

KOMPLEXNÍ STUDIUM ODEZVY FYTOCENÓZY LUŽNÍHO LESA NA ZMĚNU VODNÍHO REŽIMU V DŮSLEDKU JÍMÁNÍ PITNÉ VODY

THE COMPLEX STUDY OF FLOODPLAIN FOREST PLANT COMMUNITY RESPONSE TO CHANGED WATER REGIME DUE TO THE DEEP WATER PUMPING

MARTIN ŠENFELDR ✉ - TOMÁŠ ŽID - RADOMÍR ŘEPKA - MARTINA HÁJÍČKOVÁ - SAMUEL LVONČÍK - PETR MADĚRA

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic

✉ e-mail: martin.senfeldr@mendelu.cz

ABSTRACT

Floodplain forests represent a valuable ecosystem with a high level of biodiversity, which is dependent on the natural dynamics of soil moisture. In the Czech Republic, this ecosystem has been under negative anthropogenic influences. It is a key to study the effect of the pumping of ground water long-term on the vitality of the surrounding floodplain forest ecosystem. This study aims to design a complex methodological approach to the analysis of the effects of ground water pumping on the vitality of floodplain forest ecosystem in the Litovelské Pomoraví protected landscape area (Moravia, Czech Republic). The designed methodological approach included the following methods: health assessment, dendrochronological analysis, leaf water potential measuring, sap flow measurement, measuring of stem water potential changes, gasometric determination of photosynthetic parameters. Most of these methods did not reveal any significant differences between the sites where the water had and had not been pumped. Although each one is based on a different principle, they seem to indicate that ground water pumping has no negative effect on the surrounding floodplain forest ecosystem.

Klíčová slova: jímání hloubkové vody; Litovelské Pomoraví; vitalita; stres suchem

Key words: deep water pumping; vitality; drought stress; Czech Republic

ÚVOD

Ekosystémy lužních lesů reprezentují významnou část evropského přírodního dědictví (BROWN et al. 1997). Jejich historie, stav, ochrana a revitalizace proto zasluhují významnou vědeckou pozornost (WENGER et al. 1990; SCHNITZLER et al. 2005). V České republice pokrývají lužní lesy přibližně 33 000 hektarů. Většina z nich se nachází v oblasti soutoku řek Moravy a Dyje, v Litovelském Pomoraví, v aluviu Labe a Odry (BUČEK, ŠTYKAR 2002; KLIMO et al. 2008; MACHAR 2013). Nejširší nivy s nejrozvinutějším nivním fenoménem jsou v povodí řeky Moravy. Lužní lesy patří k cenným biocenózám s významnou biodiverzitou, která je závislá na specifických hydrogeologických podmínkách ve vazbě na přirozenou dynamiku vlhkostního režimu půd (KLIMO et al. 2008). V dřívějších dobách, ale i dnes, podléhají lužní lesy v České republice silným antropickým vlivům (SIMON et al. 2015). Patří mezi ně zejména snižování jejich rozlohy v důsledku změn využívání půdního fondu a regulace vodních toků. Mezi negativní antropické vlivy rovněž patří těžba písku a štěrku, vznik monokulturálních porostů a plantáží lesních dřevin, zvyšování intenzity rekreace a zvyšování odběru podzemních vod pro komunální účely (KLIMO et al. 2008). Podobně neutěšenou situaci popisují WENGER et al. (1990) v celé Evropě.

Lužní lesy jsou významnou zásobárnou kvartérních pitných vod (PENKA et al. 1991). Niva řeky Moravy byla dlouhodobě předmětem vodohospodářských úprav (HRIB, KORDIOVSKÝ 2004). Po vodohospodářských úpravách v 70. letech 20. století došlo k výrazným změnám hydrologických poměrů (PENKA et al. 1991). Byly provedeny úpravy ve smyslu směrové diverzity a příčného profilu toku, včetně tvrdé prohrádky dna řeky ke zlepšení poměrů protipovodňové ochrany přilehlých pozemků. Výsledkem výše provedených úprav bylo výrazné snížení rozkolísanosti hladiny podzemních vod, celkový pokles úrovně podzemních vod, snížená vitalita stromů, omezení dřívě pravidelných každoročních inundací, které přinášely do lužního lesa povodňové kaly a živiny, dále rozšíření druhů bylin vázaných na sušší podmínky, ubývání a mizení druhů vázaných na trvale vlhkou a mokrou rhizosféru a vysoko položenou hladinu podzemních vod, snížení vitality bylinného patra, pokles nadzemní a podzemní biomasy, listové plochy keřů aj. (MADĚRA 2001a, 2001b; KLIMO et al. 2008).

