



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra biologie

Diplomová práce

Jak stromy odolávají stresu městského prostředí

Vypracovala: Bc. Lenka Šindelářová
Vedoucí práce: RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.

České Budějovice 2016

Prohlašuji, že svoji diplomovou 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 diplomové práce, a to v nezkrácené podobě - 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: 28. 4. 2016

Podpis studenta:

Poděkování

Ráda bych poděkovala RNDr. Renatě Ryplové, Ph.D. za odborné vedení mé práce, za trpělivost a cenné rady, které mi během psaní diplomové práce věnovala. Také bych ráda poděkovala doc. Ing. Evě Dadákové, Ph.D. za ochotu, čas a odborné rady během výzkumu.

Dále bych chtěla poděkovat Bc. Gabriele Toncarové za pomoc při měření a celé své rodině za velkou podporu a povzbuzení při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem diplomové práce bylo zmonitorovat sezónní změny indexu tolerance vůči znečištění (APTI) ovzduší u platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*) a lípy srdčité (*Tilia cordata*), které rostou na Jiráskově nábřeží v Českých Budějovicích poblíž rušné městské komunikace. Výzkum byl prováděn v srpnu 2015.

Komplexní výsledky tohoto výzkumu byly shrnuty do výukové prezentace pro žáky základních škol, která má žákům přiblížit problematiku městského stresu pro tyto dva druhy stromů, které jsou v našich městech velmi často vysazovanými druhy.

APTI index (*Air pollution tolerance index*) je složen ze čtyř parametrů, které bylo nutné zjistit, aby mohl být stanoven. Těmito parametry pro APTI index jsou: obsah chlorofylů v listu, obsah kyseliny askorbové v listu, relativní obsah vody v listu a pH extraktu z listu. Zjištěním hodnot těchto veličin byl spočítán index znečištěného ovzduší, díky kterému bylo možné stanovit, který ze dvou druhů stromů je na dané lokalitě méně nebo více stresován znečištěným ovzduším. Dále byla měřena fluorescence chlorofylu, která je vedle APTI indexu dalším indikátorem vlivu stresu na fyziologické procesy v rostlině a naměřené fluorescenční hodnoty byly porovnány s hodnotami zjištěnými v předcházejícím měření v roce 2013. Zjištěné výsledky byly statisticky vyhodnoceny a přehledně zpracovány do tabulek a grafů.

Dle výsledných hodnot APTI indexu, se na Jiráskově nábřeží jako citlivější strom na znečištěné ovzduší projevila lípa srdčitá a platan javorolistý byl z tohoto hlediska odolnějším druhem.

Porovnáním výsledků obsahu chlorofylů a fluorescence z roku 2013 a 2015 bylo zjištěno, že právě rok 2015 se projevil jako méně příznivý pro oba druhy.

Klíčová slova: index tolerance znečištěného ovzduší (APTI index), město, fotosyntetické pigmenty, fluorescence chlorofylu, výuková prezentace

Abstract

The aim of this diploma thesis was to find out the seasonal changes of the air pollution tolerance index (APTI) in London planetree (*Platanus acerifolia*) and small-leaved lime tree (*Tilia cordata*), which grow in Jiráskovonábřeží in České Budějovice near the busy urban roads. The research was conducted in August, 2015.

The complete results of this research were summarized into a teaching presentation for pupils at primary schools, which shall show them the issues of urban stress for these two tree species, which are very often planted in cities.

The APTI index consists of four parameters, which were needed to be found out for the APTI index could be established. These parameters for the APTI are: the content of chlorophylls in a leaf, the content of the ascorbic acid in a leaf, the relative water content in a leaf and the pH of the extract from a leaf. By the discovering of the values of these parameters, the APTI was counted and thanks to this APTI it was easier to determine, which of these two tree species is less or more stressed by air pollution on the particular location. Further, the fluorescence of chlorophyll, which is -next to the APTI index- another indicator of effect of stress on the physiological processes in a plant and measured fluorescence values were compared with values from the previous measuring in 2013. The results were statistically evaluated and processed into the tables and graphs.

According to the results of the APTI index, the small-leaved lime tree has proved as more sensitive to air pollution in Jiráskovo nábřeží, the London planetree was more resilient from this point of view.

By the comparison of the results of chlorophyll content and fluorescence from 2013 and 2015, it was found out that the year 2015 has proved as less favourable for both species.

Key words: air pollution tolerance index, city, photosynthetic pigments, the fluorescence of chlorophyll, a teaching presentation

Obsah

1. Úvod	1
2. Literární přehled.....	3
2.1. Znečištěné ovzduší ve městech	3
2.1.1. Látky znečišťující ovzduší ve městě (NO _x , O ₃ , SO _x , PM)	4
2.2. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)	5
2.2.1. Relativní obsah vody v listu (RWC).....	6
2.2.2. Celkový obsah chlorofylů (TCH)	7
2.2.3. pH extrakt z listů	9
2.2.4. Obsah kyseliny askorbové (AA) v listu.....	10
2.2.4.1. Metody stanovení kyseliny askorbové.....	11
2.3. Vliv sucha na rostliny	12
2.4. Vliv utlačené půdy na městskou vegetaci.....	13
2.5. Vysoké teploty ve městě.....	14
2.5.1. Vliv vyšších teplot na rostliny	15
2.6. Stromy.....	16
2.6.1. Lípa srdčitá (<i>Tilia cordata</i>)	16
2.6.2. Platan javorolistý (<i>Platanus acerifolia</i>)	17
3. Metodika práce	19
3.1. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)	19
3.1.1. Stanovení fotosyntetických pigmentů	19
3.1.2. Stanovení relativního obsahu vody v listech	20
3.1.3. Stanovení pH extraktu z listů	21
3.1.4. Stanovení kyseliny askorbové z listu.....	22
3.1.4.1. Jodometrie	22
3.1.4.2. Vysokoučinná kapalinová chromatografie <i>HPLC</i>	23
3.2. Měření fluorescence	23
3.3. Analýza dat	24
4. Výsledky	25
4.1. Maximální fotochemická efektivita fotosystému II.....	25
4.2. Obsah fotosyntetických pigmentů	26

4.2.1.	Chlorofyl <i>a</i>	26
4.2.2.	Chlorofyl <i>b</i>	27
4.2.3.	Karotenoidy	28
4.2.4.	Poměr chlorofylu <i>a/ b</i>	29
4.2.5.	Poměr chlorofylu <i>a + b/ car</i>	30
4.3.	Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)	31
4.3.1.	Obsah chlorofylu <i>a+ b</i>	31
4.3.2.	Relativní obsah vody (RWC).....	32
4.3.3.	Obsah kyseliny askorbové	33
4.3.3.1.	Obsah kyseliny askorbové stanovený pomocí jodometrie	33
4.3.3.2.	Obsah kyseliny askorbové stanovený pomocí <i>HPLC</i>	34
4.3.4.	pH extraktu z listů	35
4.4.	Porovnání lípy srdčité a platanu javorolistého podle výsledků APTI indexu 36	
4.5.	Porovnání obsahu fotosyntetických pigmentů v listech a hodnot fluorescence naměřených v roce 2013 s rokem 2015 u lípy srdčité a platanu javorolistého.....	37
4.5.1.	Lípa srdčitá (<i>Tilia cordata</i>)	37
4.5.1.1.	Obsah fotosyntetických pigmentů	37
4.5.1.2.	Maximální fotochemická efektivita fotosystému II	43
4.5.2.	Platan javorolistý (<i>Platanus acerifolia</i>)	44
4.5.2.1.	Obsah fotosyntetických pigmentů	44
4.5.2.2.	Maximální fotochemická efektivita fotosystému II	50
4.6.	Výuková prezentace pro žáky ZŠ	51
5.	Diskuze.....	52
5.1.	Fotosyntetické pigmenty a fluorescence chlorofylu naměřené v roce 2015	52
5.2.	Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI index)	55
5.3.	Porovnání hodnot naměřených v roce 2013 a 2015	58
5.4.	Výuková prezentace pro žáky vyšších ročníků základních škol	59
6.	Závěr	61
7.	Seznam literatury	62
8.	Přílohy	

1. Úvod

Téma diplomové práce „Jak stromy odolávají stresu městského prostředí“ jsem si vybrala vzhledem k mé předchozí bakalářské práci, jejíž téma mě velmi zajímalo a bavilo, a proto jsem se rozhodla na ni navázat. Ve městech se v dnešní době čím dál tím více objevují druhy, které splňují kritéria, jež danému prostředí nějakým způsobem pomáhají. Je velmi pozoruhodné, že díky studiu několika rostlinných parametrů je možné získat tak cenné výsledky, na jejichž základě můžeme zhodnotit kvalitu životního prostředí anebo správně a vhodně zvolit výsadbu stromů a jiné zeleně ve městech, aby plnily svou funkci, aniž by došlo k jejich vážnému poškození vlivem působení stresových faktorů ve městech.

Městská vegetace může přímo či nepřímo ovlivnit místní a regionální kvalitu ovzduší změnou městského atmosférického prostředí. Stromy ve městech ovlivňují kvalitu prostředí například: lepším hospodařením s dešťovou vodou, snížením teploty vzduchu v nejbližším okolí, odstraněním látek znečišťujících prostředí, emitováním těkavých organických látek a tvorbou úkrytů pro mnoho organismů (Oberndorfer a kol., 2007). Stromy ve městech podle Yanga a kol. (2005) také zvyšují estetickou krásu oblasti. Městské stromy jsou prvky, při jejichž výsadbě je potřeba zohlednit to, že svůj význam často splňují až po několika letech (Markevičová, 2013). Výsadba stromů ve městě si získává stále větší pozornost, a to zejména v několika posledních desetiletích, kdy je poháněna mnoha studiemi, které vymezily výhody výsadby stromů ve městě (Roy a kol., 2012).

Cílem této diplomové práce bylo zjistit index tolerance vůči znečištěnému ovzduší (Air pollution tolerance index- APTI) u lípy srdčité (*Tilia cordata*) a platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*). Oba tyto druhy rostou na stejném stanovišti poblíž frekventované komunikace na Jiráskově nábřeží v Českých Budějovicích.

Druhým cílem bylo komplexně shrnout výsledky tohoto výzkumu do výukové prezentace pro žáky ZŠ, která studentům přiblíží v rámci environmentální výchovy problematiku městského stresu pro oba tyto, v našich městech často vysazované,

druhy stromů. Výuková prezentace byla vytvořena v programu Microsoft Office PowerPoint 2007.

2. Literární přehled

2.1. Znečištěné ovzduší ve městech

Látky znečišťující ovzduší mohou mít přímý vliv na lesy, biologickou rozmanitost a na ekosystémové procesy. Složení vzduchu a rozsah jeho znečištění se liší v čase a v prostoru, a to v důsledku změn klimatu a lidské činnosti (Bytnerowicz a kol., 2005).

Pro posouzení stavu ekosystému se používá mnoho různých proměnných jako je například obsah dusíku v listu, obsah chlorofylů v listu či jiných důležitých proměnných souvisejících s hodnocením stavu rostlin. Tyto charakteristiky úzce souvisí s fotosyntézou a fyziologickým stavem rostlin. Rostliny jsou jakousi jímkou pro znečišťující látky, které vedou ke změnám rostlinných stavebních základů a tyto změny rostlin indikují stres (Krishnaveni a kol., 2013). Vzhledem k tomu, že se rostliny nepohybují a jsou nepřetržitě vystaveny působení chemicky škodlivých látek z ovzduší, je poškození rostlin přímo úměrné intenzitě znečištění (Lakshmi a kol., 2009). Adaptace rostlin na měnící se faktory životního prostředí zahrnuje jak krátkodobé a dlouhodobé fyziologické reakce, tak i strukturální a morfologické modifikace (Gravano a kol., 2003; Novak a kol., 2003). Tyto změny pomáhají rostlinám snižovat působení stresu a maximálně využívat interních a externích zdrojů (Dineva, 2004).

Znečištěné ovzduší ve městech je velký problém, kterému čelí celý svět (Li, 2003). Jednou z příčin znečištěného ovzduší ve městech je přibývání průmyslových továren a zvyšující se automobilová doprava, kdy se do ovzduší stále dostávají toxické plyny a jiné látky ničící životní prostředí (Jahan a Iqbal, 1992), např.: vysoké koncentrace oxidů dusíku (NO_x), oxidů síry (SO_x), částic PM_{2,5} a PM₁₀, ozonu (O₃) či oxidu uhelnatého (Thambavani a Maheswari, 2012). Depozice plynů u stromů probíhá převážně prostřednictvím průduchů v listech, kdy na povrchu mohou vznikat nánosy nečistot. Během dne, kdy dochází k transpiraci vody, rostlina přijímá CO₂ a s ním i ostatní plyny včetně znečišťujících látek. Jakmile jsou plyny uvnitř listu, difundují do mezibuněčných prostor a mohou být absorbovány na vnitřním povrchu listů. Příjem znečišťujících látek rostlinou je velmi variabilní a záleží především na intenzitě světla, na rychlosti větru, na rozpustnosti plynu ve vodě a na velikosti listů (Smith, 1990).

Stres životního prostředí způsobený znečištěným ovzduším je jedním z faktorů omezujících produktivitu rostlin a jejich přežívání (Woo a kol., 2007). Reakce rostlin na znečištěné ovzduší mohou být použity k posouzení kvality ovzduší, které by mohly poskytnout signály včasného varování o trendech znečišťování ovzduší (Wagh a kol., 2006).

Monitoring rostlin je velice důležitým nástrojem pro vyhodnocení dopadu znečištění ovzduší (Lakshmi a kol., 2009). Nejcitlivější částí rostliny, na látky znečišťující ovzduší a pro další vnější stresové faktory, je list (Lalman a Singh, 1990). Rostliny poskytují pro absorpci a akumulaci znečišťujících látek z ovzduší svou obrovskou listovou plochu, a to za účelem snížení stupně znečištění ovzduší, kdy míra zachycení škodlivých látek záleží na druhu rostliny (Escobedo a kol., 2008). Pandey a kol. (2015) uvedl, že je známa schopnost zelených rostlin snižovat znečištění ovzduší a hluku.

2.1.1. Látky znečišťující ovzduší ve městě (NO_x, O₃, SO_x, PM)

O látkách, které znečišťují ovzduší ve městě je detailně pojednáno v bakalářské práci Šindelářová (2014). V této kapitole jsou připomenuty a doplněny základní informace o polutantech, které se mohou vyskytovat v atmosféře a působit na rostliny.

Oxid dusičitý (NO₂) je absorbován listem přes průduchy, kde za přítomnosti vody, která je na vnitřním povrchu listů, může zreagovat na kyselinu dusnou (HNO₂) nebo dusičnou (HNO₃). Změna pH v listu často vede ke změně metabolismu rostlin (Smith, 1990). Oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂), které jsou označovány jako NO_x, jsou základem pro fotochemickou tvorbu ozonu (O₃), kdy O₃ vzniká ještě vlivem dalších těkavých organických látek, oxidu uhelnatého, teploty a slunečního záření (Ryerson a kol., 2001). Důsledkem působení O₃ na stromy mohou být změny v průběhu fotosyntézy, dýchání, růstu a ve správné funkci průduchů (Shafer a Heagle, 1989). Největší obsah ozonu je v troposféře, jež je součástí fotochemického smogu vznikající většinou v létě za vysokého tlaku v blízkosti průmyslové zóny v městských oblastech. Protože je O₃ velmi škodlivý pro lidi i rostliny, je jedním z hlavních parametrů ovzduší, jehož hladiny v atmosféře se neustále kontrolují (Ryerson a kol., 2001). Rozkladem ozonu se kromě kyslíku tvoří i velmi reaktivní hydroxylový radikál a superoxid (O₂⁻).

Oba jsou většinou přeměněny na peroxid vodíku a dále na vodu, avšak část se jich dostane do buňky (Bláha a kol., 2003).

Oxid siřičitý (SO_2) je jedním z více toxických plynů, který je zákeřný pro vegetaci, jež prostupuje listy (Tatsumoto a Yoshinari, 1991). SO_2 se do rostliny dostává pomocí průduchů, kdy se předpokládá, že se rozpustí díky vodnímu filmu na buněčné stěně uvnitř listu. Vznikne tak kyselina siřičitá H_2SO_3 nebo po oxidaci kyselina sírová H_2SO_4 . Toxické působení SO_2 je tedy patrné díky jeho kyselému vlivu, nebo díky siřičitanovým (SO_3^{2-}) či síranovým iontům (SO_4^{2-}), které jsou toxické pro mnoho biochemických procesů (Smith, 1990). Pokud je vzdušná vlhkost přes den alespoň 40 %, dochází k tomu, že i malé množství SO_2 zvětšuje svěrací buňky a průduchy se zároveň začínají otevírat. Do buňky takto pronikne více oxidu siřičitého a současně dojde ke ztrátě vody z rostliny díky transpiraci. Působení SO_2 často vede k poničení obou dvou fotosyntetických systémů (PS I a PS II). PS II je náchylnější (Bláha a kol., 2003).

Částice (PM) jsou jednou z hlavních látek, které znečišťují atmosféru ve městě, ale i venkovských oblastech (Krewski a kol., 2000). Je to směsice pevných a kapalných látek vyskytujících se v ovzduší. Působení částic na vegetaci závisí na velikosti těchto částic a v menší míře i na jejich chemickém působení. Snižují nároky na světlo potřebné pro fotosyntézu a mohou zvyšovat teplotu listů v závislosti na optických změnách povrchu listu (Prajapati, 2012). PM mohou být na rostlinu za sucha usazeny vlivem gravitace nebo vlivem větru. Částice dopadající na strom mohou být usazeny přímo na něj, odskočit mimo něj nebo na něm být dočasně usazené a po určité době následně odstraněny (Smith, 1990). Udržení částic na rostlinách závisí na velikosti a povrchu listu. Menší listy nebo listy s hrubým povrchem udržují částice více než listy větší nebo listy s hladkým povrchem. Také větší částice se usazují na listech rychleji než menší částice (Witherspoon a Taylor, 1969).

2.2. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)

To, jakým způsobem rostliny reagují na stav ovzduší, je možné posoudit pomocí indexu tolerance znečištěného ovzduší (APTI). Úroveň tolerance se u každého druhu liší, a proto rostliny nevykazují stejné chování. Podle hodnot indexu tolerance lze předpokládat, jaké rostliny mohou být vysazovány v dané lokalitě, respektive kterým

se bude dařit a které naopak budou v určité oblasti živořit (Rao, 1983). Stanovení indexu APTI poskytuje spolehlivou metodu testování velkého množství rostlin s ohledem na jejich náchylnost ke škodlivinám v ovzduší (Lohe a kol., 2015).

Biomonitorovací studie jsou velmi důležité v oblasti znečištěného ovzduší ve vztahu k obnově městského ekosystému (Rai a Panda, 2014). Pro rozvoj městských „lesů“ je dobré používat stromy, které jsou tolerantní vůči znečištěnému ovzduší (Pandey a kol., 2015). Prostředí městských oblastí může být znečištěné větším množstvím znečišťujících látek a rostliny rostoucí v těchto oblastech jsou vystaveny těmto mnohým polutantům a jejich podmínkám. Je možné odhadnout celkový efekt působení znečišťujících látek měřením změn v rostlinách (Bakiyaraj a Ayyappan, 2014). Musí tedy existovat nějaké kritérium pro výběr takovýchto tolerantních dřevin. Výběr stromů do výsadby ve městě se tedy může řídit indexem tolerance znečištěného ovzduší (Pandey a kol., 2015). APTI index je založen na čtyřech hlavních parametrech listu, které úzce souvisí s tolerancí rostliny ke škodlivinám v prostředí (Singh a Rao, 1983). Čtyři hlavní parametry, které charakterizují index tolerance znečištěného prostředí, jsou:

- relativní obsah vody v listu (RWC)
- celkový obsah chlorofylů (TCH)
- pH extrakt z listů
- obsahová analýza kyseliny askorbové (AA)

Kombinací všech těchto čtyř parametrů lze získat výsledky, které jsou mnohem spolehlivější, než tyto parametry jednotlivě. APTI index je velmi cenným nástrojem v dnešní době, protože se zvýšenou industrializací existuje stále větší riziko odlesňování v důsledku znečištěného ovzduší, a proto je APTI index účinným prostředkem pro budoucí plánování (Agbaire, 2009).

2.2.1. Relativní obsah vody v listu (RWC)

Voda je pro rostliny klíčovým prvkem. Obsah vody v listu souvisí s jeho pružností. Vysoký obsah vody v rostlinném těle pomáhá udržovat jeho fyziologickou rovnováhu

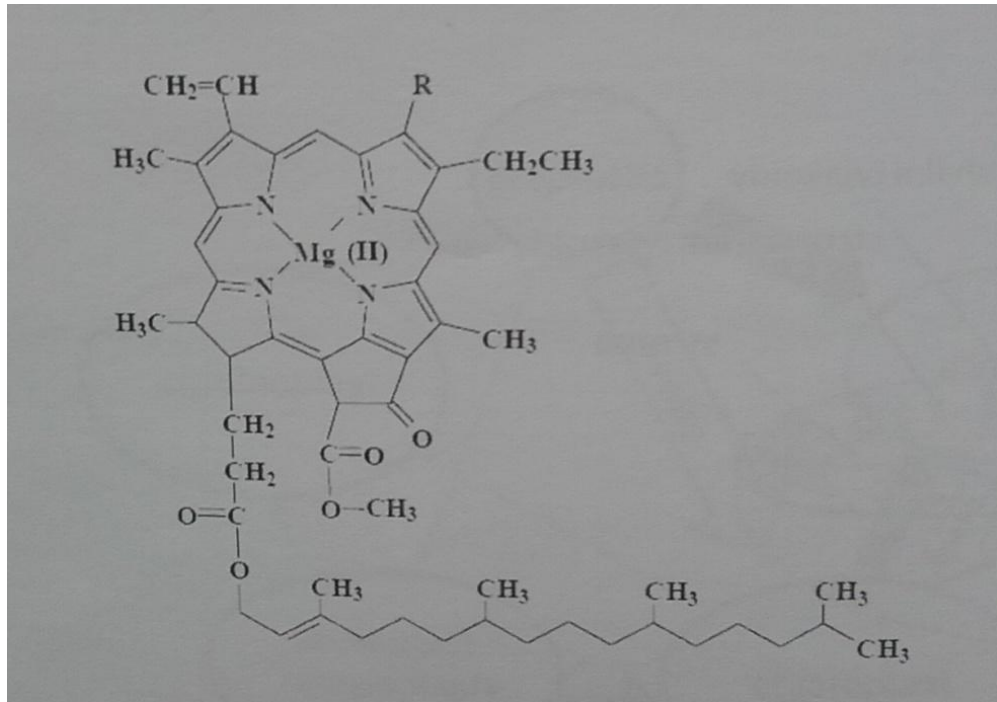
ve stresových podmínkách, zejména ve znečištěném ovzduší, kdy panuje většinou vysoká míra transpirace. Maximální hodnota RWC na znečištěném místě dokládá, že rostlina zadrží více vody než v méně znečištěném prostředí, což by mohlo odpovídat adaptivní funkci, která pomáhá udržovat fyziologickou rovnováhu před znečištěním (Bora a Joshi, 2014). RWC je spojen se ztrátou vody a rozpuštěných živin díky protoplazmatické propustnosti buněk, což vede ze začátku ke stárnutí listů (Agrawal a Tiwari, 1997).

V důsledku znečištěného ovzduší, dochází často k poškození listů a snížení rychlosti transpirace, díky které voda proudí z kořenů do vyšších částí. Následek toho je, že rostliny nemohou přivést minerální látky, ale ani ochlazovat list. Relativní obsah vody u druhů rostlin je snížen vlivem polutantů, které ovlivňují rychlost transpirace (Swami a kol., 2004). Nízký relativní obsah vody signalizuje změny v matrix uvnitř listu a představuje větší kyselost, zatímco více vody v listu kyselost snižuje (Palit a kol., 2013).

Měření relativního obsahu vody v listu se tedy zjišťuje a posuzuje stav rostliny. Je důležité tuto techniku upravit pro každý rostlinný druh (Yamasaki a Dillenburg, 1999).

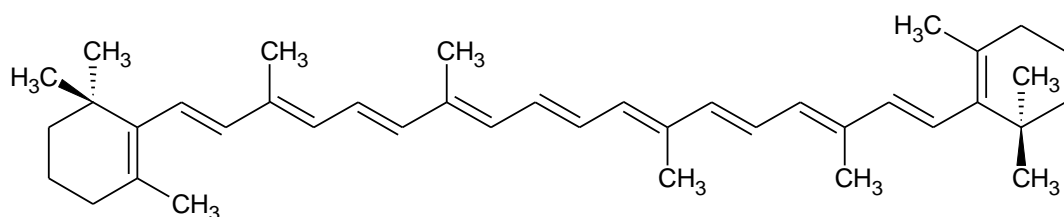
2.2.2. Celkový obsah chlorofylů (TCH)

Chlorofyl se nachází v chloroplastech zelených rostlin. Sám o sobě není jedinou molekulou, ale existuje řada příbuzných molekul známých jako chlorofyl *a*, *b*, *c* a *d* (viz Obr. 1). Molekula chlorofylu se nachází ve všech rostlinných buňkách, a proto jeho koncentrace je to, co je hlášeno během analýzy chlorofylu. Dalšími pigmenty přítomnými v rostlinách jsou karotenoidy, které jsou potřebné pro fotosyntézu (Ong a Tee, 1992).



Obr. 1: Struktura molekuly chlorofylu, kde R je u chlorofylu a CH_3 , u chlorofylu b je R $\text{CH}=\text{O}$ (Ryplová, 2014).

Karotenoidy jsou barevné rostlinné pigmenty (červené, žluté, oranžové), které jsou rozpustné v tucích. Jsou uloženy v membránách chloroplastů respektive chromoplastů. Karotenoidy chrání fotosyntetizující organismy před případnými fotooxidativními procesy a jsou základními stavebními složkami antén reakčních center uplatňujících se při fotosyntéze (Bartley and Scolnik, 1995). Karotenoidy jsou složeny ze 40 atomů uhlíku. Buď jsou to karoteny, nebo xantofyly. Nejznámější karoten, který je uložen v listech je β -karoten (viz Obr. 2) a z xantofylů se v listech vyskytují hlavně lutein, violaxantin a zeaxantin (Procházka a kol., 1998).



Obr. 2: β - karoten (Sies a Stahl, 1995)

Celkový obsah chlorofylů v listu poskytuje cenné informace o fyziologickém stavu rostlin (Gitelson a kol., 2003). Chlorofyly jsou tedy ukazatelem produktivity rostlin (Raza a Murthy, 1988) a jejich obsah v rostlinách znamená, jakou mají fotosyntetickou aktivitu, růst a vývoj. Je samozřejmé, že i obsah chlorofylů se liší od druhu k druhu, s věkem listů a také s úrovní znečištění (Begum a Harikrishna, 2010) stejně jako s jinými biotickými a abiotickými podmínkami (Katiyar a Dubey., 2001).

Allen a kol. (1987) uvádí, že některé znečišťující látky mohou celkový stav chlorofylů zvyšovat a některé naopak snižovat. Vyšší obsah chlorofylu v rostlinách podporuje toleranci ke znečišťujícím látkám (Prajapati a Tripathi, 2008). Pokles chlorofylů může být způsoben alkalickými podmínkami, které jsou vytvořeny rozpuštěním chemických látek přítomných v prachových částicích, blokujičích póry průduchů pro difuzi vzduchu, což je velmi důležité pro metabolismus rostlin (Anthony, 2001). Změna obsahu pigmentu může nastat tedy působením hromadícího se prachu na povrchu listů. Nejmenší celkový obsah chlorofylu je v zimním období, kdy se může na povrchu listů hromadit větší množství prachu, kdy syntéza chlorofylu brání přítomnost různých kovů a polycyklických uhlovodíků, které inhibují enzym nepostradatelný pro syntézu chlorofylu (Keller a Lamprecht, 1995). Značné snížení celkového obsahu chlorofylu v listech u rostlin vystavených znečištěnému ovzduší odpovídá tomu, že chloroplast je primárním místem, kde dochází k ataku rostliny polutanty a hraje to velkou roli ve správném fungování fotosyntézy zejména ve fixaci oxidu uhličitého (Katiyar a Dubey, 2001).

