



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta pedagogická
Katedra biologie

Bakalářská práce

Vliv stresu městského prostředí na základní ekofyziologické charakteristiky stromu

Vypracovala: Gabriela Toncarová
Vedoucí práce: Mgr. Renata Ryplová, Dr.

České Budějovice 2014

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě i v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 25. 6. 2014

Podpis studenta:

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Mgr. Renatě Ryplové, Dr. za trpělivost a za cenné rady, které mi během psaní této bakalářské práce vřelovala. Dále bych chtěla poděkovat mému příteli a celé mé rodině za podporu ve chvílích, kdy jsem ji nejvíce potřebovala. Děkuji

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je vliv stresu na platan javorolistý (*Platanus acerifolia*), který roste v různých oblastech města. První lokalita se nachází v rušném centru (Lannova třída) a druhá lokalita v městském parku na okraji Českých Budějovic (Stromovka). Zjišťovalo se, jak množství fotosyntetických pigmentů, tak i maximální fotochemická účinnost PS (fotosystému) II pomocí metody měření fluorescence chlorofylu a spektrofotometrie.

Vzorky listů platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*) byly sbírány během vegetačního období od května do září. Z každé lokality byly vybrány tři stromy a z každého stromu se změnilo pět listů pomocí metody fluorescence chlorofylu. Listy byly měřeny přesbližně stejně vysoko a vždy se měnilo v poledních hodinách. Celkem tedy bylo naměřeno 150 listů. Pro metodu spektrofotometrie se z každého stromu odebraly tři listy, které byly ihned dopraveny do laboratoře, kde se dále zpracovávaly. Celkem bylo na tuto metodu sebráno 120 listů.

Zjistilo se, že čím více je stresované prostředí, tím mají platany menší obsah fotosyntetických pigmentů a jejich fotochemická efektivita PS II klesá. Dále se zjistilo, že platan javorolistý (*Platanus acerifolia*) patří mezi relativně odolné stromy. Hodnoty maximální fotochemické efektivy PS II a chlorofylů naměřené v obou lokalitách se téměř statisticky neližily. Statistický rozdíl mezi oběma lokalitami byl významnou zaznamenán na začátku a na konci vegetační sezóny.

Kejlová slova: fluorescence, město, spektrofotometrie, stres, stromy

Abstract

The subject of this bachelor thesis is the effect of stress on *Platanus acerifolia* which grows in different areas of the city. The first location is in the centrum of the city (Lannova tŠda) and the second location is in the city's park in Ľeské BudĽovice (Stromovka). There was a search of quantity of photosynthetic pigments and maximum of photochemical efficiency PS (photosystem) II. This search was conducted by a metod of measuring chlorophyll fluorescence and spectrophotometry.

Samples of leaves from *Platanus acerifolia* were taken during growing season May to September. There were three trees chosen from each location and there were five leaves from each tree examined by metod of measuring chlorophyll fluorescence. The leaves were examined approximately at the same height and the examination was done at noon time. There were 150 leaves examined in total. There were four leaves of each tree used for a method of spectrophotometry. Those leaves were immediately taken to laboratory where the examination took place. There were 120 leaves used for this metod in total.

The search showed that the more stressful environment *Platanus acerifolia* has a smaller content of photosynthetic pigments and photochemical efficiency of PS II decreases. Furthermore, the study showed that *Platanus acerifolia* belongs among relatively resistant trees. Values maximum photochemical efficiency of PS II and chlorophyll measured at both sites is almost statistically different. The statistical difference between the two sites were usually recorded at the beginning and end of the growing season.

Key words: fluorescence, city, spectrophotometry, stress, trees

Obsah

1. Úvod	1
2. Literární rešerše	2
2.1 Funkce zelených mlátech a v atmosféře	2
2.2 Mláto a stres.....	4
2.3 Platan javorolistý (<i>Platanus acerifolia</i>)	5
2.4 Fyziologie stresu.....	6
2.5 Fotosyntéza	11
2.6 Princip fluorescence.....	15
3. Metodika práce.....	18
3.1 Fluorescenční mlášení	18
3.2 Stanovení množství fotosyntetických pigmentů.....	18
3.3 Vyhodnocování dat	19
4. Výsledky	20
5. Diskuze	29
7. Závěr	31
8. Seznam použité literatury	32
9. Přílohy.....	41

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je porovnat základní ekofyziologické charakteristiky platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*) rostoucího ve stresových podmínkách městského prostředí s ekofyziologickými charakteristikami téhož rostlinného druhu rostoucího mimo rušné centrum města. U zkoumaných rostlinných druhů rostoucích na obou lokalitách byla v pravidelných intervalech po měřící době vegetační sezóny zjišťována fotochemická výkonnost PS II pomocí metody měření fluorescence chlorofylu a množství fotosyntetických pigmentů za současného monitoringu povětrnostních podmínek.

2. Literární rešerše

2.1 Funkce zeleně v městech a v atmosféře

Zeleň představuje více než 30 % z celkové plochy měst (Frazer, 2005). Městská zeň poskytuje řadu výhod, které mohou pomoci vyrovnat negativní aspekty znečištění. Mohou zlepšit kvalitu vody, snížit hluk a znečištění ovzduší, zvyšují biologickou rozmanitost tím, že poskytuje stanoviště pro volně žijící živočichy, poskytuje i estetické prostředí pro práci a odpočinek (Getter a Rowe, 2006). Městská vegetace může pozitivně ovlivnit i kontakt mezi sousedy (Sullivan, 2004) a umožňuje udržovat spojení s přírodním světem (Dunn a kol., 2006). Vegetace ve městech zvyšuje i tržní hodnotu nemovitostí (Lindsey a kol., 2004).

Městská zeň se nachází v mnoha formách od velkých parků, prostorů kolem veřejného bydlení, veřejných zařízení, zelených pásů podél silničních koridorů po malé oblasti (Williams a kol., 2009). Zeň se stala inovativním nástrojem ke zlepšení podmínek životního prostředí v hustě osídlených městech a to zejména v mírném podnebí (Dvořák a Volder, 2010).

Ekologická funkce

Zeleň vytváří otevřené plochy ve městech, v nichž se zejména fauna může vyvinout. Poskytuje domov užitečnému hmyzu, ptactvu a zvířatům, které mohou přispívat k boji proti škůdcům (Tzoulas a kol., 2007). Zeň má zajímavou roli i v ekosystému, může sloužit jako základ potravy pro fytofágní druhy a opylovače. Nektar a pyl, jehož zdrojem jsou květy, přitahuje a vábí mnoho druhů hmyzu. Čím rozmanitější je druhové složení porostů, tím více možností pro rozvoj početných druhů hmyzu, ptactva a ostatních živočichů vzniká (Tonietto a kol., 2011).

Hygienická funkce

Vegetace v městském prostředí odstraňuje znečišťující látky. Stromy rostoucí v městském prostředí zachycují prachové částice, a tím poskytují úlevu od znečištěného ovzduší. Také dřevinné studie uvádějí velké množství prachových částic zachycených městskými stromy ve znečištěném prostředí ve srovnání s méně znečištěnými oblastmi (Beckett a kol., 2000). Množství zachycených prachových částic závisí na vlastnostech listu a na výšce stromu. Listy, které mají na svém povrchu chloupky, se ukázaly jako

nejúlnnější pŕí zachycování prachových ŕástic (Pyatt a Haywood, 1989). Ve svém díle *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States* (2006) Nowak odhaduje, ŕe stromy odstraní asi 711 tisíc metrických tun ŕekodlivin za rok.

Zneŕiŕtŕný vzduch pŕímo souvisí s lidským zdravím (Mayer, 1999). V dŕsledku zneŕiŕtŕného ovzduŕí mŕŕe docházet k výskytu onemocnŕí dýchacích cest nebo ke zvýŕenému výskytu kardiovaskulárních chorob (Pope a kol., 1995). Napŕíklad ve Spojených státech ŕíje ŕtvrtina lidí tam, kde je zneŕiŕtŕné ovzduŕí (ALA, 2010). V 95 mŕstech v oblasti USA doŕlo i ke zvýŕené úmrtnosti, které byly spojeny se zvýŕenou hladinou ozónu (Bell a kol., 2004).

Do rostliny se plynné zneŕiŕŕující látky dostávají pŕes jejich prŕduchy. Tyto látky poŕkožují organické slouŕeniny, mezi které patŕí napŕíklad polyaromatické uhlovodíky, jeŕ se nacházejí v rostlinných tkáních nebo v pŕdŕ(Baker a Brooks, 1989).

Kromŕ toho, ŕe zeleŕ ŕniŕuje výskyt zneŕiŕŕujících látek v okolí, zvyšuje i vlhkost vzduchu v okolí. Strom funguje jako pumpa, která nasává svými koŕeny vodu z niŕŕších vrstev pŕŕdy a svými listy ji následnŕ odpaŕuje. Dospŕlý strom odpaŕí ve vegetaŕním období za slunného letního dne aŕ 250 litŕŕ za den (Kavka a ŕindeláŕová, 1978).

Dalŕí hygienickou funkcí je ŕniŕování mŕtského hluku, který je nepŕíjemný a ŕasto mŕe vést ke zdravotním problémŕm (Ŗhrström, 1991). Vysoký hluk je ŕastým problémem uzavŕených prostorŕ ve mŕstech nebo v oblasti letiŕŕ. Vegetace má tedy pozitivní vliv ve mŕstech, protoŕe absorbuje zvukové vlny (Rowe, 2010).

Rekreaŕní funkce

Rekreaŕní úŕinky vyplývají ze samotných vlastností zelenŕ zejména z aspektŕ psychologických, estetických a hygienických. Pŕíznivé zmŕny mikroklimatu vedou u vŕŕších ploch zelenŕk vytvoŕení tzv. Ŗpásma klimatické pohodyŕ. Zlepŕují se dýchací funkce. Tŕikavé látky ozdravují ovzduŕí. Je znám uklidŕující úŕinek zelené barvy. Nepravidelné stŕídání svŕtla a stínu, oslunŕných a neoslunŕných ploch, doprovázené zmŕhami teploty vnímané pokŕŕkou pŕsobí jako Ŗklimatická masáŕŕ (Balabánová, 2006).

Hydrologická funkce

Jednou z dalších funkcí je snížení odtoku vody a udržení dešťové vody. Snížení odtoku vody se pohybuje v rozmezí od 50 % do 100 % v závislosti na druhu rostliny, substrátu a jeho hloubky, vlhkosti půdy a na době trvání srážek (Deutsch a kol., 2005).

2.2 Město a stres

Podle UN World Urbanization Prospects (2009) se městské a příměstské oblasti stávají oblíbenější. V roce 2008 50 % světové populace žila v městských oblastech, do roku 2050 se předpokládá zvýšení až na 70 % (Pecarevic a kol., 2010).

Použití široké škály druhů rostlin jsou obecně považovány za jeden z nejdůležitějších nástrojů proti škůdcům, kteří se objevují na nejčastěji používaných dřevinách (Santamour, 1990). Pro urbanisty není až takovým problémem najít stromy, jež mají ideální růstové podmínky. Obtížné je pro ně spíše hledání druhů, které by snesly drsné podmínky v městských zpevněných oblastech (Sæbø a kol., 2005).

Silniční koridory jsou velmi viditelným stanovištěm, kde se lidé pohybují a stráví zde značné množství času. Kvantitativně silniční vegetace tvoří 10-25 % z celkové části městské zeleně. Silniční vegetace zahrnuje širokou škálu rostlin od kultivovaných až po Ďdivoké (divoké rostliny nejsou vysázeny, ale vznikají spontánně a vytvářejí rostlinné celky, které existují podél mnoha silničních krajích) (Weber a kol., 2014). V Norsku představuje 70 % všech nově vysazených stromů podél silnic lípy (*Tilia vulgaris*), zatímco v Řečkově 90 % všech nově vysazených stromů podél silnic jsou topoly (*Populus trichocarpa* Hook) (Pauleit a kol., 2002), v Dánsku a v Londýně představuje *Platanus acerifolia* Willd a *Tilia* 61 % všech použitých stromů vysazených mezi léty 1990 - 2000 (Bühler a kol., 2007). Z diskuze urbanistů je zřejmé, že výběr druhů pro zpevněná místa jsou odrazem místních zkušeností nebo tradic a neochota přijmout rizika spojená s využitím netradičních rostlinných materiálů (Sjöman, 2010).

Městské oblasti jsou stresovým prostředím pro rostliny, proto se při výběru stromů do těchto oblastí musí dát přednost tolerance stresu nad estetickým a funkčním aspektem. To vyžaduje detailní informace o toleranci dřevin na vlivy okolního prostředí (Sjöman, 2010).

Pro tento výzkum byl vybrán platan javorolistý (*Platanus acerifolia*), protože je podle některých výzkumů považován za relativně odolný strom vůči znečištění

prostředí (Wittenberghe a kol., 2014). Platany produkují biogenní sloučeniny (BVOC), které vypouštějí do atmosféry. Tyto sloučeniny chrání rostliny před teplotním a oxidativním stresem. Z experimentu Stavretovič a kol. (2010) vyplývá, že *Platanus acerifolia* má nejlepší vlastnosti. Má nejvyšší hodnoty průměru stonku, výšku stromu a šířku koruny. Dále má nejlepší koeficient vitality v porovnání s jinými městskými stromy a hojně se používá i jako okrasný strom.