Na konci 80. let 20. století si lesníci uvědomili možné katastrofální důsledky vodohospodářských úprav na ekosystémy lužních lesů. V 90. letech ve spolupráci s hydrology a dalšími odborníky realizovali projekty na přivedení vody zpět do nitra lužních lesů (VYBÍRAL 2007).

V lesích se po mnoha letech opět objevily biotopy mokřadů s trvalým či periodickým zaplavením. Výrazně se zlepšila i vitalita lesních porostů, nicméně rozsah mokřadních biotopů a frekvence záplav byly stále výrazně nižší než před začátkem vodohospodářských úprav. MADĚRA et al. (2011) navrhují princip adaptivního managementu lužních lesů jako způsob předcházení v předchozím odstavci popsaných nevhodných zásahů do ekosystému lužního lesa. S probíhající klimatickou změnou a souvisejícím nárůstem period sucha vyvstává otázka dalšího vývoje ekosystému lužního lesa v CHKO Litovelské Pomoraví, zejména s ohledem na probíhající antropické vlivy. Jednou z klíčových otázek je, zda vitalitu lužního lesa ovlivňuje dlouhodobé jímání pitné vody z okolních vrtů.

Příspěvek si proto klade za cíl navrhnout komplexní metodický přístup ke studiu vlivu jímání pitné vody na vitalitu ekosystému lužního lesa v CHKO Litovelské Pomoraví. Autoři testovali hypotézu, že pokud má jímání vody z vrtů významný vliv na ekosystém lužního lesa, nejvíce se to projeví v blízkosti lokality odběru, a to v důsledku vzniku depresního kužele v okolí vrtu (HEATH 1983). Naopak nejméně se jímání projeví na lokalitě nejvíce vzdálené od jímacího vrtu a zároveň od koryta řeky Moravy.

MATERIÁL A METODIKA

Zájmové území a výzkumné polygony

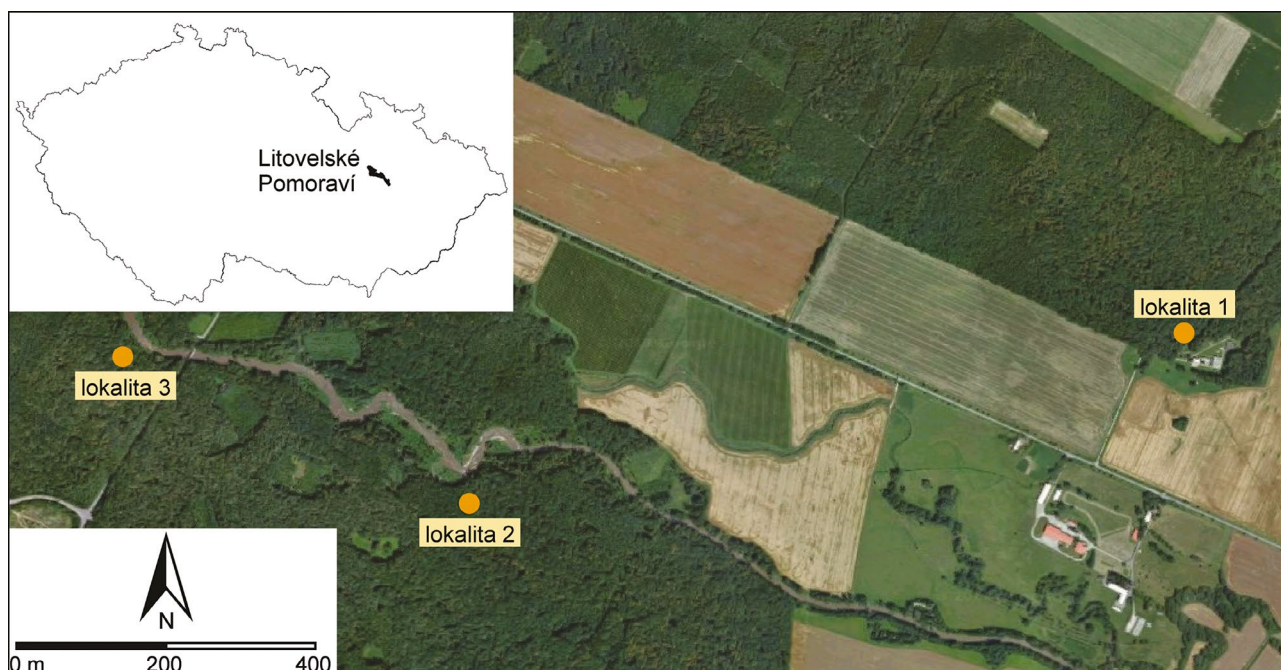
Výzkum byl realizován v CHKO Litovelské Pomoraví, která se rozprostírá v nivě řeky Moravy v rozmezí 210–345 m n. m. Průměrný roční úhrn srážek zájmového území činí 600 mm a průměrná roční teplota 8,4 °C (TOLASZ et al. 2007). Zájmové území Litovel – Čerlinka je z hlediska jímání vody z hlubkových vrtů využíváno již od počátku minulého století a intenzivně od 60. let minulého století. Od roku 1979

