývá převládnutí několika konkurenčně silných druhů a vznik monotónních, druhově chudých porostů (Prach, 2003).

## 2.4. Mokřadní rostliny

Mokřady se vyznačují typickou vegetací, která je přizpůsobena ke specifickým podmínkám zaplavení a jeho důsledkům. Rostliny žijící v mokřadech se v první řadě musí vyrovnat s nedostatkem kyslíku v půdním prostředí. U mnoha mokřadních rostlin nalézáme adaptace metabolické, které jim umožňují přežívat bez adekvátního přísunu kyslíku tím, že energii potřebnou pro udržení existence získávají anaerobními fermentačními procesy. Trvalé přežití a intenzivní růst umožňují adaptace anatomické, tj. diferenciací takových typů pletiv, jejichž funkce napomáhá dlouhodobému přežití v podmínkách bez kyslíku (Čížková a Šantrůčková, 2006).

Anatomické adaptace jsou ve větší či menší míře vyvinuty u mnoha dosud zkoumaných jednoděložných i dvouděložných mokřadních bylin. Strukturální adaptace zajišťují buňkám podzemních orgánů, v jejichž okolí je kyslík vyčerpán, alternativní zásobení kyslíkem prostřednictvím tzv. vnitřního provětrávání. Při něm je kyslík z atmosféry přiváděn k buňkám podzemních orgánů soustavou navzájem propojených vzdušných prostor v pletivech listů, stonků, oddenků a kořenů (Čížková, 2006).

Přes existenci strukturálních adaptací dochází u rostlin k situacím, kdy je zásobování kyslíkem k pletivům sníženo nebo přerušeno. Buňky rostlinných částí, které jsou vystaveny nedostatku kyslíku, jsou schopny po určitou dobu přežívat (tedy zachovat si buněčnou integritu a základní metabolické funkce) díky změnám v buněčném metabolismu. Podstatou těchto metabolických adaptací je schopnost získávat energii pro buněčný metabolismus anaerobní fermentací. Všechny vyšší rostliny mohou tedy po určitou dobu přežívat bez přítomnosti kyslíku. Většina mokřadních rostlin však snáší delší období bez kyslíku než typické suchozemské rostliny. Metabolické adaptace samy o sobě tedy rostlině umožňují přežít bez kyslíku pouze po určitou omezenou dobu, tj. několik hodin až několik měsíců podle míry odolnosti daného druhu (Čížková, 2006).

### 2.4.1. Přehled dat o fotosyntéze mokřadních rostlin

Gloser (1977) studoval fotosyntetické charakteristiky listů, různých inzercí, stébel a lat rákosu obecného (*Phragmites australis*). Zjistil, že optimální podmínky pro čistou fotosyntézu prýtlů byly dosaženy při teplotách 20 - 25 °C a vysokých hodnotách

ozáření. Rychlost čisté fotosyntézy nebyla saturována zářením ani při vysokých ozářeních (400 W m<sup>-2</sup> PhAR, tj. přibližně 1800 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, což patří k nejvyšším hodnotám ozáření, dosahovaným v našich klimatických podmínkách za radiačního dne v letním období).

Hamadejová (2001) uvádí, že nejvyšší rychlost čisté fotosyntézy u chrostice rákosovité (*Phalaris arundinacea*) je dosahována při vysokých intenzitách záření kolem 22 °C, zatímco při nízkých intenzitách se přesouvá k nižším teplotám. Tedy, že vzájemný poměr fotosyntézy i respirace ovlivňují kromě strukturálních jevů především světlo, teplo a vodní režim. Závislost na těchto faktorech je dynamická v čase a komplexní ve vzájemné podmíněnosti.

Drake a Rasse (2002) vyvinuli pro skřípínu (*Scirpus olney*) mechanistický model založený na ekofyziologických datech a dalších měřeních fotosyntetických parametrů. Jedná se o reakci asimilace CO<sub>2</sub> na zvýšení koncentrace atmosférického CO<sub>2</sub>. Jejich měření potvrdilo, že skřípína pozitivně reaguje na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub>. Zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> znamenalo zvýšení asimilace CO<sub>2</sub> o 35 – 40%. Na měření fotosyntézy této rostliny byl použit přístroj Licor 6400.

Rozdělování dusíku mezi mokřadními rostlinami ve vztahu k jejich fotosyntetické kapacitě sledovali Hirose a Werger (1994). Zjistili, že z celkového množství asimilovaného dusíku bylo 92% obsaženo ve třech hlavních rostlinách (*Phragmites*, *Calamagrostis* a *Carex*) a zbytek v dalších osmi vedlejších druzích. Ve všech druzích byla koncentrace dusíku na jednotku listové plochy ve vztahu k hustotě toku fotonů fotosynteticky aktivního záření.

Efekt živin a půdní vlhkosti na konkurenci rostlin *Carex stricta*, *Phalaris arundinacea* a *Typha latifolia* zkoumali Wetzel a Valk (1998). Experiment byl vedený s vysokou a nízkou úrovní živin, nízkou a vysokou úrovní vlhkosti a s očkováním AMF a bez očkování. Biomasa *Phalaris arundinacea* a *Typha latifolia* byla o 73% a 77% vyšší v ošetření s vysokou dávkou živin. Poměr nadzemní k podzemní biomase byl relativně stálý, ačkoliv u *Phalaris* klesl v ošetření s nízkou dávkou živin. Pro *Carex stricta* znamenalo zvýšení živin i půdní vlhkosti zvýšení biomasy o 50% a 15%. Poměr nadzemní k podzemní biomase byl téměř stálý ve všech podmínkách.

Glenn et al. (2006) srovnávali výměnu CO<sub>2</sub> na dvou rašeliníštích v západní Kanadě s různými rostlinnými dominantami: rašeliníkem (*Sphagnum spp.*) a ostřicí

*Carex lasiocarpa*. Rašeliník byl dominantní na slatiništi chudém na živiny, zatímco *Carex lasiocarpa* v bažinách extrémně bohatých na živiny. Bylo zjištěno, že nadzemní biomasa je vyšší ve slatiništi chudém na živiny. Maximální fotosyntetická kapacita byla naměřena vyšší v živinami bohatém mokřadu. Rostlinné druhy v místě chudém na živiny byly aktivní dříve na počátku vegetační sezóny, zatímco ostřice v živinami bohatém mokřadu trvalo déle vyvinout listy. Snížení fotosyntetické aktivity koncem vegetační sezóny se vyskytlo dříve na živinami bohatém místě.

Chapin a Oechel (1983) studovali fotosyntézu, dýchání a absorpci fosforu na ostřici *Carex aquatilis*. Genetické a environmentální znaky fotosyntézy, dýchání, a absorpce fosforu byly studovány v populacích *Carex aquatilis* z různých teplotních a výživných prostředí, jako je např. subarktický horký pramen a alpské a subalpské biotopy. Přizpůsobení fotosyntézy různým místům bylo nejvíce zřetelné u populace z teplotně variabilních prostředí. Rozdíly mezi fotorespirací mezi populacemi a mezi místy byly obdobné jako rozdíly mezi fotosyntézou. Teplotní optimum pro fotosyntézu každé populace ve všech místech bylo vyšší než průměrná teplota vzduchu v daném místě.

Fyziologická aktivita *Carex bigelowii* a *Eriophorum vaginatum* dle Starra et al., (2004) může být řízena teplotami půdy. Tyto dvě rostliny byly studovány za snížených teplot půdy a byly u nich stanoveny fotosyntetické parametry maximální rychlosti fotosyntézy ( $A_{max}$ ), vodivost, maximální fluorescence a koncentrace kyseliny abscisové.  $A_{max}$  a vodivost se u obou rostlin velmi snížila s poklesem teploty půdy. Tato pozorování podporují názor, že teplota půdy je významný fotosyntetický faktor u polárních ostřic.

Čížková–Končalová a Bauer (1993) zjišťovali reakci ostřice štíhlé na hypertrofní podmínky. Jednalo se o experiment, v němž byly kombinovány anaerobní podmínky a vysoká dostupnost dusíku v substrátu. Při hnojení dusíkem byla čistá fotosyntéza i produkce sušiny zvýšena. Naproti tomu anaerobní podmínky navozené přidáním opadu do zaplaveného substrátu měly silný inhibiční efekt jak na čistou fotosyntézu, tak na produkci sušiny. Kombinace obou těchto faktorů měla střední účinnost. Při dodání fugátu byla čistá fotosyntéza nejvyšší a produkce biomasy také.

Choo a Albert (1999) sledovali pět druhů ostřic v jejich původním prostředí. *C. rostrata*, *C. limosa* (vlhké oligotrofní prostředí), *C. acutiformis* (vlhké eutrofní

prostředí), *C. pilosa* (mezotrofní prostředí) a *C. distans* (mezo–eutrofní slané prostředí). Jejich lokality byly ošetřené třemi různými režimy živin. Navíc byly analyzovány i anorganické ionty (K, Na, Mg, Ca, Cl, NO, SO), organické kyseliny, sacharidy a aminokyseliny. *C. acutiformis*, která je přizpůsobená lokalitám s velkou zásobou živin, nemohla dosáhnout vysokého vzrůstu při nedostatku živin. Naopak *C. limosa* a *C. rostrata*, přizpůsobené chudým stanovištím, byly schopny udržet nebo dokonce zvýšit růst. Dále byl pozorován trend zvýšení úrovně aminokyselin a celkového dusíku s dodáním živin.

Aerts et al. (1992) studoval několik druhů ostřic, které pěstoval pod různým živným režimem. V případě celkové biomasy rostliny vystavené nízkému hnojení mezi sebou nevykazovaly žádné rozdíly. Oproti tomu rostliny vysoce hnojené mezi sebou určité rozdíly měly. *Carex lasiocarpa*, *C. acutiformis* měla hodnotu celkové biomasy významně větší než *C. diandra* a *C. rostrata*. Dále bylo zjištěno, že druhy vysoce hnojené měly vyšší poměr nadzemní biomasy k podzemní, vyšší procento biomasy přidělené listům, vyšší celkový dusík a vyšší procento přidělu dusíku do listů než rostliny nízce hnojené. Nicméně nízce hnojené druhy měly vyšší koncentraci dusíku v listech než vysoce hnojené.

#### 2.4.2. Charakteristika *Carex acuta*

Ostřice štíhlá se vyskytuje téměř v celé Evropě. Na vhodných stanovištích v územích s dostatkem vláhly roste také v severní Africe, v západní a v severní Asii. U nás jde o hojný druh rostoucí zejména na březích vod, na bažinných místech, zamokřených loukách i pastvinách (Hron a Zejbrlík, 1979).

Ostřice patří do čeledi šáchorovitých rostlin. Tyto rostliny jsou převážně vytrvalé byliny, vzhledem dosti podobné travám (Hron a Zejbrlík, 1979). Ostřice štíhlá je trsnatá rostlina s dlouze plazivými, výběžkatými oddenky. Lodyhy jsou přímé, 30 až 120 cm dlouhé, tuhé, žlábkovitě trojhranné a nahoře drsné. Listy jsou 1,5 – 2 mm široké, žlábkovité za sucha podvinuté, drsné, s dlouhou tenkou 3hrannou špičkou, barvy šedé až sivě zelené (Dostál, 1989). V době plodu jsou listy sterilních výhonů tmavozelené až šedozelené, stejně dlouhé nebo delší než stonky (Kubát et al., 2002). Pochvy jsou hnědé, nekýlnaté a nerozpadavé. Květenství se skládá ze 3 – 7 klasů. Samčí klasy jsou přisedlé, v počtu 1 – 3 a dlouhé 2 – 4 cm. Samičí klasy se vyskytují v počtu

2 – 4 , jsou husté, válcovité a 1 – 4 cm dlouhé. Klasy jsou vzpřímené, jen dolní krátce stopkatý a nicí, listeny jsou bez pochev, dolní delší než květenství. Plevy samičích květů jsou podlouhle kopinaté nebo podlouhle vejčité, tupé a černohnědé (Dostál, 1989).