2.2.3. pH extrakt z listů

Měření pH je nejrozšířenější způsob, jak se dá zjistit kyselost vzorku (Buck a kol., 2002). Jestli je roztok kyselý nebo zásaditý lze zjistit pomocí exponentu koncentrace H^+ kationtů, značící se pH. Pro zjišťování pH hodnot se jako nej přesnější přístroje používají pH-metry (Mareček a Honza, 1998).

Hodnota pH je biochemickým parametrem, který slouží jako indikátor citlivosti na znečištěné ovzduší (Scholz a Reck, 1977). S vysokou hodnotou pH se může zvýšit účinnost přeměny cukerné hexózy na kyselinu askorbovou (Escobedo a kol., 2008),

zatímco nízké pH extraktu z listů vykazuje dobrou korelaci s citlivostí na znečištěné ovzduší a také snižuje proces fotosyntézy v rostlinách (Liu a Ding, 2008).

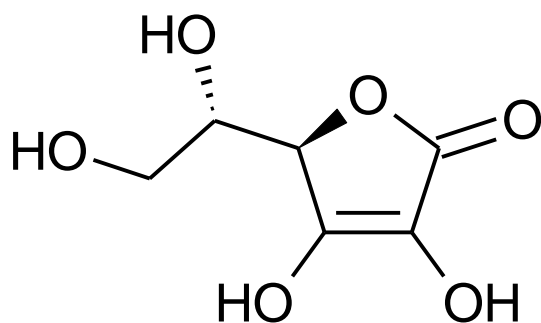
Scholz a Reck (1977) uvádějí, že v přítomnosti znečišťujících látek se pH sníží a tento pokles je větší u citlivějších druhů. Změna pH buněčné šťávy na kyselou může způsobit snížení efektivní přeměny hexóзовého cukru na kyselinu askorbovou. Proto tedy snížení aktivity kyseliny askorbové je závislé na pH. Vyšší pH listového extraktu podporuje toleranci rostlin proti znečištění.

2.2.4. Obsah kyseliny askorbové (AA) v listu

Kyselina askorbová je velmi významným přírodním antioxidantem v rostlinách a hraje klíčovou roli v toleranci rostlin vůči znečištěnému prostředí (Chen a kol., 1990). Askorbová kyselina, přesněji L- askorbová kyselina nebo vitamin C (viz Obr. 3), hraje důležitou roli v detoxikaci reaktivního kyslíku. Rostliny obsahují různá množství kyseliny L- askorbové, a to v závislosti na druhu rostliny, na jejich tkáních a na podmínkách prostředí. Variabilita obsahu askorbátu se týká hlavně specifické funkce vitaminu C v rostlinách, kdy odráží aktivitu různých biosyntetických cest (Wolucka a Van Montagu, 2007). Kyselina je nezbytná pro dělení buněk, pro syntézu buněčné stěny a obranu rostlin. Je to početný metabolit a uplatňuje se ve stresové fyziologii (Conklin a kol., 1999; Conklin, 2001). Redukční aktivita kyseliny askorbové je závislá na pH, více při vyšších hodnotách pH, protože vysoká hodnota pH může zvýšit účinnost přeměny hexóзовých cukrů a je spojena s tolerancí ke znečištění (Liu a Ding, 2008). Vitamin C byl poprvé izolován roku 1928 a jeho struktura byla stanovena roku 1933 (Hancock a Viola, 2005).

Jako antioxidant se uplatňuje v ochraně proti oxidačnímu stresu. Reaktivní formy kyslíku (ROS– Reactive oxygen species), jako je peroxid vodíku (H_2O_2), superoxid a hydroxylový radikál jsou generovány celou řadou faktorů v rostlinách a jsou příčinou oxidativního stresu. Za běžných podmínek jsou ROS generovány v průběhu fotosyntézy tvorbou singletového kyslíku. K fotooxidaci může dojít, jestliže tvorba ROS přesahuje antioxidantní kapacitu. Ke zvýšení ROS dochází kombinací světelného záření s jinými podmínkami prostředí jako je sucho, extrémní teploty, látky znečišťující ovzduší (například O_3 nebo SO_2) nebo fytotoxické kovy (Foyer a kol., 1994). Vitamin C

je také důležitým kofaktorem pro velké množství enzymů (Arrigoni a de Tullio, 2000). Po působení SO_2 na rostliny, který je součástí ovzduší, vznikají volné radikály, a tím se zvyšuje produkce lapačů těchto volných radikálů v rostlině. Takovými lapači mohou být kyselina askorbová nebo peroxidázy (Pieree a Queiroz, 1981).



Obr. 3: L- askorbová kyselina (vitamin C), (Sies a Stahl, 1995)

2.2.4.1. Metody stanovení kyseliny askorbové

Jodometrie

Roztokem jodu (I_2) je možné provést titraci vzorku, ve kterém je obsažena kyselina askorbová. Při jodometrické titraci se používá roztok škrobu. Díky tomuto indikátoru bylo možné stanovit konec titrace. Škrobový roztok má při titraci modré zbarvení. Redoxní reakce při titraci bývá pomalá a urychluje se tím, že titrovaný roztok je kolem bodu ekvivalence míchán (Křížek a Jírovcová, 2010).

Vysokoúčinná kapalinová chromatografie *HPLC*

Vysokoúčinná kapalinová chromatografie *HPLC* je významnou separační metodou v analytice. U této metody je příznivé to, že se dají velmi šetrně identifikovat organické látky. Dnes se vysokoúčinná kapalinová chromatografie uplatňuje hlavně ve farmacii, zdravotnictví či průmyslu (Křížek a Šíma, 2015).

V posledních letech je vysokoúčinná kapalinová chromatografie nejpoužívanější technikou pro analýzu kyseliny askorbové biologických vzorků (Nojavan a kol., 2008; Sawant a kol., 2010). Tato metoda nabízí vysokou přesnost, dobrou opakovatelnost a reprodukovatelnost, relativně krátkou dobu analýzy a jednoznačnou identifikaci kyseliny askorbové (Stan a kol., 2014).

2.3. Vliv sucha na rostliny

Sucho je meteorologický termín a je definován jako období bez výrazných srážek (Jaleel a kol., 2007a). Během této doby obsah vody v půdě klesne do té míry, že její nedostatek způsobí to, že rostliny strádají (Larcher, 1988). K období sucha dochází, když se v půdě snižuje obsah vody a atmosférické podmínky způsobují trvalý úbytek vody v důsledku odpařování. Tolerance ke stresu ze sucha je patrná téměř na všech rostlinách, ale rozsah stresu se liší od druhu k druhu a dokonce i v rámci druhu. Deficit vody je globálním problémem hlavně pro zemědělské plodiny a jejich potravinovou výťažnost (Jaleel a kol., 2007b).

Jedním z důležitých stresových faktorů ve městech bývá tedy vodní deficit, který má vliv na produktivitu rostlin a jejich růst (Rampino a kol., 2006). Tyto změny souvisejí s přeměnou metabolických funkcí, jako je například ztráta nebo snížení tvorby fotosyntetických pigmentů. V důsledku toho dochází k úbytku energie pro temnostní fázi fotosyntézy (Jaleel a kol., 2009). I v tomto případě vliv stresu závisí na druhu rostliny a popřípadě kultivaru, který je takto stresován. (Šircelj a kol., 1999). Sucho způsobuje mírné ztráty vody, což vede k uzavření průduchů a omezení výměny plynů. Vysoušení má za následek rozsáhlejší úbytek vody, který vede k hrubému narušení metabolismu a stavby buněk a nakonec k útlumu reakce katalyzované enzymem (Jaleel a kol., 2007a). Sucho je charakterizováno snížením obsahu vody v listech, sníženým potenciálem vody v listu, ztrátou turgoru, uzavřením průduchů a zpomalením růstu rostlin. Velký deficit vody může vést k zástavě fotosyntézy, k poruchám metabolismu a nakonec může dojít ke smrti rostliny (Jaleel a kol., 2008). Reakce rostlin na vodní stres se významně liší v jednotlivých organizačních úrovních v závislosti na intenzitě a trvání stresu, fázi růstu a rostlinném druhu (Chaves a kol., 2002). Je důležité znát, jak rostliny reagují na stres ze sucha (Zhao a kol., 2008). Existuje několik mechanismů,

kterými se rostliny přizpůsobují nedostatku vody, aby tedy zamezily úbytkům vody. Mezi takové mechanismy patří: vyšší odolnost průduchů, zvýšení absorpce vody rozvíjením velkých a hlubokých kořenových systémů a akumulace osmolytů (Bohnert a kol., 1995). Takovéto akumulované osmolyty obsahují aminokyselinu prolin, glutamát a sacharidy (manitou, sorbitol, trehalóza). Tyto látky jsou základem pro prevenci rozpadu membrány a inaktivaci enzymu v prostředí s nízkou hodnotou vody (Mahajan a Tuteja, 2005). Prolin nenarušuje základní biochemické reakce, ale napomáhá rostlinám před stresem (Stewart, 1981) nebo je nouzovým signálem ovlivňující adaptivní reakce v rostlině (Maggio a kol., 2002).

Sucho má vliv i na pigmentové složení v listech. Fotosyntetické pigmenty jsou pro rostliny důležité hlavně pro zachycování světla. Chlorofyl *a* a *b* jsou náchylné na suchou půdu. Avšak na rozdíl od chlorofylů, karotenoidy částečně pomáhají rostlinám, aby vydržely působení sucha (Farooq a kol., 2009). Změny fotosyntetických pigmentů mají zásadní význam pro toleranci sucha. Chlorofyly i karotenoidy vykazují různorodé role v toleranci sucha, včetně zachycení světla nebo ochrany před oxidačními vlivy způsobených účinkem sucha (Jaleel a kol., 2009). Ommen a kol. (1999) uvádí, že obsah chlorofylu v listu je snižován v důsledku působení sucha. K poklesu chlorofylu vlivem vodního deficitu dochází zejména důsledkem poškození chloroplastů, které je způsobené aktivními formami kyslíku (Smirnov, 1995).

2.4. Vliv utlačené půdy na městskou vegetaci

Urbanizace zvětšuje plochu půdy, která je krytá nepropustnými povrchy, jako jsou silnice, příjezdové cesty a parkoviště (Gill a kol., 2007). Městská zpevněná území jsou velkým stresem pro dané prostředí a stromy (Sjöman a Nielsen, 2010). Zvětšené oblasti nepropustného povrchu vedou ke zvýšení napětí dopadající na městskou vegetaci. Udusaná půda a zpevněné povrchy často vedou k tomu, že se kořeny stromů mohou množit v místech, která poskytují příznivější podmínky pro růst, ale zároveň kořeny poškozují infrastrukturu vozovky pozvednutím (Mullaney a kol., 2015). Nedostupnost půdní vlhkosti a živin pro stromy ve městě může působit rozsáhlé škody způsobené na silnicích či chodníku (D'Amato a kol., 2002). Zhutnění půdy omezuje růst kořenů zúžením pórů v půdě, díky kterým se kořeny rozšiřují (Grabosky a kol., 2009).

Kořeny stromů jsou tedy brzděny v růstu v závislosti na omezeném přístupu vody a živin (Tracy a kol., 2011). Nedostatek adekvátního prostoru pro zakořenění je pravděpodobně jeden z hlavních faktorů, který ovlivňuje dlouhodobý přístup vody a živin do stromů podél silnic a chodníků (Grabosky a Bassuk, 1995). Udusaná půda může znamenat i úbytek obsahu kyslíku v zemi, což způsobuje snížení rychlosti růstu kořenů a dalších rostlinných procesů (Bláha a kol., 2003).

Mezi zpevněné povrchy lze zařadit asfalt, který je horký a nedochází zde k odpařování a chlazení v důsledku vysokých teplot povrchu (Doll a kol., 1985). Dostatečně velké asfaltové plochy mohou zvýšit teplotu vzduchu (Kjelgren a Clark, 1992). Nové tmavší povrchové materiály vstřebají a uloží více solární energie a infračervené záření. Tyto materiály se ohřejí v průběhu dne a poté toto absorbované teplo vyzařují během noci, kdy se zvyšuje teplota ve městech (Rizwan a kol., 2008). Stromy ve zpevněných plochách zachycují velké množství tepla a dlouhodobě emitované záření (Heilman a kol., 1989). Zachycením tak velkého tepla a zářivé energie mohou stromy zvyšovat transpiraci a celkově mohou ztratit velké množství vody, a to zejména v sousedství asfaltových povrchů (Miller, 1980). Jakmile je hodnota rozdílu tlaku par mezi listem a vzduchem nad prahovou hodnotou, průduchy se u mnoha dřevin zavírají (Turner a kol., 1984). Strom reaguje na vyšší teplotu a záření ze zpevněného povrchu zvýšením teploty listů (Farquhar, 1978). Takže zavření průduchů by sice zmírnilo ztráty vody, ale mohlo by zvýšit teplotu listů (Kjelgren a Montague, 1998).

Křížek a Dubík (1987) uvádějí, že v důsledku vzniku zpevněných povrchů například dlažbou stromy trpí chronickým vodním stresem a nevyváženým poměrem živin, čímž dochází ke snížení jejich zdraví a zkracuje jejich životnost.

2.5. Vysoké teploty ve městě

Je známo, že ve všech částech světa dochází k neustálému oteplování, což lze přičíst ke globální změně klimatu (IPCC, 2007). Kjellstrom a kol. (2009) zaznamenali zvýšení průměrné teploty o 1 °C až 2 °C ve městech nacházejících se v horkých a teplých oblastech s teplotou stoupající pravidelně nad 35 °C, a to od roku 1980. Santamouris (2014) uvedl, že vysoká teplota ve městech je důsledkem antropogenní

činnosti nebo k ní dochází poklesem zelených ploch, hustěji zastavěnými oblastmi, snížením cirkulace vzduchu, evapotranspirací a zvýšeným počtem zastavěných ploch ve městech, kdy poté snadněji působí emise infračerveného záření a zhoršuje se ukládání slunečního záření. Tyto vysoké teploty přinesly negativní účinky, jako je například zvýšení spotřeby energie na chlazení (Santamouris, 2013) či zhoršení ovzduší znečištěním (Huang a kol., 2005).

Teplota vzduchu je v městském prostředí v noci a během dne rozdílná. Během dne se povrchy ve městě zahřívají a tím pádem se zvyšuje teplota vzduchu. Nejhorší podmínky panují v noci, kdy vyhřáté městské plochy přenáší teplo zpět do atmosféry a zpomaluje se proces snižování teploty vzduchu. Tím tedy dochází ke zvyšování noční teploty vzduchu (Salleh a kol., 2013). Ke zvýšení teploty vzduchu ve městech vedou i chodníky (Dimoudi a kol., 2014).

2.5.1. Vliv vyšších teplot na rostliny

O vlivu teploty na rostliny bylo psáno již v bakalářské práci Šindelářová (2014). V podkapitole „vliv vyšších teplot na rostliny“ jsou doplněny některé informace o vlivu teploty na rostliny a shrnuty do krátké podkapitoly.

Tepelný stres vyvolává významné změny v normálních fyziologických procesech, jako je fotosyntéza, dýchání ve tmě, stabilita membrány a mitochondriální respirace (Nguyen a Joshi, 1993). Vysoké teploty způsobují reverzibilní změny ve fyziologickém stavu biomembrány a ve struktuře proteinových molekul. Citlivé na teplo jsou především tylakoidní membrány, kdy dochází k poruchám fotosyntézy, což jsou první náznaky tepelného stresu. Nejprve dojde k inhibici fotosystému II a následně je metabolismus uhlíku postupně vyveden z rovnováhy (Larcher, 1995). Fotosyntéza je velmi citlivá na vysoké teploty. Rozmezí teplot 35 °C – 45 °C má tendenci právě inhibovat fotosyntézu (Rai a Takabe, 2006). Tím, že jsou poškozené chloroplasty, je fotosyntéza v depresi a nakonec to vede ke smrti buňky. Kritické hodnoty tepla, pro vratnou a nevratnou inaktivaci fotosyntézy, mohou být stanoveny metodou *in vitro* chlorofylu fluorescence. V případě, že termolabilní enzymy jsou inaktivovány, metabolismus bílkovin a nukleové kyseliny jsou poškozeny, biomembrány zničeny a ustane mitochondriální dýchání, buňka umírá. Rostlina může přežít vysoké teploty

podle prevence a zmírnění oteplování a díky vnitřnímu objemu protoplazmy tolerovat vysoké teploty (Larcher, 1995).

Liu a Huang (2000) uvedli, že jedním z mechanismů při působení vyšší teplot je vytvoření a reakce aktivních forem kyslíku (ROS). Aby se zamezilo oxidačnímu poškození u stresovaných rostlin, bylo vyvinuto mnoho detoxikačních systémů, které odbourávají právě vysoce toxické ROS (Larkindale a Huang, 2004). Rostlinné buňky a subcelulární systémy jsou od cytotoxických účinků aktivních kyslíkových radikálů chráněny s použitím antioxidantních enzymů, jako je superoxid dismutázy, askorbát peroxidázy, glutathion reduktázy, katalázy a metabolity, jako jsou glutathion, kyselina askorbová, α -tocopherol a karotenoidy (Sairam a kol., 2000). Mohan a kol. (1990) uvedli, že glutathion reduktáza hraje důležitou roli v ochraně rostlin při vysokých i nízkých teplotách tím, že brání oxidaci enzymů a membrán.

Teplota a sucho jsou často souběžnými stresovými faktory, ale předpokládá se, že mají velmi odlišné účinky na fotosyntetický aparát. Optimální teplota pro fotosyntézu rostlin nepřevyšuje 30 °C, ale je ovlivněna adaptací na horké prostředí. Listy mohou vytvořit mechanismy, které minimalizují příjem tepla a maximalizovat rozptýlení latentního tepla prostřednictvím upravených průduchů (Lea a Leegood, 1999). Při vysokých teplotách je fotorespirace stimulována a fotosyntéza inhibována. Teplotní podmínky pro fotosyntézu se často shodují s teplotní závislostí Rubisco. Nicméně, když je Rubisco plně aktivován, nezdá se, že má vysoká teplota významný vliv na vlastnosti enzymu (Feller a kol., 1998).

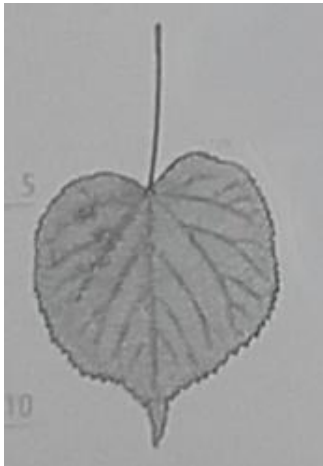
2.6. Stromy

O lípě srdčité a platanu javorolistém byly významné a potřebné informace shrnuty do krátkých kapitol v bakalářské práci Šindelářová (2014). V následujících dvou podkapitolách jsou doplněny údaje o těchto dvou druzích stromů.

2.6.1. Lípa srdčitá (*Tilia cordata*)

Strom, který dorůstá výšky mezi 25 – 30 m, většinou s nerovným kmenem a bohatou nestejnou korunou. Listy mají srdčitý tvar (viz Obr. 4) a bývají 4 – 8 cm dlouhé. Listy jsou na lící straně lesklé a na rubu bývají zbarveny do modro-zelena, kde

se na nich občas nacházejí narezavělé trsy malých chlupů. Listí během podzimu zežloutne a opadá. Ve městech se *Tilia* vysazuje jako samostatný strom nebo do stromořadí, protože je údajně velmi imunním stromem. Nevadí jí ořezávání, přesazování či vykopávky blízko stromu. Její velká odolnost se ale nevztahuje na stres zasolením půd (Úradníček a kol., 2001).



Obr. 4: List lípy srdčité (Horáček, 2007)

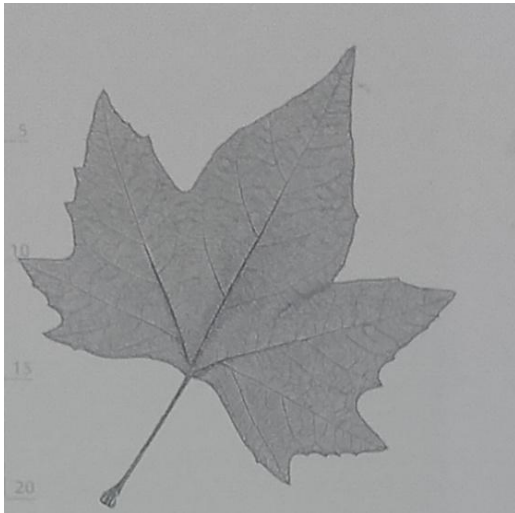
Tilia cordata se nalézá ve smíšených lesech, zejména v nižších patrech. Proto také patří mezi druhy stromů, kterým se dobře daří ve stinných místech. Také se dobře adaptuje ke klimatickým faktorům (Úradníček a kol., 2001). Lípa, která je rozšířena po celé Evropě, a zejména na teplejších místech a je příbuzná s lípou srdčitou (malolistou) se nazývá lípa velkolistá – *Tilia platyphyllos* (Větvíčka, 2005).

2.6.2. Platan javorolistý (*Platanus acerifolia*)

Platany jsou pro výsadbu ve městech velmi populárními stromy. K jejich oblíbenosti přispívá jejich rychlý růst, široké koruny, které tvoří velké stíny a také to, že mají dobrou toleranci k prořezu a jsou odolnější vůči znečištěnému prostředí. Avšak přes všechny výhody mohou mít platany i negativní vlastnosti, například: obsahují hodně pylu na jaře nebo chloupky na nažkách, které mohou znečišťovat životní prostředí nebo vyvolávají u lidí zdravotní problémy (Varela a kol., 1997).

Platanus acerifolia je dřevina nacházející se v Asii, Evropě a ve východní oblasti Středomoří. Tento druh stromu je velmi ceněn jako okrasný a léčivý strom

(Kutbay a Akfirat, 2015). Hojně se vyskytuje v Londýně, kde byl také poprvé objeven roku 1663 jako hybrid platanu východního (*Platanus orientalis*) a platanu západního (*Platanus occidentalis*). Roste v plném slunci nebo lehkém stínu. Upřednostňuje hluboké, bohaté a vlhké půdy (Dineva, 2004). Listy platanu javorolistého bývají laločnaté (viz Obr. 5) a prostřední lalok je většinou více protáhlý než ty boční (Horáček, 2007).



Obr. 5: List platanu javorolistého (Horáček, 2007)

3. Metodika práce

Výzkum probíhal první týden v srpnu roku 2015 v Českých Budějovicích, kdy panovaly velmi vysoké letní teploty s minimem srážek. Vzorky pro výzkum byly připravovány ze dvou druhů stromů, *Platanu acerifolia* a *Tilii cordaty*. Z každého druhu bylo vybráno po třech stromech. Všechny stromy se nacházely na Jiráskově nábřeží v Českých Budějovicích poblíž rušné komunikace a meteorologické stanice. Oba dva druhy rostly podél silnice, v přibližně stejné vzdálenosti od ní. Pro výzkum do této práce byl zjišťován index tolerance znečištěného ovzduší (APTI index). Dále byla měřena fluorescence chlorofylu a obsah fotosyntetických pigmentů.

3.1. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)

Stanovení APTI indexu poskytuje spolehlivou metodu pro zmonitorování citlivých či tolerantních rostlin, kde je vzduch kontaminovaný různými znečišťujícími látkami (Singh a kol., 1991). K zjištění APTI indexu bylo nutné stanovit a změřit dílčí parametry indexu a podle vzorce indexu tolerance znečištěného ovzduší dosadit jednotlivé parametry. Výpočet APTI byl navržen Singh a Rao (1983):

$$APTI = [A (T + P) + R] / 10$$

kde,

A= obsah kyseliny askorbové v listu (mg/g)

T= celkový obsah chlorofylů v listu (mg/g)

P= pH extrakt z listů

R= relativní obsah vody v listu (%)

3.1.1. Stanovení fotosyntetických pigmentů

Z každého stromu bylo sebráno třikrát po deseti listech, to znamená 30 listů z každého stromu a celkem z každého druhu 90 (byly dva druhy). To znamená, že pro jeden strom byly připraveny tři směsné vzorky, vždy z těchto deseti listů. Tyto listy byly

přepřpravovány v termotašce s ledem a byly vlhkým filtračním papírem obaleny. Takto ochráněné listy před rychlou destrukcí byly co nejrychleji transportovány do laboratoře, kde proběhlo už samotné stanovení fotosyntetických pigmentů.

Nejprve pro stanovení fotosyntetických pigmentů bylo nutné korkovrtem vyříznout deset terčků o průměru 0,8 mm z každého listu a připravit směsné vzorky. Jeden terčík pocházel vždy z jednoho listu. Těchto deset terčků bylo zváženo na analytických vahách a jejich váha zaznamenána. Takto byla stanovena čerstvá hmotnost vyříznutých terčků a zároveň i jejich listová plocha. Extrakce fotosyntetických pigmentů byla provedena pomocí 80% acetonu a jejich stanovení spektrofotometricky podle metodiky Lichtenthalera a Wellburna (1983). Měření bylo prováděno na spekrofotometru (UV – 1202, Shimadzu, Japonsko), při vlnových délkách 663 nm, 646 nm a 470 nm.

Fotosyntetické pigmenty byly vypočítány podle těchto rovnic:

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

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

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

(Lichtenthaler a Wellburn, 1983)

3.1.2. Stanovení relativního obsahu vody v listech

Pro zjištění relativního obsahu vody v listech (RWC) byla použita metodika (Singh, 1977), kdy bylo sebráno z každého stromu po třech listech, celkem tedy z každého druhu bylo nasbíráno po devíti listech. Listy byly po nasbíráání urychleně dopraveny (v chladicím boxu a uzavřené v igelitovém sáčku) do laboratoře a ihned označeny a zváženy na analytických vahách. Všechny hodnoty této čerstvé hmotnosti (fresh weight– FW) byly zaznamenány a následně všechny listy ponořeny do vody. Na listy byla pokladena dřívka, aby ponořené listy nevyplavaly. Takto potopené byly ponechány přes celou noc.

Ponořené listy byly druhý den vyjmuty z vody a lehce osušeny filtračním papírem. Oschlé listy byly zváženy a hodnoty zaznamenány k příslušným datům. Tímto vážením

byla zjištěna hmotnost nabobtnalých listů (turgid weight–TW). Následně byly vyrobeny mističky z alobalu a každý list byl do jedné mističky vložen. Listy v mističkách byly vloženy do sušárny a při 70 °C celou noc sušeny. Druhý den byly listy ještě jednu hodinu dosušeny, aby neobsahovaly vlhkost. Po dosušení všech listů byly vyjmuty ze sušárny a i v mističkách dány do exsikátoru na 2 – 3 minuty. Po zchlazení v exsikátoru byly listy zváženy (dry weight–DW).

Metoda stanovení relativního obsahu vody v listech byla popsána Barrs a Weatherly (1962). RWC bylo vypočítáno podle vzorce:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

kde,

FW- čerstvá hmotnost

TW- hmotnost nabobtnalých listů

DW- hmotnost sušiny

3.1.3. Stanovení pH extraktu z listů

Pro zhotovení pH extraktu bylo sebráno z každého stromu 30 listů, z každého druhu tedy po 90 listech. Sebrané listy byly zabaleny do navlhčeného filtračního papíru, dány do termotašky s ledem a ihned dopraveny do laboratoře. Jeden směsný vzorek byl připraven vždy z deseti různých listů z jednoho stromu. Z toho vyplývá, že z každého stromu byly vyhotoveny tři směsné vzorky a tedy z jednoho druhu po devíti směsných vzorcích.