2.3 Platan javorolistý (*Platanus acerifolia*)

Platan javorolistý se nejvíce vyskytuje ve městech po celém světě. Objevuje se i ve velkých městech jako je například Londýn anebo v jiných velkých metropolích, protože lépe snáší prostředí, jež je silně znečištěné prachem nebo různými škodlivinami z výfukových plynů, než jiné dřeviny, které jsou také vysazovány ve městech. V České republice je platan okrasnou složkou zeleně. Je vysazován v zahradách kolem dřevěných panských sídel, v parcích nebo v botanických zahradách (Alexejev, 1987). Tento strom se nevyskytuje jen v Evropě ale je rozšířen do oblasti Albánie, Řecka, Kréty, Kypru, Libanonu, Sýrie, Izraele. Ve větší míře se vyskytuje i v Severní Americe, kam jej brali osadníci (Russell a Cutlerová, 2007).

Platanus acerifolia je nejrozšířenější platan v Evropě. Jeho původ je však nejasný. Soudí se, že je to kříženec mezi platanem západním a platanem východním. K tomuto křížení došlo zřejmě v okolí Oxfordu v Anglii, kde byly oba dva platany pěstovány mezi léty 1680 až 1700. Platan javorolistý má větvě s charakteristickými pětířetnými listy, které připomínají platan východní, který pochází z jihovýchodní Evropy a Malé Asie. Podle maňarského botanika Radice je platan javorolistý potomkem vymřelého třetihorního platanu *Platanus aceroides*, který byl v minulosti velmi hojný a obýval skoro celou Evropu. U nás se pěstuje zhruba od roku 1835 (Větrný, 2005).

Je to dekorativní, listnatý strom s širokou a vysoce klenutou korunou. Kůra je světle hnědá a později odlupuje v plátech. Ty zanechávají na kmeni světlé glaté skvrny. Listy jsou 15 - 20 cm dlouhé a dlanitě laločné v nestejně velké laloky, vykrojené nejvíce do středu laloky. Na lících leskle zelené, na rubu světlejší. Květy jsou uspořádány v hustých a kulovitých hlávkách (Kremer, 1995). Tyto hlávky mají na svém povrchu chloupky, které mohou vyvolat u citlivých lidí alergické záněty očních spojivek nebo záněty dýchacích cest. Proto se platany nedoporučují vysazovat v okolí městských hřbitovů (Větrný, 2005). Má rovněž kulovité a ježaté plodenství na dlouhých stopkách. Tento

strom je rychle rostoucí a dosahuje velké výšky někde až úctyhodných rozměrů (výška až 40 metrů a obvod kmene až 5,5 metru). Dřevo platanu javorolistého je pevné a stálé. Toto nahnětlivé dřevo se používá k výrobě kvalitního a pevného nábytku (Kremer, 1995).

2.4 Fyziologie stresu

Teorie stresu

V díle Ekologická stabilita (1992) Míchal uvádí, že stres je stav, ve kterém se nachází živý systém při mobilizaci obranných nebo nápravných procesů vlivem i podnětů přetahujícím obvyklé rozpětí homeostázy. Projevem stresu jsou pokusy organismu o obnovení homeostázy za působení vnějších faktorů. Tyto faktory nazýváme jako stresové, nebo šrovinlivé podmínky.

Stresové faktory můžeme rozdělit na abiotické a biotické. Abiotické faktory lze ještě rozdělit na fyzikální, kam patří mechanické účinky větru, nadměrné záření a extrémní teploty a na chemické, kam lze zařadit nedostatek vody, nedostatek kyslíku, nedostatek živin v půdě nadbytek solí nebo vodíku v půdě a toxické kovy v půdě. Na biotických faktorech se podílejí herbivorní živočišné (Procházka a kol., 1998).

Stres může u rostlin spustit tzv. stresovou reakci. První fáze se nazývá fáze poplachová. Zde dochází k neolekávavě velké a relativně krátkodobé odezvě systému, která je avšak pomíjivá. Rychlost návratu ukazatelů do stavu před působením stresoru se považuje za měřtko intenzity stresu. V druhé fázi, která se nazývá jako stádium rezistence, je odezva systému malá. Vyvinula se zdánlivá rezistence proti stresoru, který vyvolal poplachovou reakci. Při dlouhodobém působení stresoru může dojít buď k posílení odolnosti rostliny, nebo rostlina přejde do fáze vyčerpaní. V poslední fázi dojde k přeskrolení adaptace rostlinného systému při dlouhodobém působení stresového faktoru (Míchal, 1992).

Vliv polutantů

Vliv oxidu siřičitého (SO₂)

Síra je pro rostliny k dispozici ve formě síranů, které se nacházejí v půdě a rostlina je iberá pomocí svých kořenů nebo ve formě plynných sloučenin v atmosféře. Navzdory výraznému snížení emisí z antropogenních zdrojů, oxid siřičitý je stále nejdůležitější atmosférická sloučenina síry (Fowler, 1985).

Rostliny se velmi liší v toleranci k emisím SO_2 z důvodu rozdílů v efektivitě s jakou absorbují tento plyn. Dále se liší schopnostmi detoxikovat znečišťující látky a zbavovat se přebytečné síry. Lišejníky a mechorosty patří mezi nejcitlivější a používají se jako ukazatelé znečištěného ovzduší oxidem siřičitým (Black, 1985).

Některé rostliny využívají tzv. mezibuněčný cyklus, kde se uplatňuje aminokyselina cystein. Tento cyklus rostlinné buňce umožňuje využít hodnotnějšího SO_2 pro syntézu síry, která je důležitá pro růst a vývoj rostliny, když jsou jiné zdroje síry omezeny (Rennenberg, 1984).

SO_2 vstupuje do listů průduchy a difúzí se šíří ke všem buňkám listového mezofylu. Po proniknutí buněčnou stěnou se mění na siřičitanové ionty, které vstupují do chloroplastů. V menších koncentracích není škodlivý, protože za dostatku záření dochází v chloroplastech k redukci anorganických sloučenin síry a k jejich zabudování do organických vazeb. Avšak ve vyšší koncentraci siřičitanové ionty blokují činnost karboxylačního enzymu Rubisca, a tak dochází k poklesu fotosyntézy. Nejvíce bývají ohroženy jehličnaté stromy a některé méně stélkaté rostliny s růstovou aktivitou v zimním období, kdy je koncentrace SO_2 nejvyšší (Procházka a kol., 1998).

Vliv oxidů dusíku (NO , NO_2)

Oxidy dusíku se do atmosféry dostávají spalováním fosilních paliv nebo pomocí elektrických výbojů, které se vytváří v atmosféře. Celkový počet přírodních a člověkem vyrobených emisí NO_x se odhaduje na 150 milion tun ročně z toho více jak polovina je z přírodních zdrojů (UNEP/ GEMS, 1991). V průmyslových oblastech Evropy a Severní Ameriky převažují umělé emise NO_x nad přírodními 5-10 krát (Yunus, 1996). Nejvyšší obsah NO_2 (oxid dusičitý) bývá v zimních měsících a nejnižší v období vegetační sezóny. Kolísání obsahu emisí NO_2 v ovzduší je doprovázeno opačným kolísáním obsahu O_3 . NO_2 a NO (oxid dusnatý) se vytváří z atmosférického dusíku (N_2), který vzniká za vysokých teplot při průmyslových reakcích. Tyto emise mají na svědomí i spalovací motory, např. v Anglii je asi 40 % všech emisí oxidu dusíku vytvořeno lidskou činností a ve Španělsku dokonce až 80 %.

Oxidy dusíku se po vdechnutí rostlinou rozpustí za vzniku nitrátu nebo nitritu a vstupují do buňky přes buněčnou stěnu. Dojde k nahromadění nitritu, který působí jako metabolický jed (Plhák, 2000). Při zvýšeném vlivu NO_2 dochází ke ztrátě listové zeleně k výskytu nekrotických pletiv a odumření celé rostliny. Poškozené rostliny mají

i snížené množství kyseliny askorbové v listech, vykazují rychlejší dýchání a mají zhoršenou mrazuvzdornost (Bláha, 2003).

Vliv ozónu (O₃)

Přzemní O₃ je nejrozšířenější škodlivá a znečišťující látka, která působí na stromy. K tvorbě O₃ mohou přispívat i biogenní uhlovodíky (BVOC), protože jsou více reaktivní než antropogenní uhlovodíky (Paleotti, 2007). Tyto látky jsou produkovány rostlinami, jež jsou následně vypouštěny do atmosféry jako vedlejší produkt fotosyntézy. Množství tohoto uhlovodíku je v městských oblastech velmi malé až zanedbatelné ve srovnání s antropogenními vlivy, ale odhaduje se, že jsou dvakrát až třikrát reaktivnější než uhlovodíky, které vznikají spalováním benzínu (Carter, 1994). BVOC zahrnují isoprenoidy a látky jako jsou alkany, alkeny, karbonyly, ethery, estery a kyseliny. Tyto látky chrání rostlinné membrány proti oxidačnímu stresu, včetně O₃ (Paleotti, 2007). Od roku 1996 13 - 60 % městské populace v Evropě byly vystaveny vyšší koncentraci O₃ přesahující evropskou cílovou hodnotu, která byla nastavena pro ochranu lidského zdraví (EEA, 2007).

Nejvíce přzemního O₃ je ve vegetačních měsících, v zimních měsících je hodnota O₃ nejnižší. Jeho kolísání souvisí se sluneční radiací (Plhák, 2000). Vyšší O₃ vzniká fotolýzou oxidu dusíku a některých plynných organických sloučenin vlivem účinku UV. O₃ vstupuje do listů přes průduchy, kde se rozkládá na kyslík, vysoce reaktivní superoxid O₂⁻ a hydroxylový radikál. O₃ v buňce indukuje tvorbu etylénu, polyamidů a flavonoidů, které jsou součástí obranných mechanismů. Pokud je koncentrace O₃ vysoká, dochází k porušení biomembrán, dojde ke snížení množství chlorofylů a k destrukci buněk vlivem radikálů. Hlavními příznaky poškozené rostliny je žloutnutí a následné odumírání (Procházka a kol., 1998). Maximální prahová hodnota ozónu za 8 hodin je 120 µg/m³ (EEA, 2011).

Vliv pevných prachových částic (PM)

Mnoho měst trpí znečištěním ovzduším. Mezi znečišťující látky patří pevné prachové částice, které ovlivňují nejzávažněji lidské zdraví (Dockery a kol., 1993). Tyto částice pocházejí z přírody, například vznikají při vulkanismu, vlivem antropogenní činnosti spalováním fosilních paliv nebo při automobilové dopravě (Gorbachevskaya a kol., 2007). V městských oblastech je silnější doprava jedním z hlavních zdrojů PM (Jain a Khare, 2008) s nejvyšší toxicitou (WHO, 2005). Prachové částice jsou

klasifikovány podle své velikosti na nejjemnější (< 0,1 μm), jemné (0,1 - 2,5 μm), hrubé (2,5 - 10 μm) a superhrubé (> 10 μm) (EPA, 2009). Tyto částice mohou vyvolat určité zdravotní rizika. Nejjemnější a jemné částice mohou být vdechnuty a v plicních sklípkách mohou být velmi škodlivé (Cohen a kol., 2005). U rostlinných organismů způsobují ucpání průduchů, znemožňují tak rostlinám vylučovat vodu a snižují jejich fotosyntetickou schopnost a dýchání (Procházka a kol., 1998).

Další nepříznivé vlivy prostředí

Extrémní teploty

Existují různé nároky rostlin na teplotu. Podle rozsahu tolerance k teplotě rozlišujeme rostliny na eurytermní (se širokou amplitudou) a na stenotermní (s nízkou amplitudou). Stenotermní rostliny dále můžeme rozlišit na kryofilní (pásmo trvalého sněhu), mikrotermní (chladné pásmo), mezotermní (mírný pás), megatermní (teplé pásmo).

Rostliny odumírají při rychlém stědní tepla a chladu nebo při dlouhodobém působení chladu. Rostliny vlivem dlouhotrvajícího chladu žloutnou a vadnou. To je způsobeno nedostatečným příjmem vody kořeny. Bílkoviny se rozkládají a vzniká mnoho amoniaku, který je pro rostliny ve větší míře škodlivý. Poškození rostlin mrazy je mnohem nebezpečnější. Dochází k vytahování rostliny a přetrhávání jejich kořenů. (Čebánek a kol., 1983).

Vysoká teplota je faktorem ovládní isoprenu. Isopren je nejdůležitější biogenní, tukavá a organická sloučenina (BVOC), kterou produkují listy a uvolňují ji do atmosféry (Günther a kol., 1995). Tato látka je klíčovým hráčem v interakcích životního prostředí. Kromě toho isopren chrání rostliny před teplotním stresem (Sharkey a Singas, 1995). Míra isoprenu se exponenciálně zvyšuje s teplotou. Trend této reakce závisí na druhu rostliny a na teplotě při které byly rostliny pěstovány nebo vystaveny (Filella a kol., 2007). Při vysokých teplotách dochází ke snížení fotosyntézy. Dochází ke změně ultrastruktury a integrity membrány chloroplastů (Veliková a kol., 2009). Rostlinám se při vysoké teplotě mění vlastnosti protoplazmy. Mění se i vlastnosti biomembrány. Ta přechází z tuhého stavu do kapalného stavu a je propustná pro ionty. Poškozeny bývají i chloroplasty, ve kterých dochází k porušení thylakoidů. Nastává narušení PS II a snížení necyklické fosforylace. Rostliny se před vysokými teplotami brání tím, že tvoří stresové proteiny, které zajišťují termostabilitu a zároveň chrání PS II před jeho poškozením (Bláha, 2003).