### 2.4.3. Vegetace vysokých ostřic

Strukturou a druhovým složením se jedná o jednovrstevné až dvouvrstevné porosty s převahou vysokých ostřic. V porostu trsnatých ostřic jako je *Carex appropinquata*, *C. elata* a *C. paniculata* se na volných místech vyskytují také bažinné byliny vyššího vzrůstu jako je například kyprej obecný (*Lythrum salicaria*), čísteček bahenní (*Stachys palustris*), pryskyřník velký (*Ranunculus Lingea*), dále i byliny poléhavého růstu např. vachta trojlistá (*Menyanthes trifoliata*), zábělník bahenní (*Potentilla palustris*) a bublinatky (*Utricularia spp.*). Porosty s převahou výběžkatých netrsnatých ostřic jako je *Carex acuta*, *C. acutiformis*, *C. riparia*, *C. rostrata* a *C. vesicaria* jsou homogennější. Jejich struktura je dána výškou a zápojem dominantní ostřice. V hustě zapojených porostech ostřice pobřežní je nižší bylinné patro vyvinuto velmi slabě. Podobný charakter mají i porosty s chřasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*) nebo třtinou šedavou (*Calamagrostis canescens*). Druhově bohatší jsou porosty s převahou ostřice dvouřadé nebo ostřic tvořících rozvolněné trsy. Mechové patro bývá vyvinuto slabě nebo chybí. Variabilita v druhovém složení závisí zejména na půdní reakci a obsahu živin.

Vegetace vysokých ostřic jsou rozšířeny po celém území České republiky od nížin po podhorský, výjimečně horský stupeň. Vyskytují se především v aluviích větších řek. Je vázána na různé typy mokřadů jako jsou říční ramena, mělčiny rybníků, tůň, podmáčené louky a zaplavované nivy. Výška vodního sloupce většinou výrazně kolísá během vegetačního období a přes léto většina ostřicových porostů zcela vysychá. Dlouhodobější nedostatek vody však zapříčiní ochuzení porostů o vlhkomilné druhy a navíc mohou do porostu pronikat nežádoucí ruderalní druhy (Chytrý et al., 2001).



### 3. POPIS STUDOVANÝCH LOKALIT

Třeboňsko je typickou historickou krajinou. Krajinou, která vznikla dlouhodobým vzájemným ovlivňováním přírody lidskou činností a dosáhla v průběhu několika staletí jakési druhotné rovnováhy. Došlo zde na poměrně malém území, k nápadnému soustředění velkého počtu rostlinných i živočišných druhů (Hlásek, 2000).

Tato oblast je jednou z mála chráněných krajinných oblastí vyhlášených v rovinnaté krajině po staletí kultivované člověkem. Přesto se zde zachovaly mimořádně cenné přírodní hodnoty. Na mnoha místech lze dosud hovořit o harmonické krajině, kde jsou lidské aktivity v určité rovnováze s přírodou. Proto je Třeboňsko vyhlášeno i jednou ze šesti českých biosférických rezervací programu Člověk a biosféra (MAB) UNESCO. Na utváření krajiny Třeboňska se člověk podílel již od 12. století, a to zejména úpravami vodních poměrů původní močálovitě krajiny, jejichž výsledkem je důmyslná síť umělých stok (například Zlatá stoka, Nová řeka) a množství rybníků, které dělají z Třeboňska centrum českého rybníkářství. Rozsáhlé rybníční soustavy s druhotně vytvořenými litorálními společenstvy se staly evropsky významným hnízdištěm i migrační zastávkou vodního ptactva. Oblast vyniká bohatostí mokřadní a vodní vegetace (Anonymus 1).

V rámci střední Evropy patří Třeboňsko k územím s největším zastoupením mokřadů, mokřady tvoří nejméně 20% z rozlohy CHKO/BR Třeboňsko a přesahují hlavně do Veselských blat. Výzkum těchto mokřadů má dlouhou tradici a výsledky těchto výzkumů jsou uveřejňovány v knižních a časopiseckých domácích i mezinárodních publikacích. Díky tomu mokřady Třeboňska patří k velmi dobře známým a prostudovaným mokřadům v Evropě i ve světě (Květ, 2000).

K nejcennějším biotopům Třeboňska patří rozsáhlá přechodová rašeliniště se zachovalými rostlinnými společenstvy (blatkové bory) a na ně vázanou faunou bezobratlých. Zachovány zůstaly z velké části i původní meandrující toky řek (např. Lužnice) s pravidelně zaplavovanými nivami a zbytky lužních lesů i extrémně suché lokality vátých písků. Jsou tu vyhlášeny dva mokřady mezinárodního významu chráněné Ramsarskou konvencí (Třeboňské rybníky, Třeboňská rašeliniště).

Přírodní i kulturní faktory tak vytvářejí z Třeboňska území mimořádné v evropském kontextu a dávají mu i vysoký rekreační potenciál (Anonymus 1).



**Obrázek 3.** Mapa studované lokality s vyznačenými Zábalskými a Hamerskými loukami

### 3.1. Přírodní rezervace Zábalské louky

Jednou ze sledovaných lokalit jsou Zábalské louky. Podloží této lokality tvoří světlé kaolinické pískovce až slepence a pestré a bělošedé jílovce svrchnokřídového stáří. Tyto jsou překryty rozsáhlým holocenním ložiskem slatinné rašeliny o mocnosti několika metrů, přecházejícím do rybníka. Vodní režim rašeliniště závisí na výšce hladiny rybníka a zřejmě na existenci vývěřů podzemní vody (Anonymus 1). Nadmořská výška této oblasti je dle Picka (2008) 426 m.n.m..

Co se týče flory v celé přírodní rezervaci, rozsáhlou formaci tvoří porosty ostřice (*Magnocaricion elatae*) přecházející v jednosečné bezkolencové (*Molinion*) a psárkové louky (*Arrhenatherion*). V ostřicových plochách roste ostřice štíhlá (*Carex gracilis*) a zobánkatá (*C. rostrata*), třtina šedavá (*Calamagrostis canescens*), suchopýr úzkolistý (*Eriophorum angustifolium*) a zábělník bahenní (*Comarum palustre*). Na vyvýšených místech se uchytily nálety bříz a olší a plošně rozsáhlé křoviny krušiny olšové (*Frangula alnus*). V jejich podrostu se vyskytuje kaprad' osténkatá (*Dryopteris carthusiana*), ostřice prodloužená (*Carex elongata*), ostřice nedošáchor (*C. pseudocyperus*), ostřice měchýřkatá (*C. vesicaria*) a bazanovec kytkokvětý (*Naumburgia thyrsiflora*).

Na sledovaném místě byly dominantními druhy *Carex gracilis* a *C. vesicaria*. Mezi další druhy vyskytující se na této lokalitě patří *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Galium palustre* a *Calliergonella cuspidata* (Edwards, 2009).

Vlastnicky jsou pozemky značně roztržštěny mezi desítky soukromých vlastníků a rozsah obhospodařovaných ploch není stálý. Louky jsou každoročně koseny jen na sušších místech, část hlavně bezkolencových luk při pobřeží rybníka zůstává nekosena a je ponechána přirozenému vývoji. V 70. a 80. letech 20. století byla společenstva luk značně poškozena nadměrnou aplikací prasečí kejdy z nedalekých výkrmů, dnes je zde jakékoliv hnojení vyloučeno a dochází k postupnému zlepšování stavu (Anonymus 1).

### 3.2. Hamerské louky v nivě řeky Nežárky

Další lokalitou jsou louky v nivě řeky Nežárky u obce Hamr. Řeka Nežárka je jihočeská řeka, která vzniká soutokem Kamenice a Žirovnice u vsi Jarošov nad Nežárkou. Je dlouhá 56,2 km (společně se svou delší zdrojnicí Žirovnicí má celkovou délku 86,1 km) a vlévá se zprava do Lužnice (staré řeky) ve Veselí nad Lužnicí. Plocha povodí řeky je 999,6 km<sup>2</sup> a průměrný průtok 11,8 m<sup>3</sup>/s. Řeka protéká městy Jindřichův Hradec a Stráž nad Nežárkou. Do Nežárky ústí umělý kanál Nová řeka, který odvádí vody Lužnice a chrání tak rybník Rožmberk v případě povodní (Anonymus 2).

Nadmořská výška lokality je 415 m.n.m. (Picek, 2008). Podloží lokality je tvořeno převážně pleistocenními fluviálními štěrky a písky risského stáří, které tvoří dno říčního údolí Nežárky. Tok byl v minulosti regulován, místy jsou zachovány zbytky meandrů, odstavená říční ramena a tůň v inundaci řeky. Na Nežárce se objevují místy skalní prahy a peřeje, časté jsou břehové nátrže a písčité výspy. Dno je smíšené písčito - bahnitě až kamenitě. Jedná se o převážně ploché říční údolí, s vodním tokem nížinného charakteru, s dobře vymezenou nivou, na kterou jsou vázána pestrá mokřadní stanoviště. Vodní tok má bohatou břehovou zeleň a prochází z větší části lesnatou krajinou s lučními, méně často polními enklávami (Anonymus 3). Na studované lokalitě je dominantní rostlina *Glyceria maxima* (Picek, 2008). Nicméně *Carex gracilis* zvýšila pokryv v takové míře, že je kodominantní s *Glyceria maxima* (Edwards, 2009). Mezi ostatní druhy zde se vyskytující patří např. pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens*), psárka luční (*Alopecurus pratensis*), ostřice měchýřkatá (*Carex vesicaria*) a jiné.

## 4. METODIKA

### 4.1. Uspořádání pokusu a vlastní měření

Sledování bylo prováděno na dvou lokalitách, a to na Záblatských loukách s organickou půdou a na louce v nivě řeky Nežárky v blízkosti obce Hamr s půdou minerální.

Na každé lokalitě bylo stejné uspořádání pokusu. Na obou lokalitách byly vytyčeny čtyři bloky, které byly vyznačeny



dřevěnými kůly. V rámci každého bloku byly vymezeny tři plochy, na nichž bylo prováděno různě intenzivní hnojení. První byla varianta vysoce hnojená, značena jako „HIGH“, druhá varianta s nízkým hnojením, značena jako „LOW“ a poslední nehnojená varianta značena jako „NO“. Vlastní měření probíhalo vždy ve variantě vysoce hnojené a nehnojené, varianta s nízkým hnojením měřena nebyla.

Oba pozemky byly hnojeny ve dvou dávkách během vegetační sezóny 2008. První byla aplikována začátkem května a druhá v polovině července. Hnojení probíhá od roku 2006 do současnosti. Každá varianta byla vystavena jiné dávce hnojení. Varianta NO byla bez hnojení, varianta LOW byla hnojena dávkou 65 kg NPK hnojiva na hektar za rok a varianta HIGH byla vystavena dávce 300 kg NPK hnojiva na hektar za rok. Pozemky byly sečeny v obdobný čas jako sousední pozemky. Záblatské louky byly posečeny v polovině června 2008, naopak louky u obce Hamr byly posečeny dvakrát, a to v polovině června a začátkem srpna (Pícek, 2008).

Vlastní měření probíhalo v několikátýdenních intervalech od května do září. Na lokalitě Hamr probíhalo měření v datech 3.6., 6.6., 16.6., 26.7., 12.8., a 29.9., vše během sezóny v roce 2008. Na Záblatských loukách nemohlo být měření provedeno v jarním období, protože studované plochy byly zaplavené. Měření proto proběhlo pouze 16.7., 11.8. a 18.9. 2008. Všechna data byla získávána z měření na rostlině ostřici štíhlé (*Carex acuta*).

Pro měření fotosyntetických charakteristik byl použit infračervený analyzátor Licor 6400, vybavený listovou komorou s vnitřním světelným zdrojem. Měření pomocí přístroje Licor 6400 začínalo vždy nastavením podmínek pro dané měření. Byla nastavena teplota vzduchu dle aktuální teploty, dále průtok a intenzita ozáření vnitřním světelným zdrojem. Zapsalo se dané počasí a dále datum, název lokality a varianta hnojení. Poté byla dle aktuálního světelného záření nastavena světelná křivka pro měření probíhající fotosyntézy. Fotosyntéza byla měřena při záření  $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $900 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a dvakrát při nulovém záření. Náhodně byly vybrány listy ostřice štíhlé, které byly vloženy do listové komory tak, aby pokrývaly celou její plochu. Obvykle bylo do komory vloženo čtyři až pět listů. Komora se zavřela a byl spuštěn autoprogram, při kterém byla změřena fotosyntéza při daných ozářeních nastavené světelné křivky. Při posledních dvou měřeních byla komora i celá rostlina zakryta černou látkou. V průběhu probíhajícího měření byla data kontrolována na grafech, které ukazovaly rychlost fotosyntézy a konduktivitu.

Na Záblatských loukách byla ve dvou termínech 11.8. a 18.9. měřena pomocí metru délka nejdelšího listu 10 náhodně vybraných odnoží pro každou variantu ve čtyřech opakováních. Na Hamru byla 12.8. měřena délka nejdelšího listu 2 – 3 náhodně vybraných odnoží a 16.6. šířka deseti náhodně vybraných listů opět v každé variantě ve čtyřech opakováních.

