



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta pedagogická
Katedra biologie

Diplomová práce

Jak reagují stromy na znečištěné ovzduší ve městě

Vypracovala: Bc. Gabriela Toncarová
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

Děkuji RNDr. Renatě Ryplové, Ph.D. za cenné rady a čas, který mi věnovala. Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Evě Dadákové, Ph.D. za ochotu a pomoc při měření v laboratoři. Velké dík také patří Bc. Lence Šindelářové za pomoc při měření a v neposlední řadě velmi děkuji celé mé rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce bylo zjistit reakci stromů na znečištěné ovzduší ve městě. K tomuto účelu byl použit tzv. APTI index (Air pollution tolerance index), měření fluorescence chlorofylu a analýza obsahu fotosyntetických pigmentů. Zkoumanými rostlinami byly platan javorolistý (*Platanus acerifolia*) a slivoň chloupkatá (*Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea*) rostoucí v lokalitě Lannova třída v Českých Budějovicích. Pro vyhodnocení APTI indexu jsou za potřebí čtyři parametry. Jedná se o množství kyseliny askorbové a fotosyntetických pigmentů v listech, relativní obsah vody v listech a pH listového extraktu. Listové vzorky byly sbírány v srpnu roku 2015. Z lokality Lannova třída byly vybrány vždy tři stromy z každého druhu.

Tento výzkum ukázal, že z hlediska vyhodnocení APTI indexu je *Platanus acerifolia* tolerantnější a méně citlivý na znečištěné ovzduší než *Prunus subhirtella*. Hodnota APTI indexu u platanu byla 9,33, u slivoně byl APTI index 7,84. Při vyhodnocení maximální fotochemické efektivity fotosystému II nebyly nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi oběma druhy stromů. Hodnoty naměřené prostřednictvím metody fluorescence chlorofylu u obou druhů stromů byly nízké, u platanu byla 0,65 a u slivoně 0,68. Z hlediska obsahu množství fotosyntetických pigmentů vyšla lépe slivoň. Téměř ve všech případech měla větší obsah fotosyntetických pigmentů než platan.

Výsledky výzkumu byly využity v návrhu exkurze pro žáky 7. ročníků ZŠ do této lokality.

Klíčová slova: APTI index, znečištěné ovzduší, slivoň, platan, fluorescence chlorofylu

Abstract

The aim of this thesis was to determine the response of trees to air pollution in the city. For this purpose, APTI index (Air pollution tolerance index), the measurement of chlorophyll fluorescence and the analysis of the content of photosynthetic pigments were used. The examined trees were *Platanus acerifolia* and *Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea* growing in Lannova třída in České Budějovice. For evaluation of APTI index, four parameters are required. These are the quantity of ascorbic acid and the photosynthetic pigments in the leaves, the relative water content in the leaves and the leaf extract pH. The samples of leaves were taken in August 2015. From Lannova třída, three trees of each species were chosen.

This research has showed that in terms of evaluation APTI index of *Platanus acerifolia* is more tolerant and less sensitive to air pollution than *Prunus subhirtella*. The value of the APTI index at the *Platanus acerifolia* was 9,33, at the *Prunus subhirtella* APTI index was 7,84. During the evaluation of the maximum photochemical efficiency of photosystem II, statistically significant differences between the trees were not found. The values obtained via the method of chlorophyll fluorescence at both tree species were low, at the *Platanus acerifolia* it was 0,65, at the *Prunus subhirtella* it was 0,68. In terms of content of photosynthetic pigments, *Prunus subhirtella* has come out better. In almost all, it had greater content of pigments than the *Platanus acerifolia*.

The results of the research were used in the draft for excursions for students of 7th grades of elementary schools to this area.

Keywords: APTI index, air pollution, a plum tree, a plane tree, chlorophyll fluorescence

Obsah

1. Úvod	1
2. Literární přehled.....	2
2.1 Problematika znečištěného ovzduší.....	2
2.1.1 Kontaminanty ovzduší.....	4
2.2 Vliv zhuštěné půdy.....	5
2.3 Air Pollution Tolerance Index (APTI)	6
2.3.1 Kyselina askorbová (vitamín C)	7
2.3.2 Relativní obsah vody	9
2.3.3 Fotosyntetické pigmenty.....	11
2.3.4 Vodíkový exponent (pH)	13
2.4 Použité dřeviny.....	14
2.4.1 Platan javorolistý (<i>Platanus acerifolia</i>)	14
2.4.2 Slivoň chloupkatá (<i>Prunus subhirtella v. autumnalis rosea</i>)	14
3. Metodika práce	16
3.1 Fluorescenční měření.....	16
3.2 Stanovení množství fotosyntetických pigmentů.....	16
3.3 Stanovení pH listového extraktu.....	17
3.4 Stanovení relativního obsahu vody v listech (RWC)	17
3.5 Stanovení kyseliny askorbové	18
3.5.1 Jodometrie	18
3.5.2 Metoda HPLC.....	19
3.6 Stanovení APTI indexu.....	20
3.7 Analýza dat.....	20
4. Výsledky	21
4.1 Fotosyntetické pigmenty.....	21
4.2 Fluorescenční měření.....	26
4.3 Parametry APTI indexu.....	27
4.3.1 Obsah kyseliny askorbové pomocí jodometrie	27
4.3.2 Obsah kyseliny askorbové pomocí metody HPLC	28
4.3.3 Celkový obsah chlorofylu a+b	29
4.3.4 pH listového extraktu.....	30
4.3.5 Relativní obsah vody v listech	31
4.4. APTI index.....	32
4.5 Porovnání obsahu fotosyntetických pigmentů u platanu javorolistého.....	34

4.6 Porovnání fluorescenčního měření u platanu javorolistého	40
5. Diskuze	41
5.1 Fotosyntetické pigmenty.....	41
5.2 Fluorescenční měření	43
5.3 Kyselina askorbová.....	43
5.4 Celkový obsah chlorofylů	44
5.5 pH listového extraktu	44
5.6 Relativní obsah vody	45
5.7 APTI index.....	45
5.8 Porovnání charakteristik platanu javorolistého v roce 2013 a 2015	46
6. Závěr.....	47
6.1 Exkurze	47
6.2 Pracovní list	48
7. Seznam literatury	49
8. Přílohy	

1. Úvod

Znečištěné ovzduší je jedním z velmi závažných problémů, kterému dnes svět musí čelit. Vlivem znečištěného ovzduší dochází ke zhoršení ekologického stavu prostředí a přispívá také k různým onemocněním lidské populace žijící ve městě (Krishnaveni a Lavanya, 2014).

Vzhledem k této skutečnosti jsem si vybrala tuto diplomovou práci, jejíž téma úzce souvisí se znečištěným ovzduším. Tato diplomová práce navazuje na mou bakalářskou práci, ve které jsem sledovala sezónní změny fotosyntetických charakteristik platanu javorolistého pod různými stresovými faktory, které se vyskytují v městském prostředí (Toncarová, 2014).

Cílem diplomové práce je stanovit APTI index (Air Pollution Tolerance Index) obou druhů stromů. Na základě výsledků, které jsou statisticky zpracovány, zvolit vhodnost výsadby těchto stromů na dané lokalitě. Poté připravit návrh exkurze do této lokality pro žáky vyšších ročníků základních škol a k této exkurzi vypracovat pracovní list.

2. Literární přehled

2.1 Problematika znečištěného ovzduší

Znečištěné ovzduší je definováno jako zavádění chemických látek, pevných částic nebo biologických materiálů do atmosféry, které mohou poškodit živý organismus nebo životní prostředí (Steubing a kol., 1989). Znečištěné ovzduší se ve městech rozvojových ale i rozvinutých zemí stává celosvětovým problémem (Tripathi a Guatam, 2007; Krishnaveni a kol., 2013; Thambavani a Maheswari, 2012). Při spalování se uvolňují do ovzduší plyny a prachové částice. Tyto plyny mohou obsahovat oxidy síry a dusíku, saze, ale i menší množství toxických kovů, organické molekuly a radioaktivní izotopy (Kuddus a kol., 2011).

Zvyšující se tempo urbanizace má za následek ztrátu vegetačního krytu (Wong, 2010). Dochází k nahrazování velkého množství vegetace betonovými budovami a silnicemi. Zpevněné plochy, které se v městských částech ve velké míře vyskytují, odrážejí jen nepatrnou část slunečního záření. Vlivem těchto ploch se ve městě akumuluje více tepla a dochází k tepelnému šoku rostlin (Singh a Grover, 2015). Toto se stalo velkým problémem v hustě obydlených městech v rozvojových státech např. v Indii. Nedostatek evapotranspirace, která je v městských oblastech, může vést ke vzniku tepelného ostrova města. Tento ostrov vykazuje vyšší hodnoty teplot a nižší vlhkost vzduchu než jeho blízké okolí (Wong, 2010). Městský tepelný ostrov vytváří velmi nepříznivé podmínky pro zeleň. Jedním z působících stresorů je vodní deficit (Unkašević a kol., 2001). Obecně platí, že vyšší teploty způsobené tepelným ostrovem mají negativní vliv na lidské zdraví, a to zejména v letních měsících v jižních a středních zeměpisných šířkách (Stafoggia a kol., 2008). Ke zmírnění negativních dopadů tepelného ostrova se vychází z technických řešení, jako je modifikace infrastruktury, instalace závlahových systémů nebo integrace a rozšiřování městské zeleně, což je jeden z efektivních způsobů, jak zvýšit odolnost vůči změně klimatu (Gill a kol., 2007). Zeleň ve městě je velmi důležitá, protože absorbuje a odráží sluneční záření, tím dochází ke snižování teploty ovzduší zhruba o 1-2°C za teplých a slunečních dní (Armson a kol., 2012).

Během několika posledních desetiletí dochází v městských oblastech k nárůstu zatížení životního prostředí, zejména ve formě špatné kvality ovzduší, nadměrného hluku a dopravním kongescím (Sanesi a Chiarello, 2006). Podle Kanakida (2011) vzduch ve městech obsahuje vysoké množství znečišťujících látek, které jsou škodlivé pro lidské zdraví a pohodu člověka.

Městská zeleň pomáhá ve snižování negativních projevů znečištěného ovzduší, snižování hluku, regulaci erozí půd a přispívá ke zvýšení estetické krásy v městské oblasti. Proto je nezbytné, aby zeleň byla v městských částech vysazována. Závoveň je však nutné pro výsadbu vybírat takové druhy rostlin, které snesou zátěž městským stresem (Yang a kol., 2005).

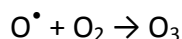
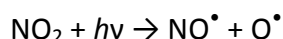
Znečištěné ovzduší je jedním ze stresových faktorů, které ovlivňují produktivitu rostlin. Může přímo ovlivnit rostliny prostřednictvím listů nebo nepřímo prostřednictvím okyselené půdy (Steubing a kol., 1989). Ze všech částí rostlin jsou listy nejcitlivější na znečišťující látky v ovzduší. Právě v listu dochází k akumulaci a absorpci těchto látek, které vedou ke snížení škodlivých látek v ovzduší ve městech (Escobedo, 2008). Znečišťující látky způsobují škody na kutikule a ovlivňují vodivost průduchů, mohou mít i přímý vliv na fotosyntetický aparát (Winner, 1981). Listy rostlin proto poskytují signály včasného varování o znečišťování ovzduší a rostliny tak mohou být používány k posouzení kvality ovzduší (Wagh a kol., 2006).

Silniční doprava je považována za jeden z nejvýznamnějších zdrojů znečištění ovzduší a hluku s nepříznivými účinky na lidské zdraví. S rychlým rozvojem industrializace se zvýšil počet automobilů, které jsou ve velké míře zodpovědné za 65 % znečištěného ovzduší (Joshi a Swami, 2007). Vlivem znečištění ovzduší automobilovou dopravou dochází ke snižování obsahu chlorofylu v listech, které souvisí s poklesem fotosyntézy a žloutnutím listů. Znečišťující látky vyskytující se ve vzduchu mají vliv na morfologické charakteristiky rostlin, jako je počet listů, listová plocha, délka stonku a kořenů i na počet květů a plodů (Wali a kol., 2004), dále mohou ovlivňovat i klíčení semen (Nithyamathi a Indira 2005). Za největší znečišťovatele ovzduší jsou považovány oxidy dusíku, ozón, oxid siřičitý a prachové částice (Arora a kol., 2002). Tyto látky poškozují biologické organismy, zejména rostliny, které jsou řádově mnohem citlivější než zvířata (Bennet , 1995).

2.1.1 Kontaminanty ovzduší

Škodlivé plyny, které se v ovzduší nacházejí, mohou strom ovlivňovat přímo i nepřímo. Přímý vliv těchto plynů způsobují nekrózy, žloutnutí listů a degradaci tkání. Nepřímo pak negativně mění vlastnosti půdy. Znečištěné ovzduší způsobuje poškození akutní nebo chronické. Při akutním poškození, které trvá, pouze krátký časový interval, škodlivé látky napadají strom ve velké koncentraci. Opakem akutního poškození je chronické. Při tomto poškození je strom vystaven dlouhodobým působením emisí, ale v menší koncentraci než při akutním poškození (Steubing a kol., 1989).

Největší hrozbu pro rostliny představuje ozón, který vzniká fotochemickou degradací oxidu dusného. Fytotoxicita ozónu je zapříčiněna následným vznikem radikálů, které indukují volné radikály řetězové reakce (Arora a kol., 2002).



V průmyslově vyspělých státech je znečištění vzduchu ozónem všudypřítomné a stává se velkým ekologickým problémem. Reakce rostlin na ozón je poněkud odlišná v rámci jednoho druhu nebo mezi jednotlivými druhy. Avšak panuje všeobecná shoda, že toxicita nastává po průchodu atmosférického ozónu do průduchu listu (Reich, 1987). Okolní znečištění vzduchu ozónem způsobuje řadu negativních účinků na vegetaci, a to včetně viditelného poranění listů, zpomalení růstu, snížení výnosu zemědělských plodin a vyšší citlivost na abiotické a biotické stresory (Skelly, 2000). Ozónu se rostliny mohou částečně bránit produkcí terpenoidů. Terpenoidy se skládají z několika izoprenových jednotek. Právě isopren je nejhojnější biogenní, těkavá, organická sloučenina emitovaná z mnoha rostlin, včetně mechů, kapradin, nahosemenných a krytosemenných rostlin (Sharkey a Yeh, 2001). Uvolňováním terpenoidů do atmosféry se rostliny chrání před ozónem (Loreto a Velikova, 2001), teplotním šokem (Affek a Yakir, 2002), znečištěním a reaktivními formami kyslíku (Velikova a kol., 2004).

Dalším z významných polutantů ovzduší je oxid siřičitý. Jako většina znečišťujících látek má přírodní i antropogenní zdroje. Přírodní zdroje zahrnují sopečné erupce nebo oxidaci dalších sirných plynů, zatímco mezi antropogenní zdroje patří spalování uhlí nebo biomasy (Sun a kol., 2013). V menší míře vzniká při

automobilové dopravě a je součástí automobilových emisí (Barek a kol., 1998). Vysoké množství oxidu siřičitého má za následek uvolnění stresového etylenu z rostlinné tkáně. Dále dochází k tomu, že pokud jsou buňky vystaveny tomuto plynu, vlivem změny pH dojde k okyselení cytoplasmy. Okyselení vzniká na základě reakce tohoto plynu s vodou za vzniku kyseliny sírové (Arora a kol., 2002).

Mezi další polutanty se řadí oxidy dusíku, které působí nejen na kvalitu ovzduší, ale i na lidské zdraví. Stále více dochází k nárůstu koncentrace oxidů dusíku v atmosféře (Barek a kol., 1998). Mezi významné polutanty, které vznikají činností člověka, patří oxid dusičitý a oxid dusnatý. Strom „vychytává“ tyto oxidy difúzními procesy pomocí svých listů. Městská zeleň se významně podílí na snižování koncentrace oxidů dusíku ve městech (Thoene a kol., 1991).

Vlivem nárůstu automobilové dopravy se zvyšuje prašnost ve městech. Ta způsobuje hromadění částic prachu na listech a dochází k ucpaní průduchů. V důsledku usazování částic nedochází k odpařování vody a strom se neochlazuje, později dochází k jeho přehřátí. Tento prach může obsahovat i některé škodlivé látky (těžké kovy), které se při srážkách rozpouštějí a dostávají se do stromu (Sæbø a kol., 2012). Pugh a kol. (2012) poukazují na to, že městské stromy mohou účinně snižovat počet prachových částic v ovzduší tím, že je zachycují na povrch svých listů. Městská zeleň je tedy považována za účinný způsob zmírnění a prevence znečištění ovzduší prachovými částicemi (Langner a kol., 2011). Velký vliv na adsorpci škodlivých plynů má drsnost povrchu listů nebo přítomnost trichomů (Beckett a kol., 1998).

2.2 Vliv zhutněné půdy

Stresové podmínky životního prostředí ve městech jsou nejdůležitějšími faktory, které jsou odpovědné za poškození stromu rostoucího ve městě. Mezi tyto nepříznivé podmínky patří např. zhutnění půdy (Rolloff a kol., 2009).

Zhutnění půdy postihuje téměř všechny fyzikální, chemické a biologické vlastnosti a funkce půd (Batey, 2009). Velký populační růst vede k rychlé přeměně zelených ploch na městské oblasti s velkým podílem nepropustných ploch, mezi které se řadí chodníky, silnice a parkoviště (Mejía a Moglen, 2010). Tyto

nepropustné povrchy mohou měnit spádovou hydrologii a ovlivňují vlhkost, teplotu a pórovitost podkladové půdy (Ugolini a kol., 2012). Velmi důležitou roli hrají půdní póry, přes které prostupuje voda a vzduch ke kořenům. Vlivem zhutnění půdy jsou tyto póry poškozovány a dochází ke ztrátě jejich kontinuity, která vede k narušení provzdušňování kořenů (Ampoorter a kol., 2012). Zhutnění půdy také omezuje prostupnost kořenů pro získávání živin.