činí průměrná intenzita jímání za celé období 156,1±52 l/s (zdroj: Vodohospodářské stavby – předchozí data nejsou k dispozici).

Pro účely výzkumu vlivu jímání vody byly vymezeny tři výzkumné polygony na třech lokalitách: (1) Čerlinka v těsném okolí jímacích vrtů (40 m), (dále označováno jako lokalita 1) na levém břehu Moravy ve vzdálenosti cca 500 m od řeky (49° 42' 59,2" SŠ; 17° 03' 40,6" VD), (2) na pravém břehu řeky Moravy (dále označováno jako lokalita 2) ve vzdálenosti 2 km od jímacích vrtů a vzdálená cca 100 m od řeky Moravy v NPR Vrapač (49° 42' 42,6" SŠ; 17° 02' 08,1" VD), (3) na pravém břehu řeky Moravy (dále označováno jako lokalita 3), ve vzdálenosti 2,8 km od jímacích vrtů a 70 m od koryta řeky (49° 42' 57,2" SŠ; 17° 01' 22,6" VD). V důsledku umístění lokality 1 v těsném okolí jímacích vrtů a zároveň nejdále od koryta řeky lze očekávat nejvyšší míru potenciálního ovlivnění v důsledku jímání. Lokalita 2 tvoří přechod mezi lokalitou 1 a 3 z hlediska vzdálenosti od místa jímání vody a vzdálenosti od koryta řeky. Lokalita 3 je nejvíce vzdálená od místa jímání a zároveň je lokalizována nejbližší korytu řeky. Lokality 2 a 3 se nacházejí proti proudu řeky ve vztahu k lokalitě jímání. Na každé z lokalit byl vymezen jeden výzkumný polygon o velikosti 0,4 ha, přičemž se jednalo o srovnatelná stanoviště skupiny typů geobiocénů *Ulmii-Fraxineta carpini* (ZLATNÍK 1976) a soubor lesních typů 1L (jilmový luh), viz katalog map Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem (<http://www.uhul.cz/mapy-a-data/katalog-mapovych-informaci>). Dominantním půdním typem je ve všech výzkumných polygonech fluvizem. Lokalizace výzkumných polygonů je patrná na obr. 1.

Výzkumné metody

Na výzkumných polygonech byly v letech 2014–2015 použity rozmanité výzkumné metody, které umožňují identifikovat odezvu lužního lesa na případnou změnu vodního režimu. Specifikace těchto metod je uvedena v následujících odstavcích.