Nadmírné záření

Při extrémní intenzitě viditelného záření nebo při UV záření dojde k fotodestrukčnímu útlumu. Nejcitlivější na nadmírné záření jsou řasy, mechy, které rostou na stinných stanovištích a cévnaté rostliny, které jsou adaptované k životu ve stínu. Při intenzivním záření dochází k poškození především chloroplastových pigmentů, které se v rostlině nacházejí. Rostliny se brání tím, že natáhnou listy stranou k záření. Takovýto pohyb se označuje ve fyziologii jako fototaxe. Další způsob obranný je ten, že rostliny vytvářejí povrchy s vysokou odrazivostí. Tyto povrchy působí jako korek a propouští málo záření. Důležitým obranným mechanismem je glykolátový metabolismus, který se uplatňuje hlavně při nadbytku energie v buňce. Je to proces, kdy se v buňce váže kyslík a odvádí se přebytečná energie. Mezi příznaky poškození patří pokles fotosyntetické kapacity, změna enzymatické aktivity, poruchy růstu, vznik genových mutací a následná smrt rostliny (Larcher, 1988).

Zasolené a kyselé půdy

Tyto půdy se vyskytují především v okolí silnic, kde je nedostatek srážek a minerální soli se z půdy nevyplavují, ale hromadí se. Příspěvá k tomu i posyp, který se v zimních měsících používá k odstranění sněhové pokrývky ze silnice. Kulturní rostliny se na těchto stanovištích téměř nevyskytují a rostou zde jen druhy, které jsou označovány jako halofyty (Čebánek a kol., 1983). Rostliny hromadí ve svých buňkách ionty Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , které jsou ve velkém množství neslučitelné s funkcí enzymů. Vysoké koncentrace solí brzdí růst kořenů a rostliny tak trpí nedostatkem vody. Následně dochází k zastavení růstu a nakonec k odumření rostliny (Procházka a kol., 1998).

Sucho

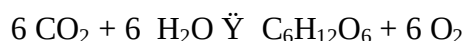
Tento stres se je nejvíce limitujícím stresorem pro rostliny. Nejzávažnějším problémem nedostatku vody jsou klimatické poměry v dané oblasti. Vodní stres snižuje růst, fotosyntézu a aktivitu enzymů. Při poklesu turgoru na -0,3 až -0,4 MPa dochází k zastavení růstu a vadnutí listu. Při dalším poklesu -0,2 až -0,8 MPa dochází ke změně aktivit enzymů. Snižuje se aktivita nitrátreduktázy a stoupají enzymy amyláza, hydroláza nebo ribonukleáza. Při poklesu na hodnoty -0,1 MPa se tvoší

alkoholy, cukry, aminokyseliny a dalších sloučenin. Všeobecný problém nedostatku vody vyvíjející rostliny zavírají průduchy a zpomalují výměnu CO_2 (Bláha, 2003).

2.5 Fotosyntéza

Ve svém díle Fyziologie rostlin speciální (1971) Česták uvádí, že fotosyntéza je série procesů, v nichž se mění elektromagnetická energie na chemickou vlnou energii, kterou lze využít k biosyntéze. Biosyntéza je především chápána jako syntéza sacharidů fixací atmosférického oxidu uhličitého nebo se může jednat například i o redukci nitritů.

Fotosyntéza zahrnuje několik fotochemických procesů, které probíhají buď za přítomnosti světla (tzv. světelná fáze fotosyntézy) nebo enzymatické procesy, které nevyžadují světlo (tzv. temnostní fáze fotosyntézy) (Larcher, 1988). Fotosyntéza se vyjadřuje rovnicí (příloha 1.1):



Tuto rovnici je třeba chápat jako názorné vyjádření souboru všech reakcí, kdy dochází ke vzniku glukózy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) a k uvolnění molekulárního kyslíku (O_2) z oxidu uhličitého (CO_2) a vody (H_2O) (Procházka a kol., 1998).

Struktura fotosyntetického systému

Chloroplasty

Chloroplasty vznikají na základě endosymbiotické hypotézy. Podle této hypotézy fotosynteticky aktivní plastidy vznikají nitroblastnou symbiózou fotoautotrofních mikroorganismů s mikroorganismy heterotrofními. Eukaryotická buňka je považována za produkt seriální endosymbiózy, neboť mitochondrie a plastidy vznikají endosymbiotickou cestou. V evoluci došlo opakovaně k endosymbiotickému vzniku plastidů a památkou na to jsou různé skupiny dnešních řas (Kutík a Beneš 1991).

Fotosyntéza probíhá v chloroplastech, které jsou nejmenšími strukturními i funkčními jednotkami a které mohou fixovat CO_2 a zabudovávat uhlík do sacharidů (Procházka a kol., 1998). Chloroplasty jsou uloženy v cytoplazmě někdy mohou být uloženy i v nástěnném cytoplazmatickém povlaku. Tyto orgány obsahují pigmenty, jako jsou například chlorofyly, karotenoidy a další. Některé rostliny mají pouze jeden velký chloroplast. Někdy se v něm mohou objevit bílkovinná tělíska, kterým říkáme

pyrenoidy. Ve vyšších rostlinách jsou chloroplasty velmi četné a mají rozmanité tvary (Lernohorský, 1967). Mohou mít olokovitý nebo bochníkovitý tvar. Jejich průměr je okolo 5 až 10 μm a tloušťka 1 až 5 μm . Avšak rozměry jsou závislé na osvětlení. Chloroplasty se na světle zplošťují a objem se zmenšuje, ve tmě nabobtnávají a mají kulovitý tvar (Butterfass, 1979). Vnitřek chloroplastu je od cytoplazmy oddělen dvěma obalovými membránami. Jejich funkce spočívá v udržování tvaru chloroplastu, k oddělení vnitřního a vnějšího prostředí, k tvorbě systému thylakoidu, k ochraně chlorofylu před fotooxidací, k syntéze thylakoidních lipidů a dalších látek. Obě membrány nejsou stejné, ale liší se svojí propustností. Vnější membrána je nespecificky propustná pro nízkomolekulární látky, naopak vnitřní membrána má selektivní propustnost (Kutík a Beněš, 1991). Pod obalovými membránami je stroma, které je amorfní a vyplňuje vnitřek chloroplastu (Procházka a kol., 1998). Stroma v chloroplastech má dvě hlavní funkce. Probíhají v něm sekundární procesy fotosyntézy a dochází zde k replikaci, transkripci a translaci chloroplastové DNA (Kutík a Beněš, 1991). Naskládáním membrán na sebe se vytvářejí lamely, kterým říkáme thylakoidy, ty jsou navrstveny na sobě po 10 i více membránách a vznikají grana (Procházka a kol., 1998).

Fotosyntetické pigmenty

Chlorofyl

Nejdůležitějším fotosyntetickým pigmentem je chlorofyl. Je známo 7 typů: chlorofyl *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, bakteriochlorofyl a bakterioviridin. Nejvýznamnější jsou chlorofyly *a* a *b*, protože se vyskytují ve všech organismech.

Chlorofyl *a* je modrozelený, chlorofyl *b* žlutozelený a chlorofyly *c*, *d*, *e* se vyskytují v řasách s chlorofylem *a*. Bakteriochlorofyl a bakterioviridin je součástí fotosyntetizujících bakterií (Čebánek a kol., 1983).

Chlorofyl se skládá z hořčíku, který se nachází uvnitř molekuly a na něm jsou navázány čtyři pyrolová jádra vzájemně propojená metionovými můstky. Rozdíl mezi chlorofyl *a* a *b* je v tom, že chlorofyl *a* ve druhém pyrolovém jádru na třetím uhlíku má metylovou skupinu (CH_3), za to chlorofyl *b* má aldehydickou skupinu (R-COH). Poměr mezi chlorofylem *a* a *b* je asi 3:1 (Lernohorský, 1967).

Karotenoidy

Dalšími pigmenty jsou karotenoidy. Vyskytují se v thylakoidní membráně ve formě komplexů s bílkoviny. Jsou součástí světloabsorbujících komplexů a chrání chlorofyly před fotooxidací (Kutík a Beněš, 1991). Nejvíce je zastoupen β -karoten, ten je provitaminem vitamínu A a nachází se v mrkvi. Jejich barva je žlutooranžová. Oxidací karotenů vznikají xantofyly, které mají žlutozelenou barvu. V listech se nejčastěji vyskytuje lutein, violaxantin a neoxantin (Kindl a Faustus, 1975).

Fykobiliny

Nacházejí se u sinic, ruduch a skrytých a představují doplňkové pigmenty.

Průběh fotosyntézy můžeme rozdělit do dvou fází. První je fáze světelná (fotochemická), která probíhá pouze za světla, druhá fáze se nazývá temnostní (nikde se uvádí i Blackmanova fáze), která probíhá ve tmě (Čebánek a kol., 1983).

Světelná fáze fotosyntézy

V díle Fyziologická ekologie rostlin (1988) Larcher uvádí, že tento proces začíná, když chloroplasty zachytí fotosynteticky využitelné záření. Charakteristickým znakem této fáze je světlem vyvolaný transport elektronů spojený s fosforylací. Světelná fáze fotosyntézy je uskutečňována dvěma pigmentovými systémy PS I a PS II.

PS I obsahuje molekuly chlorofylu *a*, které jsou vázány na molekuly nosičové bílkoviny. Absorbuje světlo o vlnových délkách asi 700 nm. Nachází se v thylakoidní membráně, která přímo komunikuje se stromatem (Kindl a Faustus, 1975).

PS II obsahuje molekuly chlorofylu *a* i *b*, které jsou také vázány na molekuly nosičové bílkoviny. Absorpční maximum je 680 nm. Je umístěn na membránách thylakoidů (Kindl a Wöber, 1981). Funkcí tohoto komplexu je rozklad vody za uvolnění molekulárního kyslíku (Procházka a kol., 1998) a doplňuje elektrony při necyklické fosforylaci do excitovaných stavů a umožňuje tak průběh dalších světelných kvant (Kindl a Faustus, 1975).

Elektronový transport může probíhat cyklicky nebo necyklicky. Necyklický přenos elektronů, s nímž souvisí necyklická fosforylace se liší od cyklické fosforylace tím, že se na excitovaný chlorofyl nevrací původní elektron, ale elektron z molekuly

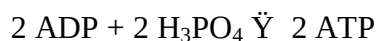
vody. Vytváší se kromě ATP taky NADPH + H⁺ (příloha 1.1). Tento proces můžeme vyjádřit rovnicí:



Tato fosforylace se uskutečňuje dvěma světelnými reakcemi. V první reakci světelné fáze dochází k aktivaci chlorofylu *a*. Elektron z chlorofylu *a* přejde na ferredoxin a redukuje ho. Za přítomnosti enzymu ferredoxin-NADP-reduktázy přejde elektron z ferredoxinu na NADP⁺ a redukuje ho na NADPH + H⁺, potom se ferredoxin opět oxiduje. NADP⁺ přebírá kationy vodíku z vody, které slouží na jedné straně jako donor vodíku a na druhé straně jako zdroj elektronů pro molekulu chlorofylu *b*.

Molekula chlorofylu *b* se tvoší ve druhé světelné fázi. Elektron z chlorofylu *b* přechází na plastochinon a redukuje ho. Tento elektron přejde z plastochinonu na chlorofyl *a* a vytvoší se z ADP a kyseliny fosforečné ATP (Čebánek a kol., 1983).

Cyklická fotosyntetická fosforylace probíhá pouze v anaerobních podmínkách bez asimilace oxidu uhličitého. Pro světlo potřebná nepotřebuje kyslík ani jiné chemické substráty. Elektron jde z excitovaného chlorofylu na ferredoxin, dále přes cytochrom *b₆* a cytochrom *f* se vrací zpět na chlorofyl. Dochází k produkci pouze ATP (Kindl a Wöber, 1981).



Fotoinhibice

Pro rostliny je světlo nepostradatelným zdrojem energie, ale zvýšená ozářenost může způsobovat ztrátu fotosyntetické aktivity, která je spojená s inaktivací PS II.

V současné době existují dvě hypotézy, které vysvětlují vznik fotoinhibice. Jedním z nich je, že energie, která je přijata listy a není nijak využívána k fotosyntéze, způsobí inaktivaci PS II (Osmond, 1994). Druhá hypotéza zahrnuje dvojstupňový mechanismus, kde buzení fotonů je primární příčinou a následná excitace chlorofylu fotony vede k sekundárnímu poškození reakčního centra PS II (Hakala a kol. 2005).

K fotoinhibici dochází zejména v horních vrstvách chloroplastů u dospělých a plně rozvinutých listů. Mladé listy jsou méně citlivé na fotoinhibici, reagují s rychlou adaptací a dochází u nich k přeskupení fotosyntetického aparátu (Lichtenthaler

a Rinderle 1988). Fotoinhibice se uplatňuje zejména při spolupůsobení stresových faktorů, například atmosférických polutantů i deficitu vody (Procházka a kol., 1998).