Na jeden vzorek bylo natrháno 0,2 g kousků z deseti listů. Kousky byly třeny ve třecí misce společně s 20 ml destilované vody. Zhotovený extrakt byl centrifugován při 3000 otáčkách/ min po dobu 10 minut. Stanovení pH extraktu bylo prováděno pomocí pH metru (viz *Příloha 8*) typu WTW Multi 340i (Weilheim, SRN), (Agbaire a Esiefarienne, 2009).

3.1.4. Stanovení kyseliny askorbové z listu

Kyselina askorbová byla nejprve stanovována titrační metodou, a to jodometricky (viz *Příloha 7*). Protože titrační metoda nemusí být vždy přesným ukazatelem správných hodnot, a protože je to metoda nespecifická, bylo provedeno přesnější měření kyseliny askorbové ze vzorku metodou vysokoúčinné kapalinové chromatografie *HPLC*.

Příprava extraktu

Pro stanovení kyseliny askorbové bylo odebráno u platanu z každého stromu po deseti listech, celkem tedy ze všech tří platanů po 30 listech. U lípy bylo z každého stromu odebráno 15 listů, dohromady bylo odebráno 45 listů u lípy. Všechny listy byly uloženy do termotašky s ledem a ihned transportovány do laboratoře, kde byly analyzovány směsné vzorky. Jeden směsný vzorek byl připravován vždy z listů všech tří stromů v rámci jednoho druhu. Pro jeden směsný vzorek bylo odebráno 2,5 g rostlinného materiálu.

Rostlinný materiál byl rozetřen v třecí misce se lžičkou mořského písku a 50 ml extrakčního činidla (směs 0,02M kyseliny šťavelové a 0,5mM EDTA) (Spínola a kol., 2012). Připravená směs byla odstředěna při 3500 otáčkách po dobu 10 minut v odstředivce. Poté byl supernatant převeden do 100 ml odměrné baňky. Sediment byl resuspendován pomocí 50 ml extrakčního činidla a opět odstředěn za stejných podmínek. Supernatanty byly spojeny a doplněny extrakčním činidlem do 100 ml v odměrné baňce (viz *Příloha 6*) a uchovány v lednici pro nezbytně dlouhou dobu před stanovením obsahu askorbové kyseliny.

3.1.4.1. Jodometrie

Do titrační baňky bylo napipetováno 50 ml destilované vody a 0,5 ml 1% indikátoru škrobu. Takto byl připraven slepý roztok. Při titraci extraktů bylo odpipetováno 10 ml extraktu, 50 ml destilované vody a 0,5 ml 1% škrobového indikátoru. Titračním činidlem byl 0,032M jodový roztok ve všech případech. Titrovalo se pomalu do trvalého modrého zbarvení. Každý směsný vzorek byl titrován třikrát.

Všechny hodnoty spotřeby titračního činidla byly zaznamenány a použity pro výpočet podle vzorce (Křížek a Jírovcová, 2010):

$$m(\text{AA}) = V(I_2)/1000 * c(I_2) * M(\text{AA}) * 1000/m * x$$

AA (ascorbic acid) – kyselina askorbová

m – obsah kyseliny askorbové (g/kg vzorku)

V(I₂) – objem titračního činidla spotřebovaného na titraci (ml)

c(I₂) – přesná koncentrace titračního činidla (c = 0,032 M)

M (AA) – molární hmotnost kyseliny askorbové (179,13 g/mol)

m – navážka vzorku (g)

x – ředění vzorku

3.1.4.2. Vysokoúčinná kapalinová chromatografie *HPLC*

Pro stanovení kyseliny askorbové metodou *HPLC* byly použity tři směsné vzorky, které byly připraveny extrakcí stejným postupem jako pro titraci. Všechny extrakty byly uloženy v lednici při teplotě 4 °C, a co nejdříve byly proměřeny. Byly odpipetovány 2 ml extraktu a byly přefiltrovány přes filtr ze skleněných vláken (Z1). Tento přefiltrovaný vzorek byl použit pro metodu *HPLC*. Pro chromatografickou separaci byl použit kapalinový chromatogram *HPLC/UPLC* Agilent 1200 s kolonou Agilent SB C-8, 4,6 x 150 mm a s 5 µm zrnitostí (Technologies, USA). Mobilní fází zde byla 0,02M kyselina šťavelová. Doba analýzy byla 12 minut a prováděla se při teplotě 25 °C s průtokem 1 ml za minutu. Absorbance byla odečítána při vlnové délce 245 nm. Získané výsledky z *HPLC* byly vyhodnoceny pomocí kalibrační závislosti a byly použity pro výpočet APTI.

3.2. Měření fluorescence

Pro měření fluorescence byly od každého druhu vybrány tři stromy, ze kterých byly zvoleny vždy čtyři listy, které byly použity pro měření fluorescence chlorofylu (viz *Příloha 3* a *4*). To znamená, že od každého druhu bylo změřeno celkem 12 listů (z obou druhů celkem 24 listů). Vždy, když byla měřena fluorescence chlorofylu, byly zaznamenány hodnoty (NO₂, PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂, O₃ – viz *Příloha 2*) z nedaleké meteorologické stanice, které jsou dostupné online (ČHMÚ). Měření

proběhlo za slunečného letního dne, první týden v srpnu od 11:00 – 14:00 hodin. Fluorescence byla zjišťována kapesním fluormetrem (viz *Příloha 5*) Fluorpen (PSI, CZ).

Listy byly nejprve zatemněny na 15 minut černým papírem připevněným na listech kolíky na prádlo. Po 15 minutách byl černý papír z listu odstraněn a na list byl nasazen leaf clip fluorpeny, kdy bylo potřeba přibližně 1 minutu počkat, aby si list zvykl. Poté bylo provedeno měření hodnoty QY. Všechny nameřené hodnoty byly zaznamenány.

Hodnotu QY lze také vyjádřit jako F_v/F_m . Tento poměr je získán pomocí vzorku adaptovaného na tmu. Jestliže je hodnota QY (F_v/F_m) nižší, je pravděpodobné, že rostlina podléhá určitému stresu (Genty a kol., 1989).

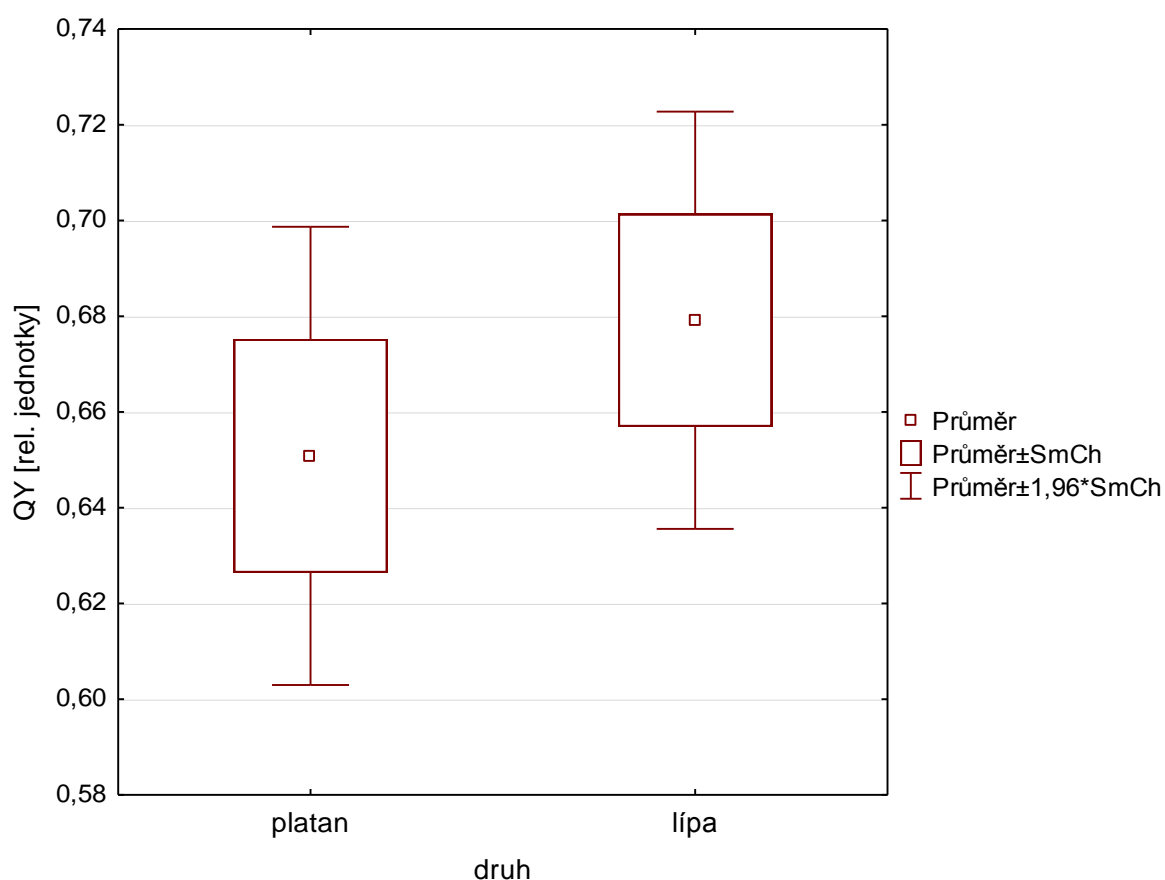
3.3. Analýza dat

V této práci byly statisticky porovnávány jednotlivé parametry APTI indexu (*Air pollution tolerance index*) a naměřené hodnoty fluorescence chlorofylu. Získaná data byla statisticky vyhodnocena v programu *STATISTICA 12.0*. Všechna data byla porovnána Studentovým T – testem pro nezávislé vzorky na hladině významnosti 0,05 a vložena do grafů a tabulek. Výsledné porovnání hodnot indexu APTI u lípy a platanu bylo provedeno v programu Microsoft Office Excel 2007 pomocí sloupcového grafu.

4. Výsledky

4.1. Maximální fotochemická efektivita fotosystému II

Obr. 6 znázorňuje průměrné hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II (QY) naměřené v srpnu 2015 u platanu javorolistého a lípy srdčité. Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II u lípy a platanu se statisticky významně nelišily (viz Tab. I).



Obr. 6: Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II (QY) v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

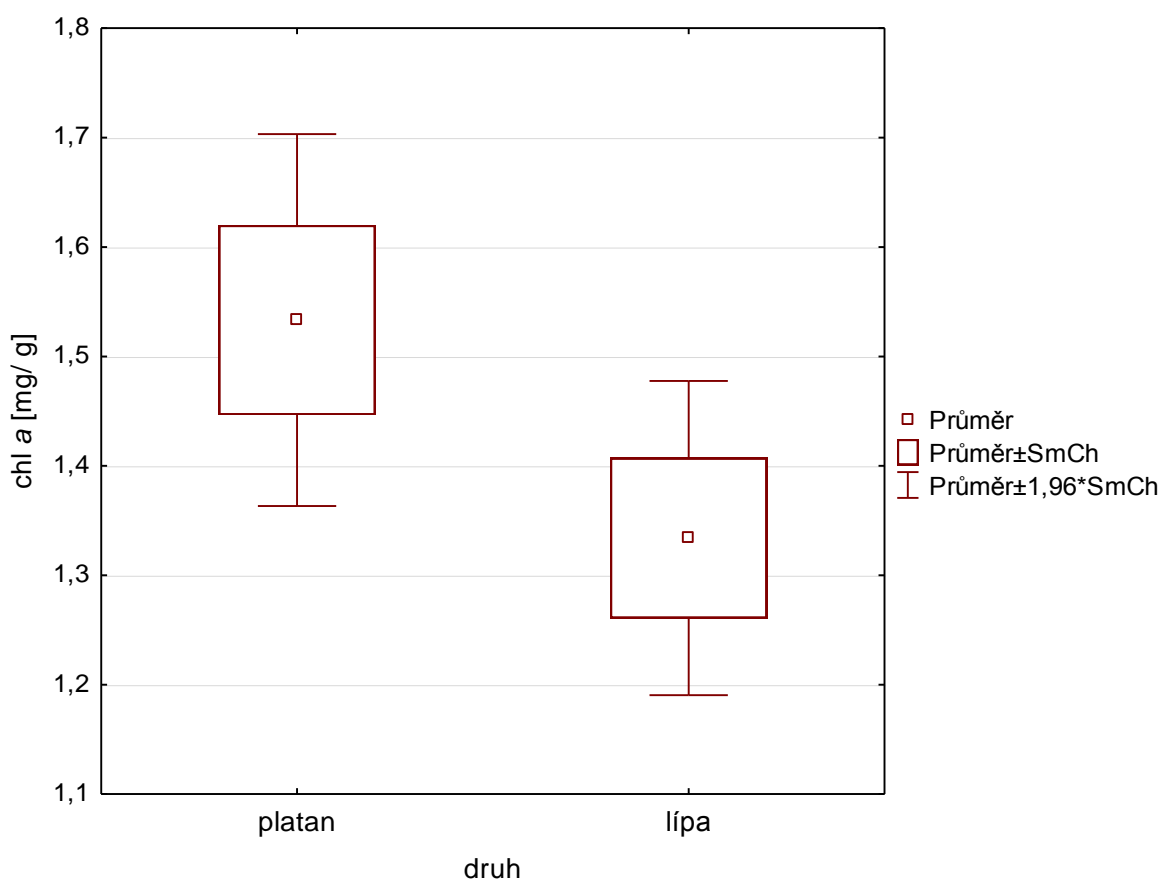
Tab. I: Statistické vyhodnocení hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
QY	-0,857884	0,4002065	1,205233

4.2. Obsah fotosyntetických pigmentů

4.2.1. Chlorofyl *a*

Obsah chlorofylu *a* se u obou druhů stromů výrazně neliší (Obr. 7). Průměrné hodnoty chlorofylu *a* se u lípy srdčité pohybovaly mezi hodnotami 1,3 – 1,4 mg/g. U platanu javorolistého se průměrné hodnoty pohybovaly mezi 1,5 – 1,6 mg/g. Obsah chlorofylu *a* se u lípy srdčité a platanu javorolistého významně statisticky neliší (viz Tab. II).



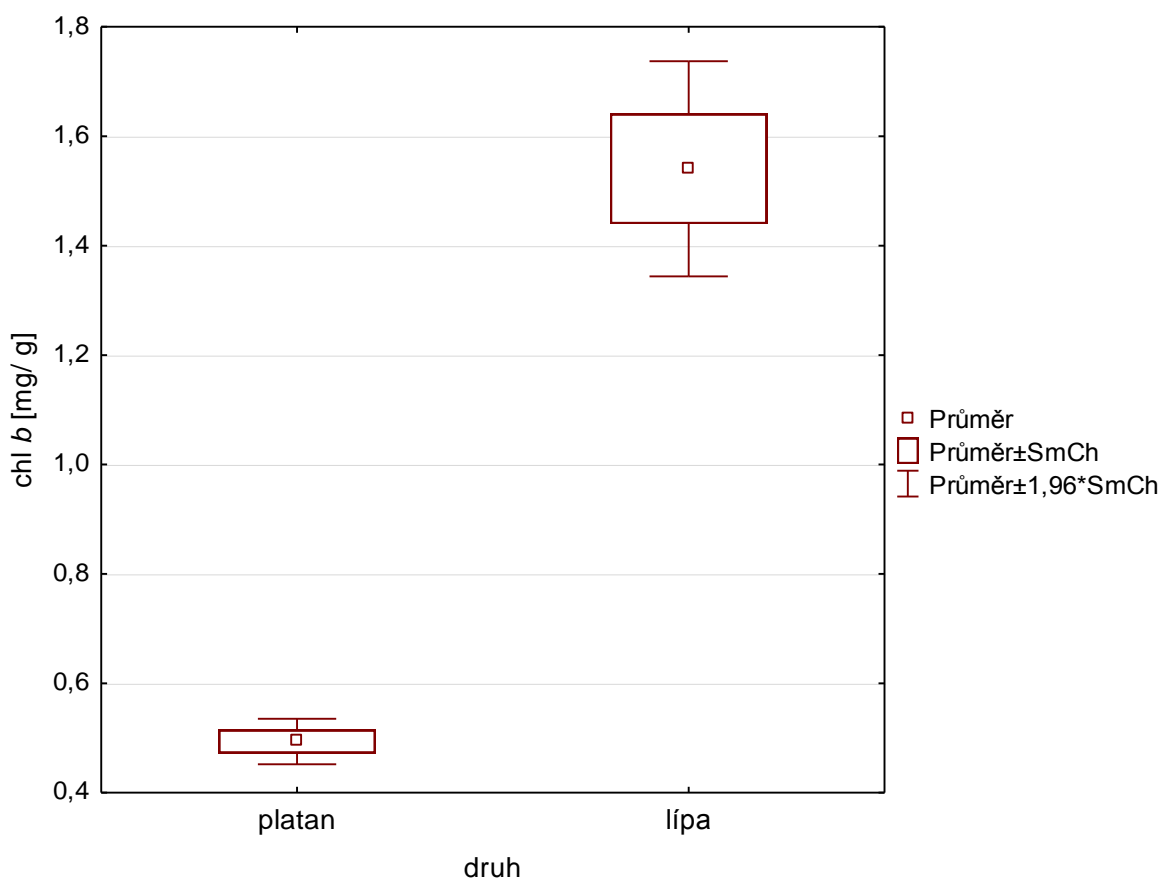
Obr. 7: Hodnoty chlorofylu *a* v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. II: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *a* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a</i>	1,754873	0,098407	1,401345

4.2.2. Chlorofyl *b*

Obsah chlorofylu *b* se u platanu javorolistého a lípy srdčité velmi lišil. Platan vykazoval průměrnou hodnotu chlorofylu *b* mezi 0,4 – 0,6 mg/g a lípa srdčitá mezi 1,4 – 1,6 mg/g. Z Obr. 8 je patrný velký rozdíl mezi oběma druhy stromů. Tabulka III znázorňuje, že obsah chlorofylu *b* u lípy a platanu se lišil významným statistickým rozdílem.



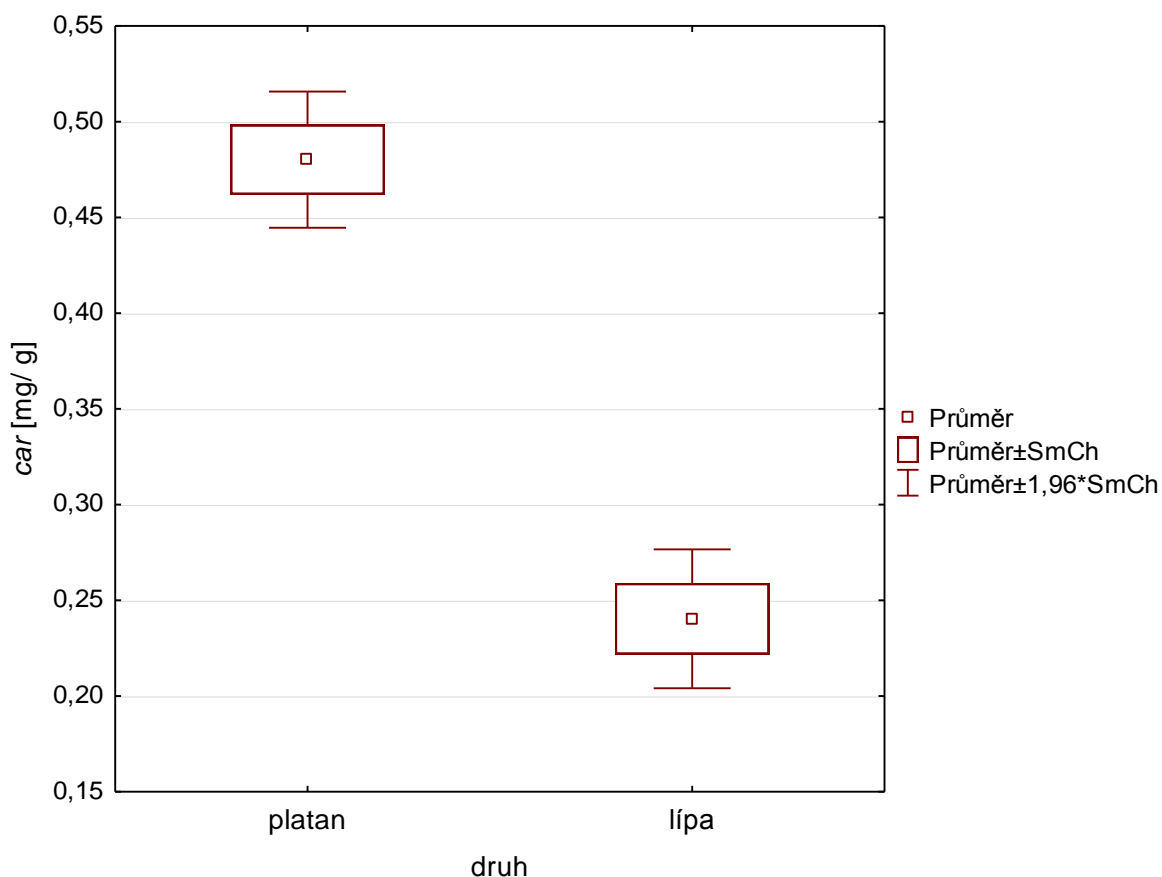
Obr. 8: Hodnoty chlorofylu *b* v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n=9$, hladina významnosti 0,05 ($p<0,05$)

Tab. III: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>b</i>	-10,205794	0,00000002	22,342180

4.2.3. Karotenoidy

Obsah karotenoidů se u platanu javorolistého a lípy srdčité lišil velmi významně. U platanu byl zjištěn vyšší obsah karotenoidů, a to v rozmezí 0,45 – 0,50 mg/g, zatímco u lípy pouze přibližně 0,25 mg/g (Obr. 9). Rozdíl v obsahu karotenoidů mezi oběma druhy stromů byl statisticky významný (viz Tab. IV).



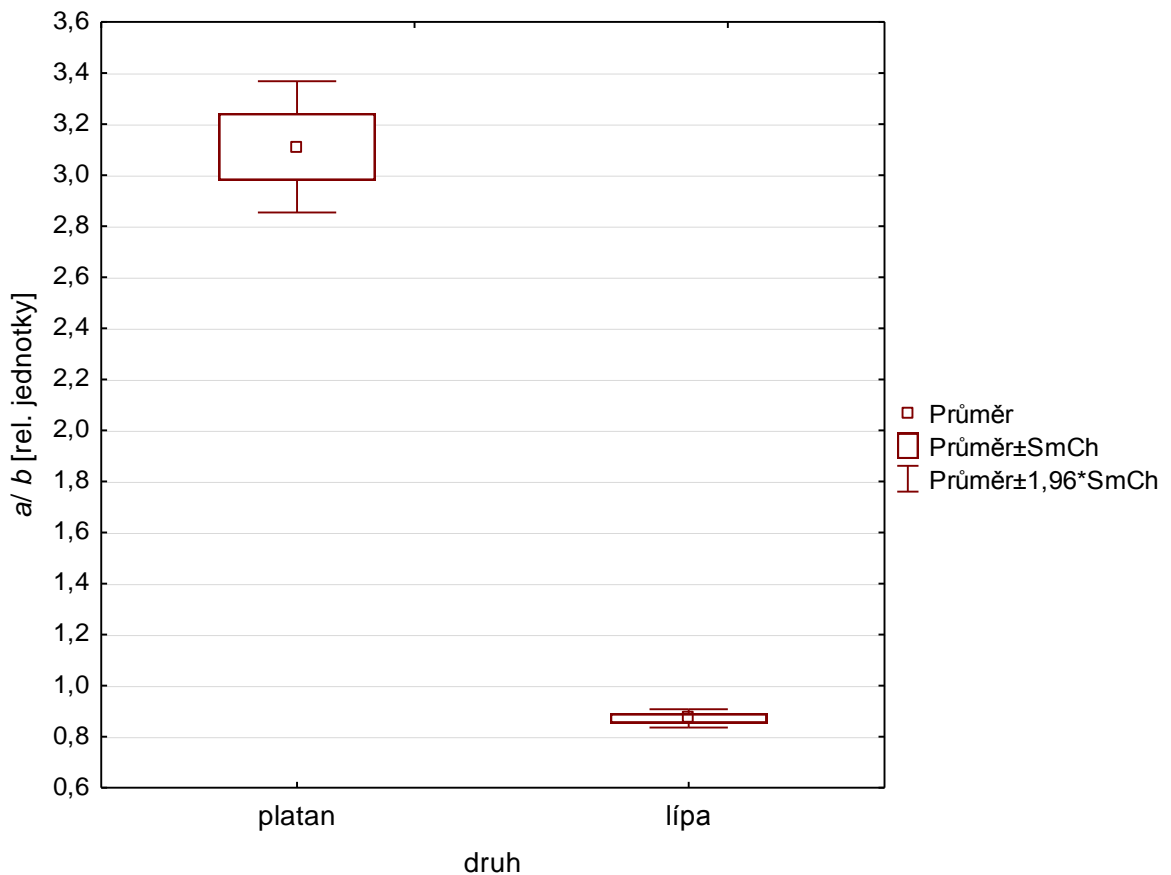
Obr. 9: Hodnoty karotenoidů v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n= 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. IV: Statistické vyhodnocení hodnot karotenoidů pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
karotenoidy	9,251417	0,00000008	1,040033

4.2.4. Poměr chlorofylu *a/ b*

Poměr chlorofylu *a/ b* byl u platanu a lípy velmi rozdílný. Lípa srdčitá měla nízké průměrné hodnoty (0,8 – 1,0). Naopak platan javorolistý měl průměrné hodnoty mezi 3,0 – 3,2 (Obr. 10). Poměr chlorofylu *a/ b* u lípy a platanu se velmi významně statisticky lišil (viz Tab. V).



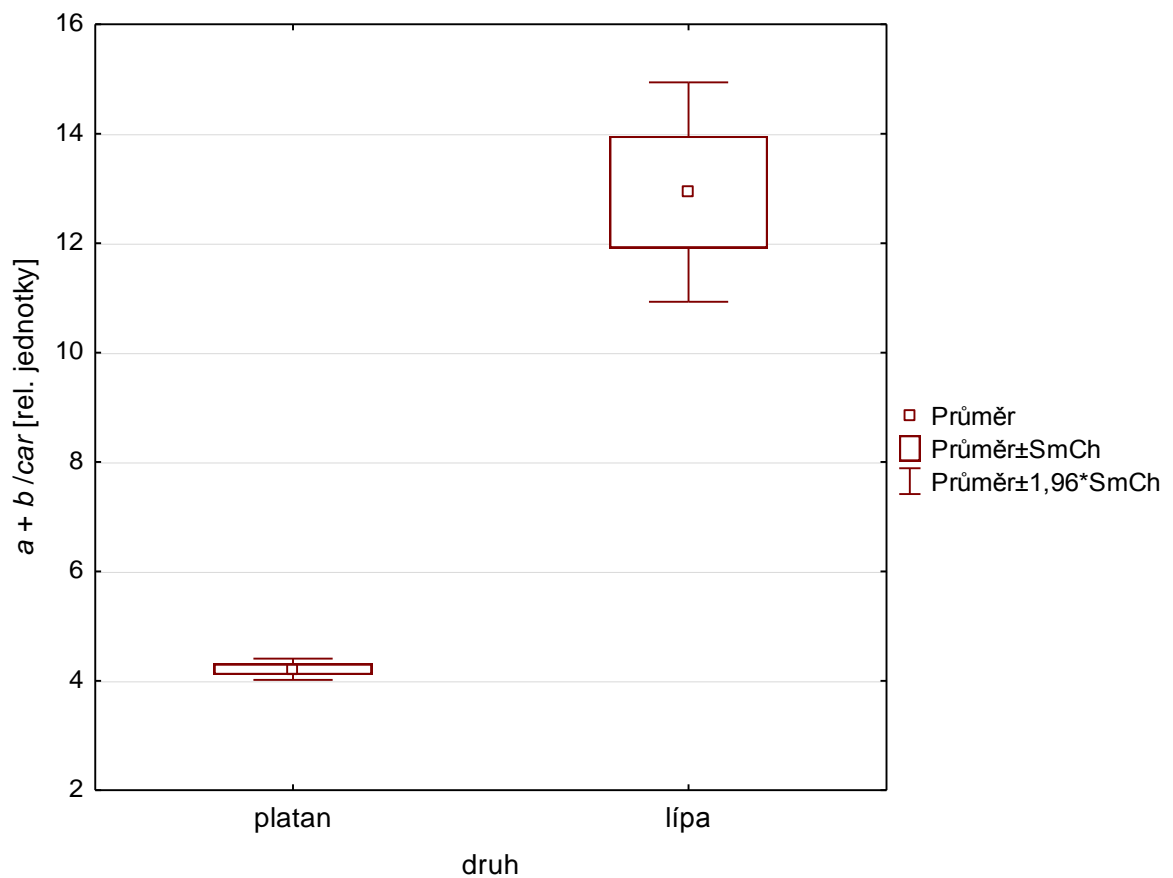
Obr. 10: Hodnoty poměru chlorofylu *a/ b* v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. V: Statistické vyhodnocení hodnot poměru chlorofylu *a/ b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a/ b</i>	16,910603	0,00000000001	51,161917

4.2.5. Poměr chlorofylu $a + b / car$

Poměr chlorofylu $a + b / car$ se u platanu a lípy velmi významně odlišoval. Platan javorolistý měl průměrné hodnoty tohoto poměru kolem 4 a lípa srdčitá mezi 12 – 14. Z Obr. 11 vyplývá tento významný rozdíl mezi těmito druhy. Z tabulky VI vyplývá, že rozdíl mezi lípou a platanem se svým poměrem chlorofylu $a + b / car$ významně statisticky lišil.