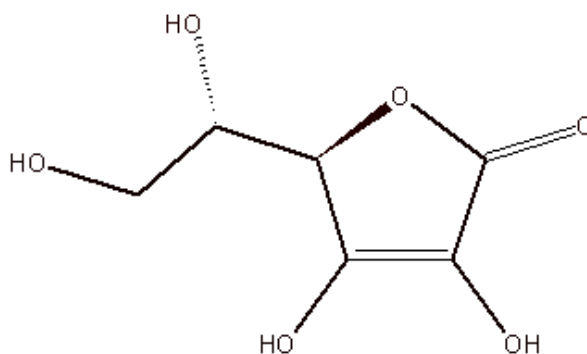
Stromy ve městech se musí vyrovnat s nízkou vlhkostí, vysokou teplotou, omezeným růstem kořenů, menší dostupností vody a nepropustností živin do kořenové zóny. Všechny tyto negativní účinky v konečném důsledku omezují růst rostliny (Wilpert a Schäffer, 2006). Stromy vysazené podél ulic obecně vyžadují větší údržbu a mají kratší délku života než stromy rostoucí v přírodě (Buhler a kol., 2007). Ve srovnání s plochami s vegetačním krytem mohou nepropustné chodníky ukládat více tepla a toto teplo vedou do půdy. Teplota půdy se zvyšuje (Tang a kol., 2011), což může oslabit růst kořenů či dokonce v případě extrémního nárůstu teplot způsobit i jejich odumření (Celestian a Martin, 2004).

2.3 Air Pollution Tolerance Index (APTI)

Citlivost rostlin na znečištěné ovzduší včetně plynů, prachových částic, těžkých kovů a toxických organických látek (pesticidů) se liší v závislosti na druhu stromu (Bennet, 1995). Citlivé druhy se používají jako bioindikátory znečištěného ovzduší a tolerantní druhy pomáhají snižovat znečištění. Rostliny je možné rozdělit na citlivé a odolnější podle úrovně tolerance na znečištěné ovzduší (Rai, 2013). K tomuto hodnocení je využíván například Air Pollution Tolerance Index (APTI). Tento index se skládá ze čtyř biochemických parametrů. První z nich je množství kyseliny askorbové v listech, druhý je relativní obsah vody, třetí množství fotosyntetických pigmentů a poslední je pH listových extraktů. Pokud má rostlina vyšší hodnotu tohoto indexu, můžeme jí považovat za více tolerantní vůči znečištěnému ovzduší. Naopak rostliny s nízkou hodnotou indexu vykazují nižší toleranci, jsou citlivější a používají se jako bioindikátory znečištěného ovzduší (Singh a kol., 1991).

2.3.1 Kyselina askorbová (vitamín C)

Kyselina L-askorbová (obr. 1) je velmi bohatý metabolit, který hraje důležitou roli ve stresové fyziologii rostlin, ovlivňuje též vývoj a růst celé rostliny (Conklin, 2001). Rostliny obsahují různé množství kyseliny L-askorbové, které se může pohybovat v nízkých mikromolárních koncentracích. Množství této kyseliny se mění v závislosti na druhu a podmínkách prostředí (Woluck a Montag, 2007). Vitamín C je klíčovým antioxidantem pro rostliny i zvířata. V rostlinách je askorbát zapojen do několika důležitých fyziologických procesů včetně fotosyntézy, dělení buněk, růst, kvetení a stárnutí rostlinné tkáně (Lisko a kol., 2013).



Obr. 1: Chemická struktura kyseliny L-askorbové (kresba chemických struktur, zdroj: autorka- vytvořeno s pomocí programu ACD/ChemSketch).

2.3.1.1 Antioxidant

Antioxidanty můžeme charakterizovat jako „lapače“ volných radikálů. Volné radikály vznikají v důsledku látek znečišťujících životní prostředí, chemických látek a toxinů. Mohou vznikat i na základě oxidačních procesů, které se odehrávají v buňce (Halliwell, 1994). Molekuly, které nazýváme jako volné radikály, jsou schopné napadat zdravé buňky těla a poškozovat je. Přispívají k rychlejšímu stárnutí a progresi onemocnění. Mezi nejvýznamnější antioxidanty patří vitamín C, E a β -karoten. Vitamín C je ve vodě rozpustný antioxidant, který je schopen neutralizovat reaktivní formy kyslíku. Největší zdroj vitamínu C se nachází v ovoci a zelenině (Percival, 1998).

Kyselina askorbová působí jako antioxidant, který chrání rostliny před oxidačním stresem. Hlavní příčinou oxidačního stresu jsou především reaktivní formy kyslíku (RFK), které vznikají celou řadou faktorů v rostlinách. Nejčastěji se vytváří během fotosyntézy, ale mohou vznikat i při patogenních infekcích (Lamb a Dixon, 1997). Tímto termínem se označují všechny vysoce reaktivní molekuly obsahující kyslík včetně radikálů. Mezi jednotlivé druhy RFK patří hydroxylové radikály, peroxidový radikál, peroxid vodíku, chlornanový radikál nebo různé peroxidy lipidů (Percival, 1998). Poškození rostliny může nastat tehdy, pokud na rostlinu dopadá ve velké míře sluneční záření v kombinaci s jinými podmínkami prostředí (sucho, extrémní teploty nebo nedostatek živin). Podmínky pro poškození rostliny vznikají na základě nadprodukce RFK, kdy je překročena určitá míra antioxidační kapacity. Znečištěné ovzduší, používání herbicidů a fytotoxické kovy (Zn, Cd, Cu) také mohou vést ke zvýšené tvorbě RFK (Conklin, 2001).

2.3.1.2 Mechanismus ochrany

Peroxid vodíku vznikající při fotosyntéze hraje důležitou roli v iniciaci hypersenzitivní reakce (Levine a kol., 1994). Vzhledem k toxicitě musí být kontrolovány hladiny vzniku RFK. Tato kontrola se provádí prostřednictvím velmi složitých mechanismů. Mechanismy v sobě zahrnují širokou síť vzájemně propojených antioxidantů. V rámci této sítě kyselina askorbová eliminuje různé formy RFK včetně superoxidů a hydroxylových radikálů (Padh, 1990). Již zmíněné mechanismy zabezpečují navázání antioxidantů na membrány. Tyto antioxidanty označujeme jako tokoferoly (Packer a kol., 1979). Tokoferoly (vitamin E) jsou velmi důležité z hlediska ochrany buněk. Neutralizují volné radikály, předtím než mohou způsobit oxidační stres nebo poškodit DNA (Yoshida a kol., 2003).

2.3.1.3 Fotoprotekce

Kyselina askorbová, kromě své úlohy v ochraně proti oxidačnímu stresu, hraje důležitou roli i ve fotoprotekci. Chrání rostliny před negativními účinky nadměrného záření. Askorbát je u některých druhů rostlin prekurzorem tartrátu a oxalátu. Avšak mnohem významnější je, že působí jako kofaktor pro violaxantin

de-epoxidasu, což je enzym, který se účastní xantofylového cyklu. Právě v tomto cyklu dochází k ochraně před nežádoucím zářením (Conklin, 2001). Přeměna askorbátu na kofaktor se uskutečňuje v chloroplastech, kde je nejvyšší obsah kyseliny askorbové. Kofaktor pomáhá udržovat nadbytek excitační energie a dochází k regeneraci tokoferolu z tokoferolového radikálu, čímž chrání membránu (Piterková a kol., 2005).

2.3.2 Relativní obsah vody

K měření relativního obsahu vody se používá listová tkáň, která slouží k posouzení stavu vody v rostlině (Yamasaki a Dillenburg, 1999). Stav vody v listech úzce souvisí s některými fyziologickými parametry listu, je to například růst a turgor listu nebo vodivost průduchů. Stav vody závisí i na velmi důležitých procesech, mezi které patří fotosyntéza, transpirace nebo dýchání (Kramer a Boyer, 1995).

Tato metoda je velmi jednoduchá, avšak nevýhodou je její časová náročnost. K měření relativního obsahu vody v rostlině je třeba znát tři parametry hmotností a to čerstvou hmotnost listu, hmotnost sušiny a hmotnost listu při maximálním nasycení vodou (Yamasaki a Dillenburg, 1999).

2.3.2.1 Voda jako základní element

Voda je pro život rostlin nezbytná, zároveň je to nejběžnější molekula, která se nachází v rostlinném těle (MacAdam, 2009). Voda v rostlinných buňkách tvoří přibližně 80-90 % čerstvé hmotnosti, u dřevin je to více než 50 % (Kramer a Boyer, 1995). V rostlinných buňkách se voda může vyskytovat v několika formách. První z nich je voda hydratační, jejíž funkce je vyplňovat volná místa ve strukturách protoplazmy, další forma je chemicky vázaná voda a poslední formou je transportní voda, která slouží k transportu rozpuštěných látek (Larcher, 1988).

Voda má v rostlinném těle velmi důležité vlastnosti. Slouží jako rozpouštědlo, ve kterém jsou rozpuštěné plyny a minerální látky. Voda funguje i jako reaktant v mnoha důležitých procesech, uplatňuje se například při fotosyntéze. Další neméně významnou funkcí je v udržování pružnosti rostlinného těla. S tím souvisí pojem turgor. Jde o jakýsi vnitřní tlak pletiv a tkání, který je nezbytný pro

pevnost a tuhost buněk. Turgor je také velmi důležitý při otevírání průduchů, ovlivňuje pohyby listů, květů a různých specializovaných rostlinných struktur. Pokud rostlina obsahuje nedostatečné množství vody pro udržení turgoru, dochází k tomu, že rostlina uvadá (Kramer a Boyer, 1995).

2.3.2.2 Vodní deficit

Kromě nadměrného tepla, které částečně vzniká neabsorbováním slunečního záření městskými plochami, stromy ve městech musí snášet i vodní deficit. Ten je způsoben redukcí kořenového systému a díky zpevněným plochám i nedostatečným vsakem dešťové vody. Nízká dostupnost vody spojená s vysokou koncentrací solí jsou nejčastějšími abiotickými faktory, které mají nepříznivý vliv na růst rostlin. Tyto faktory spolu s vysokou teplotou mají vliv na přívod vody a dochází k uzavírání průduchů nebo k biosyntéze osmoticky účinných látek. U různých druhů rostlin se v rámci stresového stavu začínají hromadit sacharidy (sacharóza), cukerné alkoholy (manitol, sorbitol), aminokyseliny (prolin) a aminy (glycin), které ovlivňují vodní bilanci rostlin (Seki a kol., 2007). Rostliny reagují na vodní stres poněkud odlišně, závisí to především na intenzitě a délce trvání stresu (Chaves a kol., 2002). Při nedostatku vody dochází k syntéze kyseliny abscisové, která je stimulována dehydratací rostlinných buněk (Wright, 1977). Tato kyselina se dostává prostřednictvím transpiračního proudu do cílových buněk v epidermis, kde se nachází receptory. Při navázání tohoto hormonu na receptory, dochází ke kaskádovitým reakcím, které vedou k uzavření průduchů svěracích buněk v listech rostlin (Assmann a Shimazaki, 1999). Funguje tedy jako chemický signál na dlouhé vzdálenosti, který může poskytovat informace o dostupnosti vody v půdě (Cutler a Krochko, 1999).

Vodní stres je často spojen se suchem. Sucho je charakterizováno jako období bez výrazných srážek. V období sucha je v půdě k dispozici pouze malé množství vody. Tento stres se vyznačuje snížením obsahu vody, zmenšením vodního potenciálu a vede ke ztrátě turgoru. Pokud rostlina má k dispozici malé množství vody, uzavírá průduchy a výměna plynů se omezuje. Dlouhodobý vodní deficit a sucho může vést k narušení metabolismu a struktury buněk a nakonec ke smrti

organismu (Jaleel a kol., 2007). Bylo zjištěno, že stres ze sucha je velmi důležitým limitujícím faktorem v počáteční fázi růstu. Vodní stres výrazně potlačuje expanzi buněk a jejich růst v důsledku nízkého turgoru. Ovšem osmotická regulace může za nepříznivých podmínek sucha zachovat buněčný turgor a zajistit růst a přežití rostliny (Shao a kol., 2008). Řada autorů má za to, že sucho a vysoké letní teploty vzduchu mají přímý vliv na fyziologické procesy, na jejich růst a v konečném důsledku i na rozšíření a výskytu jednotlivých druhů stromů (Kurjak a kol., 2012). Při dešti navíc dochází k tomu, že téměř veškerá voda odtéká po zpevněné ploše pryč a nedochází k absorpci vody do půdy (Sieghardt a kol., 2005). Přitom jsou to právě městské stromy, které potřebují více vody v důsledku zvýšené transpirace (Hagishima a kol., 2007).

2.3.3 Fotosyntetické pigmenty

K fotosyntetickým pigmentům se řadí chlorofyly, karotenoidy a fykobiliny.

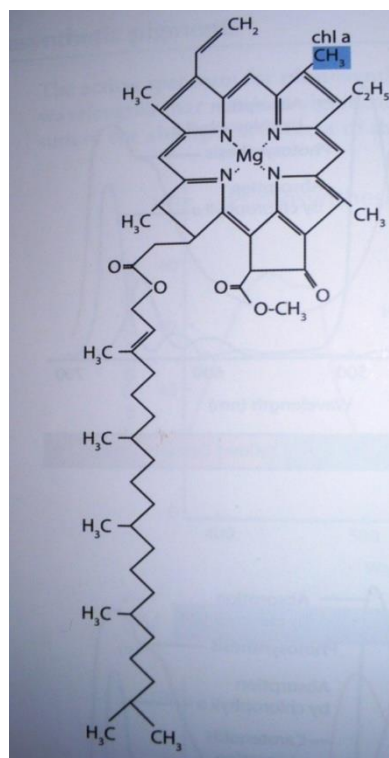
2.3.3.1 Chlorofyly

Chlorofyl se skládá z organických, cyklických sloučenin zvaných porfyriny. Tyto sloučeniny jsou složeny z tetrapyrolů, které jsou spojeny methylovými můstky. Uvnitř této struktury se nachází kation hořčíku (Mg^{2+}) (obr. 2).

Obsah chlorofylů v rostlině předurčuje fotosyntetickou aktivitu aparátu, má vliv i na růst a vývoj rostliny. Obsah chlorofylů se liší v závislosti na druhu rostliny, věku listu a úrovni znečištění ovzduší (Abida a Harikrishna, 2010).

Chlorofyly jsou základními fotoreceptory, které se účastní fotosyntetického procesu. Po přijetí světelné energie molekulou chlorofylu, může být energie absorbována a převedena do procesu fotosyntézy (tzv. fotochemické zhášení) nebo dochází k převedení energie na teplo (tzv. nefotochemické zhášení), eventuálně může dojít ke zpětnému vyzaření fotonu s vlnovou délkou vyšší než 650 nm (Maxwell a Johnson, 2000).

Chlorofyl *a* má velmi důležitou funkci, umožňuje vlastní přeměnu energie ve fotosyntéze. Ostatní chlorofyly pouze zachycují dopadající záření a energii předávají na chlorofyl *a* (Procházka a kol., 1998).



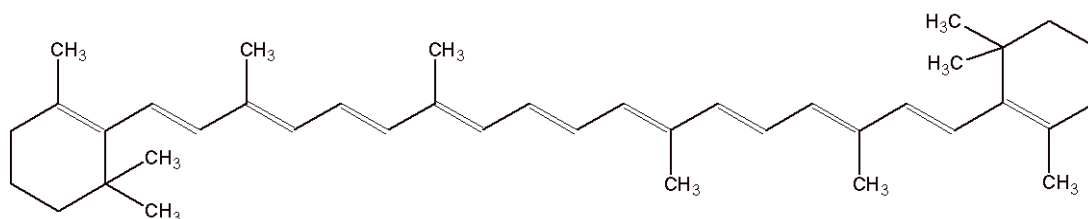
Obr. 2: Chemická struktura chlorofylu *a* (MacAdam, 2009).

2.3.3.2 Karotenoidy

Základní chemická struktura karotenoidu se skládá z dlouhého uhlovodíkového řetězce, který obsahuje 40 atomů uhlíků (obr. 3). Mezi karotenoidy se řadí karoteny nebo xantofyly. V listech vyšších rostlin se nejčastěji setkáme s β -karotenem, z xantofylů je to violaxantin, lutein a zeaxantin (Procházka a kol., 1998).

Karotenoidy jsou pravděpodobně nejrozšířenější skupinou pigmentů nacházející se v přírodě. Tyto pigmenty mají ve fotosyntetickém aparátu vyšších rostlin dvojí funkci. Za prvé karotenoidy fungují jako doplňkové fotoaktivní pigmenty, které jsou základními složkami fotosyntetických antén a reakčních center fotosystému. Tyto doplňkové pigmenty absorbují světlo napříč širokým rozsahem spektrální oblasti a předávají ji molekulám chlorofylu (Young, 1991). Prostřednictvím karotenoidů tak dochází k zahájení fotosyntézy (Polívka a Frank, 2010) a jsou nezbytné pro správnou funkčnost fotosyntetického aparátu (Pogson a kol., 2005).