Obr. 1.
Lokalizace výzkumných lokalit
Fig. 1.
Location of study plots

Hodnocení vlhkosti lokalit prostřednictvím bioindikace bylin

Tato metoda vychází z předpokladu, že stanovištní podmínky určují složení společenstev rostlin, a proto lze zpětně podle druhové skladby rostlinných společenstev indikovat ekologické podmínky stanoviště. Pro lužní lesy byla již tato teorie ověřena řadou autorů (HORÁK 1964; VAŠÍČEK 1985, 1990; VRŠKA 1997; MADĚRA 2001a, 2001b; UNAR, ŠAMONIL 2008). Na třech výše uvedených polygonech byly zapsány fytoocenologické snímky (ZLATNÍK 1978), pro zachycení variability byly v každém polygonu zapsány snímky na třech různých místech. Fytoocenologické snímkování proběhlo dne 3. 9. 2015, plocha fytoocenologického snímku byla 20 m × 20 m. Pokryvnost druhů byla odhadována s přesností jednoho procenta. Snímky byly vloženy do databáze programu Turboveg for Windows (HENNEKENS, SCHAMINÉE 2001). Pomocí programu Juice (TICHÝ 2002) byly k jednotlivým druhům rostlin přiřazeny Ellenbergovy indikační hodnoty pro vlhkost (ELLENBERG et al. 1992) a následně byla provedena gradientová analýza metodou CCA v programech Canoco (BRAAK, SMILAUER 2012) a "R soft" (R Development Core Team 2011). Rozdíly v hodnotách Ellenbergových indexů vlhkosti (stanovenými pro jednotlivé druhy) mezi lokalitami byly statisticky testovány T-testem (DRÁPELA, ZACH 2002).

Hodnocení zdravotního stavu *Quercus robur* a *Fraxinus excelsior*

Pro hodnocení zdravotního stavu byla použita modifikovaná metodika ICP Forest (RYBNÍČEK et al. 2015). Stejná metodika byla použita pro oba druhy dřevin. Rozdělení korun na části bylo přizpůsobeno typu větvení daných dřevin. Na každé lokalitě byly hodnoceny stromy v hlavní etáži porostu (celkem 33 jedinců *Q. robur*, 36 jedinců *F. excelsior*). Koruny sledovaných druhů byly monitorovány pozemním pozorováním pomocí binokulárního dalekohledu. Hodnoceny byly následující parametry: sociální postavení; rozsah jednotlivých částí koruny (%) z výšky stromu (část A – od vrcholu do prvního větvení minimálně II. řádu, část B – od prvního větvení minimálně II. řádu do posledního větvení větví I. řádu, část C – od posledního větvení větví I. řádu k poslední spodní větví na kmeni); defoliace (%) ve všech třech částech koruny; podíl suchých větví (%) ze všech větví ve všech třech částech koruny; typ poškození koruny a jeho zastoupení (%) z objemu koruny (transparentní poškození, malá okna, střední okna, velká okna se sekundárními výhonky a velká okna bez sekundárních výhonů); podíl sekundárních či zkrácených výhonů ze všech výhonů – pro všechny tři části koruny; typ poškození kmene (ojedinělé nekrotické ranky, malé ranky do 1 cm, větší ranky – až na xylém, poškození zasahující xylém, velké rány deformující kmen a větev); procentuální podíl listů s barevnými změnami ze všech listů v části koruny A+B; procentuální podíl listů s plochou redukovanou minimálně o 50% v části koruny A+B; fruktifikace a kvetení (obojí ve 4 stupních intenzity). Všechny parametry hodnocené v % byly posuzovány s krokem odhadu 5%.

Dendrochronologické hodnocení radiálního přírůstu *Quercus robur* a *Fraxinus excelsior*

Dendrochronologie je mezioborová metoda, která se zabývá vlivem faktorů prostředí na tvorbu letokruhů dřevin. Na základě letokruhových řad je možné ekologické faktory zpětně identifikovat, a objasnit tak některé ekologické aspekty vybraného stanoviště. Šířka letokruhu je považována za indikátor vitality dřeviny v daném roce. Jestliže je dřevina pod vlivem stresu (např. sucho, extrémně nízké nebo vysoké teploty), růst jako základní fyziologický proces je limitován a dřevina vytvoří úzký letokruh. Naopak v letech, kdy jsou ekologické faktory v optimu, vytvoří dřevina široký letokruh.