Dále byla na Hamerských loukách v datu 29.9. a na Záblatských loukách v datu 19.9. odebrána biomasa všech měřených listových vzorků a následovně zpracována v laboratoři. Z měřených rostlin byla odebrána pouze část, která byla uzavřena v listové komoře přístroje Licor. V laboratoři byla zjišťována listová plocha pomocí skeneru, poté byly vzorky usušeny do konstantní hmotnosti při teplotě  $85^{\circ}\text{C}$  a biomasa každého vzorku byla zvážena. Tyto údaje se následně použily pro výpočet specifické listové plochy.

#### 4.2. Matematické vyhodnocení dat

Pro matematické vyhodnocení veškerých dat byl použit program MS Excel. Srovnání hodnot fotosyntetických charakteristik pro ozáření  $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $600$

$\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  bylo vyhodnoceno pomocí aritmetického průměru ze všech primárních dat. Růstové parametry (délky a šířky listů, listová plocha, sušina, délka všech listů, specifická listová plocha a průměrná šířka listů) byly také počítány dle aritmetického průměru. Všechna vyhodnocení byla provedena stejným způsobem pro obě varianty (NO a HIGH) a pro všechny měřené dny.

Zjištění hodnot maximální rychlosti fotosyntézy ( $A_{\text{max}}$ ) a účinnosti využití slunečního záření ( $\alpha$ ) probíhalo pomocí funkce Řešitel v programu MS Excel. Data byla proložena křivkou rovnoosé hyperboly (křivka typu Michaelise a Mentenové – uvedena v kapitole 2.2.4. Matematické modely fotosyntézy).

Statistické hodnocení dat bylo provedeno pomocí programu STATISTICA. Pro hodnocení rozdílů mezi variantami v maximální rychlosti fotosyntézy ( $A_{\text{max}}$ ), účinnosti využití slunečního záření ( $\alpha$ ), délek a šířek listů a fotosyntetických charakteristik byla použita ANOVA při opakovaných měřeních. Pro hodnocení rozdílů v případě specifické listové plochy byl použit T-test. Všechny statistické testy byly hodnoceny na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1. Popis meteorologických a technických podmínek při získávání dat

Na Hamerských loukách bylo prováděno měření celkem šestkrát. V datu 3.6. probíhalo měření jen na první ploše ve variantě NO a HIGH při polojasném počasí se střídavou oblačností. Při měření 6.6. byl porost bezprostředně po první seči, avšak strniště bylo natolik nízké, že posečené rostliny nebylo možné měřit. Měření bylo proto uskutečněno na rostlinách, které rostly v blízkosti dřevěných kolíků a zůstaly tedy neposečené. Byly měřeny varianty NO a HIGH ve všech čtyřech opakováních, kromě varianty 1 HIGH, kde nebyla nalezena dostatečně vzrostlá rostlina. Při všech měřeních bylo zataženo, po dešti, jen při třetím opakování ve variantě HIGH bylo polojasné počasí. V datu 16.6. bylo při všech měřeních zataženo a mrholilo. Měření probíhalo ve třech opakováních na ploše první, druhé a čtvrté. Obě varianty NO a HIGH byly měřeny vždy dvakrát, pokaždé s jinými listy. Dne 26.7. byla třetí plocha stejně jako v předchozím datu pro nedostatek času vynechána. Na plochách 2 NO a 4 HIGH byly změřeny dvě sady listů, protože první sada listů měla nízkou vodivost. Měření probíhalo při polojasném počasí. Dne 12.8. byla celá plocha po 2. seči. Měření opět probíhalo na zbylých neposečených rostlinách. Měřeny byly plochy první, druhá a čtvrtá v obou variantách NO i HIGH. Na druhé ploše byly u varianty NO listy úzké a dožluta. Stejně tak na čtvrté ploše byly u HIGH varianty listy úzké. Počasí bylo jasné při měření na první a druhé ploše a střídavě oblačné na čtvrté ploše. Poslední měření bylo v datu 29.9., kdy bylo polojasné až jasné počasí. Byly opět měřeny plochy první, druhá a čtvrtá.

Na Záblatských loukách probíhalo měření ve třech datech. Dne 16.7. byl porost čerstvě posečený a počasí bylo střídavě oblačné. Na celé ploše byla voda téměř s povrchem půdy. Při měření 1 HIGH a 2 NO přístroj špatně pracoval, neprobíhal správně „matching“. V datu 11.8. byly měřeny všechny čtyři plochy v obou variantách. Porost byl cca 5 týdnů po seči a bylo jasné počasí. V posledním měření 18.9. bylo jasné až polojasné počasí, pouze při měření na druhé ploše bylo zataženo. Byly měřeny všechny čtyři plochy v obou variantách. Rostliny první a třetí plochy měly na listech rez. Porost druhé a třetí plochy byl bez rzi, nebo jen s mírnými náznaky.

## 5.2. Srovnání fotosyntetických charakteristik a temnostního dýchání

Srovnání hodnot čisté fotosyntézy, konduktivity, transpirace a transpiračního koeficientu jsem na obou lokalitách prováděla jak pro ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , tak pro ozáření 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ne vždy bylo kvůli nedostatečně slunečnému počasí dosaženo vysoké ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , takže některé hodnoty pro tuto ozáření chybí. Dále je uvedeno srovnání temnostního dýchání, taktéž na obou lokalitách.

### 5.2.1. Fotosyntetické charakteristiky pro ozáření 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

V tabulce I. jsou znázorněny fotosyntetické charakteristiky pro Hamerské louky. V prvním měření, v datu 3.6., byla hodnota čisté fotosyntézy vyšší u varianty NO, konduktivita, transpirace a transpirační koeficient byl však vyšší u varianty HIGH. Dne 16.6. byla také čistá fotosyntéza vyšší u varianty NO a stejně tak konduktivita a transpirace. Transpirační koeficient byl však mírně vyšší u varianty HIGH. Při měření 26.7. byly všechny čtyři sledované parametry nižší u varianty HIGH než NO. V dalších dvou datech byly naopak všechny hodnoty vyšší u varianty HIGH a nižší u varianty NO.

**Tabulka I.** Hodnoty čisté fotosyntézy pro ozáření 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na Hamru. Každá hodnota představuje průměr  $\pm$  směrodatnou odchylku nejméně ze tří měření.

Datum	Hnojení	Čistá fotosyntéza [ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Konduktivita [Kpa]	Transpirace [ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Transpirační koeficient
3.6.	NO	8,20	0,11	2,42	295
	HIGH	6,71	0,27	5,79	863
16.6.	NO	7,47 $\pm$ 2,40	0,19 $\pm$ 0,08	1,61 $\pm$ 0,48	223 $\pm$ 68,83
	HIGH	6,09 $\pm$ 2,60	0,15 $\pm$ 0,08	1,38 $\pm$ 0,51	229 $\pm$ 32,18
26.7.	NO	10,75 $\pm$ 1,71	0,31 $\pm$ 0,07	4,98 $\pm$ 0,59	466 $\pm$ 39,35
	HIGH	9,63 $\pm$ 1,73	0,33 $\pm$ 0,11	5,15 $\pm$ 0,78	869 $\pm$ 222,4
12.8.	NO	5,01 $\pm$ 1,70	0,08 $\pm$ 0,04	1,63 $\pm$ 0,43	330 $\pm$ 23,25
	HIGH	8,21 $\pm$ 1,03	0,14 $\pm$ 0,08	2,32 $\pm$ 0,81	282 $\pm$ 97,69
29.9.	NO	9,44 $\pm$ 0,76	0,23 $\pm$ 0,04	1,71 $\pm$ 0,17	181 $\pm$ 19,55
	HIGH	10,15 $\pm$ 0,54	0,33 $\pm$ 0,08	1,98 $\pm$ 0,13	195 $\pm$ 5,241

Na Zábřatských loukách v datech 16.7. a 11.8. byly všechny sledované parametry vyšší u varianty NO než u HIGH. Poslední měření dne 18.9. vykazovala



vyšší hodnotu pro čistou fotosyntézu varianty NO, avšak ostatní parametry byly vyšší u varianty HIGH. Všechny výsledky jsou uvedeny v tabulce II.

**Tabulka II.** Hodnoty čisté fotosyntézy pro ozáření 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na Zábřavských loukách. Každá hodnota představuje průměr nejméně ze tří měření.

Datum	Hnojení	Čistá fotosyntéza [ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Konduktivita [Kpa]	Transpirace [ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Transpirační koeficient
16.7.	NO	5,52 ± 0,87	0,098 ± 0,03	1,54 ± 0,41	275 ± 30,1
	HIGH	4,75 ± 1,18	0,075 ± 0,03	1,30 ± 0,36	271 ± 66,7
11.8.	NO	7,69 ± 2,62	0,143 ± 0,08	2,15 ± 0,77	280 ± 27,3
	HIGH	5,95 ± 2,45	0,095 ± 0,06	1,54 ± 0,65	258 ± 15,1
18.9.	NO	7,61 ± 0,55	0,179 ± 0,03	1,66 ± 0,11	219 ± 28,1
	HIGH	6,83 ± 1,26	0,183 ± 0,02	1,67 ± 0,15	248 ± 30,3

### 5.2.2. Fotosyntetické charakteristiky pro ozáření 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

První srovnávanou lokalitou je lokalita Hamr. V datech 3.6. a 16.6. není možné porovnat varianty NO a HIGH, jelikož při variantě HIGH nebylo dosaženo ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Z měření 26.7. byla vyšší hodnota čisté fotosyntézy ve variantě NO než ve variantě HIGH. Hodnoty transpiračního koeficientu, konduktivity a transpirace byly ale v tomto datu mnohem vyšší u varianty HIGH než u varianty NO. Při dalších měřeních v datech 12.8. a 29.9. jsou naopak hodnoty u HIGH vyšší než u NO ve všech sledovaných parametrech, kromě transpiračního koeficientu v datu 12.8., kdy byl u HIGH varianty nižší než NO. Výsledky jsou uvedeny v tabulce III.

**Tabulka III.** Hodnoty čisté fotosyntézy pro ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na Hamru. Každá hodnota představuje průměr ± směrodatnou odchylku nejméně ze tří měření. N – neměřeno.

Datum	Hnojení	Čistá fotosyntéza [ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Konduktivita [Kpa]	Transpirace [ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Transpirační koeficient
3.6.	NO	9,20	0,125	2,75	299
16.6.	NO	10,24 ± 2,81	N	N	191 ± 15,22
26.7.	NO	13,18 ± 2,17	0,348 ± 0,07	5,55 ± 0,49	425 ± 35,31
	HIGH	11,34 ± 2,11	0,387 ± 0,12	5,67 ± 0,83	729 ± 155,4
12.8.	NO	5,43 ± 1,99	0,083 ± 0,05	1,70 ± 0,53	317 ± 20,80
	HIGH	8,78 ± 1,14	0,154 ± 0,09	2,44 ± 0,85	277 ± 92,55
29.9.	NO	10,62 ± 1,01	0,249 ± 0,05	1,79 ± 0,16	169 ± 21,29
	HIGH	11,50 ± 0,56	0,372 ± 0,09	2,05 ± 0,12	178 ± 3,389

Tabulka IV. vyznačuje rozdíly pro vysokou ozářenost na lokalitě Zábblatské louky. Dne 16.7. byly hodnoty čisté fotosyntézy, konduktivity a transpirace vyšší u varianty NO než u varianty HIGH. Transpirační koeficient byl v tomto případě mírně vyšší u HIGH varianty než NO. V dalším měření byl ve všech sledovaných parametrech vyšší hodnoty u varianty NO než u varianty HIGH. V posledním datu měření byla čistá fotosyntéza a transpirace vyšší u varianty NO, konduktivita byla u obou variant stejná a transpirační koeficient byl vyšší u varianty HIGH.

**Tabulka IV.** Hodnoty čisté fotosyntézy pro ozářenost  $1200 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  na Zábblatských loukách. Každá hodnota představuje průměr nejméně ze tří měření.