Mnohem důležitější funkcí je ochrana fotosyntetických organismů před reaktivními formami kyslíku, které způsobují fotooxidaci. Hlavní příznivý účinek karotenoidů tedy spočívá v jejich antioxidačních schopnostech (Bartley a Scolnik, 1995). Tyto antioxidanty jsou velmi účinné, protože „vychytávají“ negativní formy kyslíku již při nízkých koncentracích (Šivel a kol., 2013). Při absenci karotenoidů dochází k poškození rostliny vlivem působení fotooxidace, která vede ke smrti organismu (Bartley a Scolnik, 1995).



Obr. 3: Chemická struktura β -karotenu (kresba chemických struktur, zdroj: autorka-vytvořeno s pomocí programu ACD/ChemSketch).

2.3.4 Vodíkový exponent (pH)

Tento exponent je definován jako záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů. Používá se k určení kyselosti nebo zásaditosti vodného roztoku. Je vyjádřen logaritmickou stupnicí s rozsahem hodnot od 0 do 14. Čistá voda má při laboratorní teplotě (25°C) pH rovno sedmi. Pokud je pH menší než sedm, vodný roztok reaguje jako kyselina. Čím je tato hodnota menší, tím je kyselina silnější. Při pH větší než sedm hovoříme o zásadách. Čím je hodnota větší, tím je zásada silnější.

Vodíkový exponent je významným ukazatelem fyziologického stavu rostlin (Hartung a Radin, 1989). Čím je pH listového extraktu kyselejší, tím je druh stromu citlivější na znečištěné ovzduší (Yan-ju a Hui, 2008). Naopak zásaditější pH značí tolerantnější a odolnější druh stromu vůči znečištěnému ovzduší, protože dochází k přeměně hexózy na kyselinu askorbovou (Escobedo a kol., 2008). Změna pH nesouvisí nejen se znečištěným ovzduším, ale i s dalšími stresory, které působí na rostliny ve městech např. sucha a vodní deficit. Zjistilo se, že u stromů stresovaných suchem došlo ke snížení pH xylému (obvykle mezi 5-6), naopak u nestresovaných stromů se pH pohybovalo okolo 6,4-7,2 (Wilkinson a Davies, 2008). Změny

v hodnotách pH mohou být jedním z prvních chemických změn u rostlin, které jsou vystavené nadměrnému suchu (Sobeih, 2004).

2.4 Použité dřeviny

2.4.1 Platan javorolistý (*Platanus acerifolia*)

Tento strom může být vysazen na přímém slunci, ale daří se mu i ve stínu. Dává přednost hluboké, bohaté, vlhké a dobře odvodněné půdě, ale snáší dobře i ostatní půdy. Platan je okrasný listnatý strom široce používaný k výsadbě ve městě, protože snese vysoké pH a znečištění, které se ve městě nachází (Dineva, 2004). V Evropě je vysazován především na krajnici vozovky nebo do sadů, kde zlepšuje ovzduší. Jeho nevýhodou je, že z kulovitých květenství produkuje velké množství pylových zrn (obr. 5), která jsou vysoce alergenní (Varela a kol., 1997).



Obr. 4: Listy *Platanus acerifolia* s kulovitým květenstvím (autorka práce).

2.4.2 Slivoň chloupkatá (*Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea*)

Rod *Prunus* patří do čeledi růžovitých, kam patří přes 400 druhů dřevin. Tyto dřeviny jsou z velké míry opadavé a původ mají v mírném pásu severní polokoule. Nejčastěji se vysazují v zahradách, parcích nebo arboretech. Většina těchto dřevin má jedlé plody. Těmito jedlými plody jsou obvykle peckovice s jediným semenem

(Russell a Cutlerová, 2003). Vysazují se především pro růžové a bohaté květy, které se rozvíjejí na jaře spolu s listy (Faust a Suranyi, 1997). Ačkoli tento rod obsahuje velký počet druhů, ve městech se nejčastěji vysazuje pouze několik z nich. Velkou popularitu získaly především *Prunus serrulata*, *Prunus subhirtella* (obr. 5) a *Prunus yedoensis* (Ma a kol., 2009).



Obr. 5: Celkový habitus *Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea* (autorka práce).

3. Metodika práce

Jednotlivé listové vzorky byly sbírány v lokalitě Lannova třída v Českých Budějovicích 3.-7. srpna 2015 ze dvou druhů stromů. První z nich byl platan javorolistý (*Platanus acerifolia*) a druhým druhem byla slivoň chloupkatá (*Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea*). Z této lokality byly vybrány tři stromy z každého druhu.

3.1 Fluorescenční měření

Měření fluorescence chlorofylu je nedestruktivní metoda, která se využívá pro detekci fyziologického stavu rostlin. Základním parametrem fluorescence chlorofylu je poměr F_v/F_m . Tento poměr je měřítkem fotochemického výtěžku fotonů ve fotosystému II (Krause a Weis, 1984). Pokles hodnot poměru F_v/F_m indikuje stres působící na strom. Tato metoda se využívá zejména pro zjišťování vlivu nízkých a vysokých teplot, sucha, nemocí nebo znečištění ovzduší působící na rostliny (Carter, 1993).

Při tomto měření bylo změřeno pomocí metody fluorescence celkem 24 listů. Z každého stromu byly vybrány čtyři osluněné listy, které byly zhruba stejně vysoko. Nejdříve byly listy zastíněny černým papírem na 15 minut (foto 3). Poté bylo zahájeno měření pomocí měřiče fluorpen (PSI, CZ). Po změření všech listů, byly změřeny tytéž listy, které se již adaptovaly na světlo. Měření bylo prováděno pouze ve slunné dny a v poledních hodinách.

3.2 Stanovení množství fotosyntetických pigmentů

Při této metodě bylo sebráno dohromady 180 listů. Na každý druh stromu připadlo 90 listů. Pro jeden vzorek bylo použito 10 terčků vyťatých po jednom z 10 různých listů téhož stromu korkvrtem o průměru 0,80 mm. Pro každý sledovaný strom byly vytvořeny 3 vzorky, tedy celkem pro jeden druh stromu vzniklo devět vzorků.

Extrakce fotosyntetických pigmentů byla provedena pomocí 80% acetonu a množství stanoveno spektrofotometricky pomocí spektrofotometru UV-1202 (Shimadzu, Japonsko). Měření bylo prováděno při vlnových délkách 663, 646 a 470

nm. Množství fotosyntetických pigmentů bylo počítáno podle následujících rovnic (Lichtenthaler a Wellburn, 1983):

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

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

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

Výsledné hodnoty chlorofylů byly vztahovány na čerstvou hmotnost listu v mg/g.

3.3 Stanovení pH listového extraktu

Stanovení pH listového extraktu bylo prováděno podle Agbaire a Esiefarienrhe (2009). Pro tuto metodu bylo sebráno stejné množství listů jako u metody stanovování obsahu chlorofylů. Stanovení pH listového extraktu bylo měřeno pomocí přístroje WTW Multi S40i (Weilheim, SRN) (foto 4).

3.4 Stanovení relativního obsahu vody v listech (RWC)

Tato metoda vyžadovala sběr dohromady 18 listů. Na každý druh stromu připadlo celkem devět listů, po třech z každého měřeného stromu.

Nejprve byla zvážena čerstvá hmotnost všech listů. Tyto listy byly potopeny přes noc do nádoby s vodou. Druhý den byly listy vyjmuty z nádoby a lehce vysušeny filtračním papírem. Posléze byly listy zváženy (hmotnost listu při maximálním nacyzení vodou) a dány do sušičky. Vysušování probíhalo při 70°C do druhého dne, poté byly listy zváženy (hmotnost sušiny). Výsledné hmotnosti byly dosazeny do následujícího vzorečku (Barrs a Weatherly, 1962):

$$\text{RWC (\%)} = [(W - DW) / (TW - DW)] * 100$$

W (fresh weight) – čerstvá hmotnost

TW (turgid weight) – hmotnost listu při maximálním nacyzení vodou

DW (dry weight) – hmotnost sušiny

3.5 Stanovení kyseliny askorbové

Pro stanovení vitamínu C bylo sebráno na všechny směsné vzorky 75 listů celkem, z toho 30 listů platanu a 45 listů slivoně. Na přípravu extraktu pro jeden druh stromu byly připraveny tři směsné vzorky.

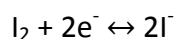
Každý směsný vzorek listů byl připraven z 2,50 g homogenizovaného materiálu pro přípravu extraktu. Rostlinný materiál byl rozetřen v třecí misce s mořským pískem a 50 ml extrakčního činidla. Jako extrakční činidlo byla použita směs 0,02 M kyseliny šťavelové a 0,50 mM EDTA (Spínola a kol., 2014). Vzniklá směs byla převedena do dvou kyvet a odstředěna na 10 minut při 3 500 otáčkách za minutu. Supernatant byl převeden do 100 ml odměrné baňky. Sediment na dně kyvety byl resuspendován pomocí 50 ml extrakčního činidla a poté znovu zcentrifugován za stejných podmínek. Celkové supernatanty byly doplněny do 100 ml v odměrné baňce a uchovány v lednici při 4 °C po nezbytně dlouhou dobu před stanovením obsahu askorbové kyseliny.

Analýza obsahu kyseliny askorbové probíhala dvěma postupy. První z nich byla metoda jodometrie a druhá pomocí metody HPLC (vysokoúčinná kapalinová chromatografie).

3.5.1 Jodometrie

Tato metoda patří mezi odměrné metody založené na redoxních reakcích. U těchto reakcí je nutné mít vhodný indikátor k určení bodu ekvivalence. Pokud jako odměrné činidlo použijeme roztok oxidovadla, mluvíme o oxidimetrii.

Jodometrie se řadí mezi nejčastěji využívané odměrné metody. U přímé jodometrie dochází k redukci jodu na jodid.



Při jodometrické titraci se používá jako odměrný roztok jod s molární koncentrací 0,01 – 0,1 mol/l⁻¹ v jodidu draselném. Tato sloučenina usnadňuje rozpouštění jodu a snižuje tlak par, které vznikají nad odměrným roztokem. Při reakci jodu se škrobovým roztokem se vytváří intenzivní modré zabarvení, které určuje konec titrace (Křížek a Drbal, 1999).

Při jodometrickém stanovení byl nejdříve ztitrován slepý vzorek. Jako titrační činidlo byl použit 0,032 M jodový roztok. Poté bylo v titrační baňce smícháno 50 ml

destilované vody a 0,5 ml 1% škrobového roztoku. Titrovalo se pomalu do trvalého modrého zbarvení.

Po ztitrování slepého vzorku byl ztitrován extrakt. Titrační činidlo bylo stejné jako u titrace slepého vzorku. Následně bylo do titrační baňky pipetováno 10 ml extraktu, 50 ml destilované vody a 0,5 ml 1% škrobového roztoku. Opět titrace probíhala do trvalého modrého zabarvení (foto 5).

Obsah kyseliny askorbové byl vypočítán podle stechiometrické rovnice (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)

$V(I_2)$ – objem titračního činidla spotřebovaného na titraci (ml)

$c(I_2)$ – přesná koncentrace titračního činidla ($c = 0,032 \text{ M}$)

$M(\text{AA})$ – molární hmotnost kyseliny askorbové (179,13 g/mol)

m – navážka vzorku (g)

x – ředění vzorku

Každý extrakt byl titrován třikrát a pro další výpočty byl použit průměr z těchto stanovení.

3.5.2 Metoda HPLC

Vysokoúčinná kapalinová chromatografie je rychlá a citlivá metoda pro stanovení oxidovaných a redukovaných forem kyseliny askorbové v rostlinách. Tato metoda je lepší než dříve uváděné postupy z důvodu použití úsporné, snadno dostupné mobilní fáze, UV detekce a absence složitých postupů extrakce (Szalai a kol., 2014).

Askorbová kyselina byla stanovena v extraktu z rostlinného materiálu bezprostředně po jeho pořízení. 2 ml extraktu byly přefiltrovány přes filtr ze skleněných vláken (Z1). Tento přefiltrovaný extrakt sloužil jako vzorek. Pro chromatografickou separaci byl použit kapalinový chromatogram HPLC/UPLC Agilent 1200 (Technologies, USA) s kolonou Agilent SB C-8, 4,6 x 150 mm se zrnitostí

5 µm. Mobilní fáze pro tuto kolonu byla zvolena 0,02 M kyselina šťávelová. Celková doba analýzy kyseliny askorbové byla 12 minut při teplotě 25 °C a průtoku 1 ml/min. Absorpční maximum bylo 245 nm. Obsah askorbové kyseliny byl vyhodnocen z rovnice kalibrační závislosti.

3.6 Stanovení APTI indexu

Tento index byl počítán na základě rovnice, kterou navrhl Singh a Rao (1983):

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

A (ascorbic acid) = obsah kyseliny askorbové (mg/g)

T (total chlorophyll) = celkový obsah chlorofylu a+b (mg/g)

P (pH) = pH listového extraktu

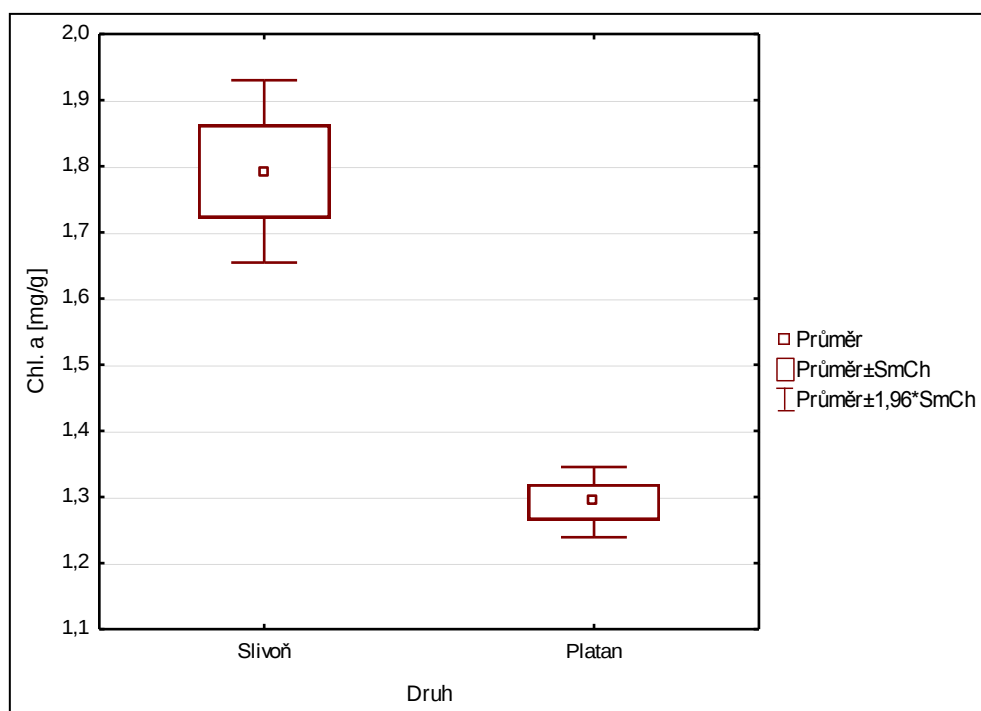
R (relative water content) = relativní obsah vody v listech (%)

3.7 Analýza dat

Statistická analýza dat byla vypracována pomocí programu Statistica 12. Hodnoty platanu javorolistého a slivoně chloupkaté v různých metodách (fluorescenční měření, stanovování množství fotosyntetických pigmentů, pH listového extraktu, relativní obsah vody a množství kyseliny askorbové v listech) a rozdíly mezi měřeními z roku 2013 a 2015 u platanu byly testovány prostřednictvím t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin. Statisticky významné rozdíly byly testovány na hladině významnosti 0,05 ($p < 0,05$). Výsledný graf APTI indexu byl zpracován prostřednictvím aplikace Microsoft Excel 2007.

4. Výsledky

4.1 Fotosyntetické pigmenty

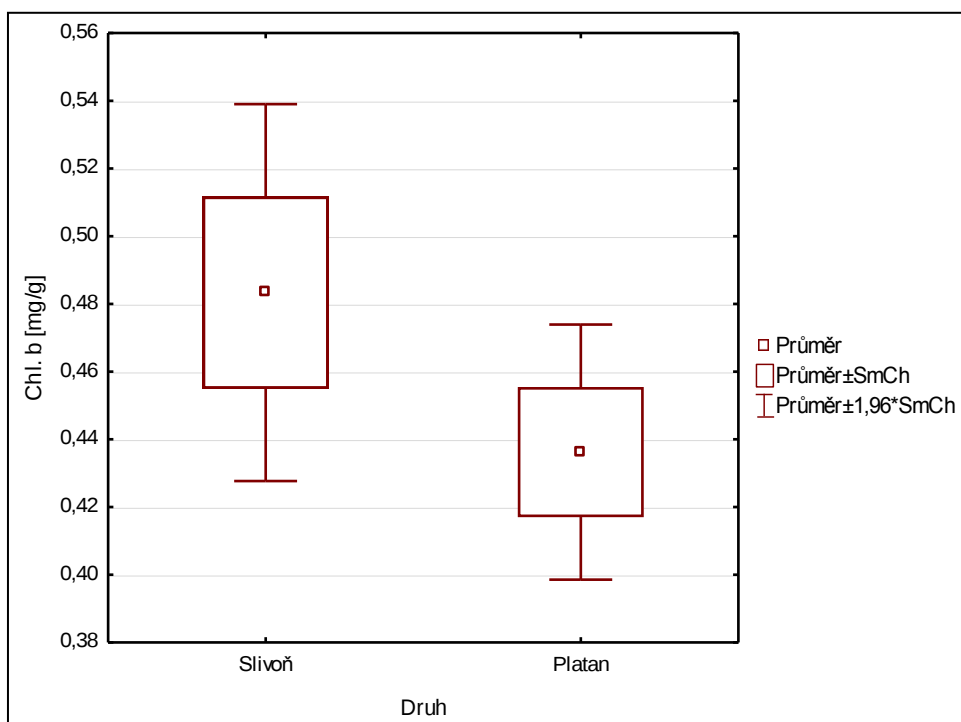


Obr. č. 6: Hodnoty obsahu chlorofylu a v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 1 : Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chlorofylu a pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,000006	6,633686	6,729121

Z obr. č. 6 je patrné, že průměrná hodnota obsahu chlorofylu a u slivoně byla vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota obsahu chlorofylu rovnala 1,79 mg/g, u platanu byla 1,29 mg/g. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.1).