Temnostní fáze fotosyntézy

Temnostní fázi můžeme rozdělit do tří stupňových reakcí. První skupina reakcí se nazývá karboxylační fáze fotosyntézy. Dochází ke karboxylaci ribulózo-1,5-bisfosfátu a vzniká kyselina 3-fosfoglycerová. Tuto reakci umožňuje enzym D-ribulózo-1,5-bisfosfát-karboxyláza, na který se váže oxid uhlíčitý a vytváří se komplex enzym a oxid uhlíčitý. Po několika reakcích vzniká nestabilní produkt, který se rozpadne na dvě molekuly kyseliny 3-fosfoglycerové. Za přítomnosti ATP se vytvoří kyselina 1,3-bisfosfoglycerová. Druhý stupeň je redukční. V této fázi dochází k přeměně kyseliny 1,3-bisfosfoglycerové na 3-fosfoglyceraldehyd za účasti enzymu glyceraldehydfosfát-dehydrogenáza. Následuje sled reakcí a vytváří se fosfotriózy, které umožňují biosyntézu ostatních monosacharidů se čtyřmi až sedmi uhlíky v poslední regenerační fázi, ve které se obnovuje akceptor oxid uhlíčitý. Dochází tedy k regeneraci ribulózabisfosfátu za přítomnosti ATP (Čebánek a kol., 1983).

2.6 Princip fluorescence

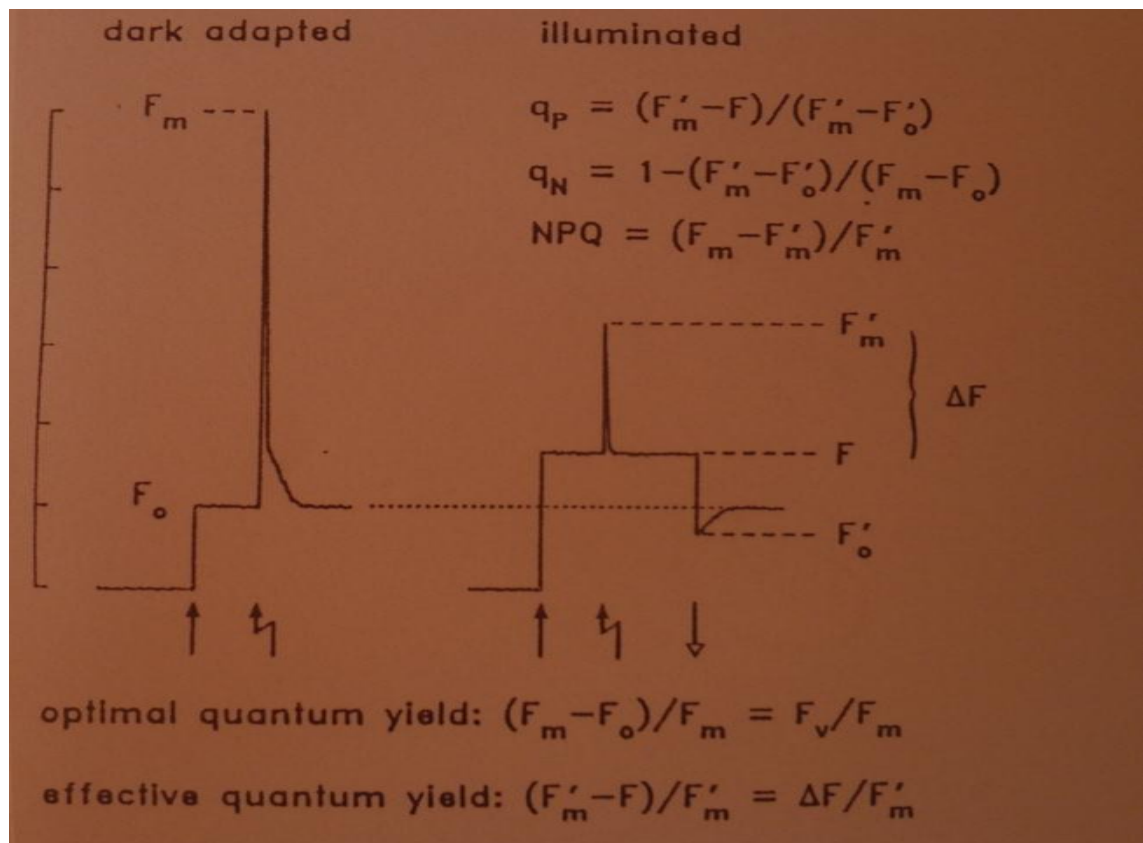
Metody měření fluorescence můžeme rozdělit na destruktivní, které jsou založeny na vážení množství biomasy a na nedestruktivní. Nedestruktivní metody jsou založené na biochemickém nebo biofyzikálním principu. V posledních letech přibývá na oblibě především metody nedestruktivní (Millan-Almaraz a kol., 2009). Pro studium fyziologických, hlavně růstových a produkčních procesů rostlin, má důležitý význam nedestruktivní stanovení jejich fyziologického stavu. Z tohoto pohledu je měření fluorescence chlorofylu vhodnou metodou (Rohálek a Barták, 1999). Pomocí fluorescence chlorofylu můžeme stanovovat několik koeficientů. Jedny z nejrozšířenějších parametrů jsou F_v/F_m (obr. 1). Tento poměr je často v odborné literatuře uváděn jako maximální fotochemická efektivita PS II, maximální kvantový výběh nebo základní fluorescenční poměr. F_v/F_m patří k nejnázevnějším fluorescenčním parametrům a pokles jeho hodnoty velmi citlivě indikuje působení stresu. Pomocí hodnot F_v/F_m můžeme i stanovit rozdíly ve fotosyntetickém aparátu, který je způsoben stářím listů (Huang a kol., 2003).

Luminiscence vzniká při přechodu molekuly ze stavu s vyšší energií do stavu s nižší energií (zpravidla do základního stavu). Tento jev můžeme rozdělit na fluorescenci a fosforescenci. Elektronový přechod probíhá vždy ve svislém směru, tedy vertikálně (Schmidt a Schneckenburger, 1988). Přechod elektronů znázorňuje Jablonski diagram. Molekula absorbuje záření o vysoké energii, tím se energie molekuly zvýší (excitovaná molekula). Část této energie je pohlcena molekulou (tzv. vlnovka). Excitovaná molekula pak vyzařuje světlo o nižší energii. Využití tohoto jevu se uplatňuje v buněčné a molekulární biologii, mikrobiologii a fyziologii (Lichtenthaler a Rinderle, 1988).

Při zatemnění fotosynteticky aktivního chloroplastu na 20 minut, dojde k otevření reakčního centra PS II a primární elektronové akceptory jsou zcela zoxidovány. Elektron je transportován přes PS I a II. Silně proměňující se fluorescenční emise, je pozorovatelná během indukční fáze a obvykle se tato fáze používá jako užitečná analytická pomůcka ve fotosyntetickém výzkumu. Na počátku fluorescenční křivky je základní fluorescence chlorofylu (F_0). Dále se zde objevuje variabilní fluorescence chlorofylu (F_v), která se vyskytuje ve fotosynteticky aktivních tkáních (obr.1). Na světlo je jeden elektronový akceptor redukován a transportuje svůj elektron na dva elektronové akceptory. Při maximální fluorescenci je redukován plastochinon a oba elektrony. Při zvýšení gradientu pH fluorescence klesá a během několika minut se dostane do rovnovážného stavu. Tento pokles fluorescence se skládá ze dvou částí a to z fotochemického (qP) a nefotochemického zhášení (qN), které lze rozlišit pomocí speciálně navrženého přístroje pro fluorescenci (Schmidt a Schneckenburger, 1988). Nefotochemické zhášení vzniká v důsledku fotoinhibice, protože dochází k přeměně aktivních reakčních center na fotochemicky neaktivní centra, která vyzařují excitální energii a tím způsobují nefotochemické zhášení fluorescence. Fotochemické i nefotochemické zhášení fluorescence můžeme stanovit pomocí metody, která je založena na saturačních pulsech. Tato metoda nám umožňuje zjistit, jaký podíl energie je fotosyntetickým aparátem využito na fotosyntézu, a jaká část je použita na doprovodné procesy. Rozdíly mezi fotochemickým a nefotochemickým zhášením fluorescence citlivě odrážejí působení stresu na rostliny, proto je velmi dobrým indikátorem stresu.

Kautsky pomalá indukční kinetika fluorescence chlorofylu je definována jako časová odezva fluorescence chlorofylu, která byla získána na předem zatemněném listu, během ozáření trvajícím řádově několik minut. Měřící postup je často doprovázen

přídáním saturačního pulsu v temnotě nebo na světle adaptovaném listu. Po saturačním pulsu je zaznamenán nárůst fluorescence do maximální úrovně F_m (temnotně adaptovaný vzorek) a F_m' (vzorek adaptovaný na světle) (Schreiber a Bilger, 1992).



Obr. 1: Kautsky křivka fluorescence chlorofylu se dvěma saturačními pulzy (Schreiber a Bilger, 1992).

3. Metodika práce

3.1 Fluorescenční měření

Vzorky byly sbírány ve dvou lokalitách. První lokalita se nachází uprostřed města (foto 1.1), druhá lokalita leží v městském parku mimo ručné centrum (foto 1.2). Z každé lokality byly vybrány tři stromy a z každého stromu po pěti listech. Tyto listy byly sbírány přesblyněstejně vysoko a vždy na osluněné části stromu. Měření probíhalo pouze za slunného dne v poledních hodinách. Listy byly zastíněny na 15 minut. Po uplynutí této doby byl nasazen leaf clip od měřiče FluorPen FP 100 (PSI Brno, Česká republika). Po nasazení leaf clipu se počkala zhruba jedna minuta a bylo spuštěno měření. Po změření všech listů se opět měřily ty samé listy, které se již adaptovaly na světlo. Když skončilo měření, byly odebrány tři listy z každého stromu. Tyto vzorky byly zabaleny do vlhkého hadříku a dány do termosky. Rychle byly přeneseny do laboratoře, kde bylo prováděno stanovení množství fotosyntetických pigmentů. Přes každém fluorescenčním měření se zjišťovaly povětrnostní podmínky dostupné online z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu (CHMÚ).

3.2 Stanovení množství fotosyntetických pigmentů

Z jednotlivých listů bylo vyškrabáno korkovrtem 10 terčů a průměru 0,8 mm. Terče byly rozdrceny ve studené třecí misce, která byla před tím v mrazicím boxu. Do pipety bylo nataženo malé množství asi 2 ml 80% acetonu a to vše bylo přidáno do třecí misky s rozdrceným listem. Vzniklý extrakt byl slit do zkumavky. Abychom docílily co největšího množství chlorofylu z listu ve zkumavce, byla miska s tloučkem opakovaně oplachována dalšími dávkami acetonu, dokud nebyla miska zcela bílá. Zkumavka s extraktem byla doplněna do 10 ml 80% acetonem. Tento extrakt byl přelit do centrifugační zkumavky, která byla obalena v alobalu a umístěna do ledničky. Zkumavka musela být uložena v chladu, protože jinak by se chlorofyl v acetonu na světlo a v teple rozložil. Když byly všechny vzorky připraveny, byly vloženy do centrifugy po dobu 10 minut přes 3000 otáček za minutu. Zcentrifugované vzorky byly dány zpět do ledničky a po dvou byly umísťovány do spektrofotometru UV- 1202 (Shimadzu, Japonsko), kde bylo provedeno spektrální měření přes 663, 646 a 470 nm.

Výsledné chlorofyly byly počítány podle následujících rovnic (Lichtenthaler a Wellburn, 1983):

$$\text{Chlorofyl a } (\mu\text{g/ml}) = 12,21 (A_{663}) - 2,81 (A_{646})$$

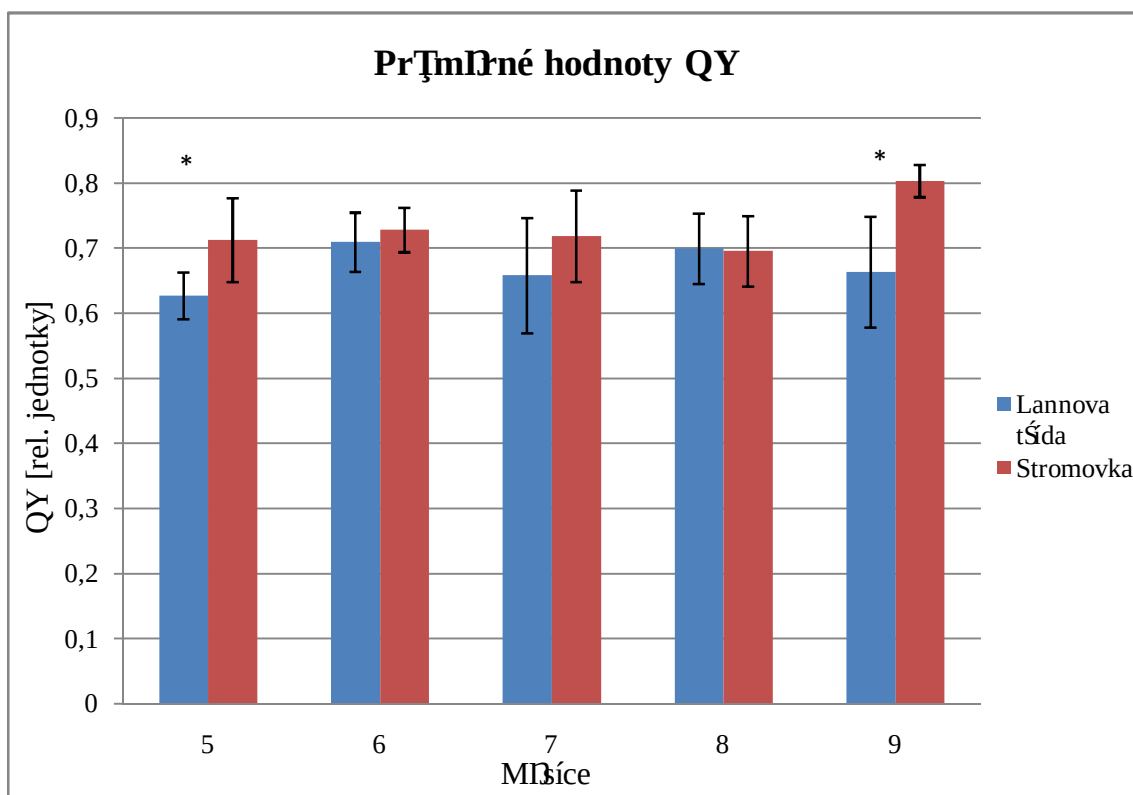
$$\text{Chlorofyl b } (\mu\text{g/ml}) = 20,13 (A_{646}) - 5,03 (A_{663})$$

$$\text{Karotenoidy } (\mu\text{g/ml}) = (1000A_{470} - 3,27[\text{chl a}] - 104[\text{chl b}]) / 227$$