Datum	Hnojení	Čistá fotosyntéza [ $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ]	Konduktivita [Kpa]	Transpirace [ $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ]	Transpirační koeficient
16.7.	NO	$6,71 \pm 0,63$	$0,13 \pm 0,03$	$1,98 \pm 0,34$	$294 \pm 23,01$
	HIGH	$5,14 \pm 0,94$	$0,09 \pm 0,03$	$1,55 \pm 0,53$	$297 \pm 59,20$
11.8.	NO	$8,71 \pm 3,07$	$0,16 \pm 0,00$	$2,29 \pm 0,79$	$265 \pm 19,72$
	HIGH	$7,03 \pm 2,73$	$0,12 \pm 0,07$	$1,79 \pm 0,66$	$256 \pm 15,95$
18.9.	NO	$8,67 \pm 0,52$	$0,20 \pm 0,03$	$1,75 \pm 0,10$	$202 \pm 20,72$
	HIGH	$7,80 \pm 1,24$	$0,20 \pm 0,02$	$1,74 \pm 0,14$	$225 \pm 21,92$

### 5.2.3. Srovnání hodnot temnostního dýchání

První srovnávanou lokalitou jsou Zábblatské louky. Zde byla v prvním datu měření hodnota temnostního dýchání mírně vyšší u varianty NO, v dalším měření byly hodnoty téměř stejné a v posledním byla hodnota vyšší u varianty HIGH. Rozdíly na této lokalitě byly však minimální, v řádech setin  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Hodnoty jsou uvedeny v tabulce V.

**Tabulka V.** Hodnoty temnostního dýchání na Zábblatských loukách. Každá hodnota představuje průměr nejméně ze tří měření.

Datum	Hnojení	Temnostní dýchání
16.7.	NO	$-1,14 \pm 0,34$
	HIGH	$-1,11 \pm 0,10$
11.8.	NO	$-1,53 \pm 0,31$
	HIGH	$-1,54 \pm 0,09$
18.9.	NO	$-0,64 \pm 0,11$
	HIGH	$-0,70 \pm 0,16$

Na Hamru byly ve všech pěti měřených dnech hodnoty temnostního dýchání vyšší u varianty hnojené než u varianty nehnojené. Rozdíly jsou řádově v desetinách  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , avšak největší rozdíl byl zaznamenán v datu 12.8. tedy ke konci sezóny. Uvedená data jsou znázorněna v tabulce VI.

**Tabulka VI.** Hodnoty temnostního dýchání na Hamru. Každá hodnota představuje průměr nejméně ze tří měření.

Datum	Hnojení	Temnostní dýchání
3.6.	NO	-1,72
	HIGH	-1,91
6.6.	NO	$-0,60 \pm 0,05$
	HIGH	$-0,70 \pm 0,13$
26.7.	NO	$-1,27 \pm 0,20$
	HIGH	$-1,42 \pm 0,24$
12.8.	NO	$-1,11 \pm 0,17$
	HIGH	$-1,54 \pm 0,27$
29.9.	NO	$-0,81 \pm 0,07$
	HIGH	$-0,96 \pm 0,06$

### 5.3. Srovnání růstových parametrů

Na Záblatských loukách byla ve dvou termínech měřena délka nejdelšího listu náhodně vybrané odnože. V prvním měření, v datu 11.8.2008, byla průměrná délka listu 34 cm u varianty nehnojené a 48 cm u varianty hnojené (Přílohy – Tabulka I.). V dalším datu 18.9.2008, byla u varianty nehnojené průměrná délka 46 cm a 58 cm u varianty hnojené (Přílohy – tabulka II.). V obou měření byla tedy průměrná délka listu vyšší u varianty hnojené s rozdílem 14 cm v prvním datu a 12 cm v datu druhém.

Na Hamru byla, kromě jednoho měření délky listů, měřena také šířka listů náhodně vybraných odnoží. Průměrná délka u listů 12.8.2008 ve variantě nehnojené byla 67 cm a 70 cm u varianty hnojené (Přílohy – Tabulka III.). Měřeny byly pouze 2 – 3 listy, které zůstaly nedotčeny předchozí sečí. Dále byla 16.6.2008 měřena šířka deseti listů z každé varianty (Přílohy – Tabulka IV.). Průměrná šířka listů ve variantě nehnojené byla 0,4 cm a ve variantě hnojené 0,5 cm. Ve všech případech a u obou lokalit vychází průměrně délky a šířky listů vyšší u varianty hnojené než u varianty

nehnojené. U měřené délky listů byl rozdíl mezi variantami 3 cm a u šířky listů se jedná o rozdíl 0,1 cm.

V datu 29.9.2008 byla na lokalitě Hamr odebrána biomasa měřených vzorků. U daných vzorků byla posléze v laboratoři zjišťována listová plocha, sušina, délka všech listů z nichž se následně vypočítala specifická listová plocha a průměrná šířka listu. Hodnoty specifické listové plochy a průměrná šířka listu byly vyšší u varianty hnojené než u varianty nehnojené (tabulka VII).

**Tabulka VII.** Růstové charakteristiky 29.9. 2008 na Hamru.

Plocha	Hnojení	SLA [ m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	Průměrná šířka listu [cm]
1	NO	227,65	0,379
2	NO	155,52	0,444
4	NO	189,50	0,348
<b>Průměr</b>		<b>190,89 ± 36,09</b>	<b>0,387 ± 0,05</b>
1	HIGH	179,36	0,411
2	HIGH	194,46	0,408
4	HIGH	203,86	0,452
<b>Průměr</b>		<b>192,56 ± 12,36</b>	<b>0,424 ± 0,03</b>

Na lokalitě Záblatských luk byly tyto parametry také sledovány a to v datu 19.9.2008. Specifická listová plocha byla v tomto případě vyšší u rostlin nehnojených, než u hnojených. Oproti tomu průměrná šířka listů vyšla vyšší u rostlin hnojených. Tyto ukazatele obsahuje tabulka VIII.

**Tabulka VIII.** Růstové charakteristiky 19.9. 2008 na Záblatských loukách

Plocha	Hnojení	SLA [ m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	Průměrná šířka listu [cm]
2	NO	193,25	0,444
3	NO	151,19	0,448
4	NO	190,66	0,437
<b>Průměr</b>		<b>178,36 ± 23,57</b>	<b>0,443 ± 0,01</b>
1	HIGH	194,03	0,443
2	HIGH	168,14	0,359
3	HIGH	182,47	0,464
4	HIGH	166,70	0,537
<b>Průměr</b>		<b>177,83 ± 12,93</b>	<b>0,451 ± 0,07</b>

#### 5.4. Maximální rychlost fotosyntézy a účinnost využití záření

Všechny hodnoty maximální rychlosti fotosyntézy a účinnosti využití záření na lokalitě Hamr jsou zaznamenány v tabulce V. v přílohách. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce IX. Na Hamerských loukách je v prvním měření v datu 3.6. měřena jen první plocha a zde se ukázala být hodnota účinnosti využití záření (dále  $\alpha$ ) vyšší u varianty NO než u HIGH, naopak maximální rychlost fotosyntézy (dále  $A_{\max}$ ) je vyšší u varianty HIGH. Dne 6.6. jsou u druhé a u čtvrté plochy obě sledované hodnoty vyšší ve variantě NO a nižší ve variantě HIGH. Třetí plocha vykazuje vyšší  $\alpha$  u NO varianty, ale  $A_{\max}$  je vyšší u HIGH varianty. V datu 26.7. je hodnota  $\alpha$  čtvrté plochy stejná u obou variant a u první a druhé plochy je vyšší u NO varianty.  $A_{\max}$  je v tomto datu u první plochy nižší u varianty HIGH a na dalších dvou plochách je u varianty HIGH naopak vyšší. Při dalších dvou měření, ve dnech 12.8. a 29.9., je u všech sledovaných ploch hodnota  $\alpha$  vyšší u varianty HIGH než u varianty NO. Hodnota  $A_{\max}$  je také vyšší u HIGH varianty v případě první a druhé plochy, ale není tomu tak u plochy čtvrté, kde je hodnota  $A_{\max}$  u varianty HIGH nižší.

**Tabulka IX.** Parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  pro Hamerské louky. Každá hodnota představuje průměr  $\pm$  směrodatnou odchylku nejméně ze tří měření.

Datum	Parametr	NO	HIGH
6.6.	$\alpha$	0,070 $\pm$ 0,01	0,059 $\pm$ 0,01
	$A_{\max}$	18,00 $\pm$ 4,24	13,46 $\pm$ 4,25
26.7.	$\alpha$	0,059 $\pm$ 0,01	0,064 $\pm$ 0,01
	$A_{\max}$	18,66 $\pm$ 4,06	14,99 $\pm$ 3,18
12.8.	$\alpha$	0,044 $\pm$ 0,04	0,081 $\pm$ 0,01
	$A_{\max}$	11,06 $\pm$ 5,44	11,69 $\pm$ 1,29
29.9.	$\alpha$	0,067 $\pm$ 0,00	0,077 $\pm$ 0,01
	$A_{\max}$	13,78 $\pm$ 1,52	14,70 $\pm$ 0,14

Hodnocení Zábłatských luk je číselně znázorněno v tabulce VI. v přílohách. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce X. V prvním datu měření 16.7. jsou oba parametry  $\alpha$  i  $A_{\max}$  vyšší u varianty NO v případě první a třetí plochy, druhá plocha

vykazuje vyšší  $A_{\max}$  také u varianty NO, avšak  $\alpha$  je vyšší u varianty HIGH. Dne 11.8. jsou hodnoty  $\alpha$  i  $A_{\max}$  u první, druhé a čtvrté plochy vyšší u varianty NO, u třetí plochy jsou hodnoty naopak vyšší u varianty HIGH. Poslední den měření, 18.9. je hodnota  $\alpha$  v případě první a druhé plochy vyšší u varianty NO a na druhé ploše naopak u varianty HIGH. Oproti tomu je hodnota  $A_{\max}$  na první a druhé ploše vyšší u varianty NO a na třetí ploše je vyšší u varianty HIGH.

**Tabulka X.** Parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  pro Záblatské louky. Každá hodnota představuje průměr  $\pm$  směrodatnou odchylku nejméně ze tří měření.

Datum	Parametr	NO	HIGH
16.7.	$\alpha$	0,058 $\pm$ 0,04	0,031 $\pm$ 0,01
	$A_{\max}$	18,27 $\pm$ 16,6	7,770 $\pm$ 1,27
11.8.	$\alpha$	0,065 $\pm$ 0,04	0,056 $\pm$ 0,02
	$A_{\max}$	10,94 $\pm$ 5,68	11,27 $\pm$ 3,11
18.9.	$\alpha$	0,058 $\pm$ 0,01	0,056 $\pm$ 0,62
	$A_{\max}$	10,82 $\pm$ 0,02	10,29 $\pm$ 1,17

## 5.5. Statistické vyhodnocení dat

Všechny naměřené hodnoty byly vyhodnoceny pomocí statistiky. Na Hamerských loukách při ozáření 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ukázaly statisticky průkazné rozdíly v hodnotách čisté fotosyntézy, konduktivity, transpirace a transpiračního koeficientu jen v rámci porovnávání měřených dnů v roce. Mezi variantami nebyly rozdíly statisticky průkazné. Při ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  se stejně tak prokázaly rozdíly v měřených dnech a navíc ještě v konduktivitě mezi variantami. V případě temnostního dýchání byl nalezen průkazný rozdíl v rámci měřených dnů a v rámci varianty hnojení. Všechny hodnoty jsou uvedeny v tabulce XI. Hladina významnosti je 0,05.

**Tabulka XI.** Statistické vyhodnocení vlivu hnojení v průběhu sezóny 2008 na parametry asimilace na Hamerských loukách. Statisticky významné hodnoty pravděpodobnosti jsou vyznačeny tučně.

	HL	Čistá fotosyntéza	Konduktivita	Transpirace	Transp. koeficient	Temnostní dýchání
600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	datum	<b>0.001967</b>	<b>0.000027</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000001</b>
	varianta	0.818779	0.089528	0.140440	0.279178	
	datum x varianta	0.081631	0.214118	0.325544	0.119163	<b>0.014751</b>
1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	datum	<b>0.000155</b>	<b>0.000109</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000019</b>	
	varianta	0.239206	<b>0.020152</b>	0.075298	0.461072	0.649595
	datum x varianta	0.055707	0.857824	0.770268	0.223097	

Na Záblatských loukách byl zjištěn při ozáření 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  statisticky významný pouze efekt odběrového data pro konduktivitu. Vliv ostatních parametrů nebyl statisticky průkazný. Při ozáření 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  byl statistický významný rozdíl v konduktivě a transpiračním koeficientu mezi odběrovými daty. Rozdíly mezi variantami nebyly statisticky průkazné při žádné ozáření. V temnostním dýchání byly rozdíly prokazatelné pouze ve vztahu k dnům měření, mezi variantami hnojení rozdíly nebyly průkazné. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce XII. Zvolená hladina významnosti je 0,05.

**Tabulka XII.** Statistické vyhodnocení vlivu hnojení v průběhu sezóny 2008 na parametry asimilace na Hamerských loukách. Statisticky významné hodnoty pravděpodobnosti jsou vyznačeny tučně.