Obr. 11: Hodnoty chlorofylu $a + b / car$ v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

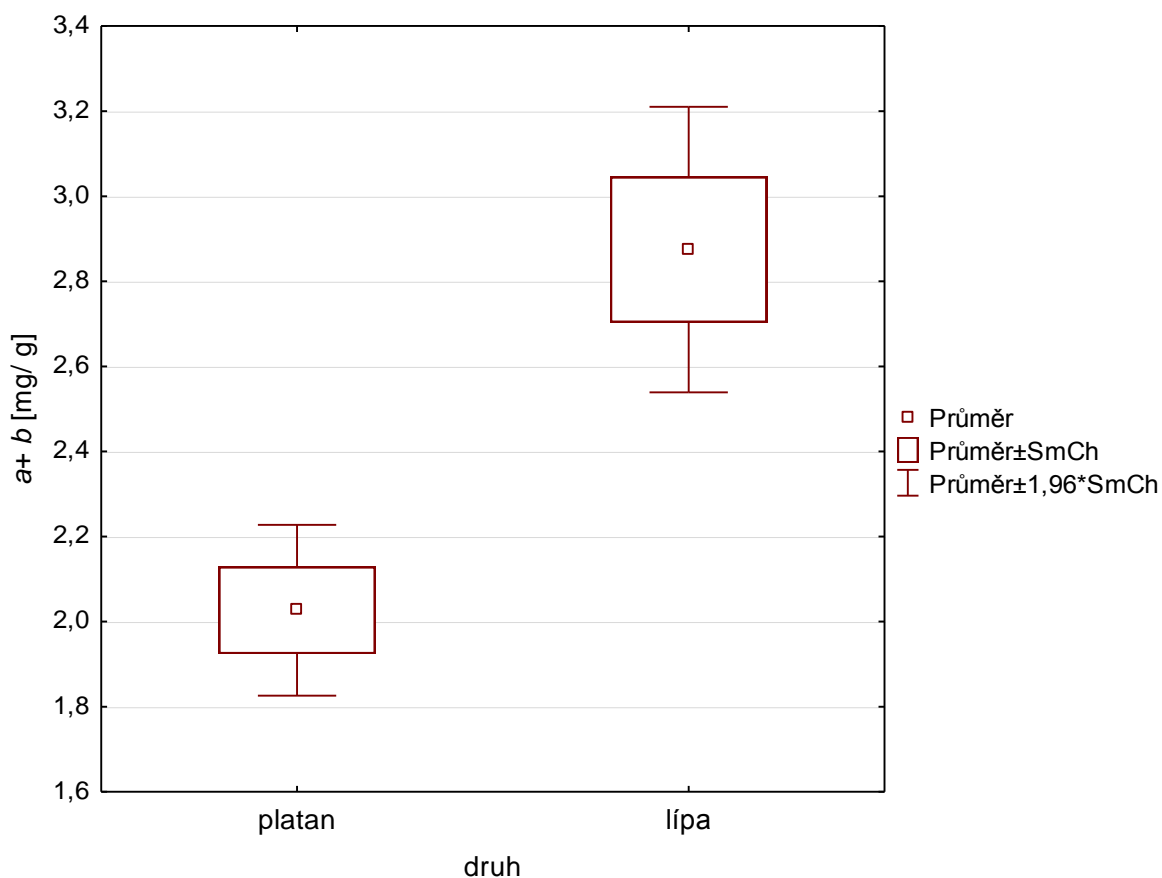
Tab. VI: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu $a + b / car$ pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl $a + b / car$	-8,485384	0,00000026	107,543306

4.3. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI)

4.3.1. Obsah chlorofylu *a* + *b*

Průměrné hodnoty obsahu chlorofylu *a* + *b* byly mezi lípou a platanem rozdílné (Obr. 12). Lípa srdčitá vykazovala vyšší průměrné hodnoty (2,8 – 3,0 mg/g) než platan javorolistý (2,0 – 2,1 mg/g). Obsah chlorofylu *a* + *b* se u lípy a platanu lišil významným statistickým rozdílem (viz Tab. VII).



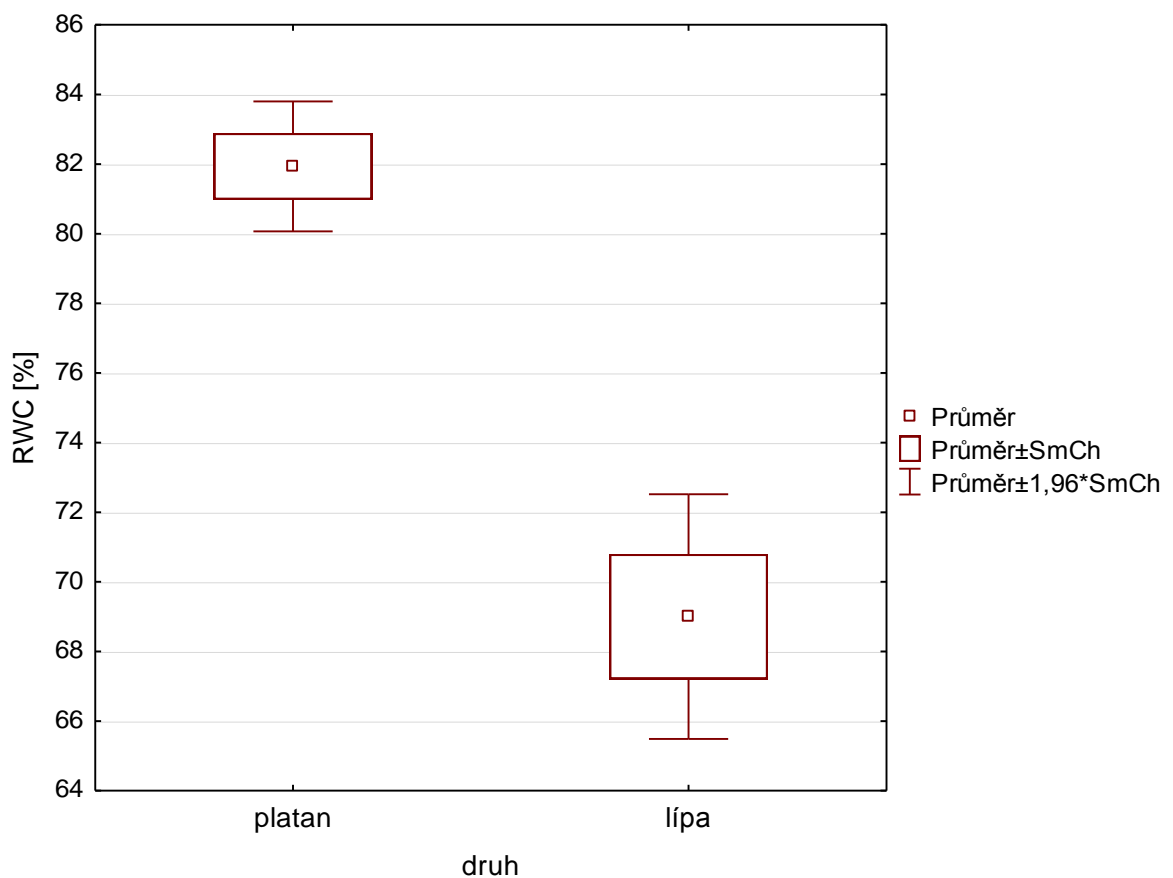
Obr. 12: Hodnoty chlorofylu *a* + *b* v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. VII: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *a*+*b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a</i> + <i>b</i>	-4,247502	0,000614	2,794255

4.3.2. Relativní obsah vody (RWC)

Lípa srdčitá měla průměrné hodnoty relativního obsahu vody v srpnu 2015 nižší než platan javorolistý. Lípa měla průměrné hodnoty mezi 68 – 70 % a platan průměr kolem hodnoty 82 %. Lípa a platan se tedy mezi sebou svými hodnotami významně lišily (Obr. 13). Relativní obsah vody v listech se mezi lípou a platanem významně statisticky lišil (viz Tab. VIII).



Obr. 13: Hodnoty relativního obsahu vody v listech v srpnu u platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n= 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

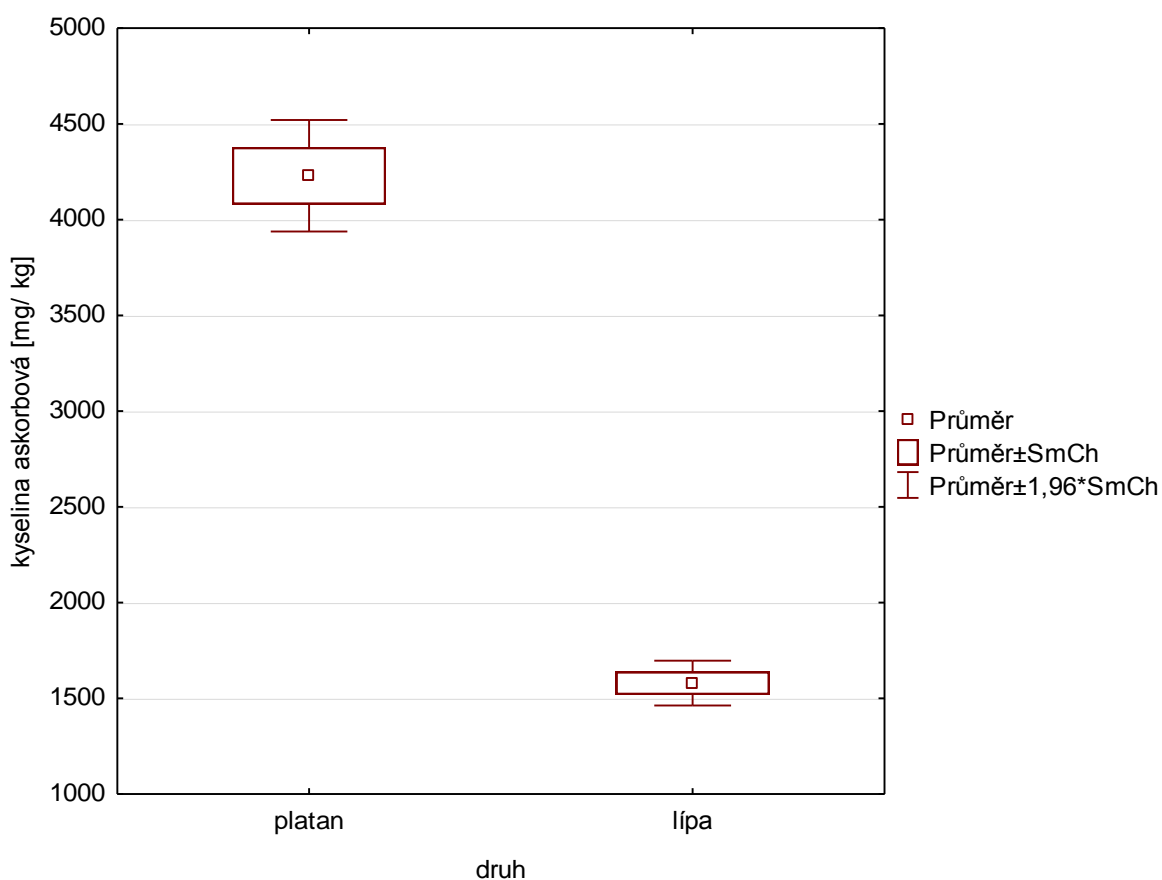
Tab. VIII: Statistické vyhodnocení hodnot relativního obsahu vody v listech pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
RWC	6,368647	0,000009	3,546175

4.3.3. Obsah kyseliny askorbové

4.3.3.1. Obsah kyseliny askorbové stanovený pomocí jodometrie

Obsah kyseliny askorbové v listech u platanu a lípy se velmi významně lišil (Obr. 14). Vyšší průměrné hodnoty byly zjištěny u platanu javorolistého (4 000 – 4 500 mg/kg) oproti lípě srdčité, která vykazovala nižší průměrné hodnoty (1 500 – 2 000 mg/kg). Obsah kyseliny askorbové v listech, zjišťovaný jodometricky, se mezi lípou a platanem významně statisticky lišil (viz Tab. IX).



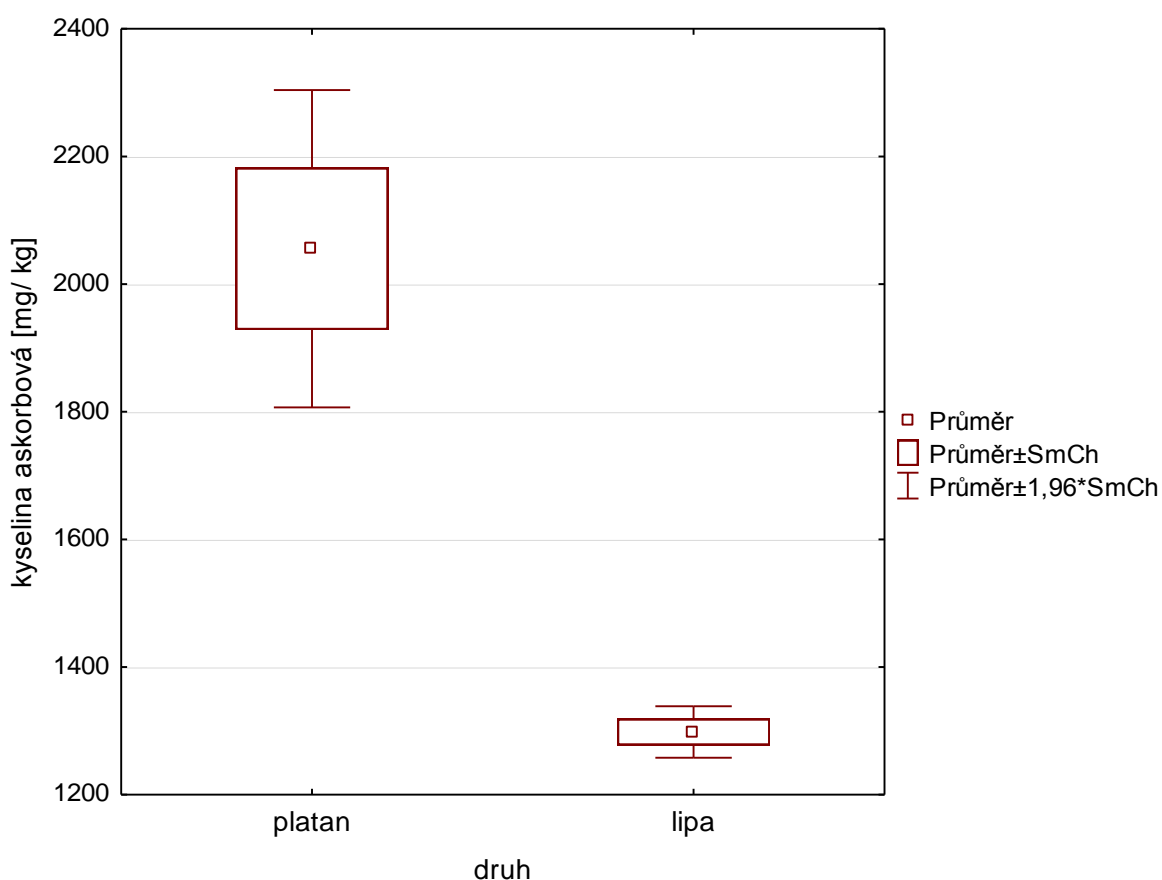
Obr. 14: Hodnoty kyseliny askorbové v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n= 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. IX: Statistické vyhodnocení hodnot kyseliny askorbové pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
kyselina askorbová	16,548223	0,000000000017	6,181500

4.3.3.2. Obsah kyseliny askorbové stanovený pomocí HPLC

Průměrné hodnoty obsahu kyseliny askorbové u lípy srdčité a platanu javorolistého se mezi sebou významně lišily (Obr. 15). Platan měl průměrné hodnoty obsahu kyseliny askorbové mezi 2 000 – 2 100 mg/kg. Lípa měla průměrné hodnoty mezi 1 200 – 1 400 mg/kg. Tabulka X znázorňuje statistické charakteristiky porovnání v obsahu kyseliny askorbové v listech u lípy a platanu.



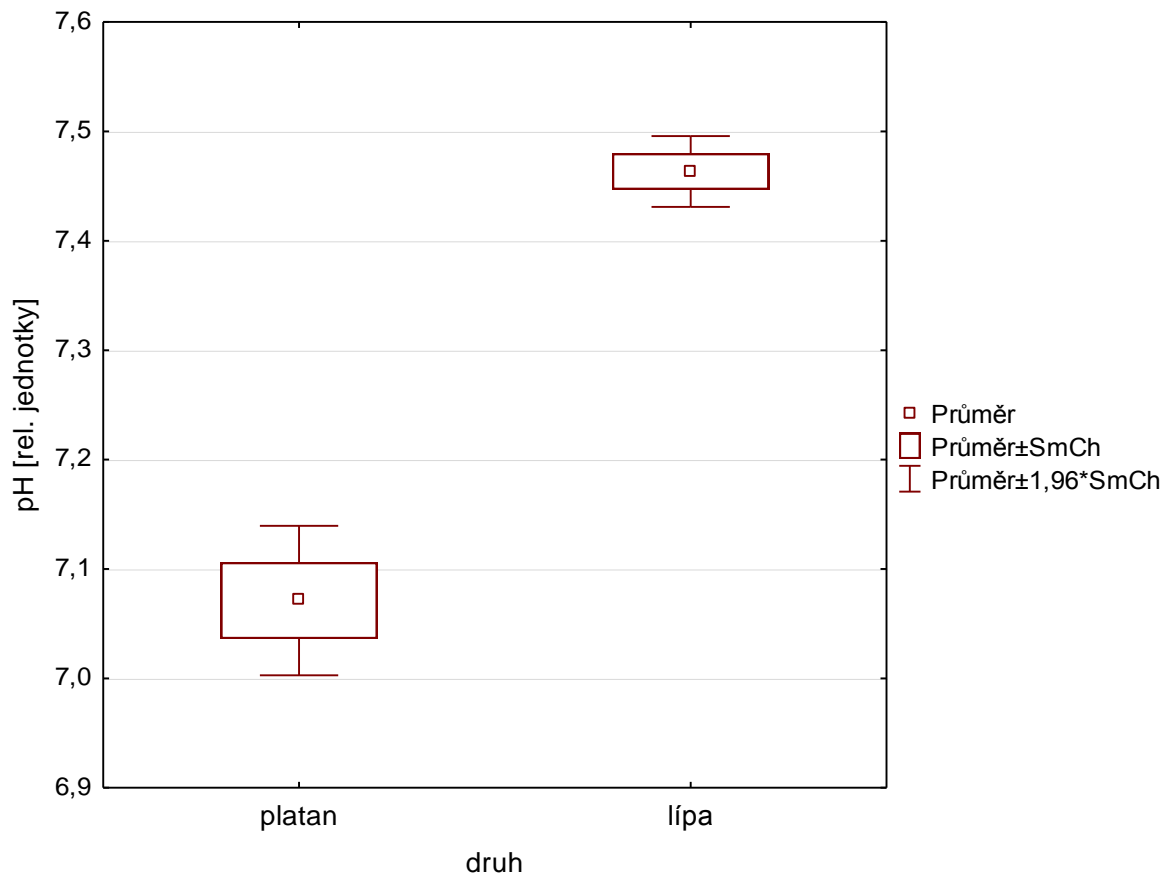
Obr. 15: Hodnoty kyseliny askorbové v srpnu u listů platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n= 3, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. X: Statistické vyhodnocení hodnot kyseliny askorbové pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
kyselina askorbová	5,893132	0,004146	37,921651

4.3.4. pH extraktu z listů

Průměrné hodnoty pH extraktu z listů se u lípy srdčité a platanu javorolistého odlišovaly. Platan vykazoval nižší průměrné hodnoty pH než lípa (Obr. 16). Rozdíl hodnot pH se u lípy srdčité a platanu javorolistého projevil jako statisticky významně rozdílný (viz Tab. XI).

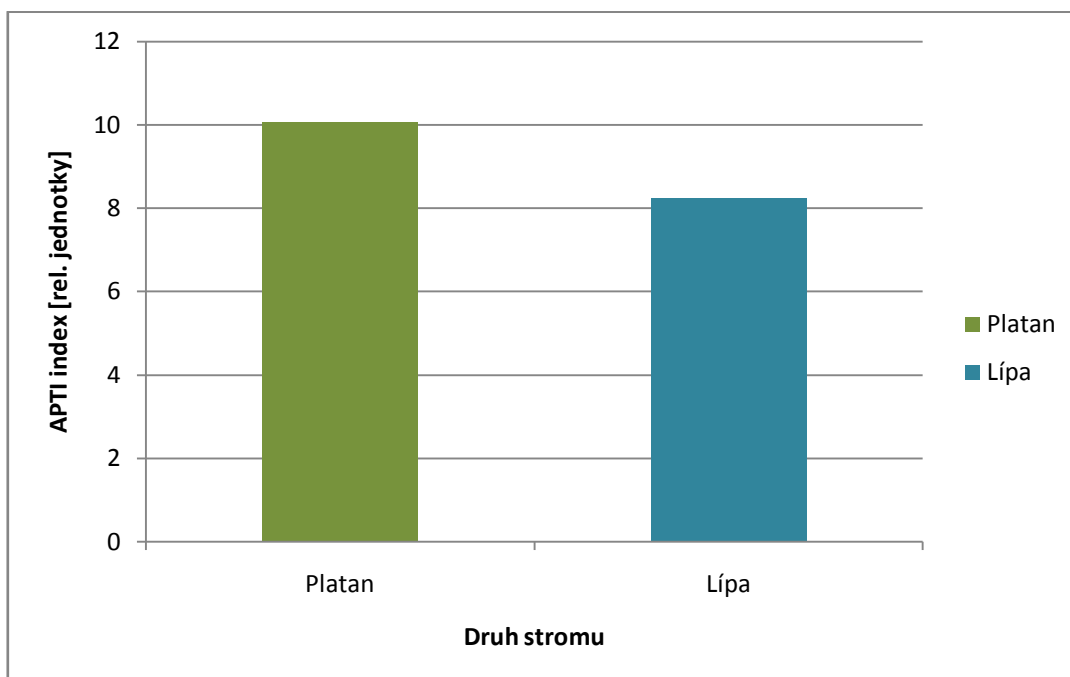


Obr. 16: Hodnoty pH extraktu z listů v srpnu u platanu javorolistého a lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n= 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XI: Statistické vyhodnocení hodnot pH extraktu z listů pomocí t- testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
pH	-10,170124	0,00000002	4,463719

4.4. Porovnání lípy srdčité a platanu javorolistého podle výsledků APTI indexu



Obr. 17: Porovnání výsledných hodnot APTI indexu mezi lípou srdčitou a platanem javorolistým

Z Obr. 17 je patrný rozdíl mezi výslednými hodnotami indexu APTI, které byly stanoveny ze čtyř parametrů, které byly zjišťovány a měřeny u dvou druhů stromů, a to lípy srdčité a platanu javorolistého. Z obrázku vyplývá, že platan měl vyšší hodnotu APTI indexu (10,07) než lípa (8,24).

Tab. XII: Průměrné hodnoty látek znečišťujících ovzduší naměřené 4. 8. 2015. V den měření byla zaznamenána i průměrná venkovní teplota

	SO ₂ (μg/m ³)		NO ₂ (μg/m ³)	O ₃ (μg/m ³)		PM ₁₀ (μg/m ³)		PM _{2,5} (μg/m ³)	teplota °C
	1h	24h	1h	1h	8h	1h	24h	1h	
srpen	5,00	3,25	6,33	104,23	61,60	20,00	12,50	17,25	30,00

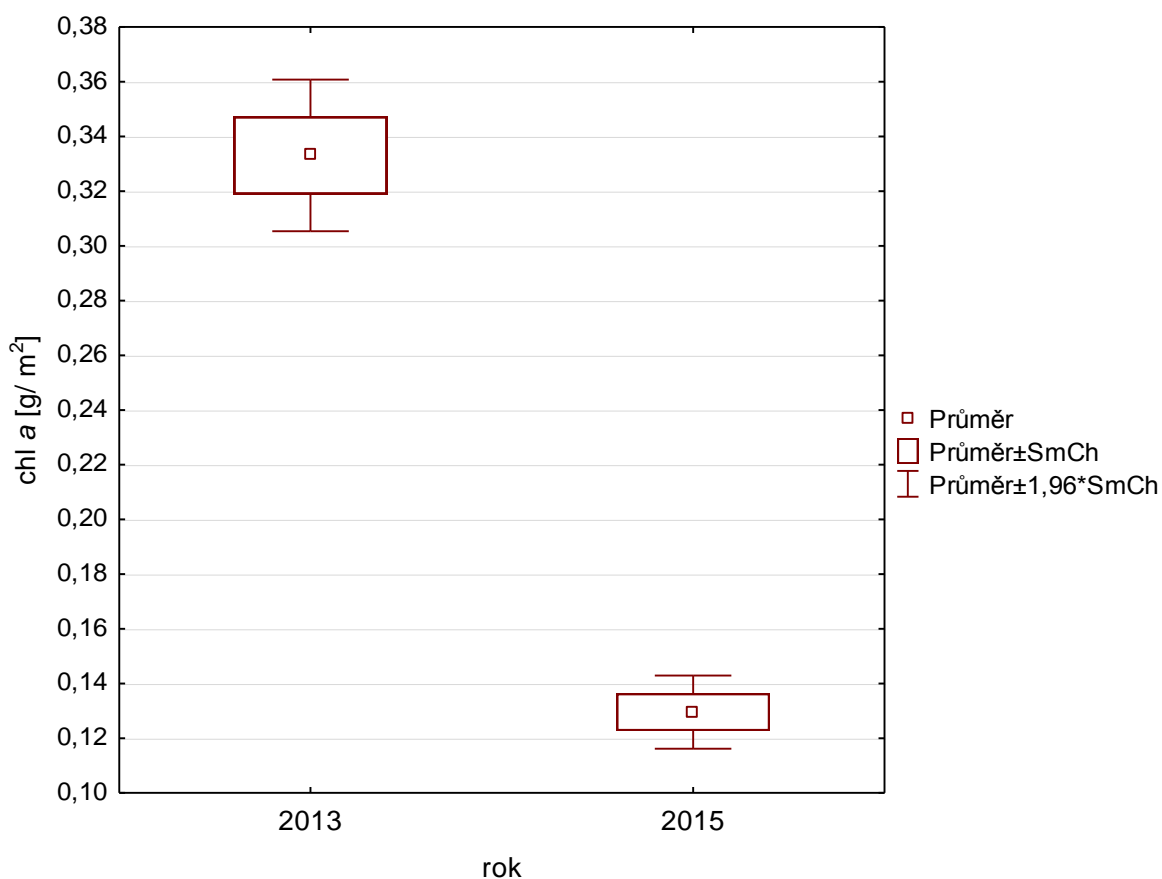
V srpnu, kdy proběhlo měření fluorescence, byly z meteorologické stanice zaznamenány online hodnoty ovzduší (SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ a PM_{2,5}), které byly následně zpracovány do tabulky (Tab. XII). V době měření fluorescence, které probíhalo od 10:00 do 14:00 hodin, byly zjišťovány hodnoty ovzduší a také byla zaznamenána venkovní teplota, jejíž hodnoty se pohybovaly v rozmezí 27,5 – 31,5 stupňů. V tabulce je uvedena průměrná hodnota teplot, které panovaly v době měření.