3.3 Vyhodnocování dat

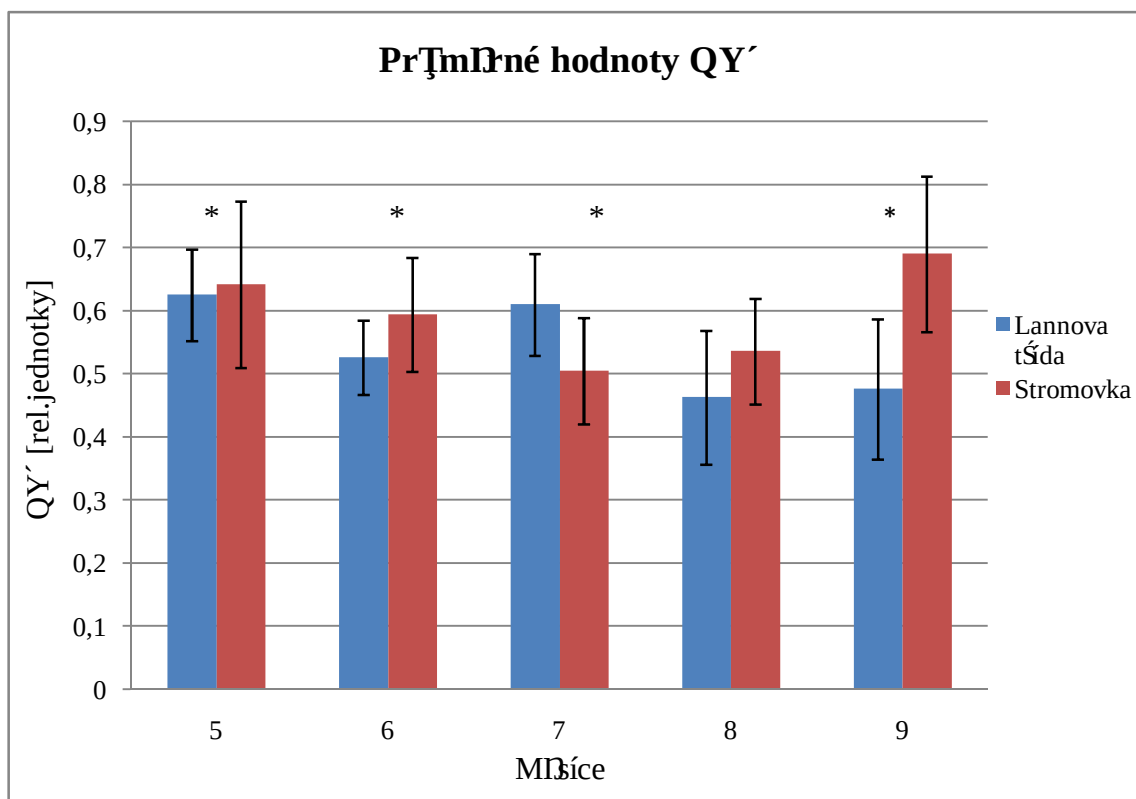
Statistická analýza dat byla prováděna pomocí dvouvýběrového Studentova T-testu s nerovností rozptylů mezi lokalitami Lannova třída a Stromovka. Porovnávaly se, jak fotosyntetické pigmenty, tak i maximální fotochemická efektivita PS II.

4. Výsledky



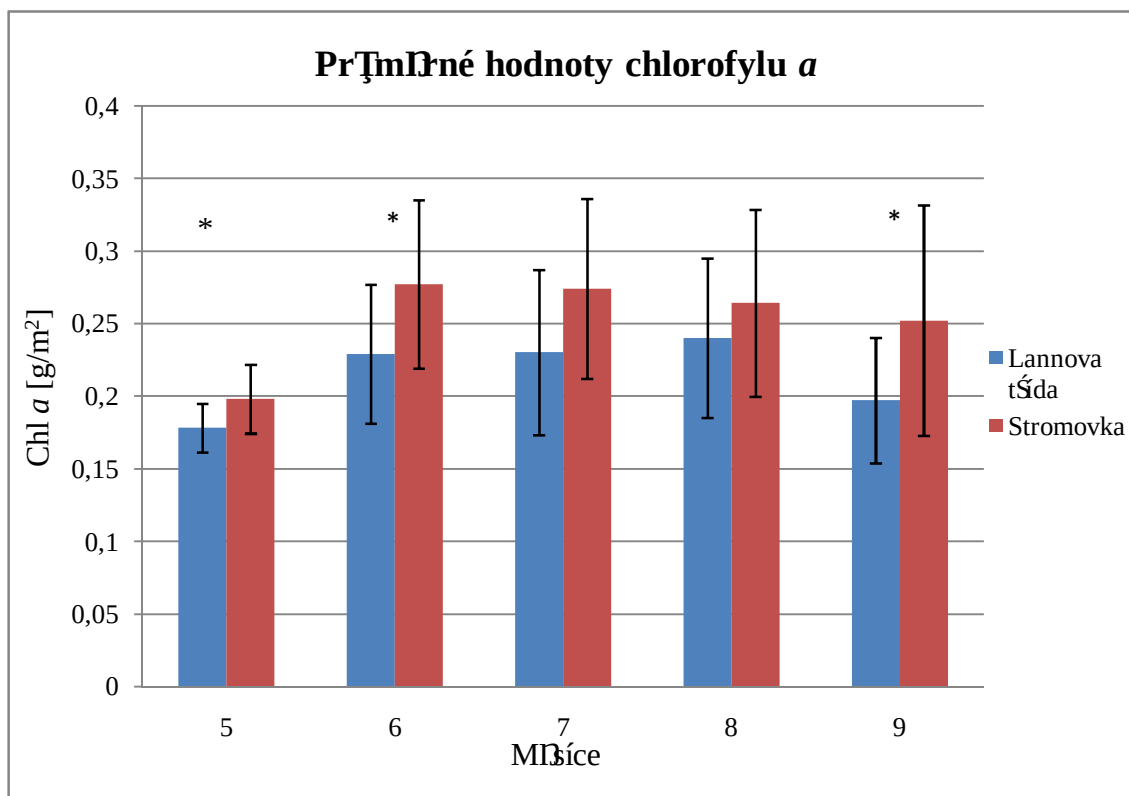
Graf 1.1: Průměrné hodnoty maximální fotochemické efektivity PS II v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\bar{U} = 0,05$)

Maximální fotochemická efektivita PS II, tedy hodnoty QY, se v lokalitě Lannova třída pravidelně snižovaly a zvyšovaly v jednotlivých měsících. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v úervnu 0,71. U platanů rostoucích ve Stromovce se zaznamenaly vyšší hodnoty QY než u platanů vyskytujících se na Lannově třídě kromě měsíce srpna, kde rozdíl QY mezi Lannovou třídou a Stromovkou činil pouhých 0,004. Nejvyšší hodnota QY v této lokalitě byla naměřena v září 0,80. Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl prokázán v měsíci květnu a září (graf 1.1).



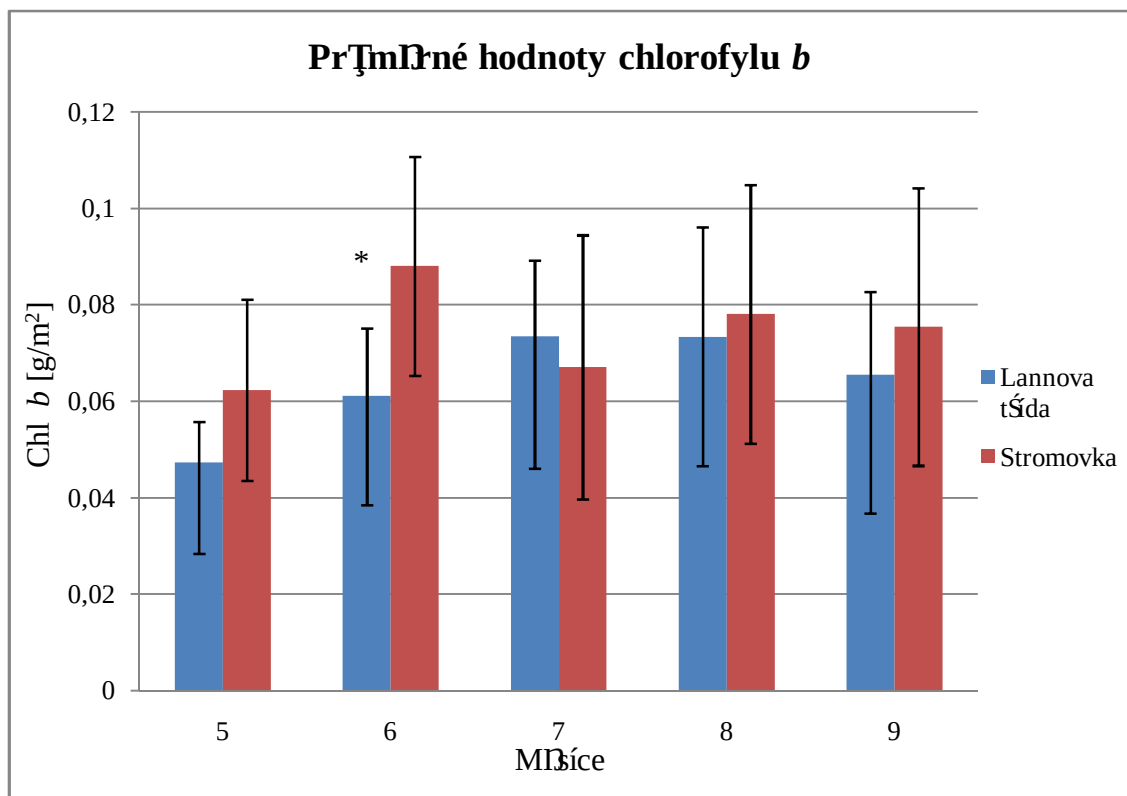
Graf 1.2: Průměrné hodnoty maximální fotochemické efektivity PS II po adaptaci listů na světlo v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\bar{U} = 0,05$)

Maximální fotochemická efektivita PS II u listů adaptovaných na světlo, tedy hodnoty QY' , se v lokalitě Lannova třída snižovaly a zvyšovaly v jednotlivých měsících. Nejvyšší hodnota byla naměřena hned na začátku vegetačního období, tedy v květnu 0,63. U platanů rostoucích ve Stromovce se zaznamenaly vyšší hodnoty QY' než u platanů vyskytujících se na Lannově štědkromě měsíce červenec. Nejvyšší hodnota zde byla naměřena v květnu 0,70. Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl prokázán v měsíci květen, červen, červenec a září (graf 1.2).



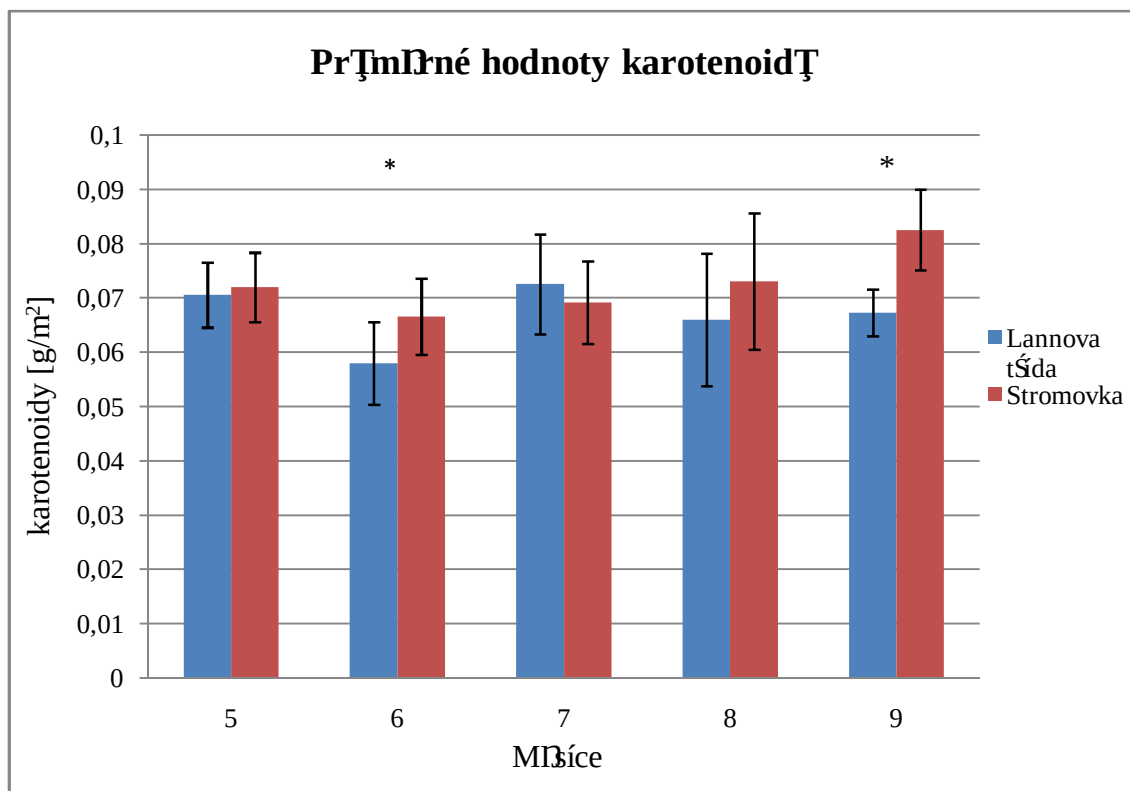
Graf 1.3: Průměrné hodnoty chlorofylu *a* v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\alpha = 0,05$)

Obsah chlorofylu *a* v lokalitě Lannova třída se postupně zvyšoval až do srpna, kdy byla naměřen nejvyšší obsah chlorofylu *a* $0,24 \text{ g/m}^2$. U platanů rostoucích ve Stromovce se prokázal vyšší obsah chlorofylu *a* než u platanů vyskytujících se na Lannově třídě ve všech měsících vegetační sezóny. Z poloviny se obsah chlorofylu *a* zvyšoval, ale od června došlo k postupnému snižování. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v červnu $0,28 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl prokázán v měsíci květen, červen a září (graf 1.3).