Pro účely této studie byly v měsíci září (2015) odebrány vývrty z pěti dubů a pěti jasanů na každé lokalitě (celkem 30 vývrťů). Vývrty byly odebrány ve výšce 130 cm prostřednictvím Presslerova nebozezu, kolmo ke kmeni a z jednotného směru u všech stromů. Vývrty byly

odebírány na všech plochách z úrovnových stromů podobné tloušťky a rostoucích v obdobném zápoji. Odebrané vývrty byly v terénu fixovány do dřevěných listů. Zbroušením povrchu vývrťů byla připravena rovina, na které bylo v laboratoři provedeno měření šířek letokruhů. Šířka letokruhů byla určována pomocí binokulárního mikroskopu a posuvného měřicího stolu s poloautomatickým odečítáním hodnot o přesnosti 0,01 mm, propojeného s osobním počítačem a dendrochronologickou aplikací PAST 4 (KNIBBE 2004). Takto vznikly křivky absolutních šířek letokruhů. Po převodu materiálu do podoby letokruhových křivek byl každému letokruhu přiřazen rok vzniku. Porovnávání průběhů letokruhových křivek mezi jednotlivými lokalitami naráží na nestejný věk stromů (mladé stromy rostou více než staré, viz růstové křivky – COOK, KAIRIUKSTIS 2013). Rovněž u námi analyzovaných stromů byl v některých případech zaznamenán mírný rozdíl ve věku stromů. Proto, aby mohly být šířky letokruhů srovnány, bylo zapotřebí odstranit věkový trend. Detrendování bylo provedeno v programu Arstan (COOK, HOLMES 1986) za pomoci Spline funkce (COOK, HOLMES 1986). Výsledkem detrendování jsou indexy šířky letokruhů. Detrendované vzorky z jednotlivých ploch byly zprůměrovány za účelem vytvoření indexovaných stanovištních chronologií.

Pro srovnání šířek letokruhů před začátkem a v období jímání vody jsme nedisponovali dostatkem dat o šířkách letokruhů před začátkem jímání vody. Proto byly indexované šířky letokruhů oříznuty v roce 1910, kdy začalo jímání vody probíhat. Období 1910–2014 bylo následně porovnáno mezi lokalitami prostřednictvím krabicových grafů. Data byla nejprve ověřena z hlediska předpokladů pro užití analýzy variance (ANOVA). Po ověření splnění předpokladů byl vliv faktoru „lokalita“ testován prostřednictvím ANOVY. Rozdíly mezi lokalitami byly následně testovány prostřednictvím Tukeyho post hoc testu (DRÁPELA, ZACH 2002).

Měření vodního potenciálu listů

Vodní potenciál listů je vyjádřením aktuálního vodního stavu stromu. Dosahuje vždy záporných hodnot.

Vodní potenciály listů byly měřeny jednak v ranních hodinách, kdy lze očekávat nejvyšší míru hydratace pletiv v daných podmínkách, jednak v odpoledních hodinách (kolem 14:00), kdy v důsledku transpirace vykazují pletiva nejvyšší míru stresu z nedostatku vody. Vzorky výhonů z korun stromů dubu letního a jasanu ztepilého byly odebírány prostřednictvím výškové plošiny z úrovnových stromů podobné tloušťky a rostoucích v obdobném zápoji. Na jednotlivých lokalitách bylo v ranních a odpoledních hodinách odebráno celkem šest výhonů, z jednoho dubu a jednoho jasanu. Vzorky výhonů byly okamžitě transportovány do Scholanderovy tlakové komory (SCHOLANDER et al. 1965), kde byla zjištěna hodnota jejich vodního potenciálu. Měření vodních potenciálů bylo realizováno dne 11. 8. 2015 na všech lokalitách a dne 21. 9. 2015 na lokalitě 1 a 3. Hodnoty vodního potenciálu v koruně do -7 bar jsou typické pro rostlinu nestresovanou z nedostatku vody, hodnoty nižší než -25 barů indikují silný vodní stres a při hodnotách pod -40 barů dochází k odumírání dřevin (GEBAUER et al. 2010). Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami mohou poukázat na vliv odběru vody na fyziologickou dostupnost vody pro stromy. Hodnoty vodních potenciálů dubu letního a jasanu ztepilého byly sloučeny do sumárních datových souborů a po ověření předpokladů byl statisticky testován vliv faktoru lokality a času prostřednictvím analýzy variance pro opakovaná měření (DRÁPELA, ZACH 2002).