4.5. Porovnání obsahu fotosyntetických pigmentů v listech a hodnot fluorescence naměřených v roce 2013 s rokem 2015 u lípy srdčité a platanu javorolistého

4.5.1. Lípa srdčitá (*Tilia cordata*)

4.5.1.1. Obsah fotosyntetických pigmentů

Hodnoty obsahu chlorofylu *a* u lípy se v roce 2013 a 2015 od sebe poměrně lišily (Obr. 18). Mezi roky byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XIII). V roce 2013 byla průměrná hodnota chlorofylu *a* vyšší než v roce 2015.

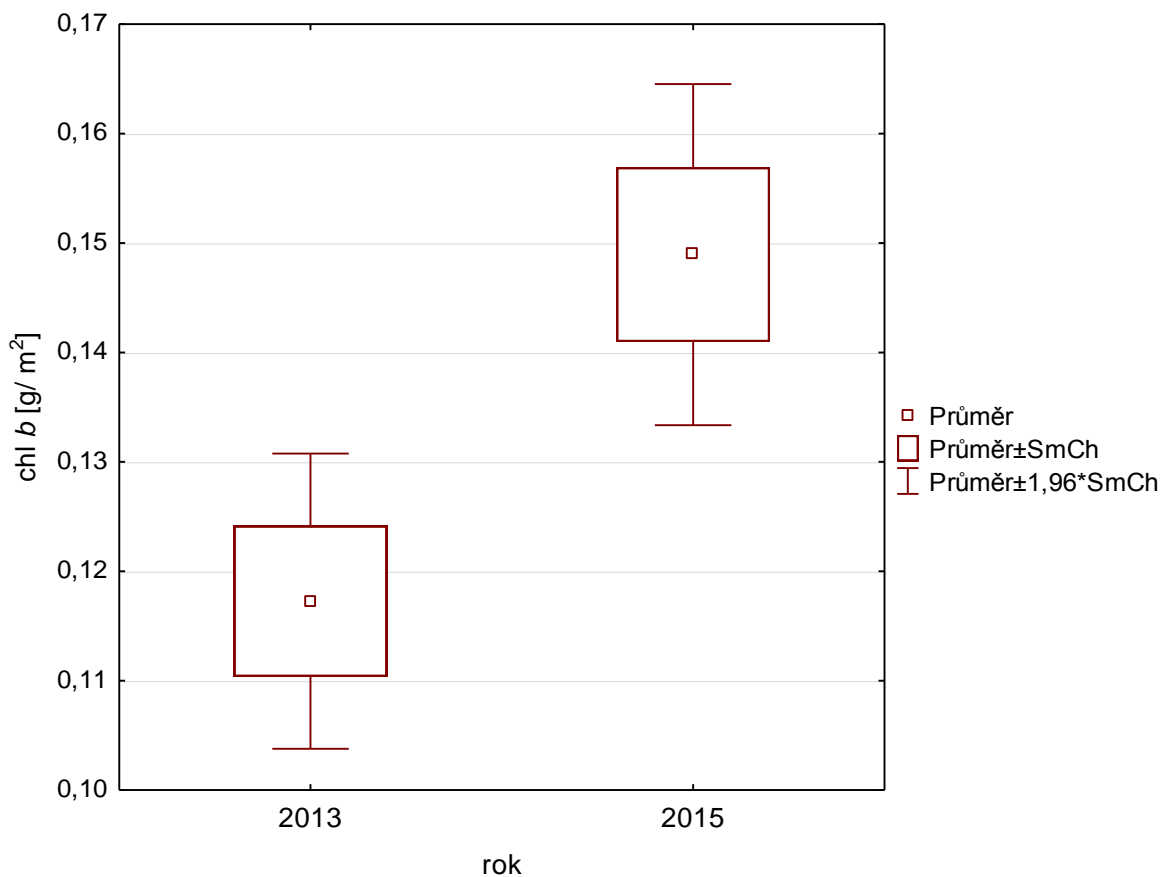


Obr. 18: Hodnoty chlorofylu *a* v srpnu u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XIII: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *a* pomocí t- testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a</i>	12,959324	0,0000000006	4,300718

Hodnoty obsahu chlorofylu *b* u lípy se v roce 2013 a 2015 mezi sebou lišily (Obr. 19). V roce 2015 byla průměrná hodnota chlorofylu *b* vyšší než v roce 2013. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XIV).

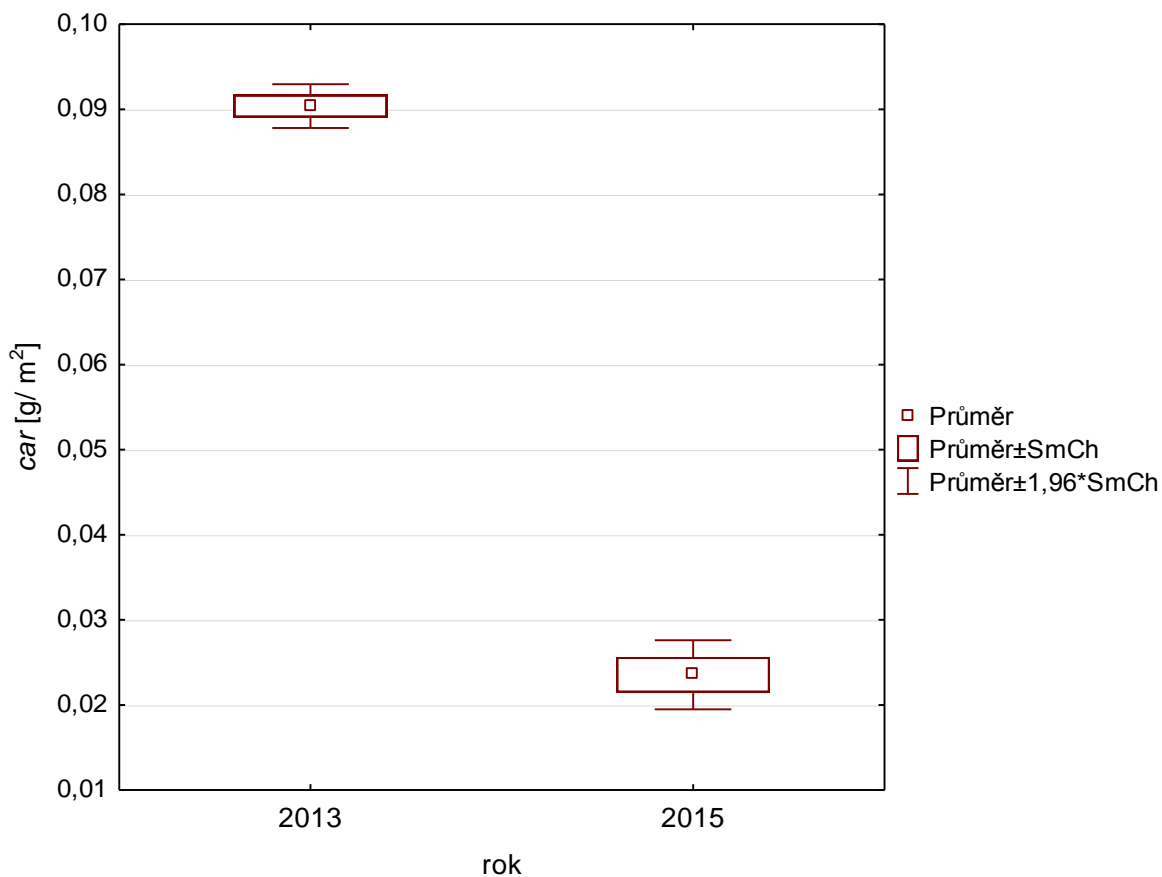


Obr. 19: Hodnoty chlorofylu *b* v srpnu u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XIV: Statistické vyhodnocení hodnot *b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>b</i>	-3,009985	0,008305	1,335104

Obsah karotenoidů byl u lípy v letech 2013 a 2015 rozdílný (Obr. 20). V roce 2013 byla průměrná hodnota karotenoidů vyšší než v roce 2015. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XV).

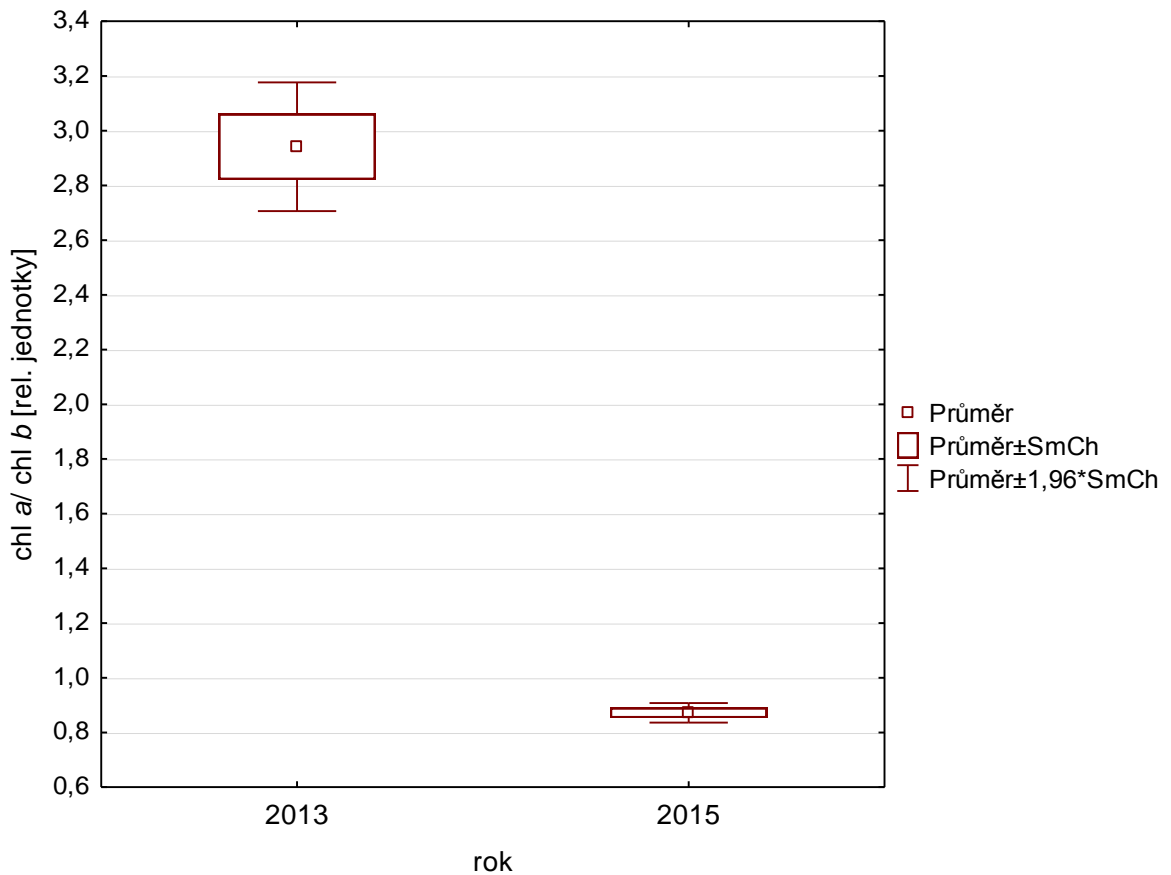


Obr. 20: Hodnoty karotenoidů v srpnu (2013 a 2015) u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XV: Statistické vyhodnocení hodnot karotenoidů pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
karotenoidy	27,233626	0,0000000000000001	2,494496

Hodnoty obsahu poměru chlorofylu *a/ b* se u lípy v roce 2013 a 2015 mezi sebou lišily (Obr. 21). V roce 2015 byla průměrná hodnota poměru chlorofyl *a/ b* nižší než v roce 2013. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XVI).

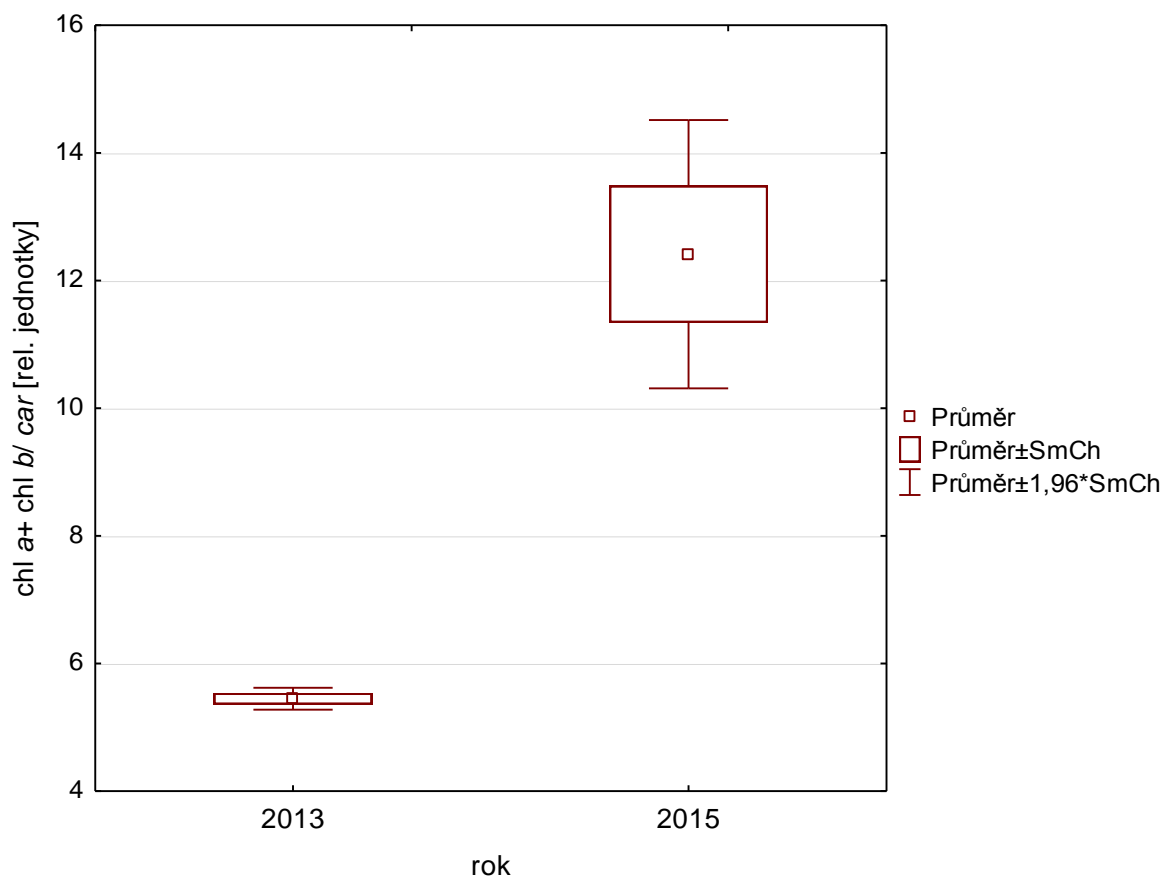


Obr. 21: Hodnoty poměru chlorofylu *a/ b* v srpnu (2013 a 2015) u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XVI: Statistické vyhodnocení hodnot poměru chlorofylu *a/ b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a/ b</i>	17,050666	0,000000000011	42,843012

Hodnoty koeficientu $a + b / car$ u lípy se v roce 2013 a 2015 od sebe lišily (Obr. 22). V roce 2015 byla průměrná hodnota chlorofylu $a + b / car$ vyšší než v roce 2013. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XVII).

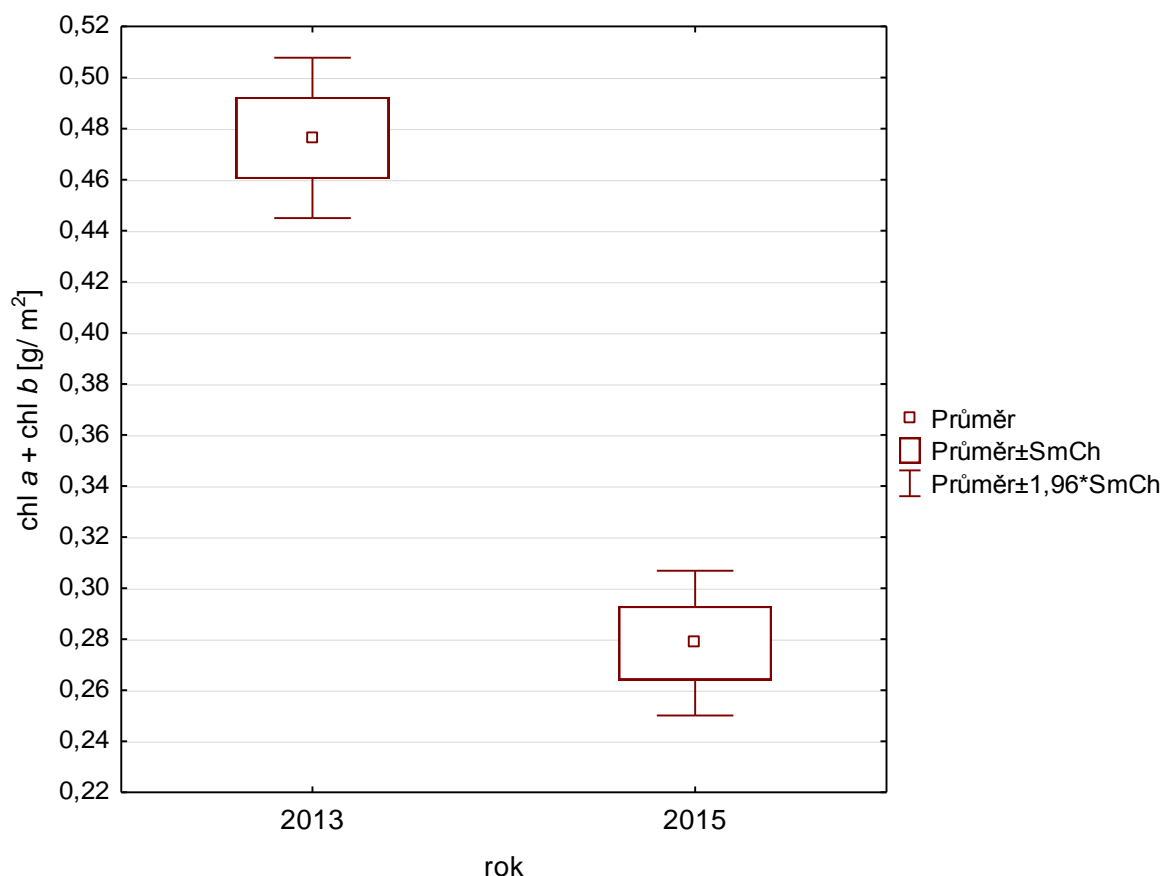


Obr. 22: Hodnoty chlorofylu $a + b / car$ v srpnu (2013 a 2015) u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XVII: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu $a + b / car$ pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl $a + b / car$	-6,473084	0,000008	148,715381

Hodnoty celkového obsahu chlorofylu ($a + b$) se u lípy v roce 2013 a 2015 od sebe lišily (Obr. 23). V roce 2015 byla průměrná hodnota obsahu chlorofylu ($a + b$) nižší než v roce 2013. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XVIII).



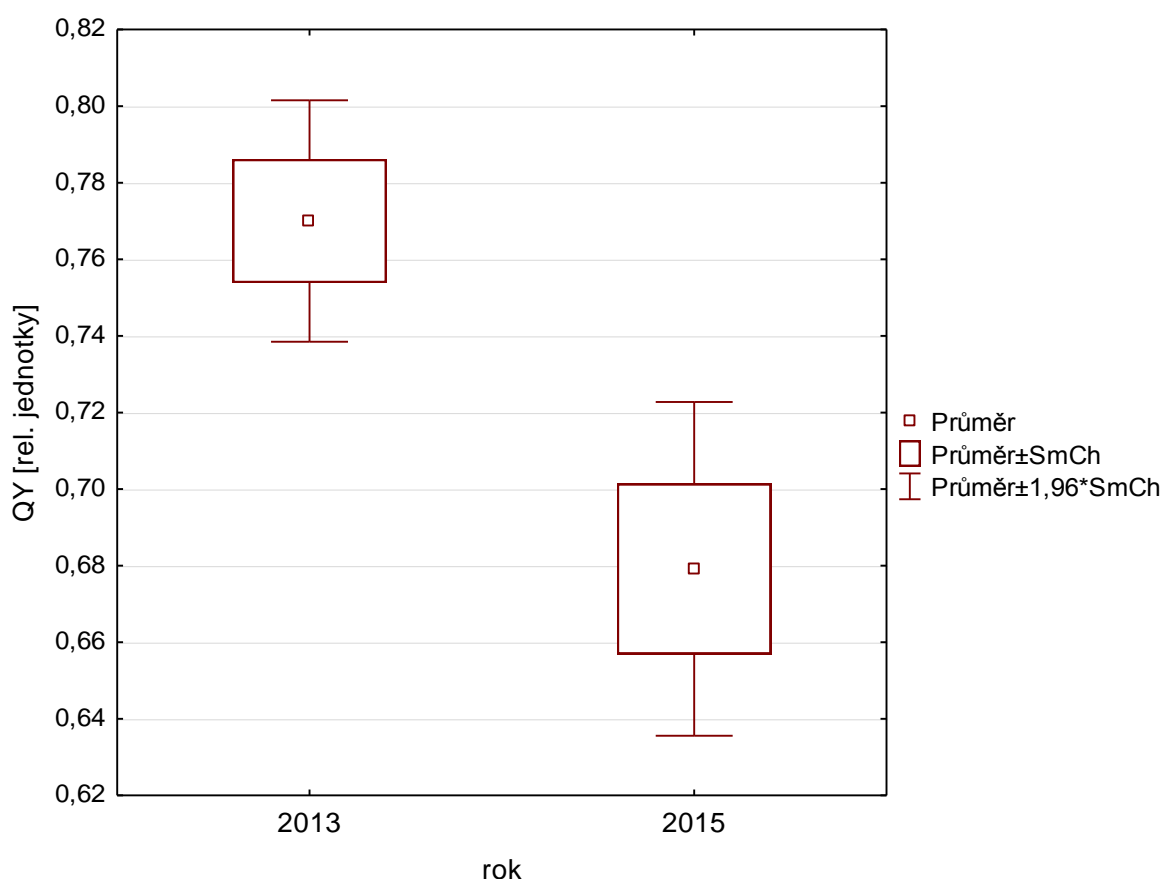
Obr. 23: Hodnoty chlorofylu $a + b$ v srpnu (2013 a 2015) u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XVIII: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu $a + b$ pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl $a + b$	9,163524	0,000000091	1,227616

4.5.1.2. Maximální fotochemická efektivita fotosystému II

Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II u lípy se v roce 2013 a 2015 od sebe lišily (Obr. 24). V roce 2013 byla průměrná hodnota maximální fotochemické efektivity fotosystému II vyšší než v roce 2015. Mezi hodnotami v roce 2013 a 2015 byl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tab. XIX).



Obr. 24: Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II v srpnu (2013 a 2015) u listů lípy srdčité v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

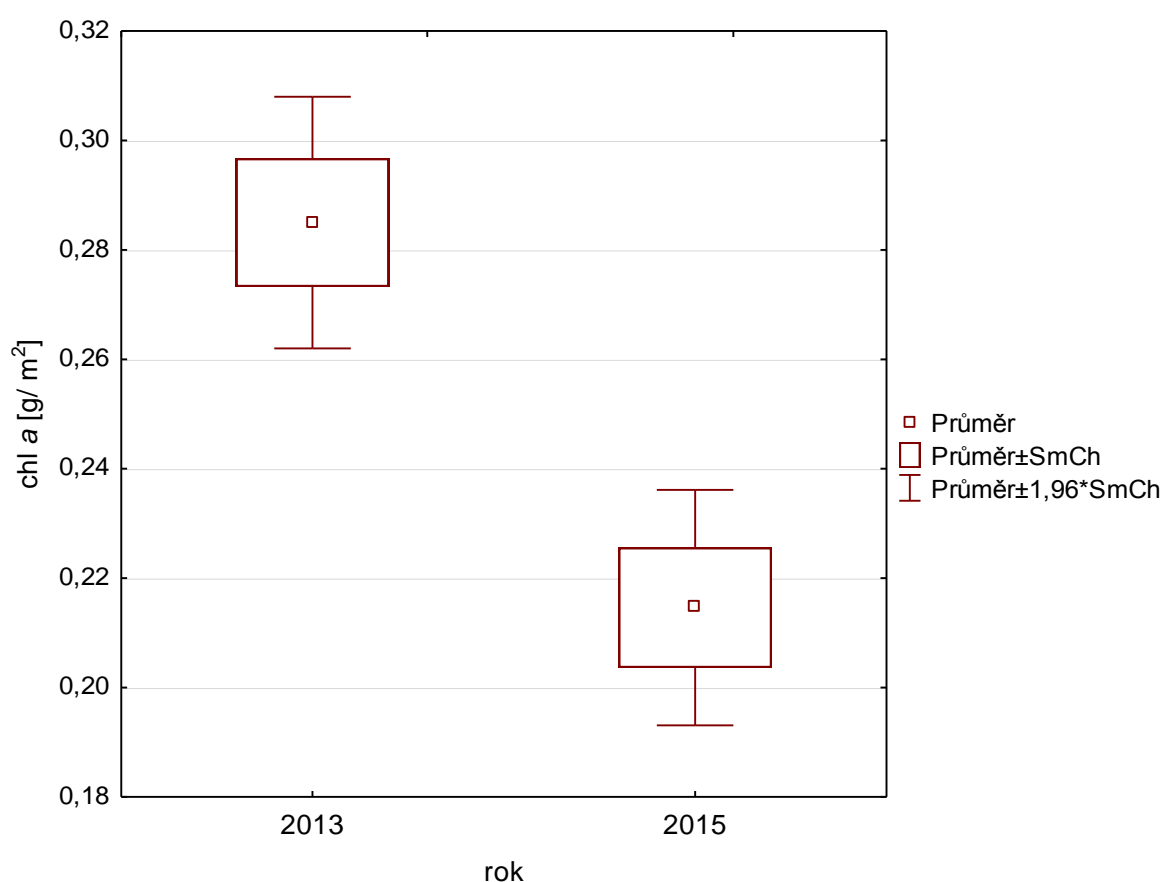
Tab. XIX: Statistické vyhodnocení hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
QY	3,308559	0,003196	1,909113

4.5.2. Platan javorolistý (*Platanus acerifolia*)

4.5.2.1. Obsah fotosyntetických pigmentů

Hodnoty obsahu chlorofylu *a* u platanu se v roce 2013 a 2015 od sebe lišily (Obr. 25). V roce 2013 byla průměrná hodnota chlorofylu *a* vyšší než v roce 2015. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi těmito hodnotami v roce 2013 a 2015 (viz Tab. XX).