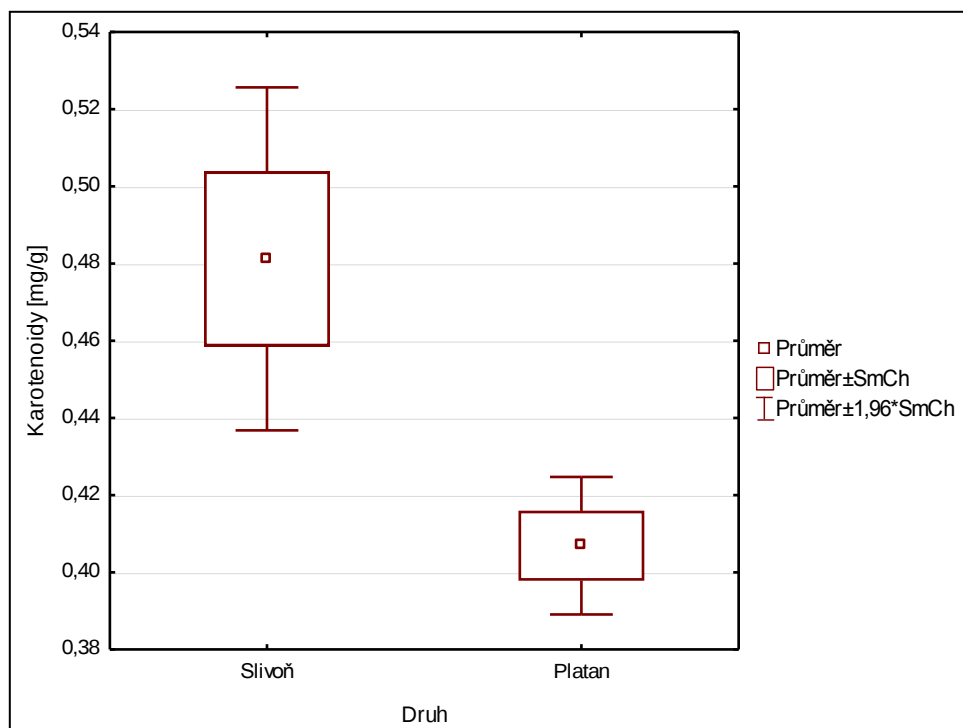


Obr. č. 7: Hodnoty obsahu chlorofylu b v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 2: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chlorofylu b pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,188508	1,373597	2,182661

V obsahu chlorofylu b nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi slivoní a platanem (tab. 2). U slivoně se průměrná hodnota obsahu chlorofylu b rovnala 0,48 mg/g, u platanu byla 0,44 mg/g (obr. 7).

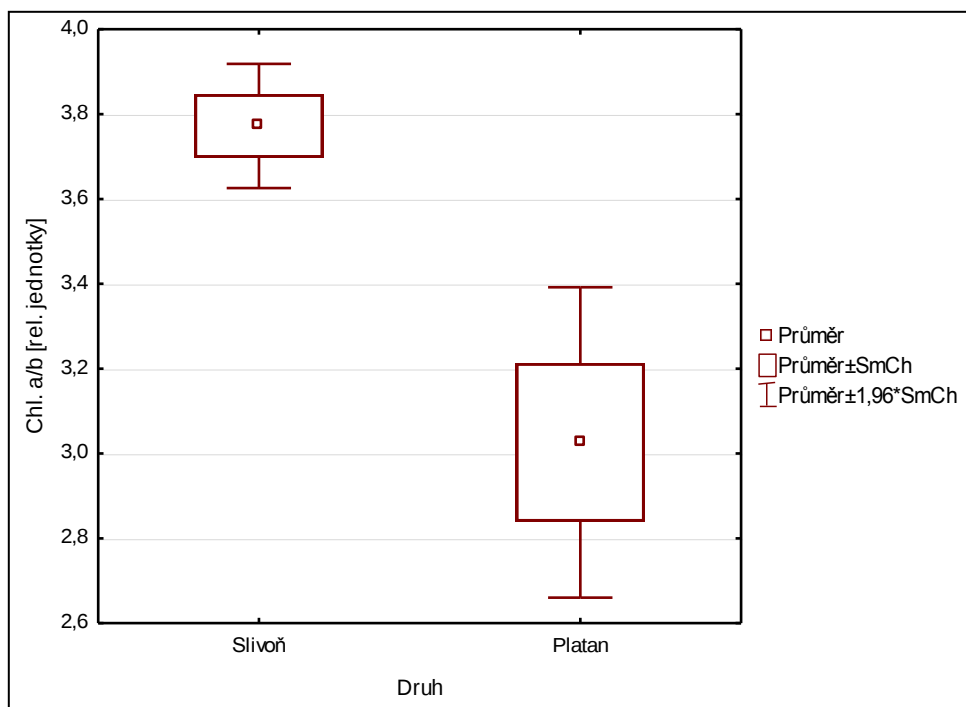


Obr. č. 8: Hodnoty obsahu karotenoidů v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 3: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu karotenoidů pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,007752	3,042953	6,217411

Z obr. č. 8 je patrné, že průměrná hodnota obsahu karotenoidů u slivoně byla vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota obsahu karotenoidů rovnala 0,48 mg/g, u platanu byla 0,41 mg/g. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.3).

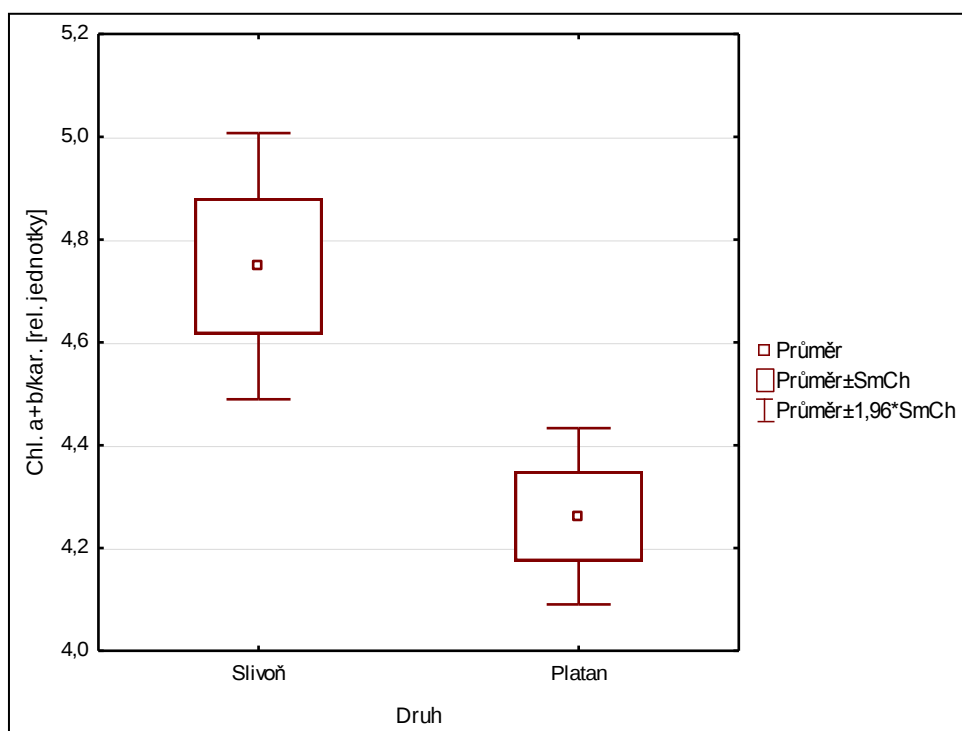


Obr. č. 9: Hodnoty koeficientu chl a/b v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 4: Statistické vyhodnocení hodnot koeficientu chl a/b pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,001903	3,709653	6,235932

Z obr. č. 9 je patrné, že průměrná hodnota koeficientu chl a/b byla u slivoně vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota poměru chlorofylů rovnala 3,77, u platanu byla 3,03. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.4).



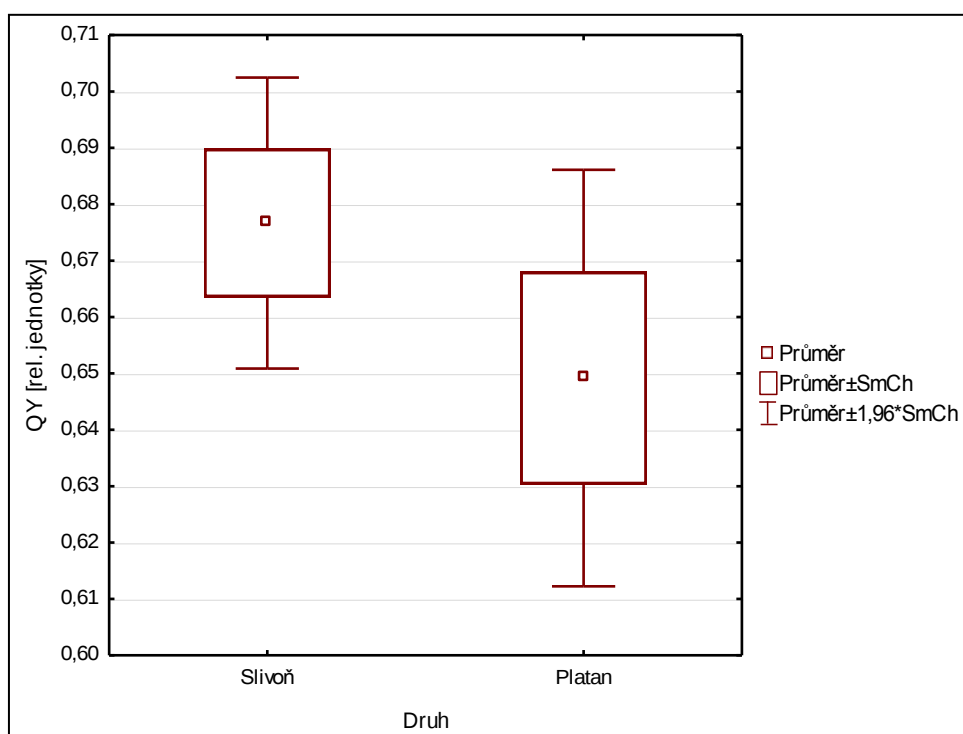
Obr. č. 10: Hodnoty koeficientu chl a+b/kar v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 5: Statistické vyhodnocení hodnot koeficientu chl a+b/kar pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,007318	3,070492	2,282601

Z obr. č. 10 je patrné, že průměrná hodnota koeficientu chl a+b/kar byla u slivoně vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota poměru fotosyntetických pigmentů rovnala 4,75, u platanu byla 4,26. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.5).

4.2 Fluorescenční měření



Obr. č. 11: Hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II (QY) v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 12$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

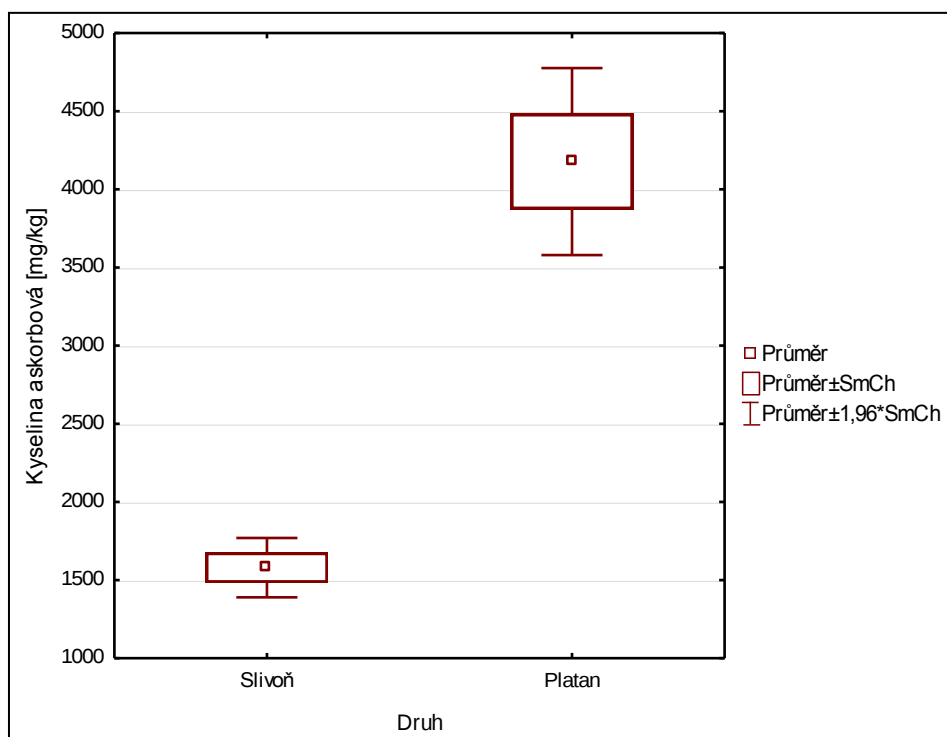
Tab. 6: Statistické vyhodnocení hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,244333	1,196249	2,050656

U maximální fotochemické efektivity fotosystému II nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi slivoní a platanem (tab. 6). U slivoně se průměrná hodnota QY rovnala 0,68, u platanu byla 0,65 (obr. 11).

4.3 Parametry APTI indexu

4.3.1 Obsah kyseliny askorbové pomocí jodometrie



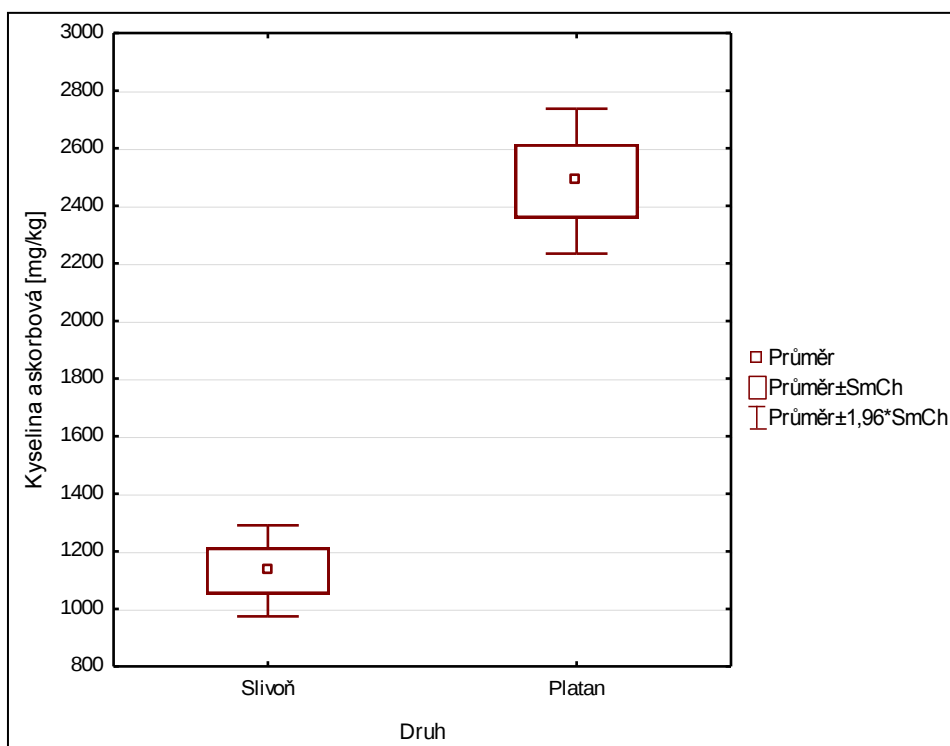
Obr. č. 12: Hodnoty obsahu kyseliny askorbové v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 7: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu kyseliny askorbové pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,00000004	-8,11468	9,896552

Z obr. č. 12 je patrné, že průměrná hodnota obsahu kyseliny askorbové byla u slivoně nižší než u platanu. U slivoně se hodnota obsahu kyseliny askorbové rovnala 1579,53 mg/kg, u platanu byla 4178,11 mg/kg. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.7).