	ZL	Čistá fotosyntéza	Konduktivita	Transpirace	Transp. koeficient	Temnostní dýchání
600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	datum	0.171586	<b>0.018335</b>	0.534338	0.052361	<b>0.000002</b>
	varianta	0.126276	0.255926	0.161778	0.879116	
	datum x varianta	0.870996	0.595949	0.497510	0.452369	0.989994
1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	datum	0.157184	<b>0.036781</b>	0.570539	<b>0.000369</b>	
	varianta	0.164684	0.388720	0.340005	0.287596	0.837753
	datum x varianta	0.923508	0.699941	0.665128	0.477851	

Na Hamerských loukách byly statisticky průkazné rozdíly nalezeny jen u  $\alpha$  v rámci kombinace měřených dnů a varianty hnojení. Tento rozdíl může poukazovat na

změnu fotosyntézy v druhé polovině vegetační sezóny, po druhé seči. Na Záblatských loukách rozdíl v maximální rychlost fotosyntézy a účinnosti využití záření nebyly průkazné. Hodnoty pravděpodobnosti jsou uvedeny v tabulce XIII.

**Tabulka XIII.** Statistické vyhodnocení vlivu hnojení v průběhu vegetační sezóny 2008 na parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  na obou lokalitách. Statistický významné hodnoty pravděpodobnosti jsou vyznačeny tučně.

	Záblatské louky		Hamerské louky	
	$\alpha$	$A_{\max}$	$\alpha$	$A_{\max}$
den v roce	0,518912	0,794981	0,399843	0,090329
varianta	0,291313	0,248693	0,700159	0,973454
den v roce x varianta	0,702634	0,305111	<b>0,012804</b>	0,277903

Hamerské louky vykazují statisticky průkazné rozdíly v případě šířky listů. Rozdíly ve specifické listové ploše, průměrné šířce listů a v délce listů nejsou statisticky významné. Záblatské louky vykazují statisticky významné rozdíly v případě průměrné šířky listů, v ostatních sledovaných parametrech nejsou rozdíly průkazné. Data obsahuje tabulka XIV.

**Tabulka XIV.** Statistické vyhodnocení vlivu hnojení v průběhu vegetační sezóny 2008 na specifickou listovou plochu (SLA) a růstové parametry na obou lokalitách. Statistický významné hodnoty pravděpodobnosti jsou vyznačeny tučně.

	SLA	prům.šířka listu	délka listu	šířka listu
Hamerské louky	0,210007	0,39726	0,133491	<b>0,013583</b>
Záblatské louky	0,346991	<b>0,01291</b>	0,763905	N



## 6. DISKUSE

### 6.1. Možné zdroje chyb

1. Na Zábľatských loukách nebyla měřením bohužel pokryta celá vegetační sezóna z důvodu vysoké vodní hladiny v jarním období. Na lokalitu byl tedy znemožněn jak přístup, tak i samotné měření. Měření na Hamerských loukách bylo provedeno celkem šestkrát a byla pokryta celá vegetační sezóna. Bylo by však vhodné na obou lokalitách provádět měření v kratších časových intervalech a tedy častěji.
2. Na každé lokalitě byly varianty hnojených a nehnojených ploch ve čtyřech opakováních. Ve většině případů bylo jedno ze čtyř opakování z důvodu nedostatku času vynecháno. Do budoucna by bylo vhodné využít všechna čtyři opakování a získat tím více dat.
3. Při měření 16.6. špatně fungoval „matching“ přístroje Licor 6400. Změřené hodnoty proto nemohly být použity a datový soubor byl tedy neúplný.
4. V průběhu sezóny byly porosty Hamerských luk dvakrát sečeny. Protože při měření bezprostředně následujícím po seči byly listy rostlin příliš krátké a nemohly být vloženy do listové komory, měření fotosyntézy probíhalo na zbylých neposečených rostlinách. Vliv na rychlost fotosyntézy zde tedy mohlo mít stáří listů, případně jiné vlhkostní poměry v posečeném porostu ve srovnání s podmínkami před sečí. Stejně tomu bylo na Zábľatských lukách, kde byla seč provedena jednou a vzápětí bylo provedeno měření.

## 6.2. Vztah zjištěných údajů k výsledkům jiných autorů v rámci projektu

Fotosyntetická produkce rostlin může být ovlivněna různými vnějšími faktory na několika úrovních. Na úrovni biochemických procesů, dále na úrovni morfologické stavby těla a na úrovni investice asimilátů do různých částí rostlinného těla. Na vztah fotosyntetické asimilace a produkce biomasy pokusných porostů je možno usuzovat z dat celkové biomasy a také poměru nadzemní a podzemní biomasy, které zjišťoval Edwards (2009).

Dle Edwardse (2009) mohou změny v rychlosti fotosyntézy vést k rozdílné produkci biomasy. Toto však nebylo upozorováno na těchto sledovaných rostlinách. Celková produkce, tedy suma produkce nadzemní i podzemní, byla velmi podobná v obou variantách NO i HIGH.

Nicméně byl nalezen rozdíl v poměru množství nadzemní k podzemní biomase. Rostliny přidělují mnohem více uhlíku nadzemním strukturám v případě vysokého hnojení. Zatímco relativně větší biomasa byla přidělena podzemním strukturám v porostech bez ošetření hnojivem. Tento jev byl nalezen na obou lokalitách jak v sezóně roku 2007, tak i v sezóně 2008 (Edwards, 2009).

Podle Edwardse (2009) mohla být rychlost fotosyntézy limitována vodou. Limitace vodou mohla být významná zvláště na Hamru, kde byla hladina vody hluboko pod povrchem půdy (< 50cm) jak ve vegetační sezóně v roce 2007, tak i v roce 2008. Na Hamerských loukách měly hnojené rostliny ve dnech po dešti mnohem vyšší rychlost transpirace a transpirační koeficient než nehnojené rostliny. Vodní limitace a snížená rychlost fotosyntézy proto může souviset s úrovní dodatku živin.

Na Záblatských loukách nebyla čistá fotosyntéza zrychlena zvýšenou zásobou živin. Vyskytl se zde nepatrný trend nižší rychlosti fotosyntézy k vyššímu hnojení. Výměna plynů v hnojených rostlinách se zdá být v rychlosti čisté fotosyntézy limitována vodou během července a srpna a doprovázena nižší konduktivitou a nižší transpirací. Nižší čistá fotosyntéza hnojených rostlin v srpnu na Záblatských loukách může být způsobena výskytem rzi.

Na Hamerských loukách nebyla čistá fotosyntéza ostřic zvýšená vlivem hnojením v červnu a v červenci. Vysvětlením pro tento jev je pravděpodobně vodní limitace. Nižší hodnoty rychlosti fotosyntézy byly doprovázeny vyššími hodnotami

transpiračního koeficientu nebo sníženými hodnotami konduktivity. Po první seči však rostliny na hnojení reagovaly pozitivně.

Temnostní dýchání bylo na Hamru po celou dobu vegetační sezóny vyšší u hnojených rostlin, než u nehnojených. Tento jev byl statisticky prokazatelný. Žádné rozdíly nebyly nalezeny na Záblatských loukách, hodnoty temnostního dýchání byly v obou variantách přibližně stejné.

Získané výsledky nenasvědčují tomu, že by se vlivem hnojení podstatně zvyšovala rychlost fotosyntézy ostřice štíhlé. Nicméně je možné, že některé typické situace (zejména rychlost fotosyntézy brzy ráno, kdy fotosyntetický výměna uhlíku proto není limitována nedostatkem vody) nebyly sérií měření zachyceny.

### 6.3. Porovnání zjištěných údajů s ostatními autory

Na Hamerských loukách byly hodnoty čisté fotosyntézy u ostřic, které byly hnojené, v průměru  $10 - 12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . U rostlin nehnojených jsou průměrné hodnoty cca  $8 - 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na Záblatských loukách jsou hodnoty hnojených rostlin okolo  $6 - 7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , nehnojené rostliny měly v průměru vyšší hodnoty  $7 - 8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Güsewell (2004), která testovala růst a fotosyntézu ostřic při nadbytku a nedostatku dusíku, uvádí hodnoty fotosyntézy cca  $5 - 9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  pro rostliny s vysokou úrovní živin a  $3 - 7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  pro rostliny, které mají nízkou úroveň živin.

Chapin a Oechel (1983), uvádí hodnoty fotosyntézy pro *Carex aquatilis* v mírném alpinském prostředí průměrně  $10,48 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , v subalpinském prostředí pak průměrně  $10,45 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hodnoty temnostního dýchání byly v alpinském prostředí  $0,79 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , v subalpinském  $0,97 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a v prostředí subarktického horkého pramene  $0,39 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Specifická listová plocha vyšla na Záblatských loukách mírně vyšší u hnojených rostlin. Oproti tomu na Hamru vyšly hodnoty SLA nepatrně vyšší u rostlin hnojených. Statisticky však nebyly mezi variantou hnojenou a nehnojenou prokázány žádné rozdíly.

Aerts et al. (1992) nezjistili žádné rozdíly v hodnotách specifické listové plochy mezi ostřicemi, které byly vystaveny vysoké dávce hnojení a mezi ostřicemi s nízkou

dávkou hnojení. Dále zkoumali LAI, LAR, ani v těchto parametrech nenalezli žádné rozdíly. V této práci parametry LAR a LAI měřeny nebyly.

Dle Aertse et al. (1992) druhy ostřic, které byly vysoce hnojené měly vyšší poměr nadzemní biomasy k podzemní, vyšší procento biomasy přidělené listům, vyšší celkový obsah dusíku a vyšší procento přidělu dusíku do listů než rostliny nížce hnojené. Tento vztah Edwardsem (2009) byl také zjištěn na Záblatských loukách i na Hamerských loukách ve vegetační sezóně 2007 i 2008.

## 7. ZÁVĚR

### Fotosyntéza při záření $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Na Záblatských loukách byla fotosyntéza ve všech sledovaných dnech nižší u vysoce hnojených rostlin než u nehnojených rostlin.

Na Hamerských loukách byla fotosyntéza v první polovině vegetační sezóny vyšší u nehnojených rostlin. Oproti tomu ke konci vegetační sezóny, v době po druhé seči, byl patrný pozitivní efekt hnojení a fotosyntéza byla vyšší u rostlin hnojených než u nehnojených. Tyto rozdíly nebyly statisticky průkazné.

### Fotosyntéza při záření $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Stejně tak jako při ozáření  $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  tak i při vysoké ozáření  $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  byly na Záblatských loukách hodnoty fotosyntézy vyšší u nehnojených rostlin, než u rostlin hnojených.

Na Hamerských loukách byla fotosyntéza v první polovině vegetační sezóny opět vyšší u nehnojených rostlin. Efekt hnojení se projevil až ke konci vegetační sezóny, po druhé seči, kdy byly hodnoty fotosyntézy vyšší u rostlin vystavených hnojení. Stejně jako při nižší ozáření rozdíly nebyly statisticky průkazné.

### Temnostní dýchání

Temnostní dýchání bylo na Hamru po celou dobu vegetační sezóny vyšší u hnojených rostlin, než u nehnojených. Tento jev byl statisticky prokazatelný. Žádné rozdíly nebyly nalezeny na Záblatských loukách, hodnoty temnostního dýchání byly v obou variantách přibližně stejné.

### Šířka a délka listů

V hodnocení rozdílů délky a šířky listů mezi variantami byly nalezeny rozdíly. Na Záblatských loukách byla dvakrát měřena délka náhodně vybraných listů a v obou případech měly listy hnojených rostlin průměrně větší délku než rostliny nehnojené. Na lokalitě Hamr byla jednou měřena délka listů a jednou šířka listů. Také zde byl k vidění rozdíl ve variantách, opět hnojené rostliny měly průměrně větší délku a šířku listů. Statisticky průkazný však byl jen rozdíl u šířky rostlin na Hamerských loukách.

**Maximální rychlost fotosyntézy a účinnost přeměny dopadající zářivé energie**

Na Záblatských loukách byly oba parametry vyšší u rostlin nehnojených, než u rostlin hnojených. Na Hamerských loukách byly na začátku sezóny hodnoty obou parametrů vyšší u rostlin nehnojených, koncem sezóny se však hodnoty zvýšily u rostlin hnojených. Na Hamru byly tyto rozdíly statisticky prokazatelné v případě účinnosti přeměny záření, na Záblatských loukách nebyly hodnoty průkazné v žádném z těchto dvou parametrů.