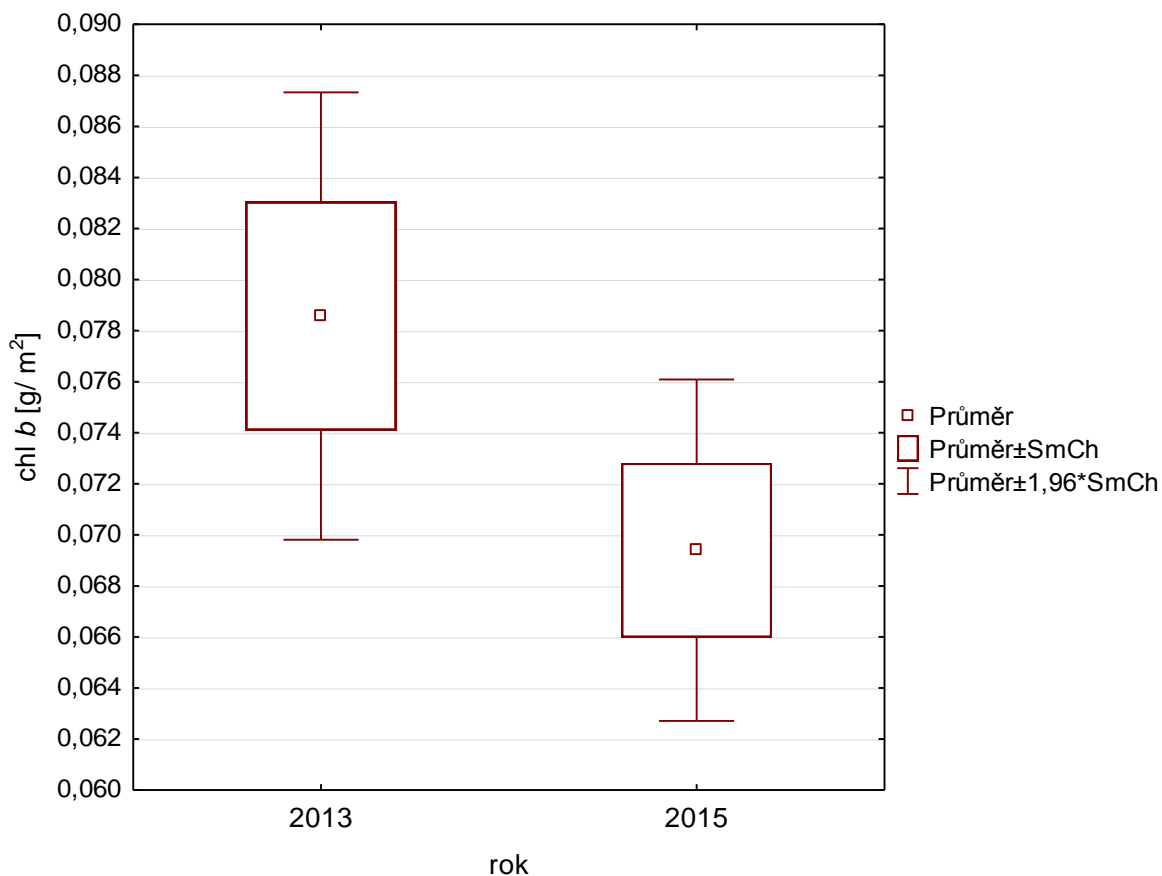


Obr. 25: Hodnoty chlorofylu *a* v srpnu (2013-2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XX: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *a* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a</i>	4,379787	0,000466	1,141995

Hodnoty obsahu chlorofylu *b* se u platanu v roce 2013 a 2015 významně nelišily (Obr. 26). Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi hodnotou v roce 2013 a 2015 (viz Tab. XXI).

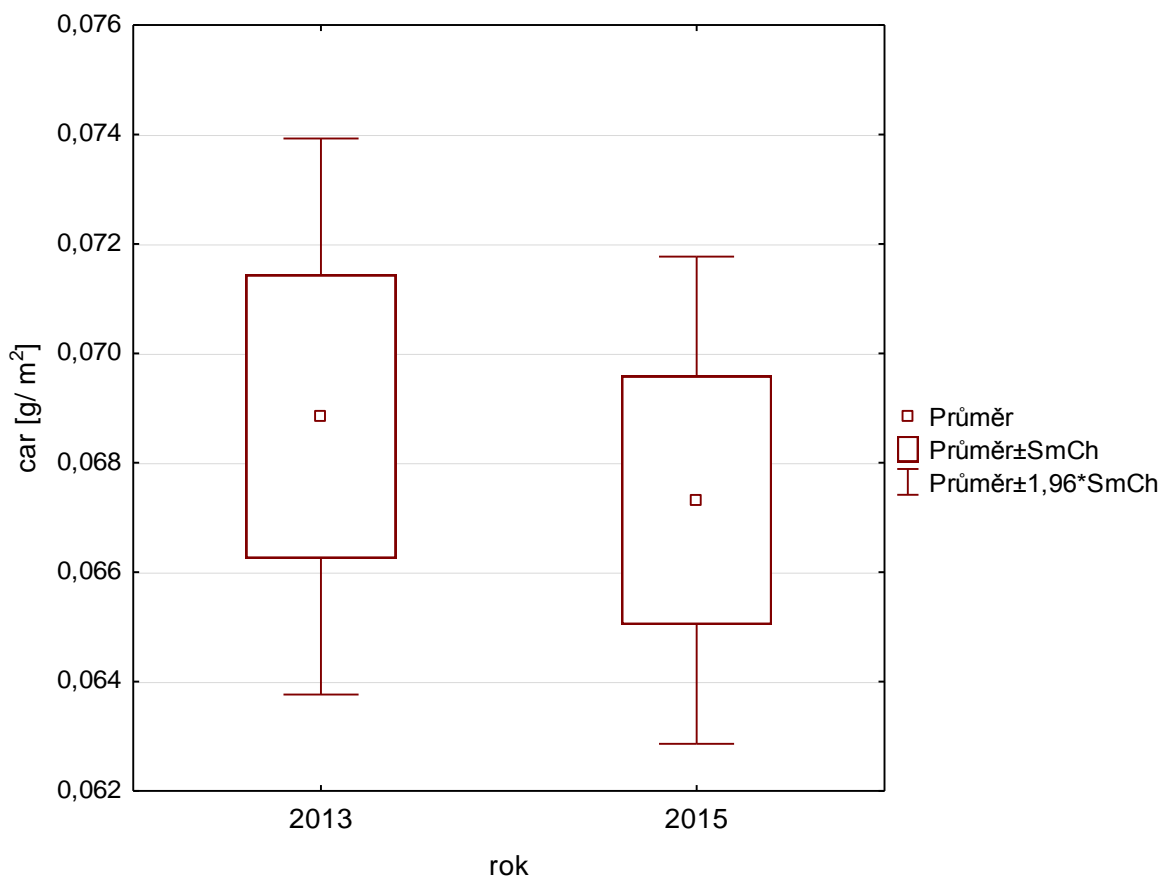


Obr. 26: Hodnoty chlorofylu *b* v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXI: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu *b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>b</i>	1,631188	0,122375	1,716824

Hodnoty obsahu karotenoidů u platanu se v roce 2013 a 2015 téměř nelišily (Obr. 27). V roce 2013 byla průměrná hodnota karotenoidů o něco málo vyšší než v roce 2015. Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v hodnotách mezi rokem 2013 a 2015 (viz Tab. XXII).

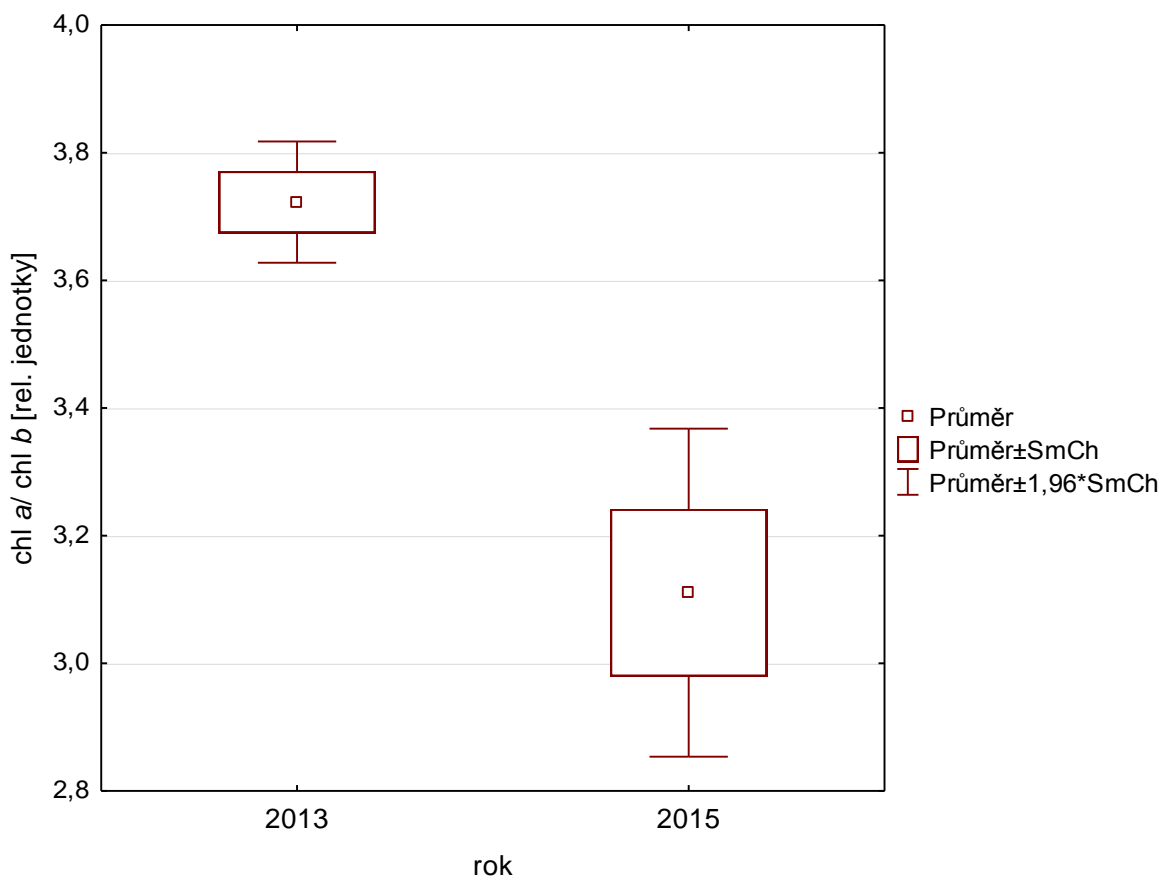


Obr. 27: Hodnoty karotenoidů v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXII: Statistické vyhodnocení rozdílu v obsahu karotenoidů pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
karotenoidy	0,443891	0,663066	1,302321

Hodnoty poměru chlorofylu *a/ b* se u platanu v roce 2013 a 2015 lišily (Obr. 28). V roce 2013 byla průměrná hodnota poměru chlorofylu *a/ b* vyšší než v roce 2015. Byl prokázán statisticky významný rozdíl v hodnotách mezi roky 2013 a 2015 (viz Tab. XXIII).

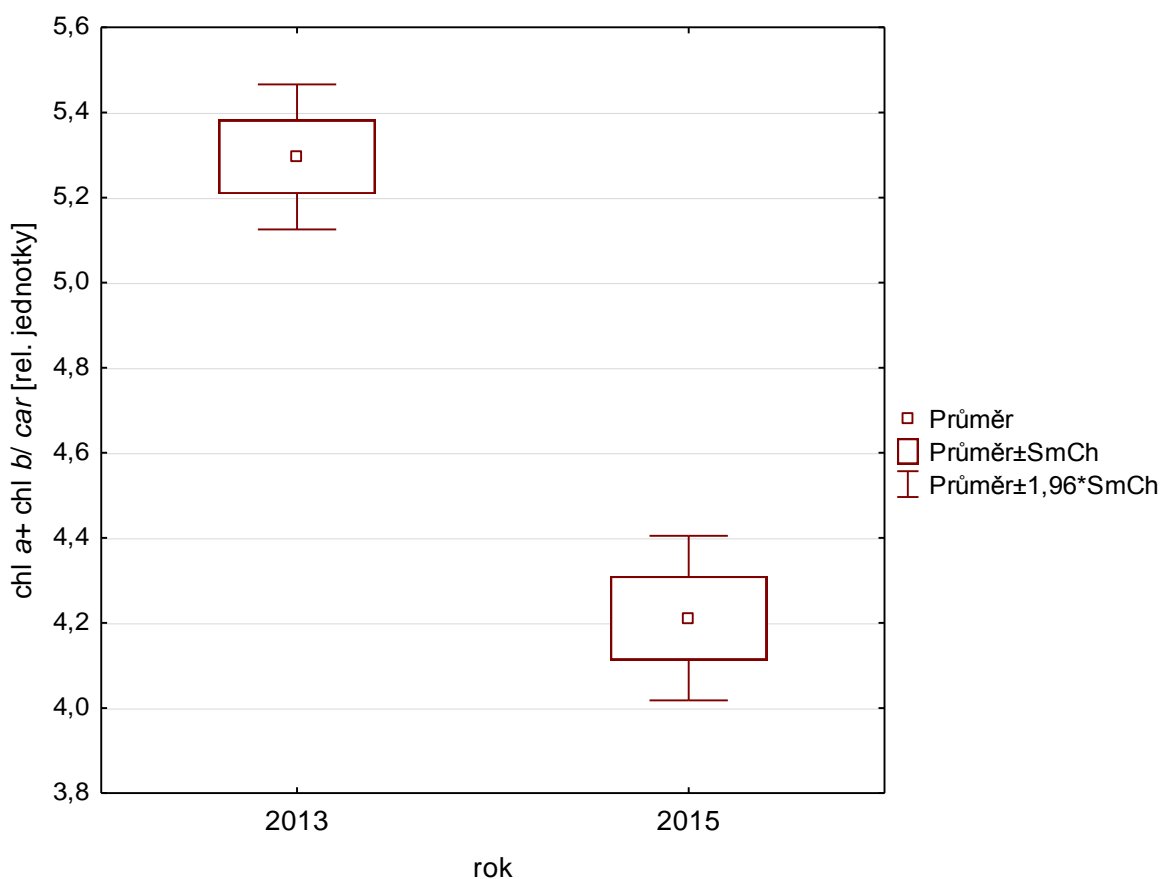


Obr. 28: Hodnoty poměru chlorofylu *a/ b* v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXIII: Statistické vyhodnocení hodnot poměru chlorofylu *a/ b* pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl <i>a/ b</i>	4,378007	0,000468	7,326347

Hodnoty poměru celkového obsahu chlorofylu $a + b$ ku obsahu karotenoidů ($a + b / car$) se u platanu v roce 2013 a 2015 významně lišily (Obr. 29). V roce 2013 byla průměrná hodnota poměru chlorofylu $a + b / car$ vyšší než v roce 2015. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi těmito hodnotami v letech 2013 a 2015 (viz Tab. XXIV).

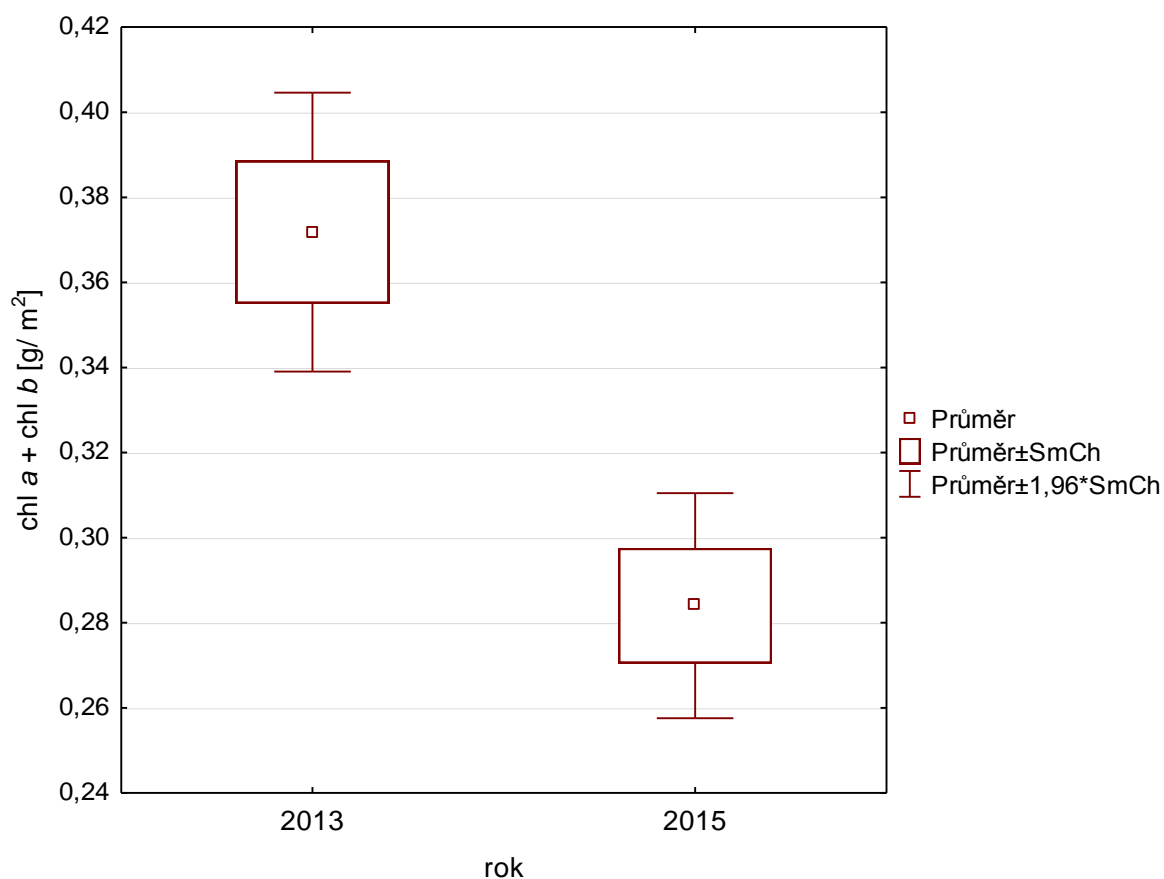


Obr. 29: Hodnoty chlorofylu $a + b / car$ v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXIV: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu $a + b /$ karotenoidy pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl $a + b / car$	8,242860	0,000000375	1,288038

Hodnoty celkového obsahu chlorofylu ($a + b$) se u platanu v roce 2013 a 2015 lišily (Obr. 30). V roce 2013 byla průměrná hodnota celkového obsahu chlorofylu ($a + b$) vyšší než v roce 2015. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi těmito hodnotami v letech 2013 a 2015 (viz Tab. XXV).



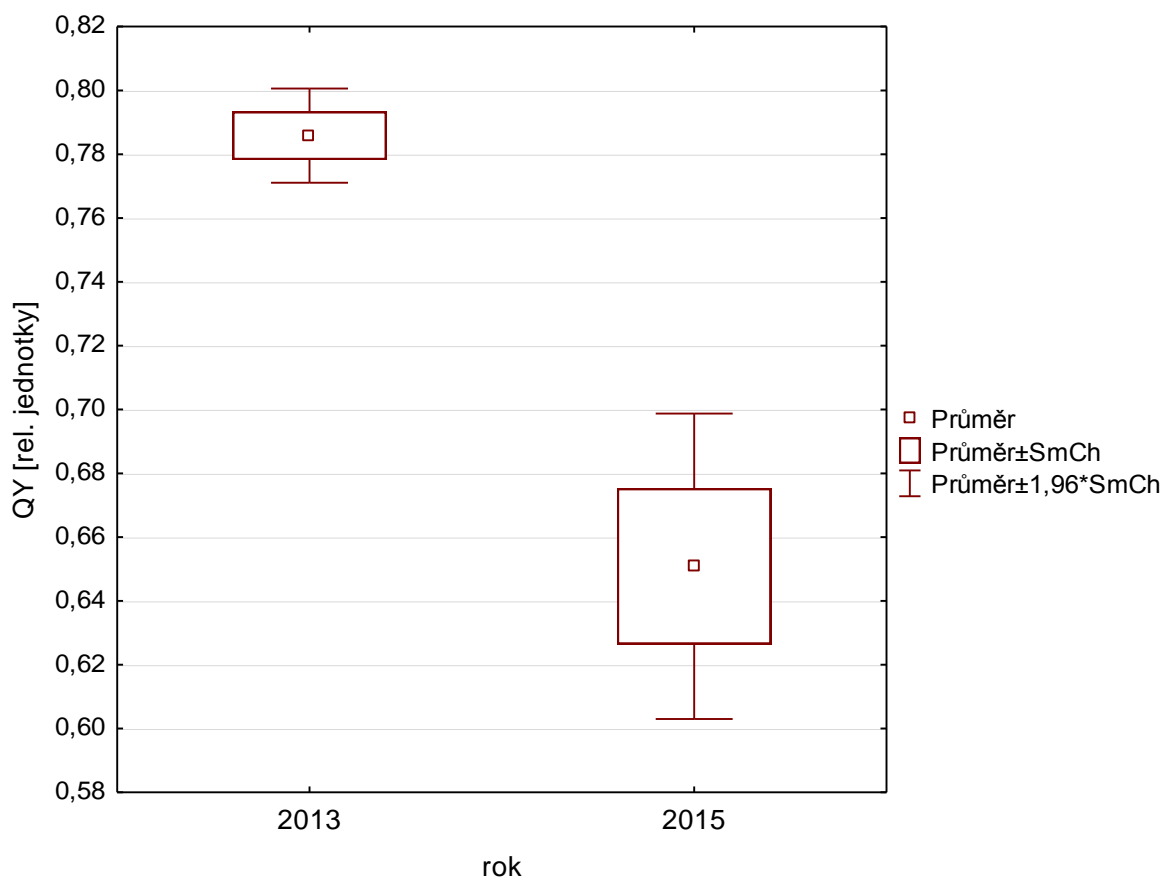
Obr. 30: Hodnoty chlorofylu $a + b$ v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXV: Statistické vyhodnocení hodnot chlorofylu $a + b$ pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
chlorofyl $a + b$	4,086335	0,000861	1,537102

4.5.2.2. Maximální fotochemická efektivita fotosystému II

Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II se u platanu v roce 2013 a 2015 významně lišily (Obr. 31). V roce 2013 byla průměrná hodnota maximální fotochemické efektivity fotosystému II vyšší než v roce 2015. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi těmito hodnotami v letech 2013 a 2015 (viz Tab. XXVI).



Obr. 31: Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II v srpnu (2013 a 2015) u listů platanu javorolistého v lokalitě Jiráskovo nábřeží, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. XXVI: Statistické vyhodnocení hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

	t	p	F
QY	5,283346	0,000027	10,503893

4.6. Výuková prezentace pro žáky ZŠ

Na základě dosavadních výsledků terénního měření byla zpracována výuková prezentace pro žáky 7. – 9. ročníků základní školy, která poukazuje na vliv látek znečišťujících ovzduší ve městě a také na to, jak se tyto látky do ovzduší ve městě mohou dostat. Výuková prezentace pro žáky vyšších ročníků druhého stupně ZŠ je uvedena v příloze (viz *Příloha 1*).

5. Diskuze

V rámci výzkumu byl u *Platanu acerifolia* a *Tilia cordata* zjišťován index tolerance vůči znečištěnému ovzduší, maximální fotochemická efektivita fotosystému II a obsah chlorofylů v listech. Byly také porovnány hodnoty chlorofylů a maximální fotochemické efektivity fotosystému II ze srpna z roku 2013 se srpnovými hodnotami z roku 2015.

5.1. Fotosyntetické pigmenty a fluorescence chlorofylu naměřené v roce 2015

U platanu javorolistého je z výsledků patrný velký nárůst obsahu karotenoidů a pokles v poměru chlorofylu $a + b / car$. Tento jev byl zmíněn v práci Lichtenthalera (2007) jako adaptivní reakce fotosyntetických pigmentů systému na teplotní stres. Dále uvádí, že v rámci vysokých teplot karotenoidy chrání reakční centra fotosyntetického aparátu proti inhibici. Jedná se o typickou odpověď mnoha rostlin v poledních hodinách s intenzitou slunečního záření a teplotou vzduchu zasahující do jejich přirozeného maxima (Lichtenthaler, 2007). Vzhledem k tomu, že měření probíhalo první týden v srpnu 2015, kdy panovaly velmi vysoké průměrné teploty (viz Tab. XII) a navíc, jak známo, období pozdního jara a léta předcházející měření bylo extrémně horké a suché, je tedy reálné, že se platan javorolistý bránil těmto stresovým podmínkám. Takové listy s nízkými hodnotami poměru chlorofylu $a + b / car$ zůstávají zelené, což znamená jejich lepší adaptaci na světlo a teplotní stres (Lichtenthaler a Babani, 2004).

Jak uvádí Anderson a kol. (1995) ve složení fotosyntetických pigmentů v listu hraje velkou roli to, jestli jsou to listy osluněné nebo zastíněné či jestli je světlo vysoko či nízko. Osluněné listy rostlin mají chloroplasty slunečního typu, které jsou přizpůsobeny vysoké míře slunečního záření. Tyto listy mají vyšší kapacitu plochy pro fotosyntézu a chlorofyly a vykazují vyšší hodnoty poměru chlorofylu a / b než u zastíněných listů (Lichtenthaler a kol., 1984). Listy, které se vyskytují na více stinných místech, mají nižší poměr chlorofylu a / b , protože proteinový komplex ve fotosystému II více zachycuje světlo, které váže většina molekul chlorofylu b (Bassi a kol., 1990). Hodnoty poměru chlorofyl $a + b / car$ jsou nižší u osluněných listů než u zastíněných listů. Příčinou je vyšší množství karotenoidů v osluněných listech, protože zastávají

ochranné role proti nadměrné světelné energii (Lichtenthaler a Buschmann, 2001). V závislosti na tomto tvrzení lze konstatovat, že zjištěné výsledky ve výzkumu pro poměr chlorofylu a/b ukazují u platanu větší osluněnost než u lípy. Lípa měla velmi nízké hodnoty tohoto poměru. Listy pro vzorky byly v momentě sběru osluněné, avšak během dne mohly být listy u lípy občasně zastíněné, protože stromy během roku hodně vyrostly, kdežto u platanu byly všechny listy plně osluněné po většinu dne.

Wittenberghe a kol. (2014) ve svém výzkumu zjistili, že některé hodnoty vzdálené od průměrných hodnot byly nalezeny u spodních listů, které jsou blízko dopravnímu ruchu. Umístění stromu se projevilo na poměru chlorofylu a/b . Bylo zjištěno, že nejnižší průměrná hodnota poměru chlorofylu a/b je pro vzorky ze spodní úrovně stromu blízko dopravě. V tomto výzkumu bylo zjištěno, že nižší průměrnou hodnotu poměru chlorofylu a/b měla lípa srdčitá (0,87) a platan javorolistý měl oproti lípě vysokou průměrnou hodnotu, a to 3,11. Z tohoto údaje vyplývá, že listy lípy byly velmi blízko rušné komunikaci a mohly být tak více stresovány než platany, protože zde se projevily mezi hodnotami statisticky průkazný rozdíl.

Podle poměru chlorofylu $a + b / car$ lze také poukazovat na vliv v umístění stromu. Nízké hodnoty pro poměr chlorofylu $a + b / car$ jsou indikátorem stárnutí, stresu a poškození rostlin a fotosyntetického aparátu, který je vyjádřen rychlejším poškozením chlorofylů než karotenoidů (Lichtenthaler a Buschmann, 2001). Platan javorolistý měl hodnoty poměru chlorofylu $a + b / car$ o hodně nižší než lípa srdčitá. Projevily se mezi nimi statisticky významný rozdíl. Avšak, tyto hodnoty mohly být u platanu způsobeny právě tím, že se bránil velké ozáření a vysokým teplotám vzduchu a mohl být chráněn pomocí vysokých hodnot karotenoidů, díky kterým v platanu probíhaly adaptivní reakce. Price a Hendry (1989) uvádějí, že karotenoidy jsou antioxidanty rostlinných buněk, Demmig-Adams a Adams (1992) říkají, že tyto antioxidanty brání rostlinu proti stresu, takže čím více karotenoidů rostlina obsahuje, tím lépe je adaptovaná na stres.