4.3.2 Obsah kyseliny askorbové pomocí metody HPLC



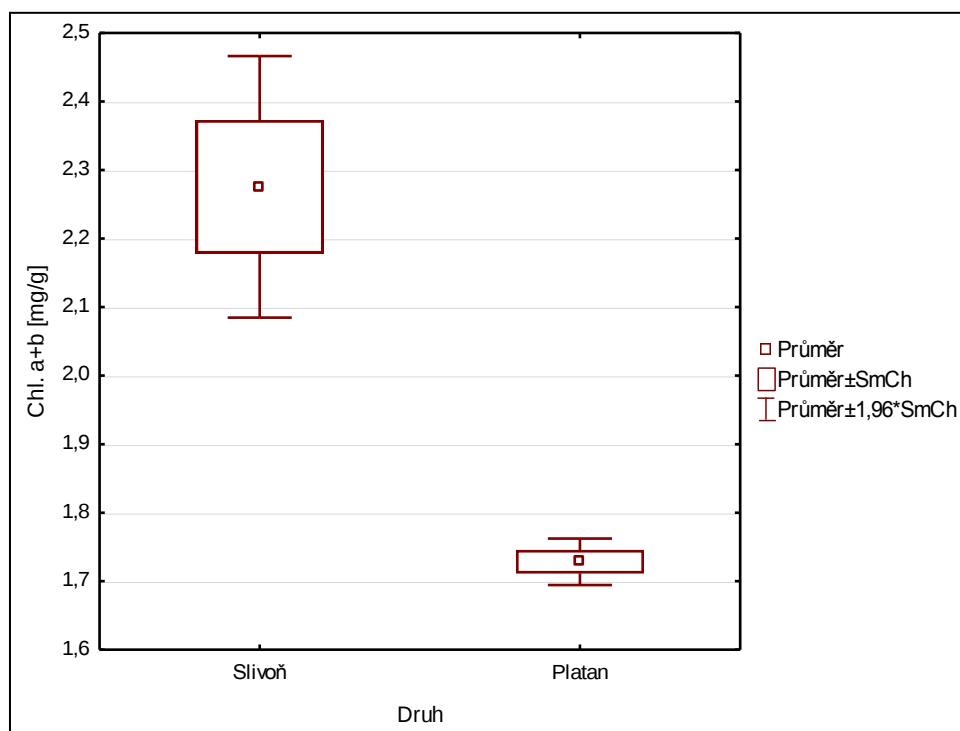
Obr. č. 13: Hodnoty obsahu kyseliny askorbové v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 3$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 8: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu kyseliny askorbové pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,000871	-8,92549	2,537545

Z obr. č. 13 je patrné, že průměrná hodnota obsahu kyseliny askorbové byla u slivoně nižší než u platanu. U slivoně se hodnota obsahu kyseliny askorbové rovnala 1132,24 mg/kg, u platanu byla 2485,74 mg/kg. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.8).

4.3.3 Celkový obsah chlorofylu a+b



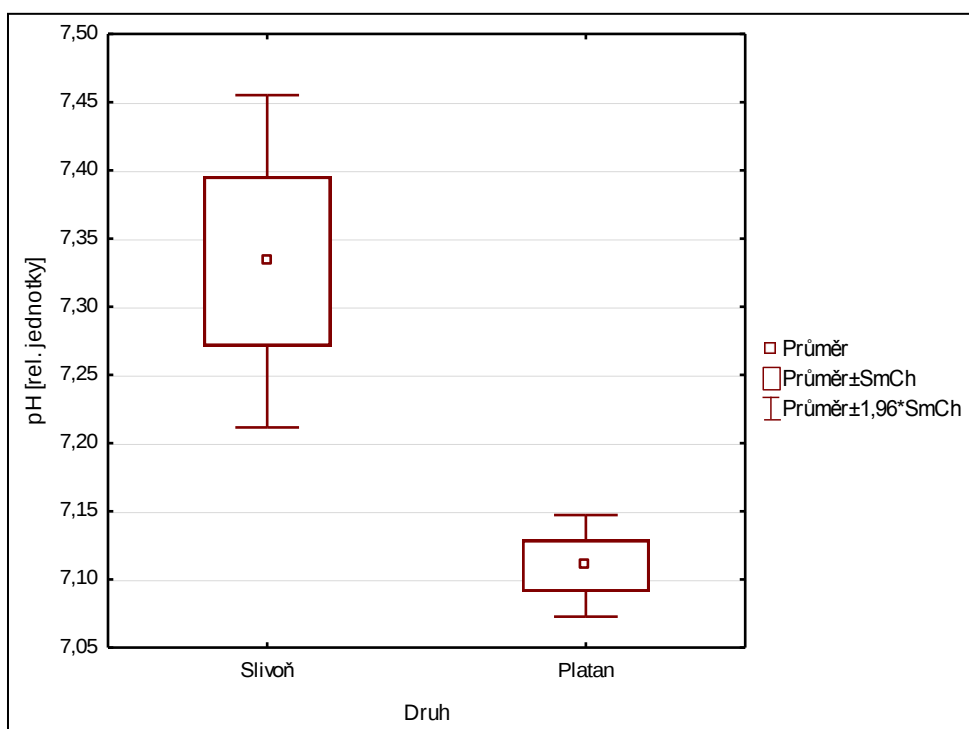
Obr. č. 14: Hodnoty obsahu chl a+b v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 9: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chl a+b pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,000046	5,530442	31,68518

Z obr. č. 14 je patrné, že průměrná hodnota obsahu chl a+b byla u slivoně vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota obsahu chlorofylu rovnala 2,28 mg/g, u platanu byla 1,73 mg/g. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.9).

4.3.4 pH listového extraktu



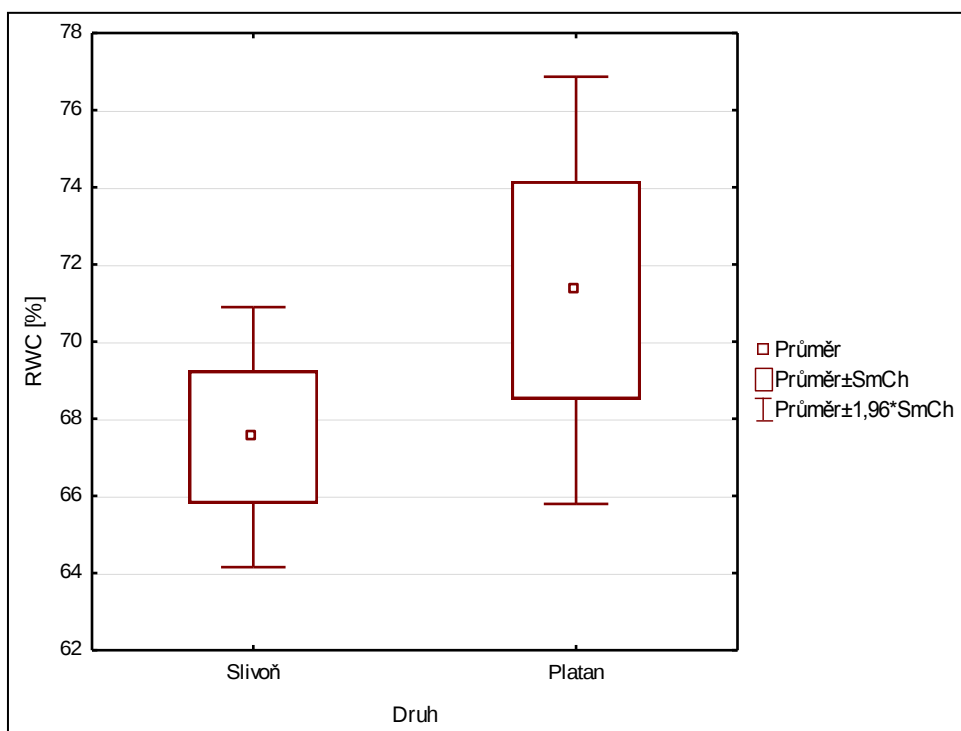
Obr. č. 15: Hodnoty pH v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 10: Statistické vyhodnocení hodnot pH pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,003401	3,434769	10,70769

Z obr. č. 15 je patrné, že průměrná hodnota pH listového extraktu byla u slivoně vyšší než u platanu. U slivoně se hodnota pH rovnala 7,33, u platanu byla 7,11. Statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy stromů byl průkazný (tab.10).

4.3.5 Relativní obsah vody v listech



Obr. Č. 16: Hodnoty RWC v srpnu u listů platanu a slivoně v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, n = 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 11: Statistické vyhodnocení hodnot RWC pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

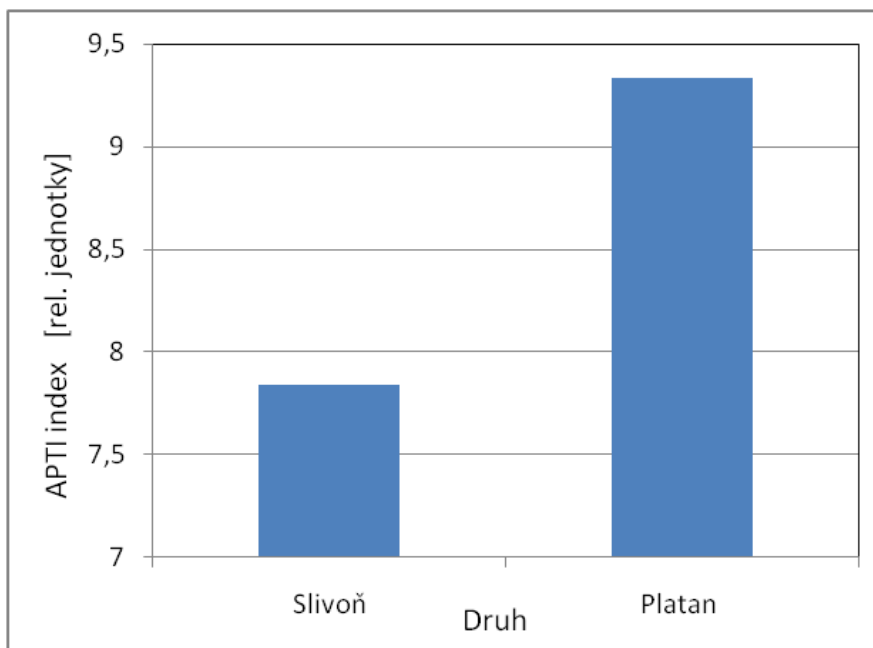
p	t	F-poměr Rozptyly
0,266890	-1,15038	2,699373

U RWC nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi platanem a slivoní (tab. 11). U slivoně se průměrná hodnota RWC rovnala 67,53 %, u platanu byla 71,33 % (obr. 16).

4.4. APTI index

Tento index byl počítán podle rovnice (Singh a Rao, 1983):

$$\text{APTI} = [A (T+P) + R]/10$$



Obr. č. 17: Vyhodnocení APTI indexu v srpnu u slivoně a platanu, sloupcový graf.

Z obr. č. 17 je patrné, že lépe z hlediska vyhodnocení APTI indexu vyšel platan. Jeho hodnota po vypočtení z rovnice vycházela 9,33, u slivoně byla tato hodnota menší a to 7,84.

Tab. 12: Meteorologické parametry v době odběru vzorků a terénního měření u *Platanus acerifolia* v srpnu v lokalitě Lannova třída.

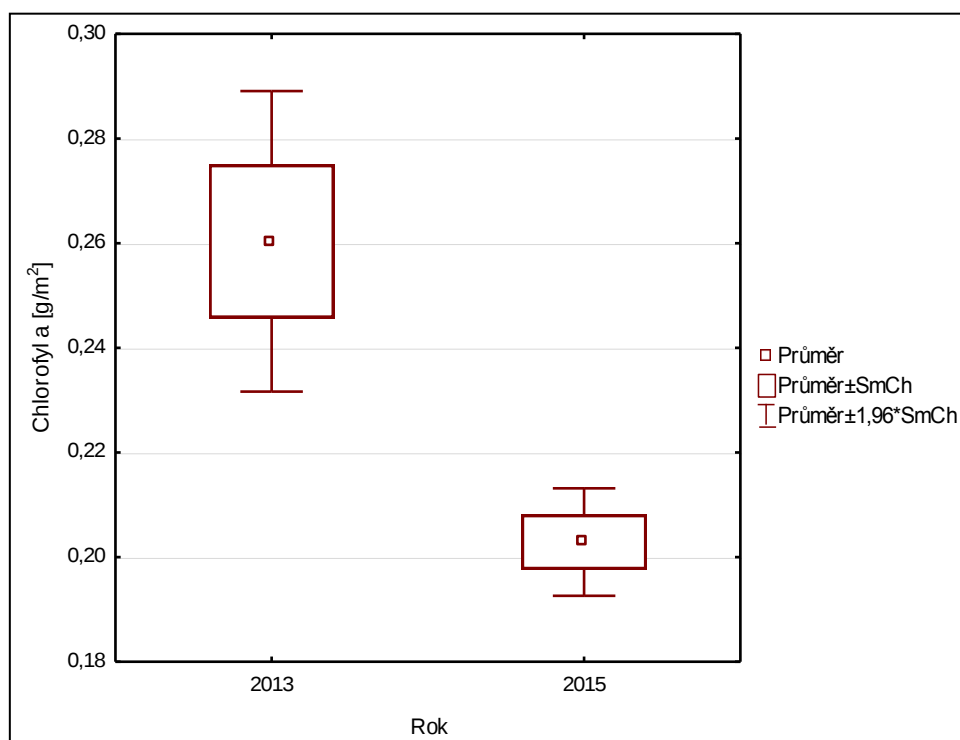
<i>Platanus acerifolia</i>								
SO ₂ (µg/m ³)		NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)		PM ₁₀ (µg/m ³)		PM _{2,5} (µg/m ³)	Teplota (°C)
1h	24h	1h	1h	8h	1h	24h	1h	29
5,9	5,9	6,5	103,7	57,4	5,0	14,5	6,0	

Tab. 13: Meteorologické parametry v době odběru vzorků a terénního měření u *Prunus subhirtella v. autumnalis rosea* v srpnu v lokalitě Lannova třída.

<i>Prunus subhirtella v. autumnalis rosea</i>								
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	29
5,9	6,0	8,0	105,5	69,6	6,0	13,9	4,0	

4.5 Porovnání obsahu fotosyntetických pigmentů u platanu javorolistého

Pro porovnání obsahu fotosyntetických pigmentů byly sbírány listové vzorky platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*) rostoucí v lokalitě Lannova třída v Českých Budějovicích. První odběr listových vzorků a následné stanovení fotosyntetických pigmentů v laboratoři proběhlo v srpnu roku 2013, druhý odběr listových vzorků se uskutečnil tentýž měsíc o dva roky později.

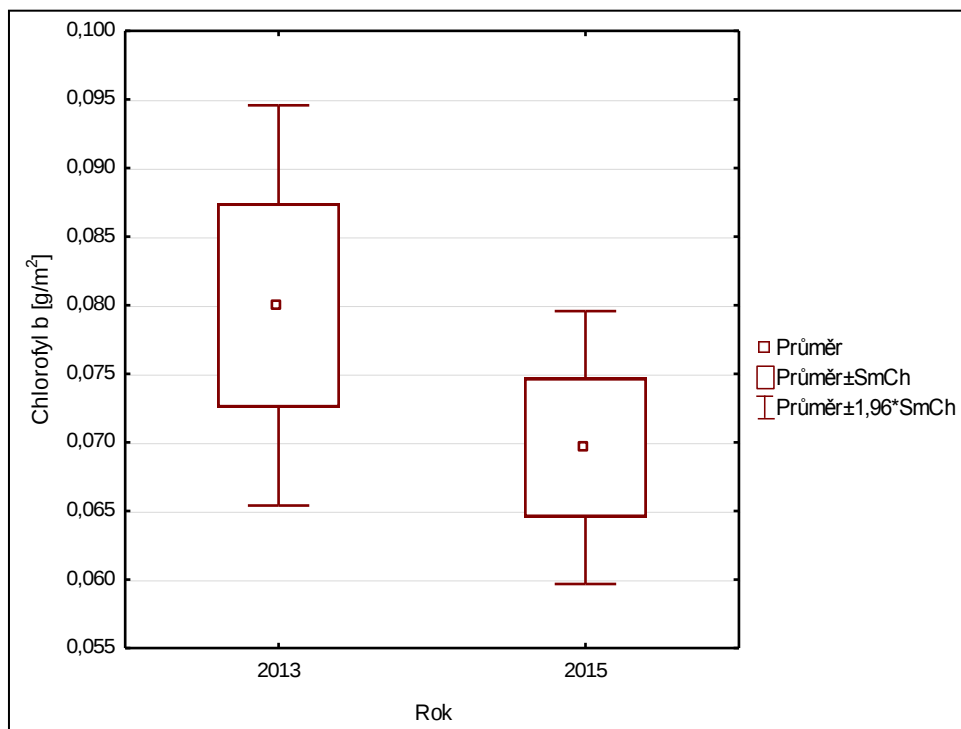


Obr. č. 18: Porovnání hodnot obsahu chlorofylu a u platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 14: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chlorofylu a u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,001963	3,694936	7,827950

Z obr. č. 18 je patrné, že průměrná hodnota obsahu chlorofylu a u platanu z roku 2013 byla vyšší než v roce 2015. V roce 2013 se hodnota obsahu chlorofylu rovnala $0,26 \text{ g/m}^2$, v roce 2015 byla $0,20 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma roky u platanu javorolistého byl průkazný (tab.14).