Měření transpiračního proudu

Kvantita a dynamika transpiračního proudu významně indikují míru vodního stresu dřevin (BØRJA et al. 2013). Dřeviny, které jsou stresovány nedostatkem vody, výrazně sníží transpiraci, a to jednak z důvodu nedostatku vody v půdě, vodních zásob v kmeni (ČERMÁK et al.

2007) a jednak kvůli snížení průduchové vodivosti (LAMBERS et al. 2008). Dynamika a kvantita transpiračního proudu byla měřena na lokalitě 1 a lokalitě 3. Na každé lokalitě byly měřeny dva jasanů ztepilých. Na měřené stromy byla instalována čidla (EMS 51A, EMS Brno, Česká republika) pracující na principu tepelné bilance kmene (KUČERA, URBAN 2012), data byla měřena v minutových intervalech a každých deset minut byly průměrné hodnoty zaznamenávány do dataloggeru (V16, EMS Brno, Česká republika).

Měřicí systém byl napájen baterií a chráněn proti oslunění radiacími kryty. Na otevřené ploše v blízkosti měřených stromů byla měřena globální radiace, teplota a vlhkost vzduchu, tyto sledované proměnné byly použity pro vyjádření referenční evapotranspirace (ALLEN et al. 1998), která udává míru výparných požadavků atmosféry. Výběr stromů probíhal dle modifikované metody ČERMÁK et al. (2015), v rámci které jsme na výzkumné ploše nejprve změřili tloušťky všech stromů, tyto jsme následně rozdělili do tloušťkových tříd, a v nejméně z nich jsme náhodným výběrem vybrali stromy pro instalaci čidel. Na všech lokalitách se jednalo o úroveň stromy podobné tloušťky, které rostly v obdobném zápoji. Naměřená data byla srovnána mezi lokalitou 1 a lokalitou 3 pro zjištění vlivu odčerpávání vody na dřeviny.

Měření obvodových změn kmene elektronickými pásovými dendrometry

Elektronické pásové mikrodendrometry umožňují sledovat jak denní dynamiku změn obvodu kmene dřeviny, která je způsobena hydratací a dehydratací pletiv, tak i periodický tloušťkový růst dřeviny realizovaný v důsledku činnosti kambia a felogénu. Měřená data mohou indikovat míru stresu suchem, protože stresované rostliny vykazují vyšší denní dynamiku obvodových změn (resp. vyšší relativní změny vodních potenciálů kmene) a rovněž kambiální tloušťkový přírůst je pod vlivem vodního stresu limitován (GEBAUER et al. 2010).

Přírůsty byly měřeny přírůstoměrnými čidly DR26A (EMS Brno, Česká republika), která měří přírůst s rozlišením na 1 μm . Na každé lokalitě bylo instalováno čidlo na 1 strom jasanu, který byl vybrán dle postupu, uvedeném v předchozí kapitole. Data byla vyhodnocena s ohledem na vyjádření míry relativních změn vodních potenciálů kmene a jejich srovnání mezi lokalitami 1, 2, 3. Pro vyjádření míry relativních změn vodních potenciálů byly obvodové změny u všech stromů přepočítány na jednotný obvod 100 cm. Následně byly vypočteny hodnoty denních rozdílů mezi obvodovými maximy a minimy. Tyto hodnoty byly poté testovány pro zjištění statistické významnosti faktoru lokality prostřednictvím analýzy variance (DRÁPELA, ZACH 2002). Rozdíly mezi lokalitami byly následně testovány Tukeyho post hoc testem (DRÁPELA, ZACH 2002).

Gazometrická stanovení fotosyntetických parametrů (A/C_i křivky)

Gazometrie umožňuje stanovení transpirace a fotosyntézy v čase na základě měření výměny plynů mezi rostlinou a okolní atmosférou. Fotosyntéza je stanovena pomocí infračerveného analyzátoru plynů (IRGA) jako asimilace CO_2 listem, zatímco vodivost průduchů a transpirace jako výdej vodních par. Kromě fixace CO_2 rostlinami z okolního prostředí dochází při fotosyntéze zároveň k uvolňování CO_2 rostlinami při respiraci. Poměr těchto dvou procesů se nazývá rychlost asimilace CO_2 (A) a udává se jako hustota toku CO_2 na jednotku plochy listu za čas ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