Wittenberghe a kol. (2014) z výzkumu zjistili, že vyšší průměrné hodnoty poměru chlorofylu $a + b / car$ bývají u rostlin blízko komunikací, jejichž hodnoty lze připsat vyšším hodnotám chlorofylu b . Lípa vykazovala velmi vysoké hodnoty chlorofylu b (1,54 mg/g) než platan (0,49 mg/g). Dle těchto výsledků lze předpokládat, že lípa byla

více stresována tím, že se nacházela poblíž rušné komunikace než platan, byť oba stromy rostou v přibližně stejné vzdálenosti od ní.

Lípa srdčitá má vysoké hodnoty chlorofylu *b* oproti platanu javorolistému. Rozdíl mezi nimi je statisticky průkazný. Zároveň má lípa nižší hodnoty poměru chlorofylu *a/ b* než platan. De Nicola a kol. (2011) uvádějí, že nárůst chlorofylu *b* a zároveň snížení poměru chlorofylu *a/ b* by mohlo být považováno za adaptivní reakce na omezené množství světla přicházející do listu vzhledem ke stínící vrstvě usazenin. Protože v okolí Jiráskova nábřeží je rušná komunikace, je pravděpodobné, že listy jsou zastíněny spíše expozicemi z dopravy, než budovami, které jsou v dostatečně velké vzdálenosti od stromů.

Lípa srdčitá v srpnu 2015 vykazovala oproti platanu javorolistému vyšší poměr $a + b / car$. U lípy tato průměrná hodnota byla 12,93, zatímco u platanu tato hodnota byla 4,21. Sarieva kol. (2010) uvádějí, že pro zdravé rostliny s dobře fungujícími zelenými listy je typické rozmezí hodnot 5,71 – 6,29 poměru celkového obsahu chlorofylu k obsahu karotenoidů. Podle tohoto tvrzení lze uvažovat nad tím, že lípa srdčitá mohla být zatížena určitým stresem, protože její hodnota byla velmi vysoká.

Maximální fotochemická efektivita fotosystému II je nejčastěji používaným parametrem, který se aplikuje jako indikátor fotoinhibice nebo jiného poškození komplexu PS II (Roháček a kol., 2008). U rostlin rostoucích v optimálních podmínkách je hodnota QY kolem 0,83 (Bjorkman a Demmig, 1987). Pro namáhané či poškozené rostliny je hodnota snížena (Franck a kol., 2002) a při velkém tepelném stresu by neměla být podceňována (Toth a kol., 2007). Hodnoty fluorescence chlorofylu v tomto výzkumu u lípy a platanu nebyly příliš rozdílné. Oba druhy stromů (lípa i platan) měly hodnotu mezi 0,65 – 0,68. Vzhledem k hodnotě, kterou uvádí Bjorkman a Demmig (1987) jako tu, která je odrazem pro minimální stres a zátěž pro rostlinu, jsou hodnoty lípy a platanu nižší. Naměřené hodnoty u lípy a platanu tedy svědčí o vlivu stresu. Jak uvádí Lichtenthaler a kol. (2005), maximální fotochemická efektivita fotosystému II (QY) je dána poměrem F_v / F_m . Dále uvádějí, že pokles tohoto poměru ukazuje, že teplotní stres vyvolává jak strukturální a funkční poškození na úrovni pigmentových anténních komplexů a reakčních center PS II (F_v / F_m), ale i na úrovni transportu elektronů mezi PS II a PS I. Nízké hodnoty parametru QY mohly být u obou stromů

způsobené také vlivem sucha, které během jara a léta 2015 panovalo. Pokles poměru F_v/F_m je podle Yang a kol. (1996) dobrým ukazatelem působení sucha na rostliny. Colom a Vazzana (2003) uvádějí, že vyšší hodnoty poměru F_v/F_m jsou spojeny s tolerancí rostlin na sucho a nižší hodnoty poměru F_v/F_m jsou spojeny s citlivostí rostlin na sucho. Croker a kol. (1998) uvádí, že nejcitlivěji na sucho reagují průduchy, které svým uzavřením umožní rostlině vyrovnávat se se ztrátou vody.

Nelze vyloučit ani vliv dalších stresových faktorů, které mohou ovlivňovat hodnotu F_v/F_m , jako např. udusaná půda.

5.2. Index tolerance znečištěného ovzduší (APTI index)

Pro APTI (Air pollution tolerance index) byly zjišťovány a měřeny čtyři parametry u obou druhů stromů.

Relativní obsah vody v listu (RWC)

Relativní obsah vody v listech (RWC) se u lípy a platanu projevil statisticky významným rozdílem. Průměrná hodnota u lípy srdčité byla 69,00 % a u platanu javorolistého 81,93 %. Hodnota RWC byla tedy u platanu vyšší než u lípy. Singh a Verma (2007) uvádějí, že nedostatek vody může způsobit vážné napětí u suchozemských rostlin. Vysoký obsah vody v rostlinném těle pomůže rostlině udržet jejich fyziologickou rovnováhu během stresových podmínek jako je expozice znečištěného ovzduší, kdy je míra transpirace obvykle vysoká.

V extrémně suchém období loňského roku byl RWC snížen. Swami a kol. (2004) říkají, že RWC slouží i jako indikátor odolnosti rostlin proti suchu. Jak uvádí Colom a Vazzana (2003), tak RWC je klíčovým ukazatelem míry hydratace buněk a tkání, což je velmi důležité pro správné fyziologické fungování. Rostliny, které mají větší hodnotu RWC, jsou podle Keyvan (2010) více tolerantnější ke stresu ze sucha. Jak také uvádějí Singh a kol. (1991) rostliny s vyššími hodnotami RWC jsou tedy patrně tolerantnější ke znečišťujícím látkám. Z tohoto pohledu mohla být tedy lípa díky nižšímu RWC více stresována znečištěným ovzduším.

pH extrakt z listů

Hodnota pH se u platanu a lípy projevila statisticky významným rozdílem, kdy lípa měla vyšší hodnoty pH (7,46) a platan měl nižší hodnotu (7,07). Singh a Verma (2007) uvedli, že rostliny s nižším pH jsou více citlivé, zatímco rostliny s pH kolem 7 jsou mnohem tolerantnější. Z pohledu hodnocení hodnot pH lze tedy oba zkoumané druhy považovat za relativně tolerantnější. I přesto, že v tomto výzkumu měla lípa vyšší hodnotu pH než platan, oba druhy měly pH kolem hodnoty 7. Thambavani a Prathipa (2012) uvádějí, že hodnotu pH listového extraktu mohlo ovlivnit znečištěné ovzduší v závislosti na citlivosti průduchů rostliny. Rostliny s vysokou citlivostí na SO₂ a NO₂ zavírají průduchy rychleji, pokud jsou vystaveny znečištěnému ovzduší.

Obsah kyseliny askorbové v listech

Obsah kyseliny askorbové byl zjišťován dvěma metodami měření. Jednou metodou byla jodometrická titrace a druhou metoda *HPLC*. Protože při jodometrické titraci mohlo titrační činidlo zreagovat kromě kyseliny askorbové i s jinými látkami ve vzorku, proto nebyly tyto naměřené hodnoty jednoznačné a bylo potřeba provést ještě zjištění obsahu kyseliny askorbové pomocí *HPLC*. Pro úplnost byly do kapitoly „Výsledky“ uvedeny i zjištěné hodnoty z titrace naznačující obdobný trend jako hodnoty získané *HPLC*. Pro výpočet APTI indexu byly ale využity pouze výsledky z *HPLC*.

Výsledné hodnoty kyseliny askorbové zjištěné metodou *HPLC* byly u platanu vyšší než u lípy. I zde se projevil statisticky významný rozdíl mezi výsledky. Smirnov (1996) uvádí, že kyselina askorbová je hlavním antioxidantem, který chrání rostliny před poškozením znečišťujícími látkami a Noctor a Foyer (1998) říkají, že se podílí na procesech, jako je fotosyntéza, buněčný cyklus či na odolnosti proti namáhání životním prostředím. Jak uvádějí Varshney a Varshney (1984), vyšší obsah kyseliny askorbové v rostlině, je známkou jejich tolerance proti znečištění oxidem siřičitým. Protože měl v tomto výzkumu platan vyšší hodnotu, lépe odolával znečištěnému ovzduší SO₂ než lípa. Lípa tedy méně zvládala stres způsobený vlivem SO₂, který byl součástí ovzduší. Conklin a Barth (2004) říkají, že kyselina askorbová hraje důležitou roli v odpovědi rostliny na ozon (O₃). Tato citlivost rostlin na ozon je v korelaci s hladinou kyseliny askorbové. Prvním obranným mechanismem na volné reaktivní kyslíkové radikály

vyvolané ozonem je právě zvýšení množství kyseliny askorbové. Jak už bylo zmíněno výše, v tomto výzkumu měl vyšší hodnoty kyseliny askorbové platan, mohl se tedy proti O₃ bránit zvýšením množství kyseliny askorbové.

Munné-Bosch a Alegre (2002) ve svém výzkumu uvádějí, že nedostatek kyseliny askorbové zvyšuje citlivost rostlin na nedostatek vody a zjistili, že nízký obsah kyseliny askorbové zvyšuje oxidační stres v chloroplastech u rostlin stresovaných suchem. Čím větší sucho je, tím se kyselina askorbová stává nepostradatelnou součástí pro správnou funkci antioxidačních obran v chloroplastech. Protože se v tomto výzkumu projevila nízkým obsahem kyseliny askorbové lípa, je reálné, že právě lípa snášela stres ze sucha hůře než platan, který měl oproti lípě vyšší hodnoty.

Obsah chlorofylu (*a*+ *b*) v listech

Rozdíl v hodnotách celkového obsahu chlorofylu (*a*+ *b*) u lípy a platanu byl statisticky velmi významný. Lípa měla vyšší hodnoty chlorofylu (*a*+ *b*) než platan. Lípa měla průměrnou hodnotu celkového obsahu chlorofylů 2,87 mg/g a platan měl celkový obsah chlorofylů 2,03 mg/g. Degradace fotosyntetických pigmentů zejména chlorofylu se často používá jako indikátor znečištění ovzduší (Ninave a kol., 2001) a hraje velmi důležitou roli v metabolismu rostlin, protože případný úbytek chlorofylu odpovídá růstu rostlin (Joshi a Swami, 2009). Studie Bhattacharya a kol. (2013) ukázala, že obsah chlorofylů se v rostlině mění v závislosti na stavu znečištěného ovzduší, to znamená tam, kde je vyšší frekvence automobilů s výfukovými plyny. Platí to hlavně blízko komunikací. Čím menší má rostlina obsah chlorofylů, tím je citlivější. Platan vykazoval hodnoty nižšího obsahu chlorofylů než lípa a mohl být tedy více stresován výfukovými plyny z automobilů. Lauehorth a Dadd (1981) uvádějí, že snížení obsahu chlorofylu v listu lze připsat působení SO_x a NO_x na metabolismus rostliny. Oba tyto plyny jsou složkami automobilových emisí. Také jak uvádějí Herbinger a kol. (2002), pokles celkového obsahu chlorofylu v listu může způsobit vliv sucha, kdy dojde ke snížení kapacity světlosběrných komplexů pro příjem světelného záření.

Výsledné hodnoty indexu tolerance vůči znečištěnému ovzduší u lípy srdčité byly 8,24 a platanu javorolistého 10,07 (Obr. 17). Z těchto výsledků vyplývá, že platan měl vyšší hodnotu APTI než lípa. Singh a Rao (1983) uvádějí, že rostliny, které mají vyšší

hodnoty APTI, jsou tolerantní ke znečištěnému ovzduší a mohou být použity jako jímky snižující znečištění, zatímco rostliny, které mají nízké hodnoty APTI, vykazují nižší toleranci a mohou být použity jako biologické monitory znečištěného ovzduší. Platany by tedy mohly být vysazovány do měst z toho důvodu, aby zachycovaly látky znečišťující ovzduší. Lípa by mohla být vysazována za účelem budoucí detekce stresu ze znečištěného ovzduší. Podle Kalyani a Singaracharya (1995) lze rostliny rozdělit do jednotlivých kategorií na základě výsledných hodnot indexu tolerance znečištěného prostředí (Tab. XXVII):

Tab. XXVII: Stupnice pro zařazení rostlin do jednotlivých kategorií na základě hodnot APTI

APTI	VÝSLEDEK
30 – 100	tolerantní
29 – 17	mírně tolerantní
16 – 1	citlivé
<1	velmi citlivé

Podle této tabulky může být lípa srdčitá i platan javorolistý zařazen do skupiny citlivých stromů na znečištěné ovzduší. Avšak naměřené hodnoty mohly být v roce 2015 silně ovlivněny extrémním suchem, které mělo vliv na jednotlivé parametry, z nichž byl APTI index stanovován. Avšak porovnáním lípy a platanu je platan tím druhem, který tento stres snáší lépe.

5.3. Porovnání hodnot naměřených v roce 2013 a 2015

Hodnoty fotosyntetických pigmentů naměřených v roce 2015 u lípy a platanu byly porovnány s hodnotami naměřenými v srpnu 2013. U lípy srdčité měly téměř všechny parametry fotosyntetických pigmentů vyšší hodnoty v roce 2013, kromě chlorofylu *b* a chlorofylu *a+ b/ car*. To samé platí pro maximální fotochemickou efektivitu fotosystému II, kdy lípa měla vyšší hodnoty QY v roce 2013. Hodnoty lípy se mezi sebou v letech 2013 a 2015 významně statisticky lišily. Platan měl hodnoty maximální fotochemické efektivy fotosystému II v roce 2013 vyšší než v roce 2015. Jednotlivé parametry fotosyntetických pigmentů měl platan javorolistý téměř vždy

vyšší v roce 2013 než v roce 2015, avšak statisticky průkazný rozdíl se projevil u chlorofylu *a*, poměru chlorofylu *a/ b*, obsahu chlorofylu *a+ b/ car* a u celkového obsahu chlorofylu (*a+ b*). Průkazný rozdíl se projevil i u hodnoty QY. To, že se u obou druhů projevil téměř vždy jako více stresující rok 2015, můžeme vysvětlit tak, že léto v roce 2015 bylo horké a suché s minimem srážek. V srpnu 2015 se průměrná denní teplota zjištěná v den měření vyšplhala na 30 °C (viz Tab. XII). V srpnu 2013 se průměrná denní teplota vzduchu nalézala na 18,5 °C (Šindelářová, 2014). Bhullar a Jenner (1983) popsali zrychlenou degradaci chlorofylu v rostlinách při stresu z vysokých teplot. Protože rozdíl srpnových hodnot teploty je velmi významný, mohlo dojít k většímu zatížení teplem u obou druhů stromů v srpnu 2015.

Hall a Rao (1994) říkají, že v optimálních podmínkách při dostatku vody v půdě je hodnota QY u zdravých listů kolem 0,83 a Maxwell a Johnson (2000) zároveň uvádějí, že snížení hodnoty poměru F_v / F_m může být vyvoláno působením sucha na rostliny. Vzhledem k výsledkům z toho výzkumu, kdy oba dva druhy vykazovaly v srpnu 2015 nižší hodnoty QY, lze uvažovat, že v létě 2015 mělo sucho na zkoumané stromy velký vliv.

5.4. Výuková prezentace pro žáky vyšších ročníků základních škol

Výsledné hodnoty APTI indexu byly shrnuty do výukové prezentace pro žáky druhého stupně základních škol, hlavně tedy pro 7. – 9. ročník. Myslím si, že nejvhodnější doba pro to, aby se žáci s touto problematikou seznámili, je na druhém stupni základní školy v rámci environmentální výchovy. O problematice znečištěného ovzduší ve městě by mělo vědět co nejvíce lidí a tomuto znečištění se snažit v budoucnu předcházet. Tato výuková prezentace by mohla žákům přiblížit, jak se znečišťující látky do ovzduší dostávají, jakým způsobem působí na městskou vegetaci (například na platan a lípu) a také jim přiblížit princip metody, díky níž došlo k získání výsledků, které byly použity v prezentaci. Celá výuková prezentace je doprovázena fotografiemi, které byly pořízeny během výzkumu, aby mohly žákům pro představu nastínit laboratorní a terénní měření. Zároveň by se výuková prezentace mohla využít k informování žáků o tom, co na ně v městském ovzduší působí. A nejen na ně, ale právě na rostliny, které jsou pro nás z mnoha účelů ve městech velmi důležité a je

tedy vhodné tyto rostliny co nejméně stresovat, nebo vybírat pro výsadbu ty druhy rostlin, které jsou odolné. Žáci by měli o vlivu znečištěného ovzduší na rostliny vědět, protože si myslím, že v budoucnu by mohli působení a výskyt těchto látek ovlivnit svým jednáním.

6. Závěr

V tomto výzkumu byl zjišťován index tolerance vůči znečištěnému ovzduší (APTI index) u lípy srdčité (*Tilia cordata*) a platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*). Z výsledku bylo zjištěno, že platan javorolistý je vůči znečištěnému ovzduší ve městě odolnějším druhem než lípa srdčitá, která měla celkovou hodnotu APTI indexu nižší než platan. Výsledky byly shrnuty do výukové prezentace pro žáky základních škol, která by jim měla v rámci environmentální výchovy přiblížit problematiku městského stresu pro tyto dva druhy stromů, které jsou v našich městech velmi často vysazovanými druhy.

Pro tento výzkum byly dále zjišťovány obsahy fotosyntetických pigmentů u lípy a platanu a díky stanoveným výsledkům lze konstatovat, že lípa byla na daném stanovišti více stresována než platan. Stresem mohlo být jak znečištěné ovzduší, které vzniká v závislosti na blízké pozemní komunikaci, tak i teplo a sucho, které v létě 2015 bylo extrémní. Platan se podle zjištěných výsledků vyrovnával s tímto stresem lépe. Dále byly porovnány hodnoty obsahu fotosyntetických pigmentů a fluorescence chlorofylu naměřených v srpnu 2013 a 2015 u těchto dvou druhů stromů. Výsledky jasně hovoří o velké stresové zátěži v roce 2015 pro oba stromy, avšak platan se zřejmě s extrémní zátěží suchem a vysokými teplotami vyrovnával lépe.

7. Seznam literatury

Agbaire P. O. 2009: Air pollution tolerance indices (APTI) of some plants around Erhoike- Kokori oil exploration site of Delta State , Nigeria. *International Journal of Physical Sciences* 4 (6): 366 – 368.

Agbaire P. O., Esiefarienrhe E. 2009: Air Pollution tolerance indices (apti) of some plants arend Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 13 (1): 11 – 14.

Agrawal S., Tiwari S. L. 1997: Susceptibility level of few plants on the basis of Air Pollution Tolerance Index. *Indian Forester* 123: 319 – 322.

Allen L. H., Boote K. L., Jones J. W. 1987: Response of vegetation to rising carbon dioxide photosynthesis, biomass and seed yield of Soybeans. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 1 – 44.

Anderson J. M., Chow W. S., Park Y-I. 1995: The grand design of photosynthesis: Acclimation of the photosynthetic apparatus to environmental cues. *Photosynthesis Research* 46: 129 – 39.

Anthony P. 2001: Dust from walking tracks: Impacts on rainforest leaves and epiphylls, Cooperative research centre for tropical rainforest ecology and management, Australia.

Arrigoni O., de Tullio M. C. 2000: The role of ascorbic acid in cell metabolism: Between gene-directed functions and unpredictable chemical reactions. *Journal of Plant Physiology* 157: 481–488.

Bakiyaraj R., Ayyappan D. 2014: Original Article Air Pollution Tolerance Index of Some Terrestrial Plants Around an Industrial Area . *International Journal of Modern Research and Reviews* 2 (1): 1 – 7.

Barrs H. D., Weatherly P. T. 1962: A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian journal of Biological Sciences* 15: 413 – 428.

- Bartley G. E., Scolnik P. A. 1995: Plant carotenoids pigments for photo – protection, visual attraction and human health. *The Plant Cell* 7: 1027 – 1038.
- Bassi R., Rigoni F., Giacometti G. M. 1990: Chlorophyll binding proteins with antenna function in higher plants and green algae. *Photochemistry and Photobiology* 52: 1187 – 1206.
- Begum A., Harikrishna S. 2010: Evaluation of some tree species to absorb air pollutants in three industrial locations of South Bengaluru, India. *Journal of Chemistry* 7 (S1): 51 – 56.
- Bhattacharya T., Kriplani L., Chakraborty S. 2013: Seasonal Variation in Air Pollution Tolerance Index of Various Plant Species of Baroda City. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 3 (2): 199 – 208.
- Bhullar S. S., Jenner C. F. 1983: Responses to brief periods of elevated temperature in ears and grains of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 10: 549 – 560.
- Bjorkman O., Demmig B. 1987: Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489 – 504.
- Bláha L., Bocková R., Hnilička F., Hniličková H., Holubec V., Möllerová J., Štolcová J., Zieglerová J. 2003: *Rostlina a stres*. Praha: VÚRV, 156 s.
- Bohnert H. J., Nelson D. E., Jensen R. G. 1995: Adaptations to environmental stresses. *The Plant Cell* 7: 1099 – 1111.
- Bora M., Joshi N. 2014: A study on variation in biochemical aspects of different tree species with tolerance and performance index. *The bioscan* 9 (1): 59 – 63.
- Buck R. P., Rondinini S., Covington A. K., Baucke F. G. K., Brett C. M. A., Camoes M. F., Milton M. J. T., Mussini T., Naumann R., Pratt K. W., Spitzer P., Wilson G. S. 2002: *Pure and Applied Chemistry* 74: 2169 – 2200.

Bytnerowicz A., Badea O., Popescu F., Musselman R., Tanase M., Barbu I., Frączek W., Gembasu N., Surdu A., Danescu F., Postelnicu D., Cenusă R., Vasile C. 2005: Air pollution, precipitation chemistry and forest health in the Retezat Mountains, Southern Carpathians, Romania. *Environmental Pollution* 137: 546 – 567.

Colom M. R., Vazzana C. 2003: Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany* 49: 135 – 144.

Conklin P. 2001: Recent Advances in the Role and Biosynthesis of Ascorbic Acid in Plants. *Plant Cell Environment* 24: 383 – 394.

Conklin P. L., Barth C. 2004: Ascorbic acid, a familiar small molecule intertwined in the response of plants to ozone, pathogens, and the onset of senescence. *Plant, Cell & Environment* 27 (8): 959 – 970.

Conklin P. L., Norris S. R., Wheeler G. L., Williams E. H., Smirnoff N., Last R. L. 1999: Genetic evidence for the role of GDP-mannose in plant ascorbic acid (vitamin C) biosynthesis. *Plant Biology* 96: 4198 – 4203.

Crocker J. L., Willard W. T., Auge R. 1998: Stomatal sensitivity of six temperate, deciduous tree species to non-hydraulic root-to-shoot signalling of partial soil drying. *Journal of Experimental Botany* 49 (321): 761 – 774.

ČHMÚ: Chmi.cz [online]: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2015]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/aqindex_slide1/mp_CCBDA_CZ.html

D'Amato N., Sydnor T. D., Kane M., Hunt R., Bishop B. 2002: Which comes first, the root or the crack? *Journal of Arboriculture* 28: 277 – 282.

Demmig-Adams B., Adams W. W. 1992: Photoprotection and Other Responses of Plants to High Light Stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43: 599 – 626.

De Nicola F., Alfani A., D'Ambrosio N. 2011: Impact of the Mediterranean urban environment on photosynthetic efficiency of *Quercus ilex* leaves. *Water, Air, & Soil Pollution* 220: 151 – 160.

Dimoudi A., Zoras S., Kantzioura A., Stogiannou X., Kosmopoulos P., Pallas C. 2014: Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society* 13: 89 – 96.

Dineva S. B. 2004: Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash *Fraxinus americana* L. and London plane tree *Platanus acerifolia* Willd growing in polluted area. *Dendrobiology* 52: 3 – 8.

Doll D., Ching J., Kaneshiro J. 1985: Parameterization of subsurface heating for soil and concrete using net radiation data. *Boundary Layer Meteorology* 32: 351 – 372.

Escobedo F. J., Wagner J. E., Nowak D. J. 2008: Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forest to improve air quality. *Journal of Environmental Management* 86: 148 – 157.

Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. 2009: Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185 – 212.

Farquhar G. 1978: Feedforward responses of stomata to humidity. *Australian Journal of Plant Physiology* 5: 787 – 800.

Feller U., Crafts-Brandner S. J., Salvucci M. E. 1998: Moderately high temperatures inhibit ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) activation-mediated activation of Rubisco. *Plant Physiology* 116: 539 – 546.

Foyer C. H., Lelandais M., Kunert K. J. 1994: Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum* 92: 696 – 717.

Franck F., Juneau P., Popovic R. 2002: Resolution of Photosystem I and Photosystem II contributions to chlorophyll fluorescence of intact leaves at room temperature. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* 162: 239 – 246.

- Genty B., Briantais J.-M., Baker N. R. 1989: The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* 990: 87 – 92.
- Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. 2007: Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment* 33: 115 – 133.
- Gitelson A. A., Gritz Y., Merzlyak M. N. 2003: Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* 160 (3): 271 – 282.
- Grabosky J., Bassuk N. 1995: A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *Journal of Arboriculture* 21: 187 – 201.
- Grabosky J., Hoffner E., Bassuk N. 2009: Plant available moisture in stone soil media for use under pavement while allowing urban tree root growth. *Arboriculture and Urban Forestry* 35: 271 – 278.
- Gravano E., Giulietti V., Desotgiu R., Bussotti F., Grossoni P., Gerosa G., Tani C. 2003: Foliar response of an *Ailanthus altissima* clone in two sites with different levels of ozone-pollution. *Environmental Pollution* 121 (1): 137 – 146.
- Hall D. O., Rao K. K. 1994: *Photosynthesis*. 5th ed. Cambridge University Press: Cambridge.
- Hancock R. D., Viola R. 2005: Improving the Nutritional Value of Crops through Enhancement of L-Ascorbic Acid (Vitamin C) Content: Rationale and Biotechnological Opportunities. *Journal of agricultural and food chemistry*. *Journal of agricultural and food chemistry* 53 (13): 5248 – 5257.
- Heilman J., Brittin C., Zajicek J. 1989: Water use by shrubs as affected by energy exchange with building walls. *Agricultural and Forest Meteorology* 48: 345 – 357.
- Herbinger K., Tausz M., Wonisch A., Soja G., Sorger A., Grill D. 2002: Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defence systems of two bean cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 40: 691 – 696.

Horáček P., 2007: Encyklopedie listnatých stromů a keřů. Brno: Computer Press, a. s., 752 s.

Huang H., Ooka R., Kato S. 2005: Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer. *Atmospheric Environment* 39 (34): 6362 – 6375.

Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. P., Osorio M. L., Carvatho I., Faria T., Pinheiro C. 2002: How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89: 907 – 916.

Chen Y. M., Lucas P. W., Wellburn A. R. 1990: Relative relationship between foliar injury and change in antioxidants levels in red and Norway spruce exposed to acidic mists. *Environmental Pollution* 69: 1– 15.

IPCC 2007: Climate change 2007: synthesis report. In: Core Writing Team, Pachami R., Resinger A. (Eds.), Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.

Jahan S., Iqbal M. 1992: Morphological and anatomical studies of leaves of different plants affected by motor vehicles exhaust. *Journal of Islamic Academy of Sciences* 5 (1): 21 – 23.

Jaleel C. A., Manivannan P., Lakshmanan G. M. A., Gomathinayagam M., Panneerselvam R. 2008: Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces* 61: 298 – 303.

Jaleel C. A., Manivannan P., Sankar B., Kishorekumar A., Gopi R., Somasundaram R., Panneerselvam R. 2007a: Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*; effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 60: 110 – 116.