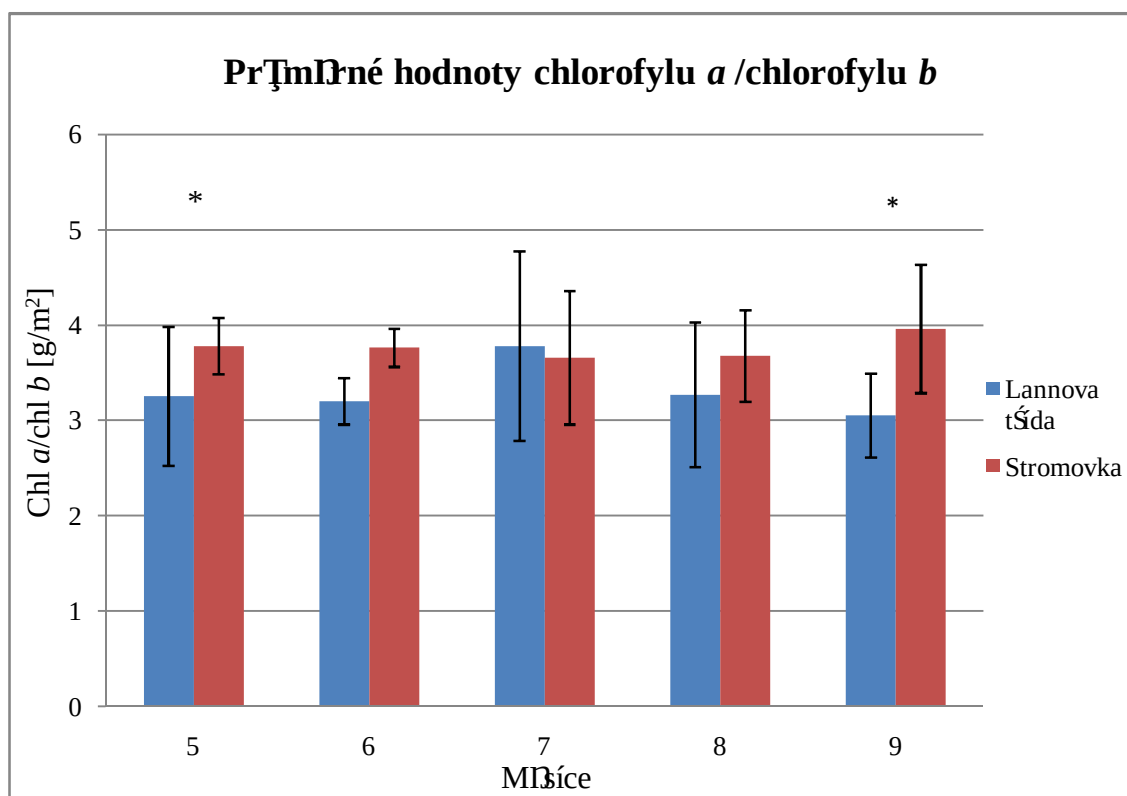
Graf 1.4: Průměrné hodnoty chlorofylu *b* v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi lokalitami (Studentův T-test $\alpha = 0,05$)

Obsah chlorofylu *b* v lokalitě Lannova třída se zvyšoval až do července, kdy byla naměřena nejvyšší hodnota $0,073 \text{ g/m}^2$. Poté došlo ke snižování hodnot až do září. Platany ve Stromovce měly vyšší obsah chlorofylu *b* než platany rostoucí na Lannově třídě téměř ve všech měsících až na červenec. Nejvyšší obsah tohoto chlorofylu byl v této lokalitě v červnu $0,088 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl byl prokázán mezi oběma lokalitami v červnu (graf 1.4).



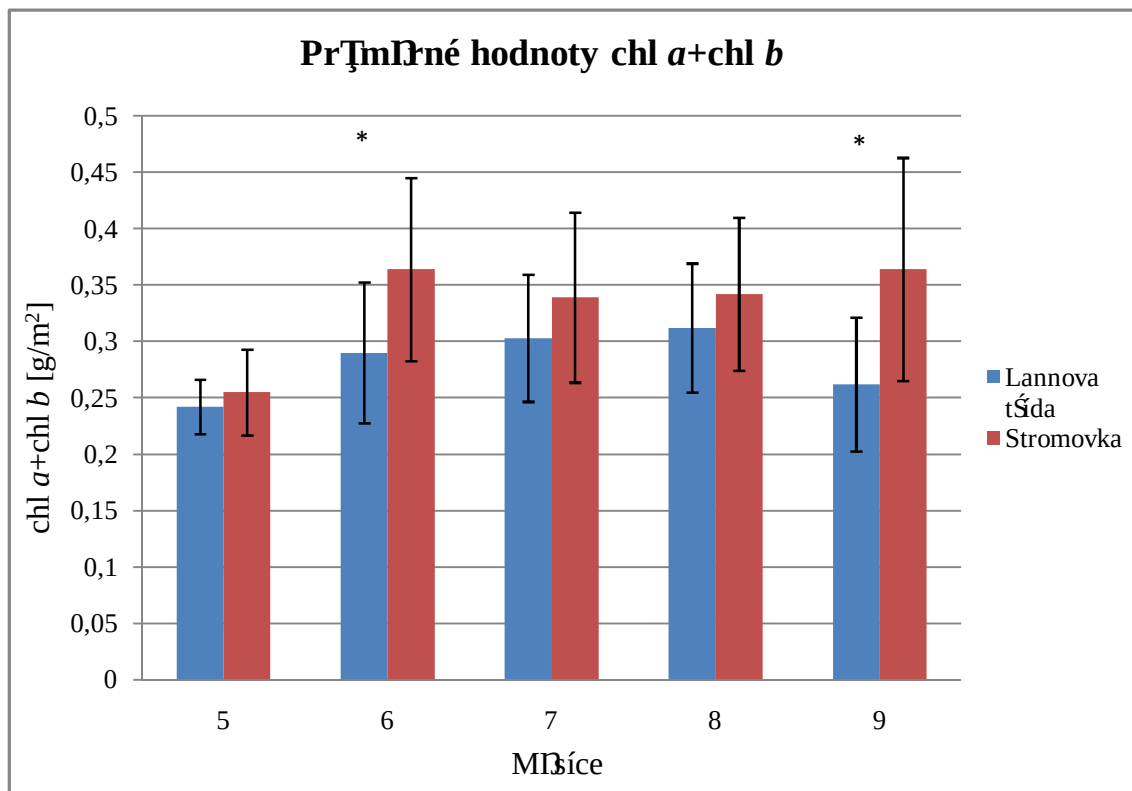
Graf 1.5: Průměrné hodnoty karotenoidů v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\alpha = 0,05$)

Obsah karotenoidů v lokalitě Lannova třída se pravidelně snižoval a zvyšoval. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v červenci 0,073 g/m². Platany rostoucí ve Stromovce měly vyšší obsah karotenoidů než platany na Lannově třídě ve všech měsících až na červenec. V této lokalitě došlo nejdříve ke snížení obsahu karotenoidů, ale od června se hodnoty zvyšovaly až do září, kdy byla naměřena nejvyšší hodnota 0,083 g/m². Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl prokázán v měsíci červnu a září (graf 1. 5).



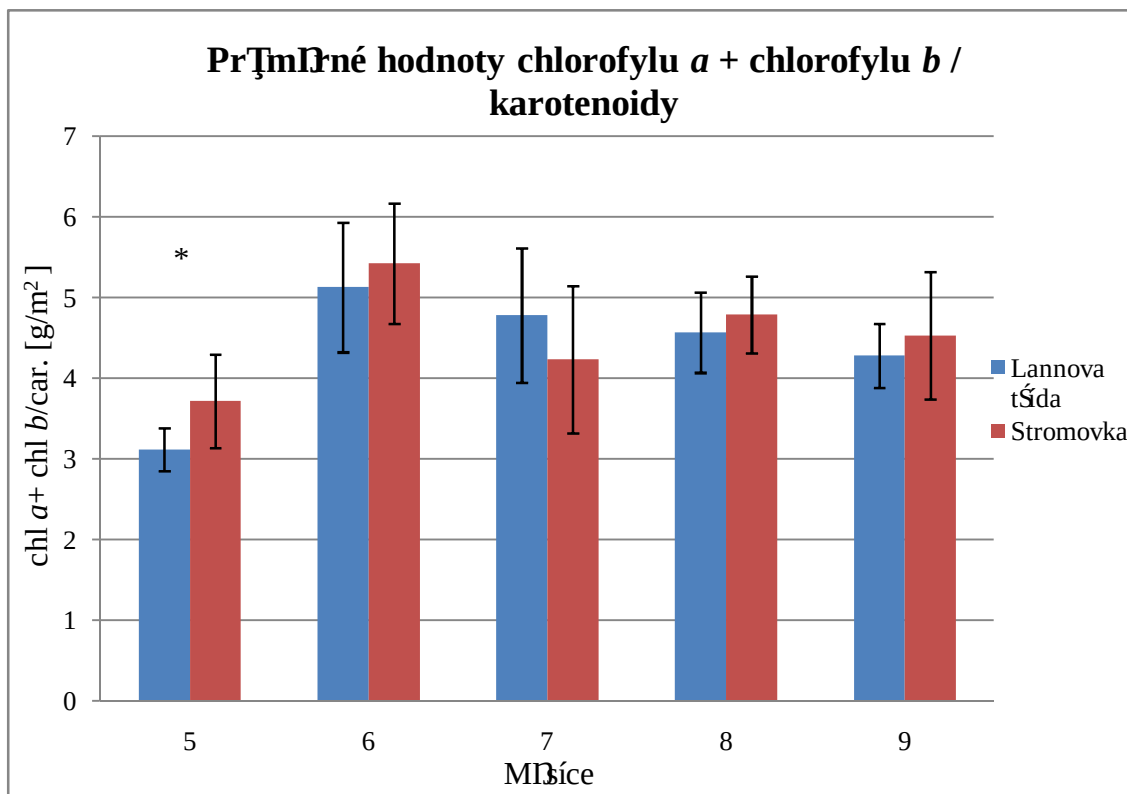
Graf 1.6: Průměrné hodnoty chlorofylu *a*/chlorofylu *b* v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\bar{U} = 0,05$)

Poměr chl *a*/chl *b* se v lokalitě Lannova třída nejdříve snížil, ale o měsíc později v červenci došlo k nárůstu tohoto poměru, kdy byla naměřena nejvyšší hodnota $3,78 \text{ g/m}^2$. U platanů rostoucích ve Stromovce byl vyšší poměr chlorofylů než u platanů vyskytujících se na Lannově třídě téměř ve všech měsících až na červenec. V této lokalitě byla naměřena nejvyšší hodnota v září $3,96 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl prokázán v měsíci květnu a září (graf 1.6).



Graf 1.7: Průměrné hodnoty chlorofylu *a*+chlorofylu *b* v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n=12$, *= statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\bar{U}=0,05$)

Obsah chl *a*+chl *b* v lokalitě Lannova třída se zvyšoval až do srpna, kdy byla zaznamenána nejvyšší hodnota $0,31 \text{ g/m}^2$. Platany rostoucí ve Stromovce měly vyšší obsahy chl *a*+chl *b* než platany vyskytující se na Lannově třídě ve všech měsících vegetační sezóny. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v září $0,36 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl průkazný v měsíci úervnu a září (graf 1.7).



Graf 1.8: Průměrné hodnoty chl *a*+chl *b*/kar. v průběhu vegetační sezóny u listů platanu v lokalitě Lannova třída a Stromovka. $n = 12$, * = statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami (Studentův T-test $\bar{U} = 0,05$)

Obsah chl *a*+chl *b*/kar. v lokalitě Lannova třída se zvyšoval do června. V tomto měsíci byla zaznamenána nejvyšší hodnota 5,13 g/m². U platanů rostoucích ve Stromovce byl zjištěn vyšší obsah chl *a*+chl *b*/kar. než u platanů vyskytujících se na Lannově třídě až na měsíc červenec. V této lokalitě byl nejvyšší obsah chl *a*+chl *b*/kar. v červnu 5,42 g/m². Statisticky významný rozdíl mezi oběma lokalitami byl průkazný v květnu (graf 1.8).