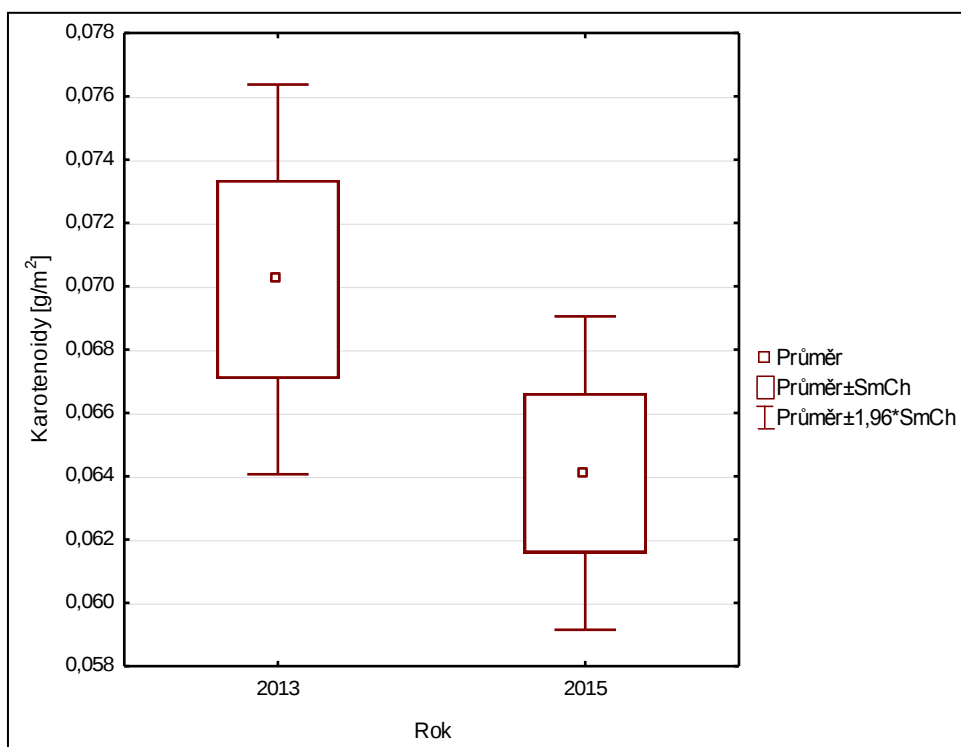


Obr. č. 19: Porovnání obsahu chlorofylu b u platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 15: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chlorofylu b u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,266995	1,150121	2,152394

Obsah chlorofylu b se u platanu javorolistého v roce 2015 nelišil od obsahu chlorofylu b podle měření prováděného v roce 2013 (obr.19). Rozdíl mezi oběma roky nebyl statisticky průkazný.(tab.15)

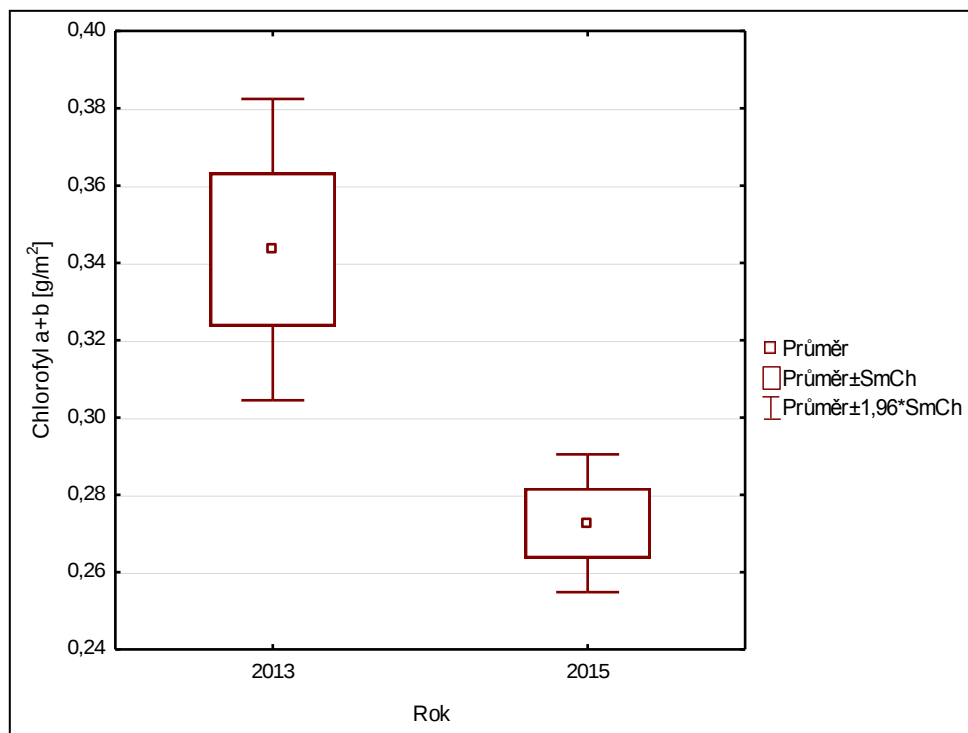


Obr. č. 20: Porovnání hodnot obsahu karotenoidů u platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 16: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu karotenoidů u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,148652	1,517490	1,546145

Obsah karotenoidů se u platanu javorolistého v roce 2015 nelišil od obsahu karotenoidů podle měření prováděného v roce 2013 (obr.20). Rozdíl mezi oběma roky nebyl statisticky průkazný (tab.15).

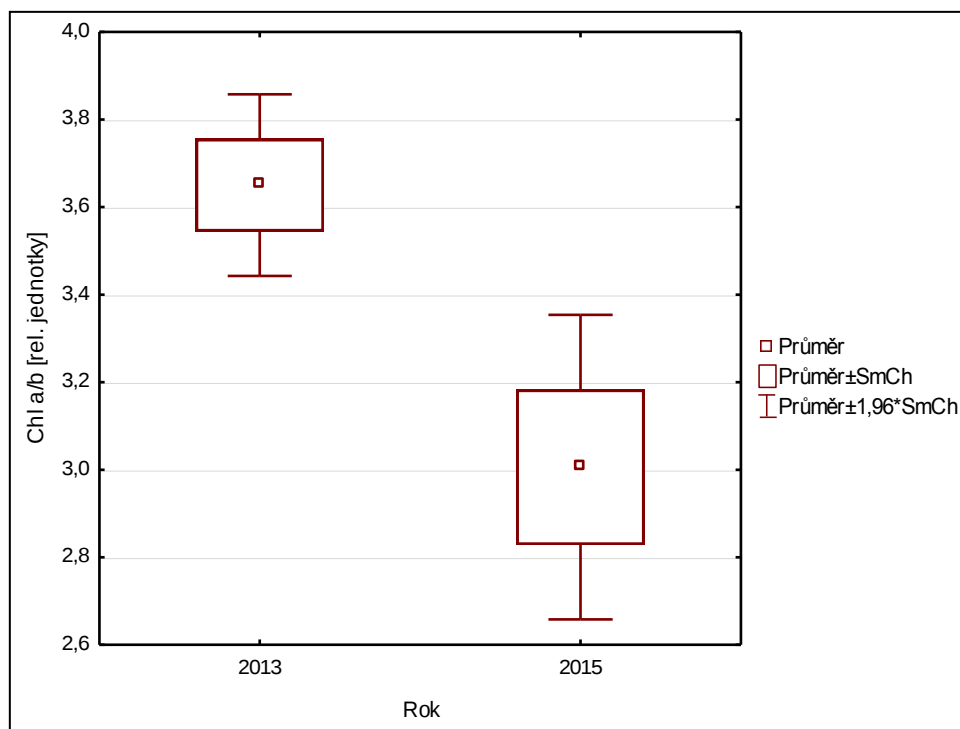


Obr. č. 21: Porovnání hodnot obsahu chl a+b platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 17: Statistické vyhodnocení hodnot obsahu chl a+b u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,005153	3,237666	4,777069

Z obr. č. 21 je patrné, že průměrná hodnota obsahu chlorofylu a+b u platanu z roku 2013 byla vyšší než v roce 2015. V roce 2013 se hodnota obsahu chlorofylu rovnala $0,34 \text{ g/m}^2$, v roce 2015 byla $0,27 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma roky u platanu javorolistého byl průkazný (tab.17).

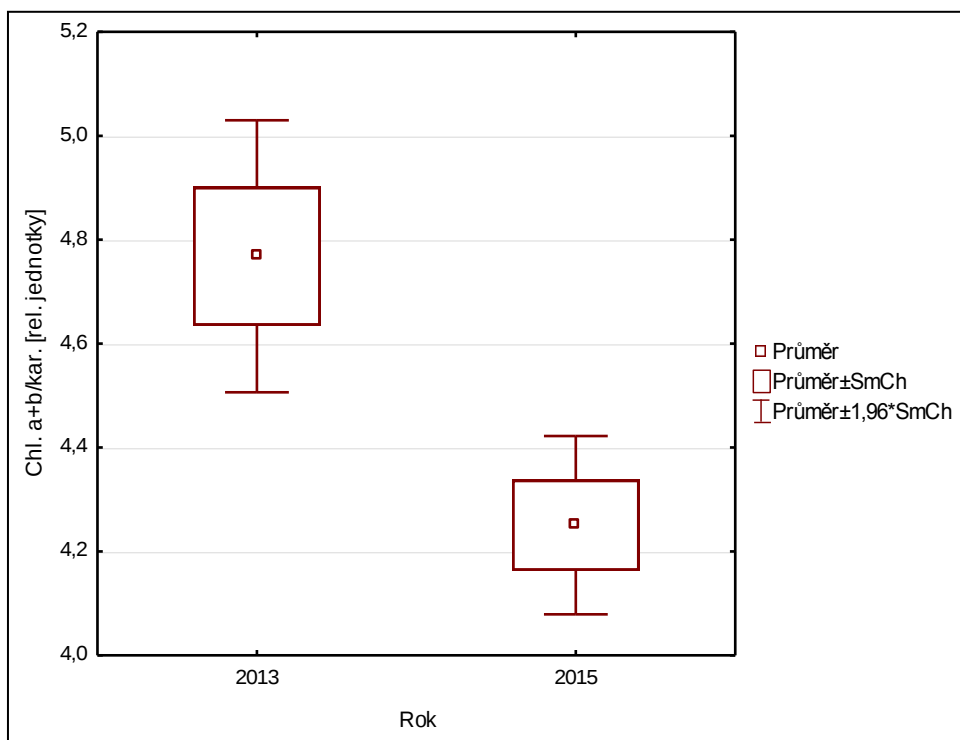


Obr. č. 22: Porovnání hodnot koeficientu chl a/b platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 18: Statistické vyhodnocení hodnot koeficientu chl a/b u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,006633	3,117414	2,809462

Z obr. č. 22 je patrné, že průměrná hodnota poměru chl a/b u platanu z roku 2013 byla vyšší než v roce 2015. V roce 2013 se hodnota poměru chlorofylů rovnala 3,65, v roce 2015 byla 3,00. Statisticky významný rozdíl mezi oběma roky u platanu javorolistého byl průkazný (tab.18).



Obr. č. 23: Porovnání hodnot koeficientu chl a+b/kar platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, $n = 9$, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

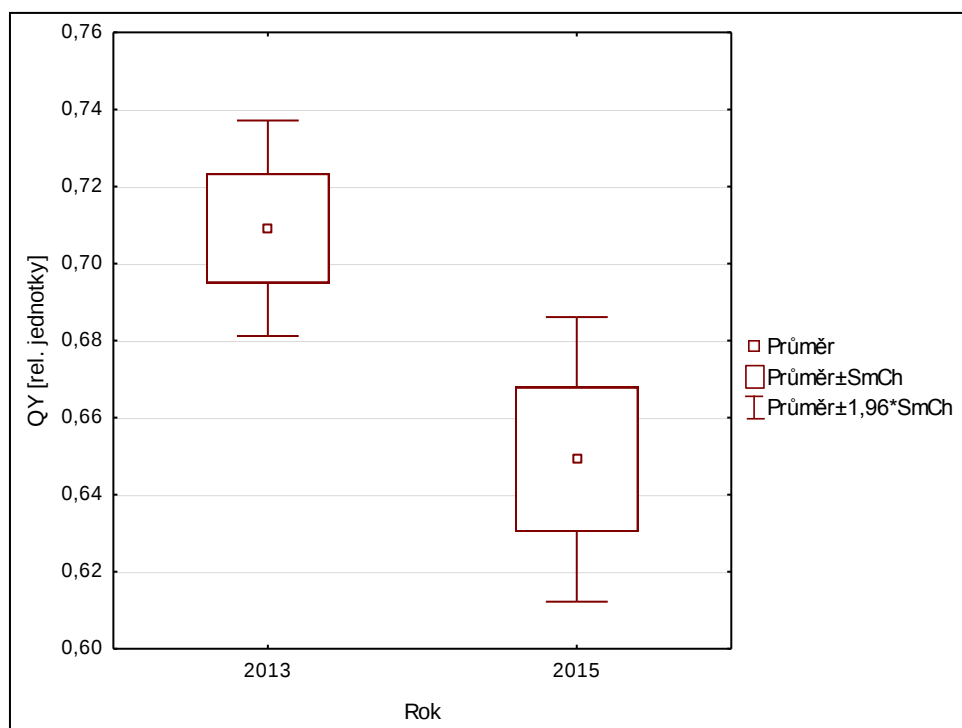
Tab. 19: Statistické vyhodnocení hodnot koeficientu chl a+b/kar u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,005132	3,239635	2,328034

Z obr. č. 23 je patrné, že průměrná hodnota koeficientu chl a+b/kar u platanu z roku 2013 byla vyšší než v roce 2015. V roce 2013 se hodnota poměru fotosyntetických pigmentů rovnala 4,77, v roce 2015 byla 4,25. Statisticky významný rozdíl mezi oběma roky u platanu javorolistého byl průkazný (tab.19).

4.6 Porovnání fluorescenčního měření u platanu javorolistého

U listových vzorků sebraných z platanu javorolistého (*Platanus acerifolia*) rostoucího v lokalitě Lannova třída v Českých Budějovicích byla zjišťována maximální fotochemická efektivita fotosystému II. První fluorescenční měření proběhlo v srpnu roku 2013, druhé měření se uskutečnilo tentýž měsíc o dva roky později.



Obr. č. 24: Porovnání hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II (QY) u platanu javorolistého v srpnu v roce 2013 a 2015 v lokalitě Lannova třída, krabicový graf, n= 9, hladina významnosti 0,05 ($p < 0,05$)

Tab. 20: Statistické vyhodnocení hodnot maximální fotochemické efektivity fotosystému II u platanu javorolistého pomocí t-testu pro nezávislé vzorky dle skupin.

p	t	F-poměr Rozptyly
0,018749	2,537810	1,743725

Z obr. č. 24 je patrné, že průměrná hodnota QY u platanu z roku 2013 byla vyšší než v roce 2015. V roce 2013 se hodnota QY rovnala $0,71 \text{ g/m}^2$, v roce 2015 byla $0,65 \text{ g/m}^2$. Statisticky významný rozdíl mezi oběma roky u platanu javorolistého byl průkazný (tab.20).

5. Diskuze

5.1 Fotosyntetické pigmenty

V srpnu roku 2015 proběhlo měření obsahu fotosyntetických pigmentů v asimilačních orgánech dospělých stromů *Platanus acerifolia* a *Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea* rostoucí v lokalitě Lannova třída v Českých Budějovicích, která se nachází v blízkosti rušné komunikace (foto 1, 2).

Ve všech případech měla slivoň vyšší průměrné hodnoty obsahu fotosyntetických pigmentů než platan (obr. 6, 8, 9, 10). Téměř vždy byly prokázány statisticky významné rozdíly (tab. 1, 3, 4, 5), výjimkou byly hodnoty chlorofylu b, kde nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi oběma druhy (tab. 2).

Obsah chlorofylu v listech rostlin umožňuje vyhodnotit výkonnost fotosyntetického aparátu (Loh a kol., 2002). Pokud je obsah fotosyntetických pigmentů v listech rostlin nízký, může být důvodem slabé výkonnosti fotosyntézy (Swoczyna a kol., 2010). Jedním z důvodů, proč u platanu byly naměřeny menší hodnoty obsahu fotosyntetických pigmentů než u slivoně, by podle některých autorů (Rubio-Covarrubias a kol., 2009) mohly být poruchy v dostupnosti dusíku nebo ostatních živin. Tento fakt byl potvrzen i v dalších studiích (Radin a Parker, 1979), kde se také prokázalo, že nedostatek dusíku souvisí s nedostatkem vody. Z dalších výzkumů vyplývá, že obsah pigmentů závisí na věku listu. Čím je strom starší, tím více chlorofylu obsahuje (Wittenbergheho a kol., 2014). To by mohlo být jedním z vysvětlení, proč slivoň na Lannově třídě obsahuje větší množství fotosyntetických pigmentů.

Rostliny aktivně akumulují karotenoidy, které chrání aktivní centra fotosystémů před fotoinhibicí (Deming-Adams a Adams, 1992). Jedná se o typickou odpověď mnoha rostlin zejména v poledních hodinách, kdy je intenzita slunečního záření a teplota vzduchu nejvyšší (Lichthenthaler, 2007). V tomto výzkumu měla slivoň větší obsah karotenoidů než platan. U slivoně byla naměřena průměrná hodnota obsahu karotenoidů 0,48 mg/g, u platanu 0,41 mg/g (obr.8). Z toho vyplývá, že slivoň obsahující více karotenoidů, byla lépe chráněna před nadměrným zářením.

Rozdíl v poměru chl a/b mezi oběma stromy byl statisticky průkazný (tab. 4). Slivoň měla průměrnou hodnotu koeficientu chl a/b 3,77, platan měl 3,03 (obr.9). Pokud tento poměr přesahuje hodnotu 3,0, jedná se podle Lichtenthalera (2004) o zdravé, mladé a zelené listy. V tomto případě se potvrdilo, že byly sbírány zdravé listy bez viditelného poškození. Poměr chl a/b je také silně ovlivněn ozářeností listů. Čím je hodnota koeficientu a/b menší, tím menší je ozářenost listu. Pro zamezení tohoto jevu byly sbírány pouze osluněné listy (Lichtenthaler a kol., 2007). Z fyziologického hlediska jsou hodnoty koeficientu a/b významným parametrem pro hodnocení fotosyntetického aparátu. Větší hodnota koeficientu a/b značí lépe fungující fotosyntetický aparát (Lichtenthaler a Babani, 2004). Podle Lewandowské a Jarvise (1977) větší hodnoty poměru chlorofylu a/b způsobují lepší odolnost stromu vůči stresům vyskytujících se ve městech. V tomto výzkumu sejevila z hlediska vyššího koeficientu a/b lépe slivoň, která více odolávala městskému stresu.