**Specifická listová plocha**

Na Hamerských loukách byla hodnota specifické listové plochy mírně vyšší u rostlin hnojených. Na Záblatských loukách byl také nalezen nepatrný rozdíl mezi variantami, zde však byla hodnota specifické listové plochy vyšší u rostlin nehnojených. Tyto rozdíly nebyly statisticky průkazné ani na jedné lokalitě.

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AERTS R., CALUWE H., KONINGS H. (1992): *Seasonal allocation of biomass and nitrogen in four Carex species from mesotrophic and eutrophic fens as affected by nitrogen supply*. Journal of ecology 80: 653 - 664

ČÍŽKOVÁ, H.; ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2006): *Procesy spojené s eutrofizací mokřadů*. Živa 5/2006, str. 201 - 204

ČÍŽKOVÁ, H. (2006): *Faktory ovlivňující dynamiku porostů rákosu obecného v kulturní krajině*. [Habilitationní práce] Zemědělská Fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice, 53 s.

ČÍŽKOVÁ – KONČALOVÁ H., BAUER V. (1993): *Response of a wetland sedge, Carex gracils Curt., to hyper-eutrophic conditions: Interaction between anaerobiosis and high nitrogen availability*. Institute of Botany, Czechoslovak Academy of Science. Třeboň

EDWARDS, K. (2009): *Závěrečná zpráva projektu GAČR 526/06/0276 "Eutrofizace mokřých luk"*

GLENN, A.J., FLANAGAN, L.B., SYED, K.H., CARLSON, P.J. (2006): *Comparison of net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in two peatlands in western Canada with contrasting dominant vegetation, Sphagnum and Carex*. Agricultural and forest meteorology 140: 115 - 135

GLOSER, J., (1977): *Characteristics of CO<sub>2</sub> exchange in Phragmites communis Trin. derived from measurements in situ*. Photosynthetica 11: 139-147.

GÜSEWELL, S., (2004): *High nitrogen : phosphorus ratios reduce nutrient retention and second-year growth of wetland sedges*. New phytologist 166: 537 - 550

HAMADEJOVÁ L. (2001): *Harmonizace produkčních a mimoprodukčních funkcí luk s Phalaroides arundinacea (L.) Rauschert.* [Disertační práce] Zemědělská fakulta Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice, 189 s.

HIROSE, T., WERGER, MJA. (1994): *Photosynthetic capacity and nitrogen partitioning among species in the canopy of herbaceous plant community.* *Oecologia* 100: 203 – 212.

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

HRON, F., ZEJBRLÍK O. (1979): *Rostliny luk, pastvin, vod a bažin.* SPN, Praha, 423 s.

CHAPIN F. S. III, OECHEL W. C. (1983): *Photosynthesis, respiration, and phosphate absorption by Carex Aquatilis ecotypes along latitudinal and local environmental gradients.* *Ecological Society of America* 64: 743 – 751

CHOO, YS., ALBERT, R. (1999): *Mineral ion, nitrogen and organic solute pattern in sedges (Carex spp.) - a contribution to the physiotype concept. II. Culture experiments.* *Flora* 194: 75 – 87

CHYTIL J., HAKROVÁ P., HUDEC K., HUSÁK Š., JANDOVÁ J., & PELLANTOVÁ J. (1999): *Mokřady České republiky - přehled vodních a mokřadních lokalit ČR.* Český ramsarský výbor, Mikulov, 327 s.

CHYTRÝ, M., KUČERA, T., ROČÍ, M. (2001): *Katalog biotopů ČR.* AOPK ČR, Praha, 304 s.

KUBÁT, K. (2002): *Klíč ke květeně České republiky.* Academia, Praha, 927 s.

KVĚT, J. (2000): *Místo Třeboňsko ve světovém výzkumu mokřadních ekosystémů in: Třeboňsko 2000 – Ekologie a ekonomika Třeboňsko po dvaceti letech,* Enki, o. p. s., Správa CHKO Třeboňsko, Třeboň, 344 s.



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

LUKAVSKÁ, J. (1988): *Vliv seče na produkční charakteristiky mokřadních travinných porostů*. [Diplomová práce.] Vysoká škola Zemědělská Praha, České Budějovice, 91 s.

MAREK, V. M. (2009): *Fyziologie rostlin pro biofyziky*. Přírodovědecká fakulta Palackého univerzity Olomouc, Olomouc, 147 s.

MITSCH, W. J., GOSELINK, J. G. (2000): *Wetlands*. John Wiley & Sons, New York, 920 s.

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

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

PICEK, T., KAŠTOVSKÁ E., EDWARDS K., ZEMANOVÁ K., DUŠEK J. (2008): *Short term effects of experimental eutrophication on carbon and nitrogen cycling in two types of wet grassland*. *Community Ecology* 9: 1 – 8

PRACH, K., PIKHART, D., FRANCÍRKOVÁ, T. (2003): *Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách*. Botanický ústav AV ČR, JAV A Třeboň, Třeboň, 122 s.

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

RASSE, D. P., DRAKE, B. G. (2002): *Carbon dioxide assimilation by a wetland sedge canopy exposed to ambient and elevated CO<sub>2</sub>: measurements and model analysis*. *Functional Ecology* 17: 222 - 230

SLAVÍKOVÁ, J. (1983): *Ekologie rostlin*. Univerzita Karlova, Praha, 247 s.

STARR, G., NEUMAN, DS., OBERBAUER, SF. (2004): *Ecophysiological analysis of two arctic sedges under reduced root temperatures*. *Physiologia plantarum* 120: 458 – 464

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

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

VELICH, J. et al. (1994): *Pícninářství*. Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha, 204 s.

Ramsarská úmluva 396/1990 Sb. Sdělení MZV - Úmluva o mokřadech majících mezinárodní význam především jako biotopy vodního ptactva. Dostupné na internetu: <http://www.env.cz> [cit. 12.11.2008]

ANONYMUS 1: [on-line], [cit. 3.10.2008]. Dostupné na internetu: <http://www.trebonsko.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=834>

ANONYMUS 2: [on-line], [cit. 10.12.2008]. Dostupné na internetu: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nezarka>

ANONYMUS 3: [on-line], [cit. 10.12.2008]. Dostupné na internetu: [http://www.nature.cz/natura2000design3/web\\_lokality.php?cast=1805&akce=karta&id=1000002722](http://www.nature.cz/natura2000design3/web_lokality.php?cast=1805&akce=karta&id=1000002722)

ANONYMUS 4: [on-line], [cit. 15.2.2009]. Dostupné na internetu: [http://www.sci.muni.cz/~fyzrostpart\\_01.pdf](http://www.sci.muni.cz/~fyzrostpart_01.pdf);

## 9. PŘÍLOHY

### Seznam příloh

#### I. Grafická příloha

Obrázky 1. - 6.:

Grafy světelných křivek fotosyntézy a transpirace na Zábłatských loukách

Obrázky 7. - 16.:

Grafy světelných křivek fotosyntézy a transpirace na Hamerských loukách

#### II. Tabulková příloha

Tabulky I. - II.:

Délky listů náhodně vybraných odnoží na Zábłatských loukách

Tabulky III. - IV.:

Délky a šířky listů náhodně vybraných odnoží na Hamerských loukách

Tabulky V. - VI.:

Hodnoty  $\alpha$  a  $A_{\max}$  na obou lokalitách

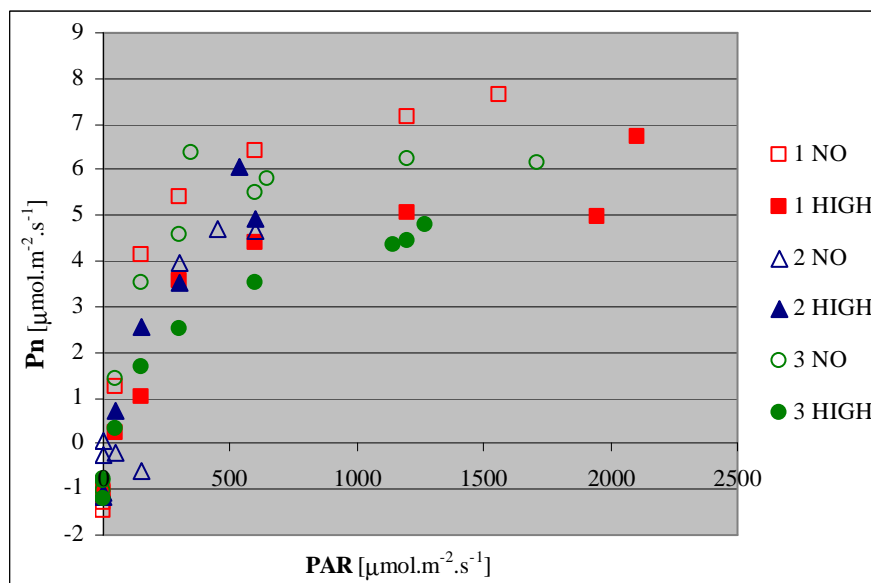
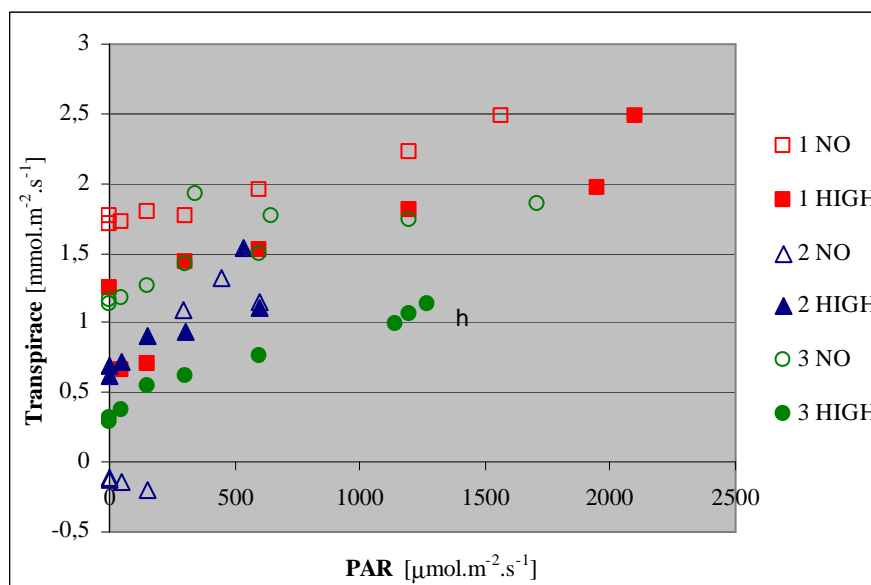
#### III. Fotografická příloha

Obrázek 17. *Carex acuta*

Obrázek 18. Hamerské louky 6.6. 2008

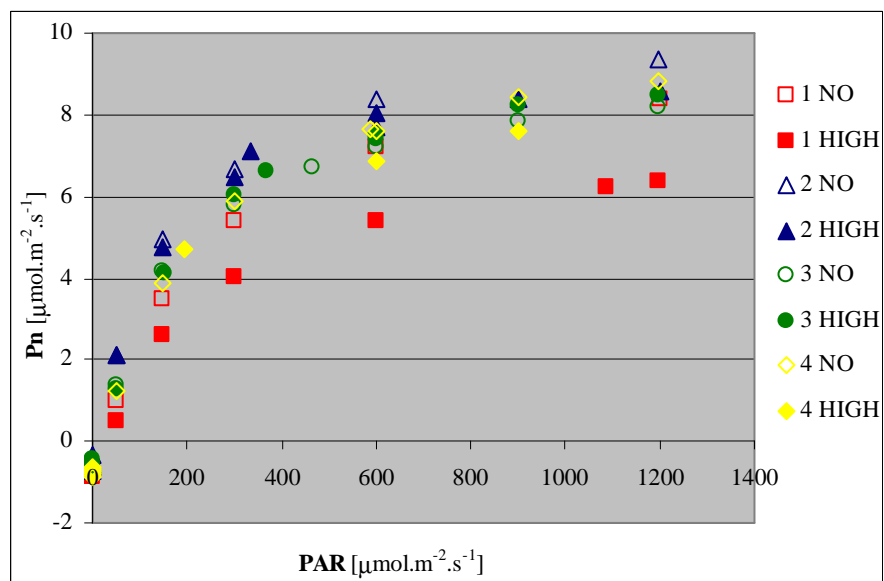
Obrázek 19. Přístroj Licor 6400 - Zábłatské louky 16.7. 2008