Tab. 1: Povětrnostní podmínky během vegetační sezóny od května do září v lokalitě Lannova tšída.

Lannova tšída										
Meteorologická data	Květen		Červen		Červenec		Srpen		Září	
SO₂ (µg/m ³)	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h
	2,	5	1,3	1,9	3,2	3,2	3,5	2,8	40	8,9
NO₂ (µg/m ³)	5,2		3,3		4,6		4,8		11,5	
O₃ (µg/m ³)	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h
	16	141	73,8	58,4	127	79	84	40	57	24,5
PM₁₀ (µg/m ³)	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h
	20	16,5	16	16,2	19	23,6	11	14,5	21	16,3
PM_{2,5} (µg/m ³)	22		9		16		9		13	
Teplota (°C)	23,8		22		27		20		22	

Tab. 2: Povětrnostní podmínky během vegetačního období od května do září v lokalitě Stromovka.

Stromovka										
Meteorologická data	Květen		Červen		Červenec		Srpen		Září	
SO₂ (µg/m ³)	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h
	2,	6,9	1,3	1,9	3,5	3,2	5,6	2,6	53,8	5,5
NO₂ (µg/m ³)	4,8		3,4		10,7		9,4		17,6	
O₃ (µg/m ³)	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h
	12	68,3	65,5	51,2	101	56,1	49,5	13,9	19	7,2
PM₁₀ (µg/m ³)	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h
	17	15	9	16	20	22,7	1	14,5	8	15,4
PM_{2,5} (µg/m ³)	17		7		22,7		3		18	
Teplota (°C)	19,3		19		26,8		20,5		15	

5. Diskuze

Hodnoty naměřené v lokalitě Lannova třída se téměř statisticky neližily od hodnot, které byly zaznamenány v lokalitě Stromovka. Z toho vyplývá, že platan javorolistý (*Platanus acerifolia*) patří mezi relativně odolné stromy. Statisticky významné rozdíly byly vlněinou na začátku a na konci vegetační sezóny. Zřejmě v tomto období na stromy v lokalitě Lannova třída působily stresové faktory.

Městské stromy, které se nalézají v okolí silnic, jsou vystaveny vlněmu stresu, což má za následek snížení vitality stromu. Tato stanoviště se vyznačují drsnými životními podmínkami. Stromy v těchto oblastech se musí vyrovnat s vysokou mírou znečištění nebo se suchem (Pauleit, 2002). V díle Metody studia fotosyntetické produkce rostlin (1966) Česták a Latský poukazují na to, že chlorofyly klesají se stresovým prostředím. Lím stresovanější prostředí je, tím strom obsahuje méně chlorofylů a klesá maximální fotochemická efektivita PS II. V tomto experimentu měly platany rostoucí v lokalitě Stromovka téměř vždy vlně obsah chlorofylů a vyšší hodnoty maximální fotochemické efektivy PS II než platany vyskytující se na Lannově třídě. To poukazuje na to, že platany v lokalitě Lannova třída jsou pod vlněm stresem než platany v městském parku.

Jedním z hlavních stresorů působící na platany vyskytující se na Lannově třídě by mohla být automobilová doprava. Platany rostoucí v této lokalitě se nachází asi 20 metrů od hlavního silničního koridoru. Uvádí se, že automobily vyprodukují až 80 % CO₂ v městském prostředí (Koerner a Klopatek, 2002). Automobilová doprava úzce souvisí i s uvolňováním prachových částic do atmosféry. Tyto částice negativně ovlivňují stromy v blízkosti silnic (Morawska a kol., 1998). To by mohlo být dalším vysvětlením nízkých obsahů chlorofylů. Z výzkumu Velikové a kol. (2009) vyplývá, že platany, které rostou v teplejším prostředí s vlně koncentrací CO₂, který vzniká automobilovou dopravou a zároveň působí negativně na stromy, tím že blokuje isopreny, jsou citlivějši na stres. To potvrzuje i Gratani a Varone (2006), kteří uvádějí, že koncentrace CO₂ v městském prostředí se významně liží od průměrného prostředí. Avšak Hotz a kol. (1990) nenalezli rozdíly mezi obsahem chlorofylu a maximální fotochemickou efektivitou PS I a II u buků poškozených a nepoškozených v souvislosti s imisemi, které lze považovat za výrazný stresující faktor. Domnívají se, že to může být způsobeno tím, že imise nejsou primárním faktorem viditelného chřadnutí stromu.

Další z příčin by mohlo být místo, kde se platany nacházejí a rostou. Jelikož se Lannova třída nalézá v centru města, jsou platany pod stresem tím, že jejich košeny jsou udusány kamennou dlažbou. Tyto oblasti se nazývají jako městské zpevněné oblasti a definovány jako místa, kde je povrch utvářen tvrdými a nepropustnými materiály, jako je asfalt, beton nebo dlažba. Toto stresové prostředí ničí stromy a ty jsou náchylné na škůdce a na různé onemocnění. Stromy v těchto oblastech jsou do značné míry vystaveny teplu, nízkou vlhkostí vzduchu, období kritického nedostatku vody, vysokým obsahem vápna a pH půdy, omezenými objemy půdy a zasolenými půdami (Sieghardt a kol., 2005). Nízké hodnoty chlorofylu v lokalitě Lannova třída mohou být ovlivněny i obsahem dusíku v půdě Adams a kol. (1989) uvádí, že tento pokles úzce koreluje se ztrátou chlorofylu a je doprovázen snížením fotosyntetické kapacity na plochu listu. Werther a Havranek (2000) také pozorovali nižší maximální fotochemickou efektivitu PS II u sazenic smrku s deficitem dusíku.

Jak již bylo uvedeno v části literární revidce, fotosyntéza klesá při vysokých teplotách (nad 30 °C), proto pro zamezení tohoto vlivu jsme měřili v rozmezí teplot od 15-27 °C (tab.1 a 2). Teplota by tedy neměla zkreslovat a ovlivňovat výsledky měření.

7. Závěr

Z hodnot, které byly naměřeny pomocí metody fluorescence chlorofylu a spektrofotometrie vyplývá, že platany rostoucí ve stresovém prostředí (Lannova třída) mají nižší obsah fotosyntetických pigmentů a jejich maximální fotochemická efektivita PS II klesá v porovnání s městským parkem. Dále se potvrdilo, že *Platanus acerifolia* patří mezi relativně odolné stromy. Hodnoty fotosyntetických pigmentů a maximální fotochemické efektivity PS II naměřené v obou lokalitách se téměř statisticky neližily. Ze statisticky průkazných hodnot vyplývá, že na začátku a na konci vegetační sezóny na platany v lokalitě Lannova třída působily stresové faktory.

Tento výzkum byl moc krátký na zjištění všech stresových faktorů, které působí na platany v daných lokalitách. Zjištění ostatních stresových faktorů by mohlo být předmětem dalšího zkoumání.

8. Seznam použité literatury

Adams W.W., Winter K., Schreiber U., Schramel P., 1989: Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Characteristics in Relationship to Changes in Pigment and Element Composition of Leaves of *Platanus occidentalis* L. during Autumnal Leaf Senescence. München: Plant Physiol, 93, s. 1184 i 1190.

Alexejev B.D., 1987: Zajímavosti ze světa rostlin. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 149 s.

American Lung Association, 2010. State of the Air 2010.

Baker A.J.M., Brooks R.R., 1989: Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. Biorecovery, 1 (2), s. 81 i 126.

Balabánová P., 2006: [online]: Principy a pravidla územního plánování: ZeleŘ Brno: [cit. 26. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/principy-a-pravidla-uzemniho-planovani/kapitolaC/C5-2013.pdf>

Beckett K.P., Freer-Smith P., Taylor G., 2000: Effective tree species for local airquality management. J. Arboricult., 26, s. 12 i 19.

Bell M.L., McFermott A., Zeger S.L., Samet J.M., Dominici F., 2004: Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. The Journal of the American Medical Association, 292, s. 2372 i 2378.

Black V.J., 1985: SO₂ effects on stomatal behavior. In Winner W.E., Mooney H.A. and Goldstein R.A. (Eds) Sulphur Dioxide and Vegetation. Stanford: Stanford University Press, s. 96 i 117.

Bláha L., Hnilička F., Hniličková H., Holubec V., Möllerová, Čtáčková J. a Ziegrová J., 2003: Rostlina a stres. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 156 s.

Bühler O., Kristoffersen P., Larsen S.U., 2007: Growth of street trees in Copenhagen with emphasis on the effect of different establishment concepts. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33, s. 330 i 337.

Butterfass T., 1979: Patterns of Chloroplast Reproduction. *Cell Biology Monographs*, s. 6.

Carter W.P.L., 1994: Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Journal of the Air Waste Management Association*, 44, s. 881 i 899.

Chmi.cz [online]: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2013]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home

Cohen A.J., Anderson H.R., Ostra B., Pandey K.D., Krzyzanowski M., Künzli N., Gutschmidt K., Pope A., 2005: The global burden of disease due to outdoor air pollution. *J. Toxicol. Environ. Health A*, 68, s. 1 i 7.

Cutlerová C., Russell T., 2003: Stromy: světová encyklopedie. Praha: Fortuna Libri, 256 s.

Ľernohorský Z., 1967: Základy rostlinné morfologie. Praha: SPN, 216 s.

Deutsch B., Whitlow H., Sullivan M., Savineau A., 2005: Re-Greening Washington, DC: A green roof vision based on environmental benefits for air quality and storm water management. In: *Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.

Dockery D.W., Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G., Speizer F.E., 1993: An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New Eng. J. Med.*, 329, s. 1753 i 1759.

Dunn R.R., Gavin M.C., Sanchez M.C., Solomon J.N., 2006: The pigeon paradox: Dependence of global conservation on urban nature. *Conservation Biology*, 20, s. 1814 ï 1816.

Dvořák B., Volder A., 2010: Green roof vegetation for North American ecoregions: *Landscape and Urban Planning*, 96, s. 197 ï 213.

EEA, 2007: Air Pollution in Europe 1990 ï 2004. European Environment Agency, Report No. 2/2007, s. 79.

EEA, 2011: Air quality in Europe ï 2011 report. European environmental agency technical report no 12/2011, s. 80.

EPA, 2009: Integrated Science Assessment for Particulate Matter (First external review draft). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA/600/R-08/139, 2008.

Filella I., Wilkinson M.J., Llusia J., Hewitt N., Penuelas J., 2007: Volatile organic compounds emissions in Norway spruce (*Picea abies*) in response to temperature changes. *Physiologia Plantarum*, 130, s. 58 ï 66.

Fowler D., 1985: Deposition of SO₂ into plant canopies. In Winner W.E., Mooney H.A. and Goldstein R.A. (Eds) *Sulphur Dioxide and Vegetation*, s. 389 ï 402. Stanford: Stanford University Press

Frazer L., 2005: Paving paradise: The peril of impervious surfaces. *Environmental Health Perspectives*, 113, s. 457 ï 462.

Getter K.L., Rowe D.B., 2006: The role of green roofs in sustainable development. *Hort Science*, 41 (5), s. 1276 ï 1285.

Gloser J., Havel L., Krekule J., Machálková I., Nátr L., Prágl I., Procházka S., Sladký Z., Čantrlík J., Čebánek J., Tesařová M. a Vyskot B., Fyziologie rostlin. Praha: Academia, 484 s.

Gorbachevskaya O., Schreiter H., Kappis C., 2007: Wissenschaftlicher Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen (qualitativ und quantitativ) Ergebnisse der Literaturstudie. Berliner Geographische Arbeiten, 109, s. 71 ě 82.

Gratani L., Varone L., 2006: Carbon sequestration by *Quercus ilex* L. and *Quercus pubescens* Willd. and their contribution to decreasing air temperature in Rome. Urban Ecosyst., 9, s. 27 ě 37.

Gréc L., Javor A., Čebánek J. a Čvihra J., 1983: Fyziologie rostlin. Praha: SPN, 558 s.

Günther A., Hewitt C.N., Erickson D., Fall R., Geron C., Graedel T., Harley P., Klinger L., Lerdau M., McKay W., Pierce T., Scholes B., Steinbrecher R., Tallamraju R., Taylor J., Zimmerman P., 1995: A global model of natural volatile organic compound emissions. Journal Geophysical Research, 100, s. 8873 ě 8892.

Hakala M., Tuominen I., Keränen M., Tyystjärvi T., Tyystjärvi E., 2005: Evidence for the role of the oxygen-evolving manganese complex in photoinhibition of Photosystem II. Biochim Biophys Acta, 1706, s. 68 ě 80.

Hotz A., Bilger W., Kaiser W.M., Lange O.L., 1990: Chlorophyll- Fluoreszenz, Photosynthesekapazität, Chlorophyll-und Nährstoff - gehalte der Blätter ñungeschädigter und als ñgeschädigt eingestuer Buchen (*Fagus sylvatica* L.) im Gebiet um Würzburg. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 109 (1), s. 40 ě 54.

Huang L.C., Weng J.H., Wang C.H., Kuo C.I., Shieh Y.J., 2003: Photosynthetic potentials of *in vitro*-grown juvenile, adult, and rejuvenated *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. Shoots. Bot. Bull. Acad. Sin., 44, s. 31 ě 35.