Dalším velmi důležitým parametrem pro posouzení fyziologického stavu rostlin je poměr fotosyntetických pigmentů. Tento poměr je možné použít jako bioindikátor poškození stromů, který naznačuje, zda je fotosyntetický aparát pod vlivem stresu a je vážně poškozen či nikoliv (Ditmarová a kol., 2008). Podle Lichtenthalera (1985) se hodnoty koeficientu chl a+b/kar u zdravých stromů pohybují kolem 5-8. Pokud na strom působí nějaký stresový faktor, tak hodnoty tohoto koeficientu klesnou do rozmezí 3-5, zatímco listy stromů zůstávají stále zelené. V případě, že se u listů vyskytne žlutozelené zbarvení, sníží se poměr fotosyntetických pigmentů pod 3, často na 1-2. V tomto výzkumu se průměr hodnot chl a+b/kar pohyboval v rozmezí 4-5. U slivoně byla průměrná hodnota koeficientu 4,75, u platanu 4,26 (obr.10). Tyto obsahy fotosyntetických pigmentů podle Lichtenthalera naznačují, že na oba dva druhy stromů působil nějaký stresující faktor. Jako stresující faktory v této lokalitě mohly působit nejen atmosférické polutanty, ale i udusaná půda, nadměrná teplota, která se v době měření pohybovala kolem 30 °C a v neposlední řadě také sucho, které bylo v jarních a letních měsících roku 2015 extrémní. Jak už bylo zmíněno, u platanu byly zjištěny menší hodnoty koeficientu chl a+b/kar. Právě tento pokles indikuje adaptivní reakci fotosyntetických pigmentů na stres. Nižší hodnoty tohoto koeficientu jsou způsobeny relativně větším zastoupením karotenoidů ve spektru fotosyntetických

pigmentů. Karotenoidy mají schopnost bránit fotosyntetický aparát vůči účinkům volných radikálů, které vznikají následkem různých stresových faktorů. Pokud klesne hodnota tohoto poměru pod 4,63, tak to je typické pro rostliny, které rostou pod vysokým slunečním zářením. Takové listy zůstávají zelené a vyrovnávají se lépe také s vysokými teplotami ovzduší (Deming-Adams a Adams, 1992).

5.2 Fluorescenční měření

Výsledky fluorescenčního měření ukazují, že maximální fotochemická efektivita fotosystému II (QY) se mezi oběma sledovanými druhy stromů nelišila. (tab. 6).

Několik výzkumných prací potvrzuje, že měření chlorofylu pomocí fluorescenční metody umožňuje rychlou diagnostiku fyziologického stavu stromu (Kolber a kol., 1998). Pokud hodnota fluorescence klesne pod 0,72, dochází k fyziologické poruše uvnitř stromu (Ditmarová a kol., 2008). Bolhar-Nordenkamp a Götzl (1992) provedly několik měření a rozdělily hodnoty fluorescence do čtyř skupin. Za normální hodnotu fluorescence se považuje 0,85. Prahová hodnota pro poškození se uvádí 0,72, dále těžké, ale reverzibilní poškození 0,6, a poslední hodnota 0,3 poukazuje na závažné strukturní poškození.

V tomto výzkumu byly průměrné hodnoty fluorescence 0,68 u slivoně a 0,65 u platanu (obr.11). Podle předchozí studie tyto hodnoty spadají do těžkého, ale reverzibilního poškození. Důvodem proč jsou tyto hodnoty tak malé, může být doba, ve které se provádělo fluorescenční měření. To probíhalo v létě minulého roku, kde venkovní teplota dosahovala 29 °C. Barber a Andersson (1992) potvrzují, že nadměrné záření může vyvolat fotoinhibici a poškodit fotosyntetický aparát.

5.3 Kyselina askorbová

Vitamín C v listech byl stanovován pomocí dvou metod. První z nich byla metoda jodometrie. Prostřednictvím této metody byl zjištěn u slivoně průměrný obsah kyseliny askorbové 1579,53 mg/kg, u platanu byla hodnota obsahu více jak 2,5krát větší, a to 4178,11 mg/kg (obr.12). Mnohem citlivější metodou pro stanovení kyseliny askorbové je metoda HPLC. V dnešní době je tato technika nejpoužívanější pro stanovení obsahu kyseliny askorbové v různých vzorcích, protože je to metoda vysoce přesná, dobře reprodukovatelná a má relativně

krátkou dobu analýzy (Nojavan a kol., 2008). Díky této technice byl naměřen průměrný obsah kyseliny askorbové v listech slivoně 1132,24 mg/kg, u listů platanu se hodnota obsahu více jak 1,5krát snížila oproti hodnotě, která byla naměřena metodou jodometrie. Tento obsah činil u platanu 2485,74 mg/kg (obr.13). Výsledky stanovené prostřednictvím techniky HPLC nesouhlasí s výsledky, které byly získány titrační metodou. Vyplývá z nich, že titrační metoda nemůže být použita jako alternativa k metodě HPLC pro stanovování kyseliny askorbové v listech, neboť výsledky se hlavně u platanu značně lišily.

Z výsledků obou metod však vyplývá, že platan obsahoval větší množství kyseliny askorbové než slivoň. Jak už bylo naznačeno v části literárního přehledu, kyselina askorbová je velmi významným antioxidantem, který chrání rostliny před reaktivními formami kyslíku. Ty vznikají např. vlivem intenzivního slunečního záření, vysokých teplot či dalších stresů (Simon a kol., 2000) a mohou poškozovat rostliny. Stromy se brání tak, že zvyšují obsah kyseliny askorbové v listech a snášejí lépe vysoké teploty (Smirnoff, 1996). Z hlediska průměrného obsahu kyseliny askorbové byl lépe přizpůsoben většímu stresu platan než slivoň.

5.4 Celkový obsah chlorofylů

Podle Peñuelasa a Filelliho (1997) má celkový obsah chlorofylů přímou souvislost se stresovou fyziologií rostlin. V některých výzkumech (Joshi a Swami 2007) se uvádí, že velký vliv na snížení celkového obsahu chlorofylů má znečištěné ovzduší. Ovšem podle Sarieva a kol. (2010) není znečištěné ovzduší jediným stresovým faktorem, který snižuje celkový obsah chlorofylu. Jeho výzkum potvrdil, že také teplotní stres degraduje obsah chlorofylů a dochází k fotoinhibici. Z dalšího výzkumu Thambavaniho a Maheswariho (2012) vyplynulo, že vyšší obsahy celkových chlorofylů, jsou ukazatelem tolerantnějšího charakteru rostlin. V tomto výzkumu byla průměrná hodnota celkového obsahu chlorofylů u listů slivoně 2,28 mg/g, u listů platanu byla 1,73 mg/g (obr.14). Z předchozí studie vyplývá, že z hlediska celkového obsahu chlorofylů je tolerantnější slivoň než platan.

5.5 pH listového extraktu

Stanovení pH listového extraktu je jedním z biochemických parametrů, který působí jako indikátor znečištěného ovzduší. Bylo zjištěno, že v přítomnosti

znečišťujících látek se pH listového extraktu snižuje. Tento pokles charakterizuje citlivější rostliny. Nízká hodnota pH extraktu ukázala dobrou korelaci s citlivostí na znečištěné ovzduší, zatímco vyšší hodnoty pH jsou charakteristické pro tolerantnější druhy, protože dochází k přeměně hexózy na kyselinu askorbovou (Joshi a Bora, 2011). V tomto výzkumu se průměrná hodnota pH pohybovala v rozmezí 7-8. U slivoně bylo pH listového extraktu 7,33, u platanu 7,11 (obr.15). Podle stupnice, kterou uvádí Lakshmi a kol. (2009), jsou z hlediska stanovení pH listového extraktu oba tyto stromy středně tolerantní a citlivé na znečišťující látky v ovzduší.

5.6 Relativní obsah vody

Obsah vody v listech je užitečným ukazatel vodní bilance rostlin. Značný obsah vody v rostlině pomáhá udržovat fyziologickou rovnováhu ve stresových podmínkách (Lohe a kol., 2015). Vysoký relativní obsah vody zvýhodňuje odolnost rostlin vůči suchu. Tento fakt potvrzuje Teulat a kol. (1997), který ve svém výzkumu zjistil, že relativní obsah vody je silně ovlivněn teplotními podmínkami v prostředí. Čím je teplota vzduchu vyšší, tím se obsah vody v listech snižuje. Snížení relativního obsahu vody v rostlinách může být podle Joshiniho a Swamiho (2007) způsobeno vlivem znečišťujících látek. V našem případě byl relativní obsah vody v listech slivoně 67,53 %, v listech platanu 71,33 % (obr.16). Pokud se hodnoty RWC pohybují od 53 % až do 73 %, jedná se podle Lakshmi a kol. (2009) o středně tolerantní druhy. Hodnoty RWC byly zřejmě v extrémně teplém a suchém létě 2015 ovlivněny také nedostatkem vody v půdě.

5.7 APTI index

APTI index je založen na čtyřech biochemických parametrech, které určují, zda se jedná o tolerantní nebo citlivý druh vůči znečištěnému ovzduší. Podle několika výzkumů (Rai a Panda, 2014) se ve znečištěném ovzduší hodnota APTI indexu snižuje. Lakshmi a kol. (2008) klasifikoval rostliny v závislosti na jejich toleranci na znečištěné ovzduší podle APTI indexu do čtyř skupin. APTI hodnota v rozmezí od 30 do 100 charakterizuje tolerantní rostliny, od 17 do 29 středně tolerantní, 16 až 1 citlivé a menší než 1 jsou velmi citlivé rostliny. V naší studii měla slivoň menší hodnotu APTI indexu než platan. U slivoně byl tento index 7,84, u platanu 9,33 (obr.17). Z výsledků vyplývá, že platan je oproti slivoni tolerantnější

druh vůči znečištěnému ovzduší, avšak podle předchozího rozdělení oba dva druhy stromů podle vyhodnocení APTI indexu spadají do třetí skupiny a jeví se jako citlivé druhy.

5.8 Porovnání charakteristik platanu javorolistého v roce 2013 a 2015

Ve všech případech měl platan rostoucí v lokalitě Lannova třída větší průměrné hodnoty obsahu fotosyntetických pigmentů a byly naměřeny větší hodnoty maximální fotochemické efektivity fotosystému II v roce 2013 než v roce 2015 (obr. 18, 21, 22, 23, 24). Téměř vždy byly prokázány statisticky významné rozdíly, výjimkou byly hodnoty obsahu chlorofylu b a karotenoidů, kde se statisticky významný rozdíl neprokázal (tab. 15, 16).

Jedním z důvodů proč byly v roce 2015 naměřeny menší hodnoty, mohlo být velmi teplé a suché léto. Teploty v době fluorescenčního měření a odběru vzorků i dlouhodobě předtím se v roce 2015 pohybovaly na hranici 30 °C (tab. 12, 13). V roce 2013 proběhlo měření a sběr listových vzorků při teplotě kolem 20 °C a i v předcházejícím období byly teploty normální, bez teplotních extrémů. Jak už bylo několikrát řečeno, vysoké teploty a silný sluneční svit mají vliv na množství fotosyntetických pigmentů. To potvrzuje i výzkum Pattersona a kol. (1977), který naměřil při vysokém ozáření rostlin menší množství fotosyntetických pigmentů než u rostlin, které nebyly stresované velkou intenzitou slunečního záření.

6. Závěr

Z výsledků jednotlivých parametrů APTI indexu a následnému doplnění do rovnice $[A (T+P) + R]/10$ se ukázalo, že platan je podle vyšší hodnoty APTI indexu tolerantnější a lépe se vyrovnává se znečištěným ovzduším než slivoň. Avšak polutanty nacházející se v ovzduší nejsou jediným stresujícím faktorem, se kterým se musí stromy v lokalitě Lannova třída vyrovnávat. Dalšími velmi nepříznivými vlivy vyskytující se ve městech jsou zpevněné plochy, pod kterými se nachází udusaná půda nebo vyšší teploty, které jsou spojené s městským tepelným ostrovem.

Město je velmi nehostinným prostředím pro zeleň, proto by se do těchto lokalit měly vysazovat odolnější a přizpůsobivější druhy stromů. Ačkoli vyšel platan jako odolnější druh stromu oproti slivoni, podle autorů se řadí na základě hodnot APTI indexu do citlivých druhů. Z tohoto důvodu bych zvažovala o výsadbě jiných dřevin s větší tolerancí ke znečištěnému ovzduší.

6.1 Exkurze

Název exkurze: Stromy jako nedílná součást města

Cílová skupina: Žáci 7. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií (může být určena i pro starší žáky)

Počet žáků: Ideálně 15-20

Časová náročnost: Dvě vyučovací hodiny

Návaznost na RVP: Učivo fyziologie rostlin (základní principy fotosyntézy, dýchání, růst a rozmnožování)

Pomůcky: Určovací klíče a atlas stromů

Lupy

Průběh exkurze: Exkurze se skládá ze dvou stanovišť.

Stanoviště číslo 1: *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Lannova třída.

Stanoviště číslo 2: *Prunus subhirtella* rostoucí v lokalitě Lannova třída.

Na obou stanovištích nejdříve musí žáci zjistit, o jaký druh stromu se jedná, a to včetně jeho rodového jména, prostřednictvím určovacích klíčů a atlasů. Na základě zjištěných informací popíší druh stromu (jeho charakteristické znaky). Dále by následoval výklad vedený odborným pracovníkem, který by nastínil funkci a problémy stromů rostoucích ve městech. Zaměření by bylo především na stresové

fatory ovlivňující stromy ve městech. Poté by se žáci rozdělili do dvojic. Každá dvojice by si utrhla jeden list z každého druhu stromu. Pomocí lupy by srovnala oba dva listy (okraj listu, čepel, řapík, žilnatina) a zakreslila do pracovního listu.

Očekávané výstupy: Orientace a práce s určovacími klíči a atlasy

Správná manipulace a práce s lupou

Cíl exkurze: Seznámit žáky s funkcí zeleně ve městech a s problematikou znečištěného ovzduší, které negativně působí na stromy

Vyplnění pracovního listu.

Hodnocení žáka: Samostatné zpracování pracovního listu

6.2 Pracovní list

1. Urči, o jaký druh stromu se jedná včetně jeho rodového jména. K určení můžeš použít určovací klíče a atlasy.

2. Porovnej tvar listu platanu s listem slivoně a zakresli je. Víš, k čemu slouží drobné chloupky na povrchu listu platanu?

3. Vyjmenuj alespoň tři funkce zeleně ve městech.

.....
.....
.....

4. Spoj správně slova, která k sobě patří.

emise	kyselin askorbová
chlorofyl	čtyři biochemické parametry
udusaná půda	automobilová doprava
APTI index	zelené barvivo
vitamín C	nedostatek vody

7. Seznam literatury

Abida B., Harikrishna S., 2010: Evaluation of some tree species to absorb air pollutants in three industrial locations of South Bengaluru. E- Journal of Chemistry 7: 151- 156.

Affek H. P., Yakir D., 2002: Protection by isoprene against singlet oxygen in leaves. Plant Physiology 129: 269–277.

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

Ampoorter E., Schrijver A., Nevel L., Hermy M., Verheyen K., 2012: Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis. Annals of Forest Science 69: 533–542.

Assmann S. M., Shimazaki K. L., 1999: The multisensory guard cell, stomatal responses to blue light and abscisic acid. Plant Physiology 119: 809–816.

Armson D., Stringer P., Ennos A. R., 2012: The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. Urban Forestry and Urban Greening 11: 245–255.

Arora A., Sairam R. K., Srivastava G. C., 2002: Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current Science 10: 1227-1238.

Barber J., Andersson B., 1992: Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. Trends in Biochemical Science 17: 61–66.

Barek J., Bencko V., Cvačka J., Šuta M., 1998: Znečištění životního prostředí automobilovými emisemi. Chemické Listy 92: 794-798.

Barrs H. D., Weatherley P. E., 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 photoprotection, visual attraction, and human health. *The Plant Cell* 7: 1027-1038.

Batey T., 2009: Soil compaction and soil management-a review. *Soil Use Manage* 25: 335–345.

Beckett K. P., Freer-Smith P. H., Taylor G., 1998: Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental pollution* 99: 347–360.

Bennett J. P., 1995: Air Pollution Vulnerability of 22 Midwestern Parks. *Journal of Environmental Management* 44: 339-360.

Bolhar-Nordenkamp H.R., Götzl M., 1992: Chlorophyll- fluoreszenz als Indikator der mit der Seehöhe zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadeln. *FBVA-Berichte* 67: 119-131.

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

Carter G. A., 1993: Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. *American Journal of Botany* 80: 239–243.

Celestian S. B., Martin C. A., 2004: Rhizosphere, surface, and air temperature patterns at parking lots in Phoenix, Arizona, U.S. *Journal of Arboriculture* 30: 245–252.

Conklin P. L., 2001: Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant, Cell and Environment* 24: 383–394.

Cutler A. J., Krochko J. E., 1999: Formation and breakdown of ABA. *Trends in Plant Science* 4: 472–478.

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.

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.

Ditmarova Ľ., Kurjak D., Střelcova K., Priwitzer T., Kmeť J., Homolák M., Pichler V., 2012: Physiological response of irrigated and non-irrigated Norway spruce trees as a consequence of drought in field conditions. *European Journal of Forest Research* 131: 1737–1746.