U nestresovaných rostlin na světle je hodnota A zpravidla kladná (TAIZ, ZEIGER 2010). Při nedostatku vody dochází u rostlin ve většině případů k uzavírání průduchů, čímž je limitována výměna plynů mezi rostlinou a okolní atmosférou. V důsledku sucha tedy vodivost průduchů a intenzita fotosyntézy klesá. Graf závislosti A na koncentraci CO_2 v listech (C_i) vypovídá o tom, jak je fotosyntéza řízena nezávisle na regulaci průduchů, a umožňuje stanovit fotosyntetic-

ké parametry, které charakterizují danou rostlinu (LONG, BERNACCHI 2003). V předchozích studiích byl popsán pokles hodnot těchto fotosyntetických parametrů vlivem sucha (ZENG et al. 2008; VAZ et al. 2010).

Gazometrická měření probíhala v koruně jasanů na lokalitě 1 a 3 za použití výškové plošiny dne 21. 9. 2015. Na každé lokalitě byly měřeny dva vzorky z jednoho jasanu. Na listech jasanu ztepilého byla měřena rychlost asimilace CO_2 (A) a intercelulární koncentrace CO_2 (C_i) pomocí gazometru LI-6400 (LI-COR, USA). Ze závislosti A na C_i byla dopočítána maximální rychlost karboxylace (V_{cmax}), rychlost elektronového transportu (J), využití triázofosfátů (TPU) a respirace na světle (R_d) – dle SHARKEY et al. (2007). Hodnocena byla také limitace fotosyntézy průduchovou vodivostí a kompenzační bod fotosyntézy pro CO_2 .

VÝSLEDKY

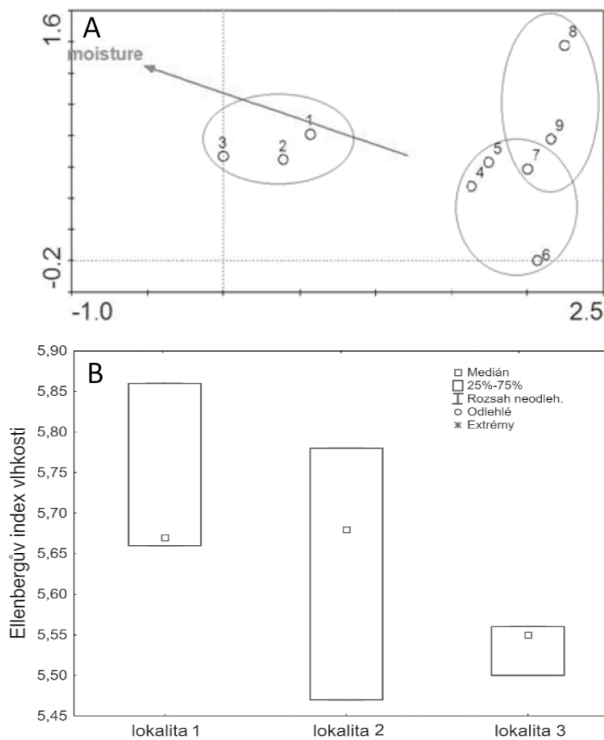
Hodnocení vlhkosti lokalit prostřednictvím bioindikace bylin

V ordinačním prostoru na obr. 2A je zřejmé, že snímky 1–3 se mírně liší od ostatních z hlediska vztahu k vlhkosti půdy. Paradoxně lokalita 1 (snímky 1–3), kde dochází k jímání vody, je poněkud vlhčí než ostatní dvě kontrolní lokality (lokalita 2: snímky 4–6, lokalita 3: snímky 7–9) (obr. 2A). Statisticky významné rozdíly v hodnotách Ellenbergových indexů mezi lokalitami nebyly zaznamenány (T-test, $p = 0,05$). Distribuce hodnot Ellenbergových indexů na jednotlivých lokalitách je znázorněna formou krabicových grafů na obr. 2B. Z výše uvedeného vyplývá, že jednotlivé lokality se z hlediska vlhkosti významně neliší. Rozdíly mezi lokalitami jsou minimální a statisticky neprůkazné.