Jaleel C. A., Manivannan P., Sankar B., Kishorekumar A., Gopi R., Somasundaram R., Panneerselvam R. 2007b: Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 60: 201 – 206.

Jaleel C. A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Al-Juburi H. J., Somasundaram R., Panneerselvam R. 2009: Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal of Agriculture & Biology* 11: 100 – 105.

Joshi P. C. Swami A. 2009: Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *Journal of Environmental Biology*: 30(2): 295 – 298.

Kalyani Y., Singaracharya M. A. 1995: Biomonitoring of air pollution in Warangal city, Andhra Pradesh. *Acta Botanica indica*. 23(1): 21– 24.

Katiyar V., Dubey P. S. 2001: Sulphur dioxide sensitivity on two stage of Lea development in a few tropical tree species, *Indian Journal Environmental Toxicology* 11: 78 – 81.

Keller J., Lamprecht R. 1995: Road dust as an indicator for air pollution transport and deposition: An application of SPOT imagery. *Remote Sensing of Environment* 54: 1– 12.

Keyvan S. 2010: The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences* 8 (3): 1051 – 1060.

Kjelgren R., Clark J. 1992: Microclimates and tree growth in three urban spaces. *Journal Environment Hortieuhure* 10: 139 – 145.

Kjelgren R., Montague T., 1998: Urban tree transpiration over turfand and asphalt surfaces. *Atmospheric Environment* 32: 35 – 41.

Kjellstrom T., Holmer I., Lemke B. 2009: Workplace heat stress, health and productivity: an increasing challenge for low and middle income countries during climate change. *Global Health Action* 2: 1 – 6.

Krewski D., Burnett R. T., Goldberg M. S., Hoover K., Siemiatycki J., Jerrett M., Abrahamowicz A., White W. H. 2000: Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality: A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. Health Effects Institute. Cambridge MA s. 97.

Krishnaveni M., Durairaj S., Madhiyan P., Amsavalli L., Chandrasekar R. 2013: Impact of Air Pollution in Plants Nera Thermal Power Plant , Mettur, Salem, Tamilnadu, India. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 20 (2): 173– 177.

Křížek D., Dubík S. 1987: Influence of water stress and restricted root volume on growth and development of urban trees. Journal of Arboriculture 13 (2): 47 – 55.

Křížek M., Jírovcová, E. 2010: Cvičení z anorganické a analytické chemie. České Budějovice: Skriptum JU, 252 s.

Křížek M., Šíma J. 2015: Analytická chemie. České Budějovice: JU v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 214 s.

Kutbaya I., Akfiratb F. S. 2015: Mapping of Biochemical Constituents in *Platanus acerifolia* Leaves By Analytical Techniques. Procedia - Social and Behavioral Sciences 195: 1719 – 1727.

Lakshmi P. S., Sravanti K. L., Srinivas N. 2009: Air pollution tolerance index of various plant species growing in industrial areas. The Esoscan 2 (2): 203 – 206.

Lalman, Singh B. 1990: Phytotoxic influence of SO₂ pollution on Lea growth of *Vigna mungo* L. Journal of Environmental Biology 11(2): 111 – 120.

Larcher W., 1988: Fyziologická ekologie rostlin. Praha: Academia, 361 s.

Larcher W., 1995: Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Berlin: Springer-Verlag, 506 s.

Larkindale J., Huang B. 2004: Thermo-tolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal Plant Physiology* 161: 405 – 413.

Lauehorth W. K., Dadd J. L. 1981: Chlorophyll reduction in Western wheat grass (*Agropyron smithii*) exposed to sulphur di oxide. *Water Air Soil Pollution* 15: 309 – 315.

Lea P. J., Leegood R. C. 1999: *Plant Biochemistry and Molecular Biology*. Chichester, UK: Wiley, s. 163 – 192.

Li M. H. 2003: Peroxidase and superoxide dismutase activities in *fig* leaves in response to ambient air pollution in a subtropical city. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45: 168 – 176.

Lichtenthaler H. K. 2007: Biosynthesis, Accumulation and Emission of Carotenoids, α Tocopherol, Plastoquinone and Isoprene in Leaves Under High Photosynthetic Irradiance. *Photosynthesis Research* 92 (2): 163 – 179.

Lichtenthaler H. K., Babani F. 2004: Light Adaptation and Senescence of the Photosynthetic Apparatus. Changes in Pigment Composition, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Photosynthetic Activity during Light Adaptation and Senescence of Leaves. *Chlorophyll a Fluorescence* 19: 713 – 736.

Lichtenthaler H. K., Buschmann C. 2001: Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. In: Wrolstad R. E., Acree T. E., Decker E. A., Penner M. H., Reid D. S., Schwarts S. J., editors. *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: John Wiley and Sons, 1 – 6.

Lichtenthaler H. K., Buschmann C., Knapp M. 2005: How to Correctly Determine the Different Chlorophyll Fluorescence Parameters and the Chlorophyll Fluorescence Decrease Ratio *RFd* of Leaves with the PAM Fluorometer, *Photosynthetica* 43: 379 – 393.

Lichtenthaler H. K., Meier D., Buschmann C. 1984: CHLOROPLAST DEVELOPMENT: Structure, Function and Regulation of the Photosynthetic Apparatus. *Israel Journal of Botany* 33: 185 – 194.

- Lichtenthaler H. K., Wellburn A. R., 1983: Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591 – 592.
- Liu Y. J., Ding H. 2008: Variation in air pollution tolerance index of plant near a steel Factory: implication for landscape plant species selection for industrial areas. *Environment and Development* 1 (4): 24 – 30.
- Liu X., Huang B. 2000: Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgrass, *Crop Science* 40: 503 – 510.
- Lohe R. N., Tyagy B., Singh V., Tyagi P. K., Khanna D. R., Bhutiani B. 2015: A comparative study for air pollution tolerance index of some terrestrial plant species . *Global Journal Environmental Science Manage* 1(4): 315 – 324.
- Maggio A., Miyazaki S., Veronese P., Fujita T., Ibeas J. I., Damsz B., Narasimhan M. L., Hasegawa P. M., Joly R. J., Bressan R. A. 2002: Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction. *Plant Journal* 31: 699 – 712.
- Mahajan S., Tuteja N. 2005: Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139 – 158.
- Mareček A., Honza J., 1998: *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 240 s.
- Markevičová V., 2013: "Specifika použití stromů ve městě." *Vysoké učení technické v Brně*. [cit. 14. 3. 2016]. Dostupné z:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/51982/120125_markevicova.pdf?sequence=1
- Maxwell K., Johnson G. N. 2000: Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of experimental botany* 51: 659 – 668
- Miller D. 1980: The two-dimensional energy budget of a forest edge with field measurements at a forest-parking lot interface. *Agricultural Meteorology* 22: 53 – 78.

- Mohan J. R., Burke J., Orzech K. 1990: Thermal dependence of the apparent Km of glutathione reductases from three plant species, *Plant Physiology* 93: 822 – 824.
- Mullaney J., Lucke T., Trueman S. J. 2015: A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning* 134: 157 – 166.
- Munné-Bosch S., Alegre L. 2002: Interplay between ascorbic acid and lipophilic antioxidant defences in chloroplasts of water-stressed *Arabidopsis* plants. *Febs Letters* 524: 145 – 148.
- Nguyen H. T., Joshi C. P. 1993: Molecular strategies for the genetic dissection of water and high temperature stress adaptation in cereal crops, in: G. Kuo (Ed.), *Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*, Taipei, Taiwan, AVRDC, Taiwan, AVRDC, Taiwan, 3 – 19.
- Ninave S. Y., Chaudhari P. R., Gajghate D. G., Tazar J. L. 2001: Foliar biochemical features of plants as indicators of air pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67: 133 – 140.
- Noctor G., Foyer C. H. 1998 ASCORBATE AND GLUTATHIONE: Keeping Active Oxygen Under Control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 249 – 279.
- Nojavan S., Khalilian F., Kiaie F. M., Rahimi A., Arabanian A., Chalavi S. 2008: *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (4): s. 300.
- Novak K., Skelly J., Schaub M., Kraeuchi N., Hug C., Landolt W., Bleuler P. 2003: Ozone air pollution and foliar injury on native plants of Switzerland. *Environmental Pollution* 125 (1): 41 – 52.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R. R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler M., Liu K. K. Y., Rowe B. 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* 10: 823 – 833.

- Ommen O. E., Donnelly A., Vanhoutvin S., van Oijen M., Manderscheid R. 1999: Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentrations and other environmental stresses within the ESPACE-wheat project. *European Journal of Agronomy* 10: 197 – 203.
- Ong A. S. H., Tee E. S. 1992: Natural sources of carotenoids from plants and oils. *Methods Enzymol* 213: 142 – 67.
- Palit D., Kar D., Misra P., Banerjee A. 2013: Assessment of air quality using several bio monitors at selected sites of Durgapur, Bardhaman district by air pollution tolerance index approach. *Indian Journal of Scientific Research* 4 (1): 149 – 152.
- Pandey A. K., Pandey M., Tripathi B. D. 2015: Air Pollution Tolerance Index of climber plant species to develop Vertical Greenery Systems in a polluted tropical city. *Landscape and Urban Planning* 144: 119 – 127.
- Pierre M., Queiroz Q. 1981: Enzymic and metabolic changes in bean leaves during continuous pollution by necrotic level of SO₂. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological* 25: 41 – 51.
- Prajapati S. K. 2012: Ecological effect of airborne particulate matter on plants. *Environmental Skeptics and Critics* 1 (1): 12 – 22.
- Prajapati S. K., Tripathi B. D. 2008: Anticipated Performance Index of some tree species considered for green belt development in and around an urban area: A case study of Varanasi city, *Journal of Environmental Management* 88: 1343 – 1349.
- Price A. H., Hendry G. A. F. 1989: Stress and the role of activated oxygen scavengers and protective enzymes in plants subjected to drought. *Biochemical Society Transactions* 17: 493 – 494.
- Procházka S., Macháčková I., Krekule J., Šebánek J., Gloser J., Havel L., Nátr L., Prášil I., Sladký Z., Šantrůček J., Tesařová M., Vyskot B., 1998: *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 484 s.

- Rai P. K., Panda L. L. S. 2014: Dust capturing potential and air pollution tolerance index (APTI) of some road side tree vegetation in Aizawl, Mizoram, India: an Indo-Burma hot spot region. *Air Quality, Atmosphere & Health* 7 (1): 93 – 101.
- Rai A. K., Takabe T. 2006: Abiotic stress tolerance in plants: toward the improvement of global environment and food. Dordrecht: Springer, 267 s.
- Rampino P., Patoleo S., Gerardi C., Mita G., Perrotta C. 2006: Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell and Environment* 29: 2143 – 2152.
- Rao D. N. 1983: Sulphur dioxide pollution versus plant injury with special reference to fumigation and precipitation, *Proceedings Symposium on Air Pollution Control*, (Indian Association for Air pollution Control), New Delhi. India 1: 91 – 96.
- Raza S. H., Murthy M. S. R. 1988: Air pollution tolerance index of certain plants of Naacharam industrial area, Hyderabad. *Indian Journal Botanic* 11 (1): 91 – 95.
- Rizwan A., Dennis L., Liu C. 2008: A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences* 20 (1): 120 – 128.
- Roháček K., Soukupová J., Barták M. 2008: Chlorophyll fluorescence: a wonderful tool to study plant physiology and plant stress. In: Schoefs B. (ed) *Plant cell compartments – selected topics*. Research Signpost, Trivandrum.
- Roy, S., Byrne, J., Pickering, C. 2012: A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening* 11: 351 – 363.
- Ryerson T. B., Trainer M., Holloway J. S., Parrish D. D., Huey L. G., Sueper D. T., Frost G. J., Donnelly S. G., Schauffler S., Atlas E. L., Kuster W. C., Goldan P. D., Hübler G., Meagher J. F., Fehsenfeld F. C. 2001: Observations of ozone formation in power plant plumes and implications for ozone control strategies. *Science* 292: 719 – 723.
- Ryplová R., 2014: *Fyziologie rostlin*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 113 s.

- Sairam R. K., Srivastava G. C., Saxena D. C. 2000: Increased antioxidant activity under elevated temperature: a mechanism of heat stress tolerance in heat genotypes, *Biologia Plantarum* 43: 245 – 251.
- Salleh S. A., Latif A. Z., Mohd W. M. N. W., Chan A. 2013: Factors contributing to the formation of an urban heat island in Putrajaya, Malaysia. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 105: 840 – 850.
- Santamouris M. 2013: Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 224 – 240.
- Santamouris M. 2014: Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* 103: 682 – 703.
- Sarieva G. E., Kenzhebaeva S. S., Lichtenthaler H. K. 2010: Adaptation Potential of Photosynthesis in Wheat Cultivars with a Capability of Leaf Rolling under High Temperature Conditions. *Russian Journal of Plant Physiology* 57 (1): 28 – 36.
- Sawant L., Prabhakar B., Pandita N. 2010: *Journal of Food Composition and Analysis* 1 (3): s. 111.
- Shafer S. R., Heagle A. S. 1989: Growth responses of fieldgrown loblolly pine to chronic doses of ozone during multiple growing seasons. *Canadian Journal of Forestry*. 19: 821 – 831.
- Scholz F., Reck S. 1977: Effects of acid on forest trees as measured by titration in vitro inheritance in buffering capacity in *Picea abies*. *Water Air Soil pollution* 8: 41 – 45.
- Sies H., Stahl W. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *The American Journal of Clinical Nutrition* 62: 1315 – 1321.
- Singh A. 1977: *Practical Plant Physiology*. New Delhi: Kalyari Publishers.
- Singh S. K., Rao D. N., Agrawal M., Pandey J., Narya D. 1991: Air pollution tolerance index of plants. *Journal of Environmental Management* 32 (1): 45 – 55.

- Singh S. K., Rao D. N., 1983: Evaluation of plants for their tolerance to air pollution. In: Proceedings Symposium on Air Pollution Control. NewDelhi, India. 218 – 224.
- Singh S. N., Verma A. 2007: Phytoremediation of air pollutants: A Review. In: Environmental Bioremediation technology, Singh S. N. and Tripathi R. D. (Eds.). Springer Berlin Heidelberg, 293 – 314.
- Sjöman H., Nielsen A. B. 2010: Selecting trees for urban paved sites in Scandinavia – A review of informatik on stress tolerance and its relation to the requirements of tree planners. Urban Forestry & Urban Greening 9: 281 – 293.
- Smirnoff N. 1995: Antioxidant systems and plant response to the environment. In: Smirnoff V. (Ed.). Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation, BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK, 270 s.
- Smirnoff N. 1996: The Function and Metabolism of Ascorbic Acid in Plants. Annals of Botany 78: 661 – 669.
- Smith W. H. 1990: Air pollution and forests. New York: Springer-Verlag. 618s.
- Spínola V., Mendes B., Câmara J. S., Castilho P. C. 2012: An improved and fast UHPLC-PDA methodology for determination of L-ascorbic and dehydroascorbic acids in fruits and vegetables. Evaluation of degradation rate during storage. Analytical and Bioanalytical Chemistry 403: 1049 – 1058.
- Stan M., Soran M. L., Marutoiu C. 2014: Extraction and HPLC Determination of the Ascorbic Acid Content of Three Indigenous Spice Plants 1. Journal of Analytical Chemistry 69 (10): 998 – 1002.
- Stewart C. R. 1981: Proline accumulation : Biochemical aspects. In: Paleg L. G., Aspinall D. (Eds), Physiology and Biochemistry of drought resistance in plants. 243 – 251.
- Swami A., Bhatt D., Joshi P. C. 2004: Effects of automobile pollution on Sal (*Shorea robusta*) and Rohini (*Mallotus philippinensis*) at Asarori, Dehradun. Himalayan Journal Environment Zoology 18 (1): 57 – 61.

Šindelářová L. 2014: Porovnání sezónních změn ekofyziologických charakteristik dvou vybraných stromů pod vlivem stresu městského prostředí. Bakalářská práce. Pedagogická fakulta. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 41 s.

Šircelj H., Batič F., Štampar F. 1999: Effects of Drought Stress on Pigment, Ascorbic Acid and Free Amino Acids Content in Leaves of Two Apple Tree Cultivars Phyton (Austria) Special issue: "Plant Physiology" 39 (3): 97 – 100.

Tatsumoto H., Yoshinari H. 1991: 'Correlation between sulfur oxide concentration and sulfur content in the leaves of woody plants'. Taiki Osen Gakkaishi 26: 165 – 170.

Thambavani S. D., Maheswari J. 2012: Phytomonitoring of atmospheric pollution in a dry tropical environment using perennial trees. Asian Journal of Science and Technology 4 (12): 011 – 016

Thambavani S., Prathipa D. V. 2012: Assessment of air quality through biomonitors of selected sites of Dindigul town by air pollution tolerance index approach. Journal of research in biology 2 (3): 193 – 199.

Toth S. Z., Schansker G., Strasser R. J. 2007: A non-invasive assay of the plastoquinone pool redox state based on the OJIP-transient. Photosynthesis Research 93: 193 – 203.

Tracy S. R., Black C. R., Roberts J. A., Mooney S. J. 2011: Soil compaction: a review of past and present techniques for investigating effects on root growth. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 1528 – 1537.

Turner N., Schulze E., Gollan T. 1984: The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. Oecologia 63: 338 – 342.

Úradníček L., Maděra P., Kolibáčová S., Koblížek J. a Šefl J., 2001: Dřeviny České republiky. Písek: Matice Lesnická, spol. s.r.o, 333 s.

Varela S., Subiza J., Subiza J. L., Rodriguez R., Garcia B., Jerez M., Jimenez J. A., Panzani R. 1997: *Platanus* pollen as an important cause of pollinosis. Journal of Allergy Clinical Immunology 100: 748 – 754.

- Varshney S. R. K., Varshney, C. K. 1984: Effects of Sulphur dioxide on ascorbic acid in crop plants. Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological 35: 285-291.
- Větvička V., 2005: Stromy a keře. Praha: Aventium, 288 s.
- Wagh N. D., Shukla P. V., Tambe S. B., Ingle S. T. 2006: Biological monitoring of roadside plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city. Journal of Environment Biology 27 (2): 419 – 421.
- Witherspoon J. P., Taylor F. G. 1969: Retention of a fallout simulant containing ¹³⁴Cs by pine and oak trees. Health Physics 17: 825 – 829.
- 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. Science of the Total Environment 466 – 467: 185 – 194.
- Wolucka B. A., Van Montagu M. 2007: Molecules of Interest. The VTC2 cycle and the de novo biosynthesis. Phytochemistry 68: 2602 – 2613.
- Woo S. Y., Lee D. K., Lee Y. K. 2007: Net photosynthetic rate, ascorbate peroxidase and glutathione reductase activities of *Erythrina orientalis* in polluted & non polluted areas. Photosynthetica 45: 293 – 295.
- Yamasaki S., Dillenburg L. R. 1999: Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 11 (2): 69 – 75.
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., Sun, Z., 2005: The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. Urban Forestry & Urban Greening 3: 65 – 78.
- Yang G. P., Rhodes D., Joly R.J. 1996: Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and glycinebetaine-containing maize lines. Functional Plant Biology 23 (4), 437 – 443.
- Zhao C. X., Guo L. Y., Jaleel C. A., Shao H. B., Yang H. B. 2008: Prospects for dissecting plant-adaptive molecular mechanisms to improve wheat cultivars in drought environments. Comptes Rendus Biologies 331: 579 – 586.

8. Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Výuková prezentace pro žáky ZŠ

Příloha 2: Seznam použitých zkratk

Příloha 3: *Tilia cordata* (zastíněné listy) a *Platanus acerifolia* na Jiráskově nábřeží v Českých Budějovicích (autorka práce)

Příloha 4: *Platanus acerifolia* se zastíněnými listy (autorka práce)

Příloha 5: Fluorometr Flourpen (autorka práce)

Příloha 6: Připravené vzorky z listů pro stanovení kyseliny askorbové (autorka práce)

Příloha 7: Titrace vzorku pro stanovení kyseliny askorbové (autorka práce)

Příloha 8: Měření pH vzorků pomocí sondy (autorka práce)



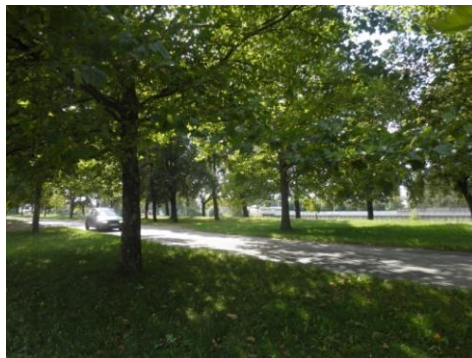
Funkce stromů ve městě

- zachycují látky znečišťující prostředí (ovzduší)
- monitorují míru znečištěného ovzduší
- snižují teplotu vzduchu
- regulují množství dešťové vody
- tvoří úkryt a obživu mnoha organismů
- mají estetickou úlohu



Proč je dobré znát fyziologický stav stromů ve městě?

- Kvůli tomu, zda strom příliš netrpí působením městského stresu.
- Jaké druhy jsou vhodnější pro výsadbu ve městě pro budoucí plánování.

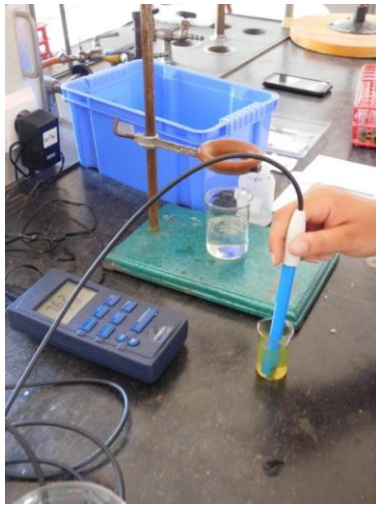


Metody zjišťování fyziologického stavu stromu

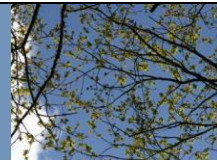
- zjištění indexu tolerance vůči znečištění ovzduší (APTI index)
 - Pomocí jednotlivých parametrů lze zjistit, jak strom reaguje na znečištěné ovzduší.
 - parametry:
 - relativní obsah vody v listech
 - pH extraktu z listů
 - obsah kyseliny askorbové v listech
 - celkový obsah chlorofylů (a+ b)



Tvorba extraktu a měření pH



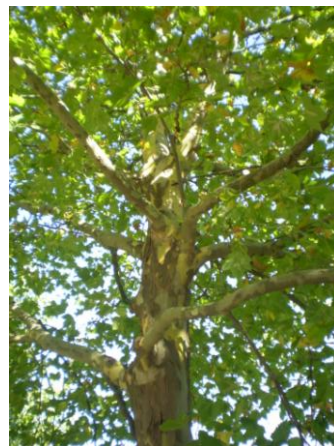
Lípa srdčitá a platan javorolistý - naše běžné městské stromy



Lípa srdčitá



Platan javorolistý



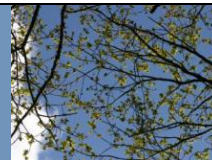
Lípa srdčitá (*Tilia cordata*)

- dorůstá až 30 m
- bohatá
nestejněměrná
koruna
- listy tvar srdce
- v lesích tvoří nižší
patra → dobře se jí
daří na stinných
místech
- ve městech se
vysazuje do
stromořadí

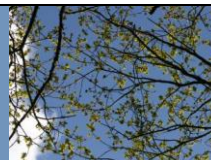


Platan javorolistý (*Platanus acerifolia*)

- dorůstá až 30 m
- listy laločnaté
- pro výsadbu ve
městě populární
(rychle rostoucí,
odolný vůči ořezu a
znečištění, tvoří
velké stíny)



Vliv znečištěného ovzduší na lípu a platan



- Pomocí indexu APTI
 - relativní obsah vody v listech
 - pH extraktu z listů
 - obsah kyseliny askorbové
 - celkový obsah chlorofylu (*a*+ *b*)
- Díky těmto parametrům bylo možné zjistit jak jsou zkoumané stromy odolné vůči znečištěnému ovzduší.
- Každý parametr byl zjišťován samostatně.
- Celková hodnota APTI indexu byla stanovena pomocí vzorce.
- Byly získány 2 hodnoty (lípa a platan), které byly porovnány.
- Čím vyšší hodnota, tím je daný druh tolerantnější.

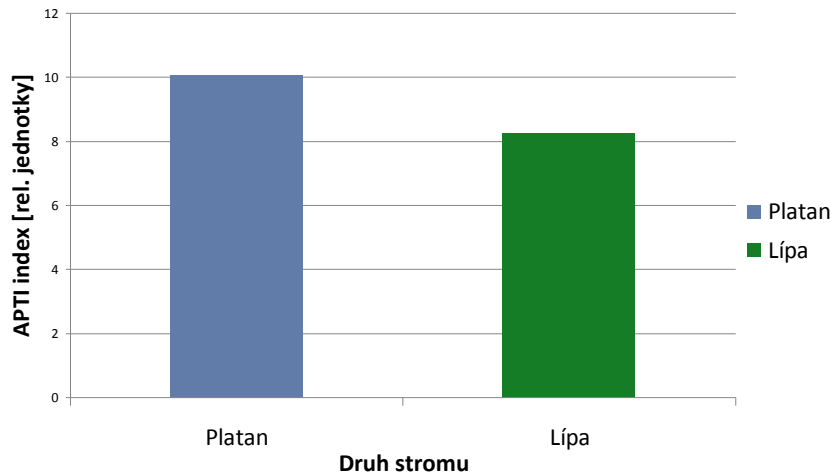
Co může způsobit znečištění ovzduší?



- narůstající automobilová doprava
- průmyslové továrny poblíž měst
- Jaké látky mohou mít vliv na znečištění ovzduší?
 - oxidy dusíku (NO_x)
 - oxidy síry (SO_x)
 - prachové částice (PM)
 - ozon (O₃)
 - oxid uhelnatý (CO)



Výsledky APTI indexu



Co bylo zjištěno z hodnot APTI indexu?

- lípa měla hodnotu APTI indexu 8,24
- platan měl hodnotu indexu APTI 10,07
- lípa byla podle hodnot více stresována znečištěným ovzduším než platan
- Jaký z těchto dvou druhů by měl být více vysazován z důvodu větší odolnosti vůči znečištěnému ovzduší?
 - platan javorolistý



Děkuji za pozornost

Příloha 2: seznam použitých zkratk

APTI- index tolerance vůči znečištění ovzduší

PS I a PS II- fotosystém I a fotosystém II

QY- maximální fotochemická efektivita fotosystému II

NO_x- oxidy dusíku

NO₂- oxid dusičitý

NO- oxid dusnatý

HNO₂- kyselina dusitá

HNO₃- kyselina dusičná

O₃- ozon

CO- oxid uhelnatý

CO₂- oxid uhličitý

SO_x- oxidy síry

SO₂- oxid siřičitý

H₂SO₃- kyselina siřičitá

H₂SO₄- kyselina sírová

SO₄²⁻- síranový anion

SO₃²⁻- siřičitanový anion

PM- prachové částice

O₂⁻- superoxid

RWC- relativní obsah vody

TCH- celkový obsah chlorofylů

AA- kyselina askorbová

H₂O₂- peroxid vodíku

ROS- reaktivní formy kyslíku

car- karotenoidy

HPLC- vysoce účinná kapalinová chromatografie

I₂- jod

Fv- variabilní fluorescence

Fm- maximální úroveň fluorescence temnotně adaptovaného vzorku

Příloha 3: *Tilia cordata* (zastíněné listy) a *Platanus acerifolia* na Jiráskově nábřeží v Českých Budějovicích



Příloha 4: Platanus acerifolia se zastíněnými listy



Příloha 5: Fluorometr Flourpen



Příloha 6: Připravené vzorky z listů pro stanovení kyseliny askorbové



Příloha 7: Titrace vzorku pro stanovení kyseliny askorbové



Příloha 8: Měření pH pomocí sondy