Ditmarová L., Kmeť J., Leštianska A., Střelcová K., 2008: Analysis of physiological parameters of spruce trees as indicators of spruce dieback in the Spiš region. *Folia Oecologica* 35: 1-5.

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.

Faust M., Suranyi D., 1997: Origin and dissemination of cherry. *American Society for Horticultural Science* 19: 263–317.

Gill S., Handley J., Ennos R., Pauleit S., 2007: Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment* 33: 97–115.

Hagishima A., Narita K., Tanimoto J., 2007: Field experiment on transpiration from isolated urban plants. *Hydrological processes* 21: 1217–1222.

Halliwell B., 1994: Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *Lancet* 344: 721–724.

Hartung W., Radin J. W., 1989: Abscissic acid in the mesophyll apoplast and in the root xylem sap of water-stressed plants: the significance of pH gradients. *Current Topics Plant Biochemistry Physiology* 8: 110–124.

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.

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

Joshi N., Bora M., 2011: Impact of air quality on physiological attributes of certain plants. *Report and Opinion* 3: 42–47.

Joshi P. C., Swami A., 2007: Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India, *Environmentalist* 27: 365–374.

Kanakidou M., 2011: Megacities as hot spots of air pollution in the East Mediterranean. *Atmospheric Environment* 45: 1223–1235.

Kramer P. J., Boyer J. S., 1995: *Water relations of plants and soils*. San Diego. Academic Press: 495.

Krause G. H., Weis E., 1984: Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology II. interpretation of fluorescence signals. *Photosynthesis Research* 5:139–157.

Krishnaveni M., Lavanya K., 2014: Air Pollution Tolerance Index of plants a comparative study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 5: 320-324.

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

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

Křížek M., Drbal K., 1999: Analytická chemie. České Budějovice: skriptum JU, 186 s.

Kuddus M., Kumari R., Ramteke P. W., 2011: Studies on air pollution tolerance of selected plants in Allahabad city, India. *Journal of Environmental Research and Management* 2: 42-46.

Lakshmi P. S., Sarawanti K. L., Sirinivas N., 2009: Air pollution tolerance index of various plant species growing in industrial area. *Journal of Environmental Science* 2: 203–206.

Lakshmi P. S., Sravanti K. L., Srinivas N., 2008: Air Pollution Tolerance Index of Various Plant Species Growing in Industrial Areas. *The Ecoscan* 2: 203.

Lamb C., Dixon R. A., 1997: The oxidative burst in plant disease response. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 251–275.

Langner M., Kull M., Endlicher W. R., 2011: Determination of PM₁₀ deposition based on antimony flux to selected urban surfaces. *Environmental pollution* 159: 2028–2034.

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

Levine A., Tenhaken R., Dixon R., Lamb C., 1994: H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell* 79: 583–593.

Lewandowska M., Jarvis P. G., 1977: Changes in chlorophyll and carotenoid content, specific leaf area and dry weight fraction in Sitka spruce, in response to shading and season. *New Phytologist* 79: 247–256.

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

Lichtenthaler H. K., Babani F., Langsdorf G., 2007: Chlorophyll fluorescence imaging of photosynthetic activity in sun and shade leaves of trees. *Photosynthesis Research* 93: 235–244.

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

Lichtenthaler H. K., 1985: Differences in morphology and chemical composition of leaves grown at different light intensities and qualities. In *Control of Leaf Growth*. Eds. N. R. Baker, W. J. Davies and C. K. Ong. Cambridge Univ. Press. Cambridge: 201–221.

Lichtenthaler H. K., Wellburn A. R., 1983: Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of *Lea* extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591 – 592.

Lisko K. A., Hubstenberger J. F., Phillips G. P., Belefant-Miller H., McClung A., Lorence A., 2013: Ontogenetic changes in vitamin C in selected rice varieties. *Plant Physiology and Biochemistry* 66: 41-46.

Loh F. C. W., Grabosky J. C., Bassuk N. L., 2002: Using the SPAD 502 Meter to Assess Chlorophyll and Nitrogen Content of Benjamin Fig and Cottonwood Leaves. *Hort Technology* 12: 682–686.

Lohe N., Tyagi B., Singh V., Tyagi P., Khanna R., Bhutiani R., 2015: A comparative study for air pollution tolerance index of some terrestrial plant species. *Global Journal Environmental Science Management* 1: 315-324.

Loreto F., Velikova V., 2001: Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products and reduces lipid peroxidation of cellular membranes . *Plant Physiology* 127: 1781-1787.

Ma H., Olsen R., Pooler M., 2009: Evaluation of Flowering Cherry Species, Hybrids, and Cultivars Using Simple Sequence Repeat Markers. *American Society for Horticultural Science* 134: 435-444.

MacAdam J. W., 2009: *Structure and function of plants*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 287 s.

Maxwell K., Johnson G. N., 2000: Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.

Mejía A. I., Moglen G. E., 2010: Spatial distribution of imperviousness and the spacetime variability of rainfall, runoff generation and routing. *Water Resources Research* 46: 1–14.

Nithyamathi C. P., Indira V., 2005: Impact of air pollution on *Cesalpinia sepiaria* Linn. In Tuticor in City. *Indian Journal of Environment and Ecoplanning* 10: 449–452.

Nojavan S., Khalilian F., Kiaie F. M., Rahimi A., Arabanian A., Chalavi S., 2008: Extraction and quantitative determination of ascorbic acid during different maturity stages of *Rosa canina* L. fruit. *Journal of Food Composition and Analysis* 21: 300.

Packer J. E., Slater T. F., Wilson R. L., 1979: Direct observation of a free radical interaction between Vitamin E and Vitamin C. *Nature* 278: 737–738.

Padh H., 1990: Cellular functions of ascorbic acid. *Biochemistry and Cell Biology* 68: 1166–1173.

Patterson D. T., Bunce J. A., Alberte R. S., Volkenburgih E., 1977: Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. *Plant Physiogyl* 59: 384-387.

Peñuelas J., Filella I., 1997: Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science* 3: 151-156.

Percival M., 1998: Antioxidants. *Clinical Nutrition Insights*: 1-4.

Piterková J., Tománková K., Luhová L., Petřivaský M., Peč P., 2005: Oxidativní stres: Lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organizmu. *Chemické Listy* 99: 455–466.

Pogson B. J., Rissler H. M., Frank H. A., 2005: The roles of carotenoids in photosystem II of higher plants. In 'Photosystem II: the light-driven water: plastoquinone oxidoreductase (Eds Wydrzynski T., Satoh K.). Springer-Verlag Dordrecht: 515–537.

Polívka T., Frank H. A., 2010: Molecular factors controlling photosynthetic light harvesting by carotenoids. *Accounts of Chemical Research* 43: 1125–1134.

Procházka S., Macháčková I., Krekule J. a Šebánek J., 1998: *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 484 s.

Pugh T. A. M., MacKenzie A. R., Whyatt J. D., Hewitt C. N., 2012: Effectiveness of green infrastructure for improvement of airquality in urban street canyons. *Environmental Science Technology* 46: 7692–7699.

Radin J. W., Parker L., 1979: Water Relations of Cotton Plants under Nitrogen Deficiency. *Plant Physiology* 64: 495-498.

Rai P. K., Panda 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: 93–101.

Rai P. K., 2013: Environmental magnetic studies of particulates withspecial reference to biomagnetic monitoring using roadside plantleaves. *Atmospheric Environment* 72: 113–129.

Reich P. B., 1987: Quantifying plant response to ozone: a unifying theory. *Tree Physiology* 3: 63-91.

Roloff A., Korn S., Gillner S., 2009: The Climate-species-matrix to select tree speciesfor urban habitats considering climate change. *Urban Forest and Urban Greening* 8: 295–308.

Rubio-Covarrubias O. A., Brown P. H., Weinbaum S. A., Johnson R. S., Cabrera R. I., 2009: Evaluating foliar nitrogen compounds as indicators of nitrogen status in *Prunus persica* trees. *Scientia Horticulturae* 120: 27–33.

Russell T., Cutlerová C., 2003: *Stromy*. Praha: Fortuna Libry, 256 s.

Sæbø A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H. M., Gawronska H., Gawronski S. W., 2012: Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment* 427: 347–354.

Sanesi G., Chiarello F., 2006: Residents and urban green spaces: the case of Bari. *Urban Forest and Urban Green* 4: 125–134.

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: 28–36.

Seki M., Umezawa T., Urano K., Shinozaki K., 2007: Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 296–302.

Shao H. B., Chu L. Y., Shao M. A., Jaleel C. A., Hong-Mei M., 2008: Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *Comptes Rendus Biologies* 331: 433–441.

Sharkey T. D., Yeh S., 2001: Isoprene emission from plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 407–436.

Sieghardt M., Mursch-Radlgruber E., Paoletti E., Couenberg E., Dimitrakopoulus A., Rego F., Hatzistathis A., Randrup T. B., 2005: The abiotic urban environment: impact of urban growing conditions on urban vegetation. *Urban Forests and Trees*: 281–323.

Simon H. U., Haj-Yehia A., Levi-Schaffer F., 2000: Role of reactive oxygen species (ROS) in apoptosis induction. *Apoptosis* 5: 415-418.

Singh R. B., Grover A., 2015: Spatial correlations of changing land use, surface temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat Satellite Images. *Advances in Geographical and Environmental Sciences*: 83-97.

Singh S. K., Rao D. N., Agrawal M., Pandey J., Naryan D., 1991: Air pollution tolerance index of plants. *Journal of Environmental Management* 32: 45 -55.

Singh S. K., Rao D. N., 1983: Evaluation of plants for their tolerance to air pollution. *Proceedings of symposium on air pollution control*: 218-224.

Skelly J. M., 2000: Tropospheric ozone and its importance to forests and natural plant communities of the northeastern United States. *Northern Naturalist* 7: 221-236.

Smirnoff N., 1996: The Function and Metabolism of Ascorbic Acid in Plants. *Annals of Botany* 78: 661-669.

Sobeih W. Y., Dodd I. C., Bacon M. A., Grierson D., Davies W. J., 2004: Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. *Journal of Experimental Botany* 55: 2353–2363.

Spínola V., Llorent-Martínez E. J., Castilho P., C., 2014: Determination of vitamin C in foods: Current state of method validation. *Journal of Chromatography* 1369: 2–17.

Stafoggia M., Forastiere F., Agostini D., Caranci N., de’Donato F., Demaria M., 2008: Factors affecting in-hospital heat-related mortality: A multicity case-crossover analysis. *The Journal of Epidemiology and Community Health* 62: 209–215.

Steubing L., Fangmier A., Both R., 1989: Effects of SO₂, NO₂, and O₃ on Population Development and Morphological and Physiological parameters of native herb layer species in a beech forest. *Environmental Pollution* 4: 281-302.

Sun Y., Zhou X., Wai K., Yuan Q., Xu Z., Zhou S., Qi Q., Wang W., 2013: Simultaneous measurement of particulate and gaseous pollutants in an urban city in North China Plain during the heating period: implication of source contribution. *Atmospheric Research* 134: 24–34.

Swoczyna T., Hazem M., Pietkiewicz K. S., Borowski J., Zaráś-Januszkiewicz E., 2010: Photosynthetic apparatus efficiency of eight tree taxa as an indicator of their tolerance to urban environments. *Dendrobiology* 63: 65–75.

Szalai G., Janda T., Pál M., 2014: Routine sample preparation and HPLC analysis for ascorbic acid (vitamin C) determination in wheat plants and *Arabidopsis* leaf tissues. *Acta Biologica Hungarica* 65: 205–217.

Šivel M., Klejdus B., Kráčmar S., Kubáň V., 2013: Lutein- významný karotenoid ve výživě člověka. *Chemické Listy* 107: 456-463.

Tang C. S., Shi B., Gao L., Daniels J. L., Jiang H. T., Liu C., 2011: Urbanization effect on soil temperature in Nanjing, China. *Energy Build* 43: 3090–3098.

Teulat B., Moneveux P., Wery J., Borries C., Souyris I., Charrier A., This D., 1997: Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytologist* 137: 99-107.

Thambavani S. D., Maheswari J., 2012: Phytomonitoring of atmospheric pollution in a dry tropical environment using perennial trees. *Asian Journal of Science and Technology* 12: 11-16.

Thoene B., Schroder P., Papen H., Egger A., Rennenberg H., 1991: Absorption of atmospheric NO₂ by spruce (*Picea abies* L. Karst) trees. I. NO₂ influx and its correlation with nitrate reduction. *New Phytologist* 117: 575–585.

Toncarová G., 2014: Vliv stresu městského prostředí na základní ekofyziologické charakteristiky stromu. Bakalářská práce, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 42 s.

Tripathi A. K., Gautam M., 2007: Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology* 28: 127-132.

Ugolini F., Bussotti F., Lanini G. M., Raschi A., Tani C., Tognetti R., 2012: Leaf gas exchanges and photosystem efficiency of the holm oak in urban green areas of Florence, Italy. *Urban Forestry and Urban Green* 11: 313–319.

Unkašević M., Jovanović O., Popović T., 2001: Urban-suburban/rural vapour pressure and relative humidity differences at fixed hours over the area of Belgrade city. *Theoretical and Applied Climatology* 68: 67–73.

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

Velikova V., Edreva A., Loreto F., 2004: Endogenous isoprene protects *Phragmites australis* leaves against singlet oxygen. *Physiologia Plantarum* 122: 219-225.

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 Environmental Biology* 27: 419-421.

Wali B., Mahmooduzzafar., Iqbal M., 2004: Plant growth, stomatal response, pigments and photosynthesis of *Althea officinalis* as affected by SO₂ stress. *Indian Journal of Plant Physiology* 9: 224–233.

Wilkinson S., Davies W. J., 2008: Manipulation of the apoplastic pH of intact plants mimics stomatal and growth responses to water availability and microclimatic variation. *Journal of Experimental Botany* 59: 619-631.

Wilpert K., Schäffer J., 2006: Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research* 125: 129–138.

Winner W. E., 1981: The effects of SO₂ on photosynthesis and stomatal behavior of mediterranean-climate shrubs and herbs. *Task for Vegetation Science* 4: 91-103.

Wittenberghe S. V., 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.

Woluck B. A., Van Montagu M., 2007: The VTC2 cycle and the de novo biosynthesis pathways for vitamin C in plants: An opinion. *Phytochemistry* 68: 2602–2613.

Wong N. H., Tan A. Y. K., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., Chiang K., Wong N. Ch., 2010: Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building Environment* 45: 663–672.

Wright S.T.C. (1977) The relationship between leaf water potential and levels of abscisic acid and ethylene in excised wheat leaves. *Planta* **134**, 183–189.

Yamasaki S., Dillenburg L. R., 1999: Measurements of leaf relative water content in *Araucaria Angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11: 69-75.

Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z., 2005: The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forest and Urban Green* 3: 65–78.

Yan-ju L., Hui D., 2008: Variation in air pollution index of plants near a steel factory: Implications for landscape plant species selection for industrial areas. *WSEAS Transactions on environment and development* 4: 24-32.

Yoshida Y., Niki E., Noguchi N., 2003: Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant: Chemical and physical effects. *Chemistry and Physics Lipids* 123: 63–75.

Young A. J., 1991: The photoprotective role of carotenoids in higher plants. *Physiologia Plantarum* 83: 702-708.

8. Přílohy

Seznam příloh

Příloha č. 1- fotodokumentace

Foto 1: *Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).

Foto 2: *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).

Foto 3: Zatemnělé listy u *Prunus subhirtella* v. *autumnalis rosea* (autorka práce).

Foto 4: Měření pH listového vzorku (autorka práce).

Foto 5: Jodometrické stanovení kyseliny askorbové (autorka práce).

Příloha č.1: fotodokumentace



Foto 1: *Prunus subhirtella* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).



Foto 2: *Platanus acerifolia* rostoucí v lokalitě Lannova třída (autorka práce).



Foto 3: Zatemnělé listy u *Prunus subhirtella* (autorka práce).

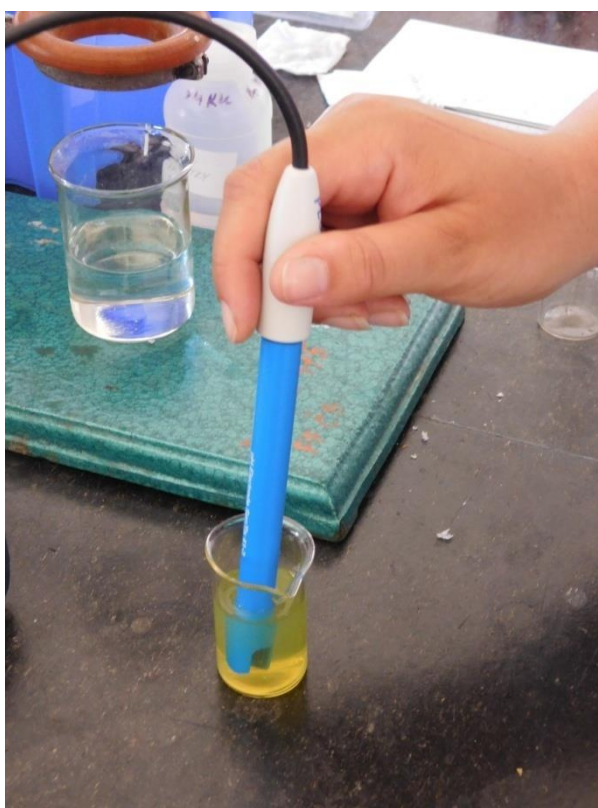


Foto 4: Měření pH listového vzorku (autorka práce).



Foto 5: Jodometrické stanovení kyseliny askorbové (autorka práce).