Obrázek 20. Detail měřených listů v listové komoře - Zábłatské louky 16.7. 2008

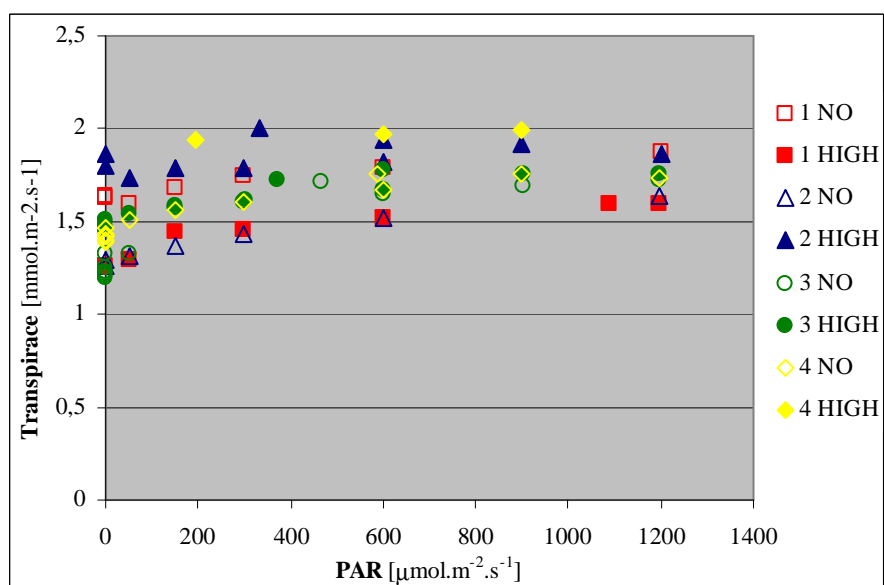
**Obrázek 1.** Světelná křivka fotosyntézy - Zábłatské louky 16.7. 2008**Obrázek 2.** Světelná křivka transpirace - Zábłatské louky 16.7. 2008



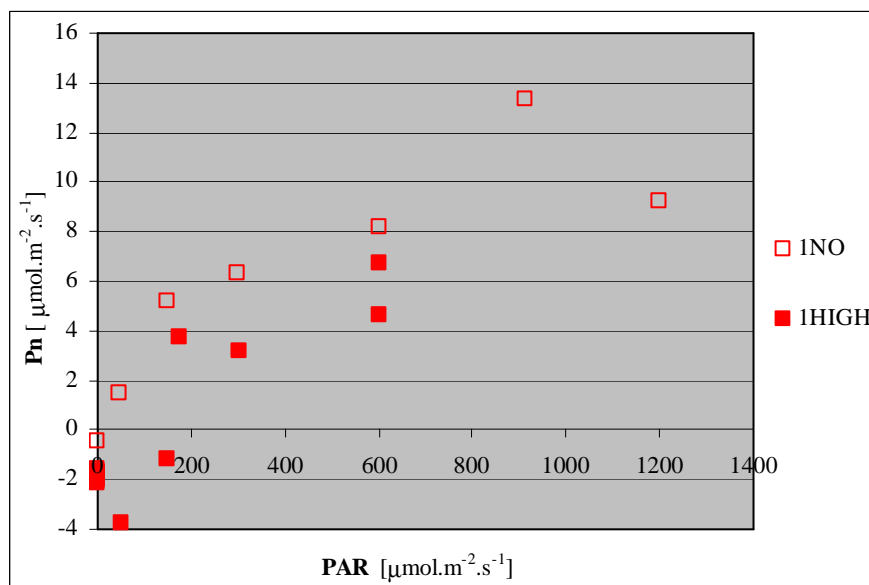
Obrázek 5. Světelná křivka fotosyntézy - Zábłatské louky 18.9.2008



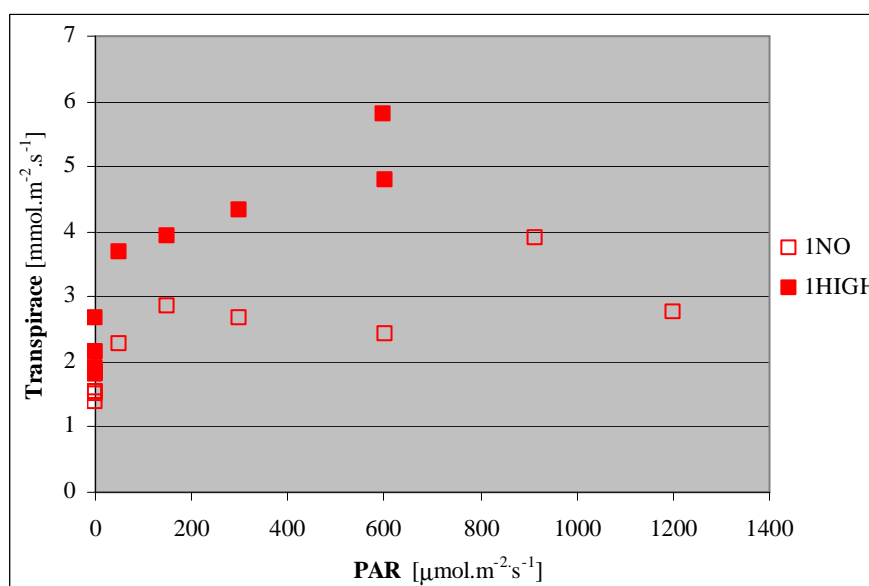
Obrázek 6. Světelná křivka transpirace - Zábłatské louky 18.9.2008

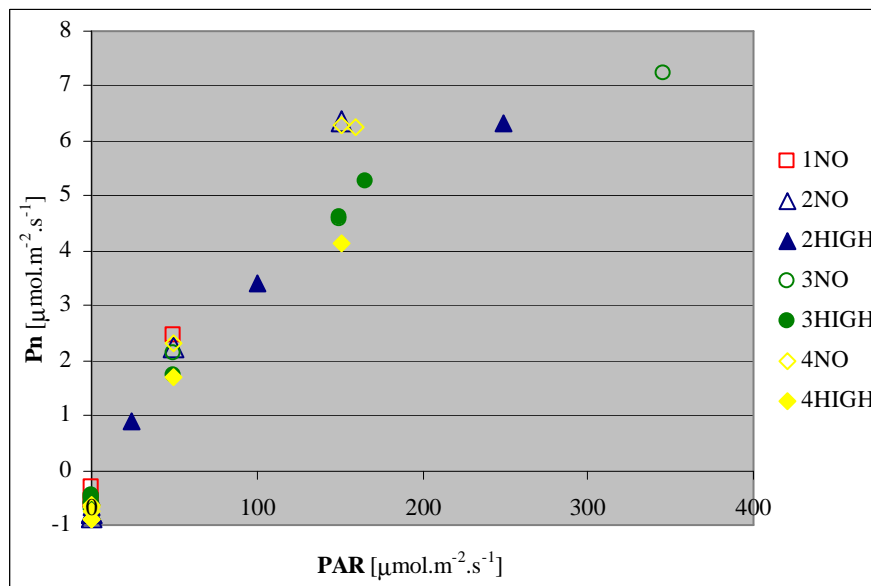
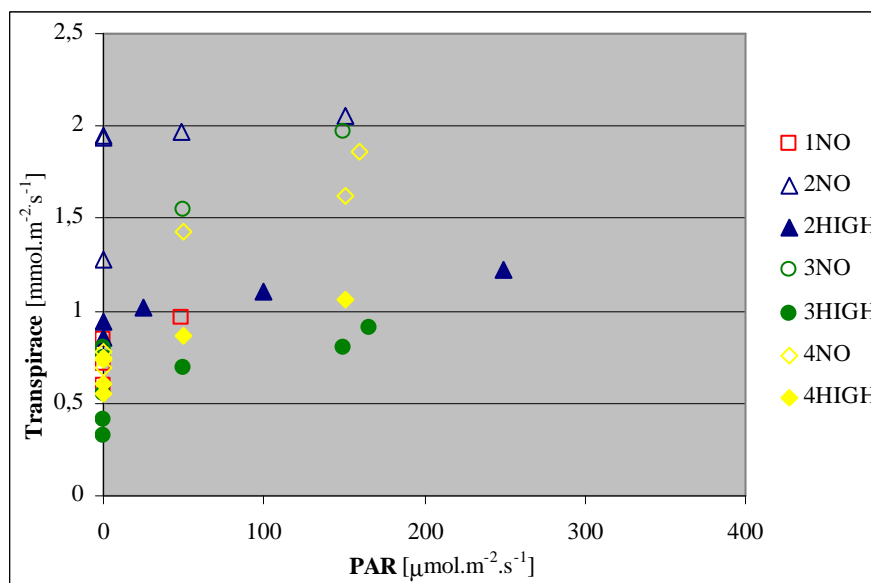


Obrázek 7. Světelná křivka fotosyntézy - Hamerské louky 3.6. 2008



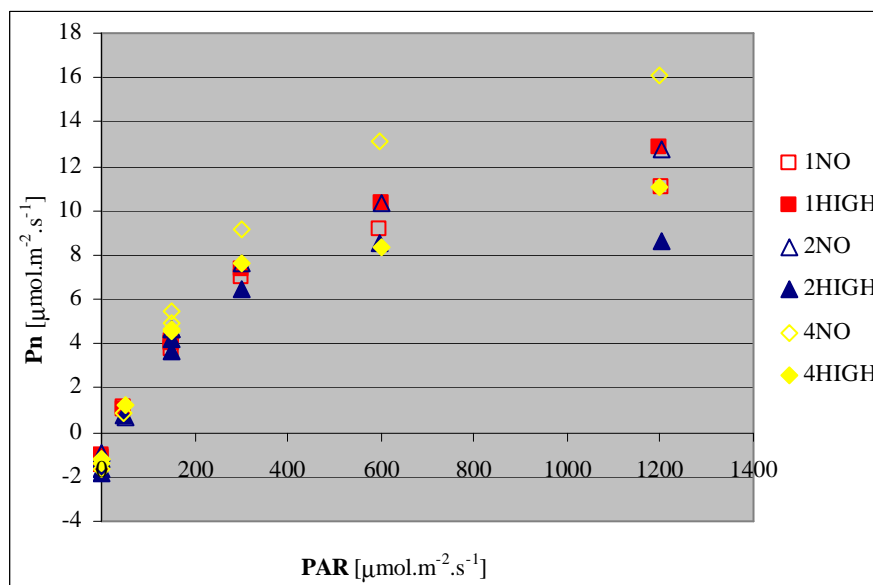
Obrázek 8. Světelná křivka transpirace - Hamerské louky 3.6. 2008



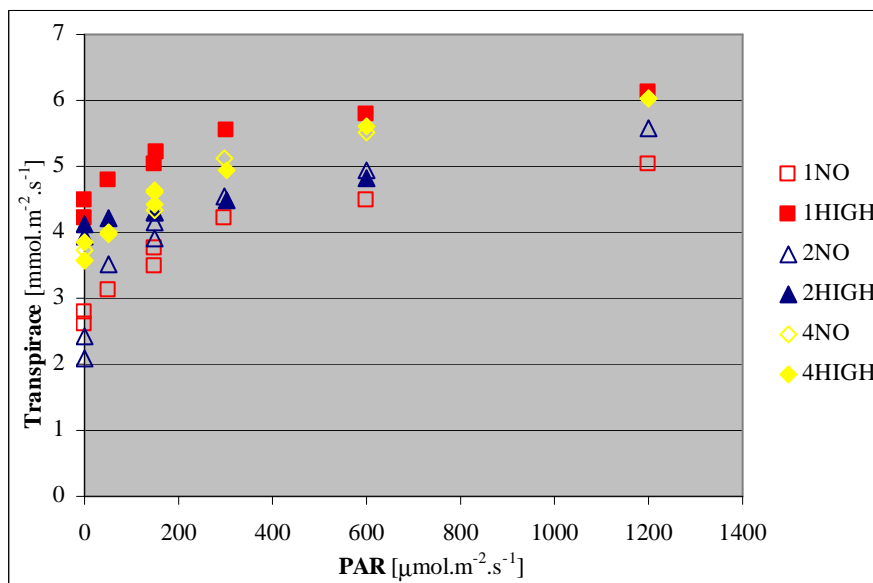
**Obrázek 9.** Světelná křivka fotosyntézy - Hamerské louky 6.6. 2008**Obrázek 10.** Světelná křivka transpirace - Hamerské louky 6.6. 2008