Jain S., Khare M., 2008: Urban air quality in mega cities: a case study of Delhi City using vulnerability analysis. Environ. Monit. Assess., 136, s. 257 ě 265.

- Kavka B., Āindelářov J., 1978: Funkce zelenv ěivotnm prosted. Praha: SZN, 235 s.
- Kincl M., Faustus L., 1975: Zklady fyziologie rostlin. Praha: SPN, 168 s.
- Kindl H., Wber B., 1981: Biochemie rostlin. Praha: Academia, 392 s.
- Koerner B., Klopatek J., 2002: Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment. Environ. Pollut., 116, s. 45 ě 51.
- Kremer B. P., 1995: Stromy. Praha: Ikar, 287 s.
- Kutk J., Beneg K., 1991: Chloroplasty- Fotosyntetizujc organely rostlinnch bunk. Biologick listy, 56, s. 292 ě 318.
- Larcher W., 1988: Fyziologick ekologie rostlin. Praha: Academia, 361 s.
- Lichtenthaler H.K., Rinderle U., 1988: The Role of Chlorophyll Fluorescence in the Detection of Stress Conditions in Plants. CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry. Vol 19. CRC Press. Boca Raton. FL, s. 30 ě 85.
- Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R., 1983: Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of Lea extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11, s. 591 ě 592.
- Lindsey G., Man J., Payton S., Dickson K., 2004: Property values, recreation val-ues, and urban greenways. Journal of Park and Recreation Administration, 22, s. 69 ě 90.
- Mayer H., 1999. Air pollution in cities. Atmospheric Environment, 33, 4029 ě 4037.
- Míchal I., 1992: Ekologická stabilita. Brno: Veronica, ekologick stedisko LSOP, 242 s.

Millan-Almaraz J.R., Guevara-Gonzalez R.G., Romero-Troncoso R.J., Osornio-Rios R.A., Torres- Pacheco I., 2009: Advantages and disadvantages on photosynthesis measurement techniques: A review. *African Journal of Biotechnology*, 8, s. 7340 ï 7349.

Morawska L., Bofinger N.D., Kocis L., Nwankwoala A., 1998: Submicron and supermicron particles from diesel vehicle emissions. *Environmental Science and Technology*, 32, s. 2033 ï 2042.

Nowak D., 2006: Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4, s. 115 ï 123.

Osmond B., 1994: What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In *Photoinhibition of Photosynthesis from Molecular Mechanisms to the Field*. Edited by Baker N.R., Bowyer J.R. Bios Scientific Publishing Ltd, Oxford, s. 1 ï 24.

Öhrström E., 1991: Psycho-social effects of traffic noise exposure. *Journal of Sound and Vibration*, 151, s. 513 ï 517.

Paoletti E., 2007: Ozone impacts on forests. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2 (68), s. 13.

Pauleit S., Jones N., Garcis-Martin G., Garcia-Valdecantos J.L., Riviere L.M., Vidal-Beaudet L., Bodson M., Randrup T.B., 2002: Tree establishment practise in tors and cities ï result from a European survey. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1 (2), s. 83ï96.

Pecarevic M., Danoff-Burg J., Dunn R. R., 2010: Biodiversity on Broadway ï Enigmatic diversity of the societies of ants (Formicidae) on the streets of New York City. *PLoS ONE*, 5 (10), s. 13222.

Plhák F., 2000: Vliv rostlin na ovzduší: Mohou rostliny snižovat koncentraci oxidu dusíku?. *Vesmír*, 79, s. 448 ï 449.

Pope C.A., Bates D.V., Raizenne M.E., 1995: Health effects of particulate air pollution: time for reassessment?. *Environmental Health Perspectives*, 103 (5), s. 472 i 480.

Pyatt F.B., Haywood W.J., 1989: Airborne particulate distribution and their accumulation in tree canopies. *Environmentalist*, 9, s. 291 i 298.

Rennenberg H., 1984: The fate of excess sulphur in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol*, 35, s. 121 i 153.

Rohálek K., Barták M, 1999: Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica*, 37, s. 339 i 363.

Rowe D.B., Getter K.L., 2010: Green roofs and roof gardens. In: Aitkenhead- Peterson, J., Volder, A. (Eds.), *Urban Ecosystems Ecology*. Agron. Monogr. 55. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, s. 391 i 412.

Santamour F.S., 1990: Trees for urban planting: diversity, uniformity and common sense. In: *Proceedings of the Seventh Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7, The Morton Arboretum, s. 57 i 65.

Sæbø A., Zelimir B., Ducatillion C., Hatzistathis, A., Lagerstrom T., Supuka J., Garcis-Valdecantos J.L., Rego F., Slycken J., 2005: The selection of plant materials for street trees, park trees and urban woodlands. In: Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J., (Eds.), *Berlin: Urban Forests and Trees*. Springer, s. 257 i 280.

Sharkey T.D., Singsaas E.L., 1995: Why plants emit isoprene. *Nature*, 374, s. 769.

Schmidt W., Schneckenburger H., 1988: Fluorescence in Biotechnology. In Lichtenthaler H.K., Ed *Applications of Chlorophyll Fluorescence*. Kluwer Academic Publishers, s. 133 i 184.

Schreiber U., Bilger W., 1992: Progress in Chlorophyll Fluorescence Research: Major Developments During the Past Years in Retrospect. *Progress of Botany*, s. 151 i 173.

Sieghardt M., Mursch-Radlgruber E., Paoletti E., Couenberg E., Dimitrakopoulos A., Rego F., Hatzistatthis A., Randrup T., 2005: The abiotic urban environment: impact of urban growing conditions on urban vegetation. In: Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. (Eds.), *Urban Forests and Trees*. Springer, s. 281 i 323.

Sjöman H., Nielsen A. B., 2010: Selecting trees for urban paved sites in Scandinavia i A review of information on stress tolerance and its relation to the requirements of tree planners. *Urban Forestry and Urban Greening*, 9, s. 281i 293.

Stavretović N., Vučković M., Stajic B., 2010: Classification of trees and tree species in Obrenovac iMali Parki by the elements of growth, vitality and ornamentalness. *Belgrade: Arch. Biol. Sci.*, 62, s. 1119 i 1024.

Sullivan W.C., 2004: *Forest, savanna, city: evolutionary landscapes and human functioning*. Cambridge: The MIT Press, s. 237 i 253.

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

Ďesták Z., Ľatský J., 1966: *Metody studia fotosyntetické produkce rostlin*. Praha: Academia, 396 s.

Tonietto R., Fant J., Ascher J., Ellis K., Larkin D., 2011: A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, 103, s. 102 i 108.

Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kaźmierczak A., Niemela J., 2007: Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81, s. 167 i 178.

UNEP/GEMS, 1991: Urban Air Pollution. Oxford: United Nations Environment Programme.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2009). World Urbanization Prospects: The 2009 revision.

Velikova V., Tsonev T., Barta C., Centritto M., Koleva D., Stefanova M., Busheva M., Loreto F., 2009: BVOC emissions, photosynthetic characteristics and changes in chloroplast ultrastructure of *Platanus orientalis* L. exposed to elevated CO₂ and high temperature. *Environmental Pollution*, 157, s. 2629 ÷ 2637.

Vitvarková V., 2005: Stromy a keře. Praha: Aventinum, s. 288.

Weber F., Kowarik I., Säumel I., 2014: A walk on the wild side: Perceptions of roadside vegetation beyond trees. *Urban Forestry and Urban Greening*, s. 1 ÷ 8.

Werther F., Havránek W. M., 2000: Effects of nutrient-deficient soil on gas-exchange, chlorophyll fluorescence and C-allocation in young *Picea abies* (L.) Karst. *Phyton* (Horn), 40, s. 179 ÷ 184.

WHO, 2005: Air Quality Guidelines Global Update 2005.

Williams D., Young C., Hooper I., Jarvis P., 2009: Urban small sites ÷ landscape ecology and contribution to urban green space. Edinburgh: Ecological Networks, Science and Practice, s. 197 ÷ 200.

Wittenberghe S., Alonso L., Verrelst J., Hermans I., Valcke R., Veroustraete F., Moreno J., Samson R., 2014: A field study on solar-induced chlorophyll fluorescence and pigment parameters along a vertical canopy gradient of four tree species in an urban environment. Belgium: *Science of the Total Environment*, 466 ÷ 467, s. 185 ÷ 194.

Yunus M., Iqbal M., 1996: Plant Response to Air Pollution. India: John Wiley and Sons, 545 s.

9. PŘílohy

PŘíloha I.1

Seznam použitých zkratk

PS I ě fotosystém I

PS II ě fotosystém II

SO₂ ě oxid siříkový

NO ě oxid dusnatý

NO₂ ě oxid dusičný

O₃ ě ozón

PM ě prachové částice

BVOC ě biogenní uhlovodíky

CO₂ ě oxid uhličitý

H₂O ě voda

C₆H₁₂O₆ ě glukóza

O₂ ě kyslík

ADP - adenosindifosfát

ATP ě adenosintrifosfát

H₃PO₄ ě kyselina fosforečná

NADPH ě nikotinamidadeninukleotidfosfát

F_m ě maximální úroveň fluorescence temnotně adaptovaného vzorku

F_m' ě maximální úroveň fluorescence světelně adaptovaného vzorku

F_o ě základní fluorescence chlorofylu

F_v ě variabilní fluorescence

qP ě fotochemické zhášení fluorescence

qN ě nefotochemické zhášení fluorescence

QY - maximální fotochemická efektivita fotosystému II

QY' - maximální fotochemická efektivita fotosystému II u listů adaptovaných na světlo

Příloha 1.2

Seznam fotodokumentace

Foto 1.1 – *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).

Foto 1.2 – *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Stromovka (autorka práce).



Foto 1.1: *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).

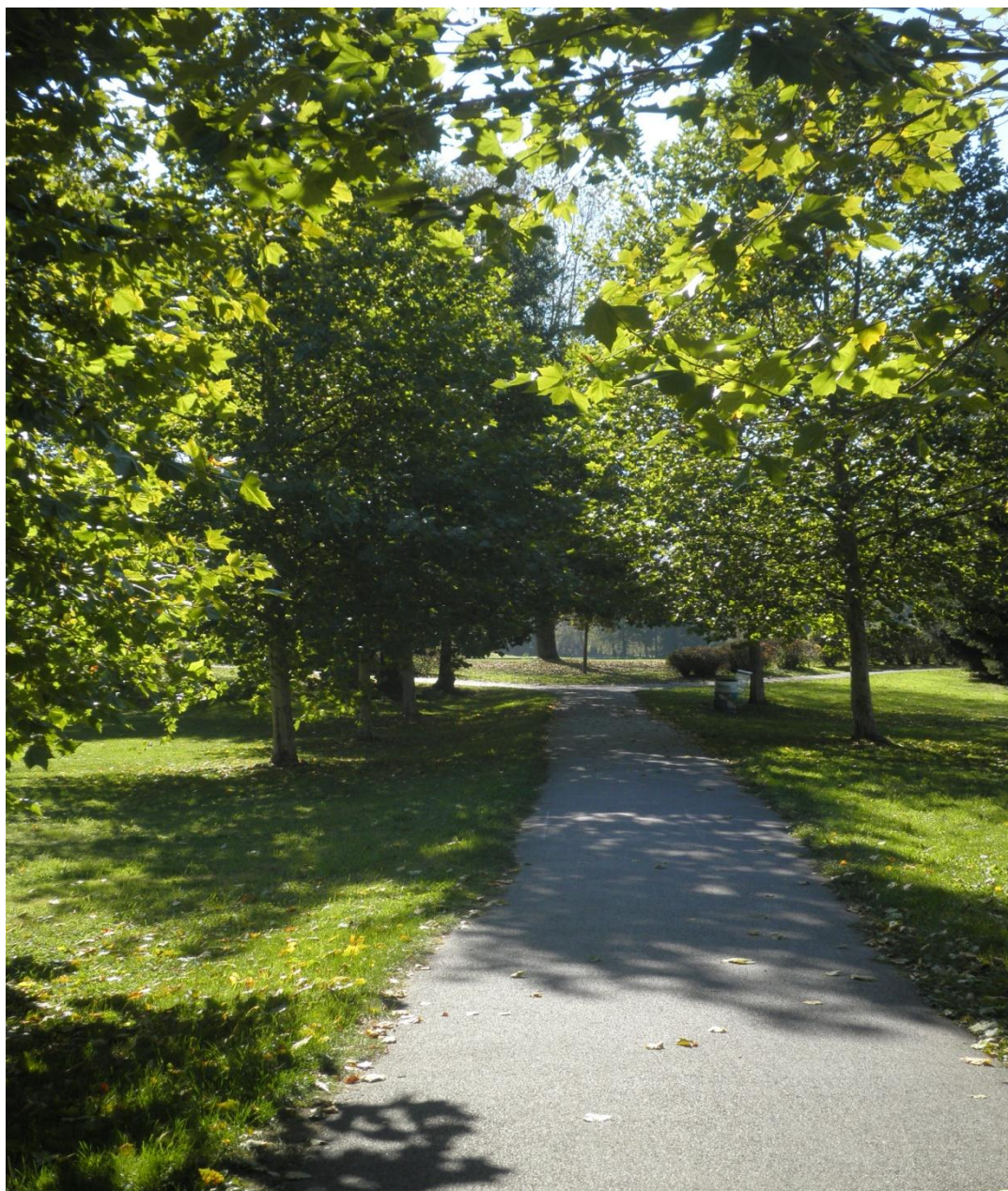


Foto 1.2: *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Stromovka (autorka práce).