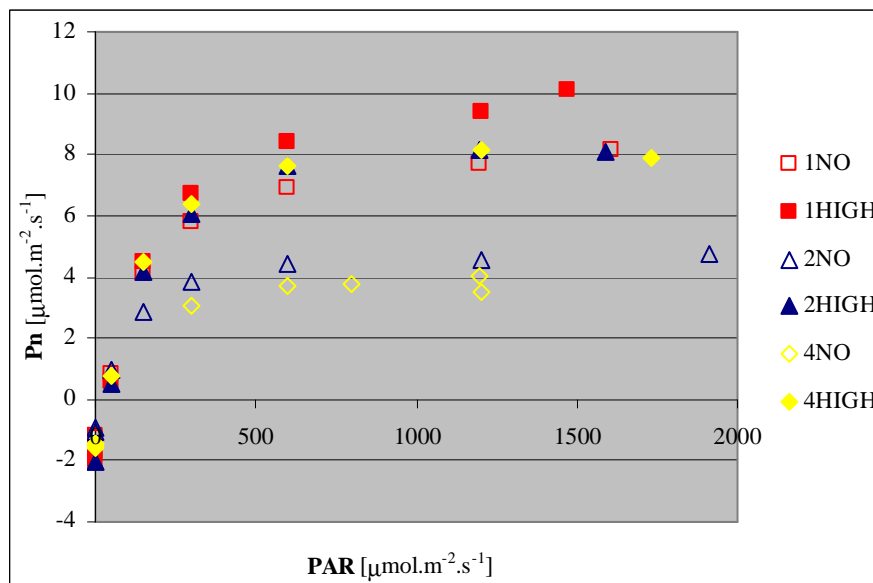
Obrázek 11. Světelná křivka fotosyntézy - Hamerské louky 26.7. 2008



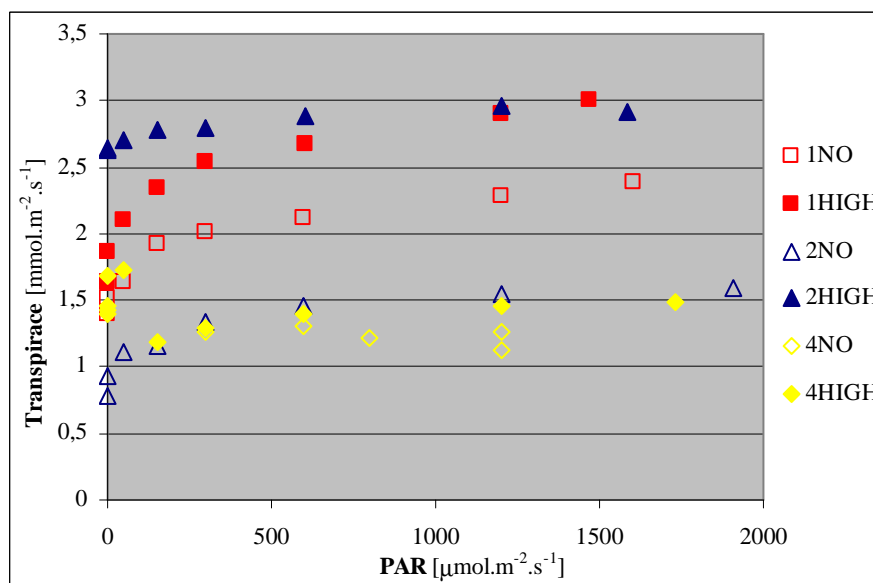
Obrázek 12. Světelná křivka transpirace - Hamerské louky 26.7. 2008



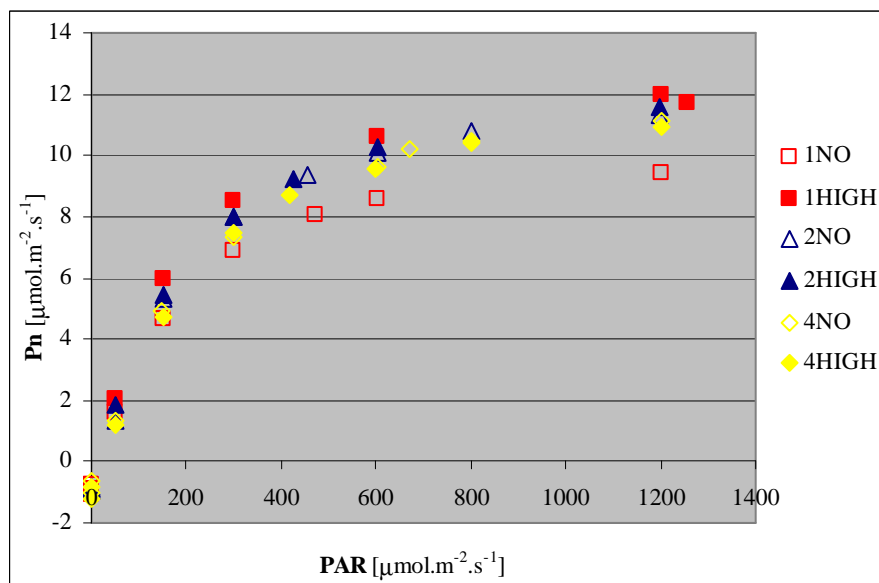
Obrázek 13. Světelná křivka fotosyntézy - Hamerské louky 12.8. 2008



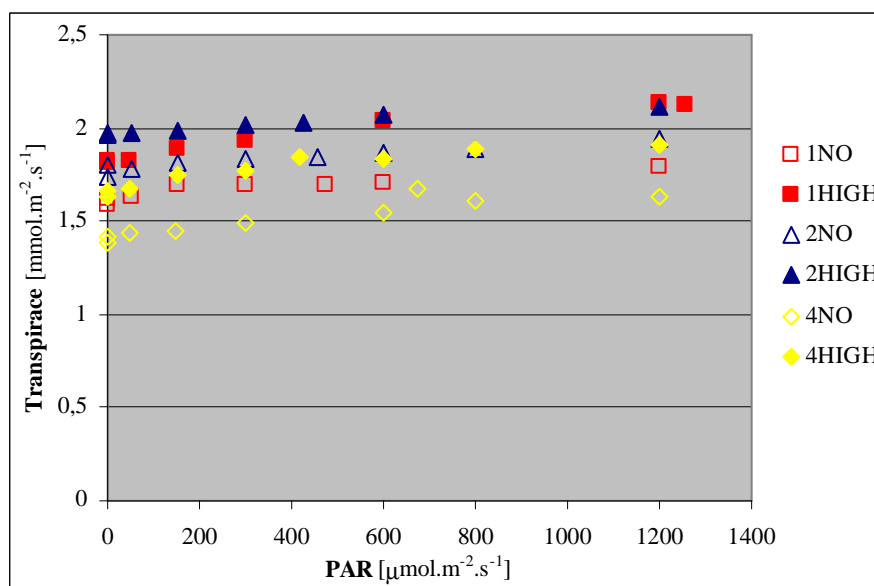
Obrázek 14. Světelná křivka transpirace - Hamerské louky 12.8. 2008



Obrázek 15. Světelná křivka fotosyntézy - Hamerské louky 29.9. 2008



Obrázek 16. Světelná křivka transpirace - Hamerské louky 29.9. 2008



**Tabulka I.** Délky nejdelších listů náhodně vybraných odnoží 11.8. 2008 na Záblatských loukách.

Plocha Hnojení		Délka nejdelšího listu náhodně vybrané odnože [cm]										Průměr celkový
1	NO	39	41	49	46	42	34	48	31	37	38	
2	NO	35	38	27	34	35	25	34	39	22	20	
3	NO	31	29	22	32	23	31	37	29	22	28	
4	NO	44	39	38	43	29	48	46	28	29	26	
<b>Průměr</b>		<b>37</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>34</b>
1	HIGH	39	52	49	42	45	51	62	59	57	58	
2	HIGH	63	60	47	46	45	52	62	53	52	49	
3	HIGH	37	30	49	30	27	47	39	49	39	46	
4	HIGH	53	46	44	49	47	39	51	52	48	42	
<b>Průměr</b>		<b>48</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>54</b>	<b>53</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>48</b>

**Tabulka II.** Délky nejdelších listů náhodně vybraných odnoží 18.9. 2008 na Záblatských loukách.

Plocha Hnojení		Délka nejdelšího listu náhodně vybrané odnože [cm]										Průměr celkový
1	NO	49	52	43	51	54	42	46	43	57	68	
2	NO	62	48	52	41	32	53	54	46	54	49	
3	NO	57	39	22	39	35	42	35	51	52	49	
4	NO	36	42	41	42	37	44	39	37	45	52	
<b>Průměr</b>		<b>51</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>46</b>
1	HIGH	75	61	77	71	65	76	62	50	54	59	
2	HIGH	58	62	63	57	66	39	47	45	78	67	
3	HIGH	61	60	44	52	50	43	59	32	63	61	
4	HIGH	69	46	64	49	47	44	76	64	62	58	
<b>Průměr</b>		<b>66</b>	<b>57</b>	<b>62</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>51</b>	<b>61</b>	<b>48</b>	<b>64</b>	<b>61</b>	<b>58</b>

**Tabulka III.** Délky nejdelších listů náhodně vybraných odnoží 12.8. 2008 na Hamerských loukách.

Plocha	Hnojení	Délka nejdelšího listu náhodně vybrané odnože [cm]			Průměr celkový
1	NO	48	51		
2	NO	65	56	58	
4	NO	79	87	84	
<b>Průměr</b>		<b>64</b>	<b>65</b>	<b>71</b>	<b>67</b>
1	HIGH	72	73	61	
2	HIGH	53	68		
4	HIGH	76	78	76	
<b>Průměr</b>		<b>67</b>	<b>73</b>	<b>69</b>	<b>70</b>

**Tabulka IV.** Šířky listů náhodně vybraných odnoží 16.6. 2008 na Hamerských loukách.

Plocha Hnojení		Šířka listů náhodně vybraných odnoží [mm]										Průměr celkový	
1	NO	3	2	3	3	4	3	3	4	4	4	5	
2	NO	5	6	5	5	5	4	6	5	4	4	4	
4	NO	5	5	4	4	5	4	4	3	4	4	4	
<b>Průměr</b>		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
1	HIGH	6	7	5	5	5	4	6	5	4	5	5	
2	HIGH	4	4	4	5	4	5	5	4	5	5	5	
4	HIGH	4	4	3	4	5	4	5	4	6	4	4	
<b>Průměr</b>		<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

**Tabulka V.** Parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  na Hamerských loukách ve všech datech. N - neměřeno

Datum	Parametr	1 NO	1 HIGH	2 NO	2 HIGH	3 NO	3 HIGH	4 NO	4 HIGH
3.6.	$\alpha$	0,0757	0,0210	N	N	N	N	N	N
	$A_{\max}$	14,44	20,85	N	N	N	N	N	N
6.6.	$\alpha$	0,0724	N	0,0730	0,0635	0,0635	0,0485	0,0706	0,0649
	$A_{\max}$	21,00	N	20,48	12,40	11,82	18,14	18,71	9,84
26.7.	$\alpha$	0,0536	0,0542	0,0562	0,0722	N	N	0,0660	0,0660
	$A_{\max}$	15,22	18,53	17,62	12,37	N	N	23,14	14,07
12.8.	$\alpha$	0,0689	0,0731	0,0636	0,0863	N	N	0,0007	0,0845
	$A_{\max}$	10,29	13,11	6,05	11,35	N	N	16,85	10,61
29.9.	$\alpha$	0,0653	0,0885	0,0695	0,0752	N	N	0,0650	0,0688
	$A_{\max}$	12,02	14,77	14,69	14,79	N	N	14,63	14,54

**Tabulka VI.** Parametry  $\alpha$  a  $A_{\max}$  na Záblatských loukách ve všech datech. N - neměřeno

Datum	Parametr	1 NO	1 HIGH	2 NO	2 HIGH	3 NO	3 HIGH	4 NO	4 HIGH
16.7.	$\alpha$	0,081	0,027	0,011	0,041	0,081	0,025	N	N
	$A_{\max}$	9,58	7,84	37,37	9,00	7,87	6,46	N	N
11.8.	$\alpha$	0,083	0,068	0,100	0,055	0,006	0,034	0,073	0,067
	$A_{\max}$	15,04	12,75	9,94	8,12	3,31	9,31	15,48	14,89
18.9.	$\alpha$	0,046	0,037	0,073	0,081	0,056	0,055	0,051	N
	$A_{\max}$	11,06	8,65	11,28	10,45	10,12	10,68	11,40	N

**Obrázek 17.** *Carex acuta*



Zdroj: <http://botanika.wendys.cz>

**Obrázek 18.** Hamerské louky 6.6. 2008



Foto Martina Leskovcová

**Obrázek 19.** Příklad přístroje Licor 6400 - Zábřavské louky 16.6. 2008



Foto Martina Leskovcová

**Obrázek 20.** Detail měřených listů v listové komoře – Zábřavské louky 16.6. 2008



Foto Martina Leskovcová