Hodnocení zdravotního stavu *Quercus robur* a *Fraxinus excelsior*

Průměrné hodnoty parametrů hodnocení zdravotního stavu korun u dubu letního v rámci všech lokalit znázorňuje tab. 1. Duby letní nevykazovaly známky silné defoliace na žádné ze studovaných lokalit. Při srovnání jednotlivých lokalit mezi sebou je patrné, že rozdíly jsou minimální a jsou způsobeny spíše náhodným výběrem hodnocených jedinců, než různým zdravotním stavem porostů. Nejvyšší celkovou defoliaci a podíl suchých větví v koruně vykazovaly stromy na kontrolní lokalitě 3, tedy zcela neovlivněné jímáním vody (tab. 1). Nejvyšší míra defoliace v rámci všech lokalit byla zaznamenána ve střední části koruny (část B, viz tab. 1). Zastoupení mezer v korunách dubů na jednotlivých lokalitách bylo vyrovnané (tab. 1). Barevné změny listoví byly v nejvyšší míře zaznamenány na lokalitě 2 (tab. 1). Procento sekundárních výhonů bylo ve všech porostech velmi nízké a sekundární výhony se vyskytovaly pouze ojediněle. Nebyly zjištěny žádné známky zmenšení listů či zkrácení výhonů. Fruktifikace byla zaznamenána u osmi stromů, přičemž nejsilnější byla na lokalitě 1.

V případě jasanu ztepilého vykazovaly stromy na všech lokalitách střední míru defoliace. Nejvyšší míru defoliace vykazovaly jasanů ve střední části koruny (část B, viz tab. 1). Nejvyšší celková defoliace byla zaznamenána na lokalitě 2 (47,9%) (tab. 1). Největší podíl suchých větví byl zaznamenán na lokalitě 1 ve spodní části koruny (část C, viz tab. 1). Při srovnání celkové defoliace porostů jasanu ztepilého byl zjištěn nejhorší zdravotní stav na lokalitě 2 a 3. Na všech lokalitách byly zaznamenány zkrácené výhony v části koruny A, nejvyšší průměrné hodnoty bylo dosaženo na lokalitě 1. Nejvyšší míra barevných změn u listů jasanu ztepilého byla zjištěna na lokalitě 1 (tab. 1). Sekundární výhony se vyskytly pouze ojediněle na lokalitě 1 (2 stromy) a lokalitě 3 (2 stromy). Fruktifikace byla zjištěna u 9 stromů, přičemž nejsilnější byla na lokalitě 1.


Obr. 2.

(A) Ordinační diagram CCA zobrazující plochy fytoocenologických snímků z hlediska vztahu k vlhkosti půdy. Lokalita 1: snímky 1–3, lokalita 2: snímky 4–6, lokalita 3: snímky 7–9; (B) Krabicový graf znázorňující hodnoty Ellenbergových indexů vlhkosti (pro jednotlivé druhy) na lokalitách

Fig. 2.

(A) Ordination plot CCA showing phytosociological relevé plots in relation to soil moisture. Locality 1: relevés 1–3, locality 2: relevés 4–6, locality 3: relevés 7–9; (B) Boxplot showing values of Ellenberg's moisture index at individual localities

Tab. 1.

Průměrné hodnoty hlavních parametrů hodnocení stavu korun (%) u dubu letního (DB, $n = 33$) a jasanu ztepilého (JS, $n = 36$). Části koruny: část A – od vrcholu do prvního větvení minimálně II. řádu, část B – od prvního větvení minimálně II. řádu do posledního větvení větví I. řádu, část C – od posledního větvení větví I. řádu k poslední spodní větvi na kmeni.

The average values of crown assessment parameters (%) for *Quercus robur* (DB, $n = 33$) and *Fraxinus excelsior* (JS, $n = 36$). The crown parts: part A – crown top to first branching of second branch order, part B – first branching of second branch order to last branching of first order branches, part C – last branching of first order branches to lowest branch on the stem.

Porost/Stand	Defoliace koruny/ Crown defoliation			Celková defoliace (A+B)/Total defoliation (A+B)	Odmřeni větví/ Dieback of branches			Podíl suchých větví (A+B)/Percentage of dry branches (A+B)	Mezery/Gaps A+B			Zkrácené výhony/ Cut shoots	Barevné změny listů/ Changes of leaf colors
	část A/part A	část B/part B	část C/part C		podíl suchých větví/ percentage of dry branches [%]				malé/small	střední/middle	velké/big		
					část A/ part A	část B/ part B	část C/ part C						
Lokalita 1 (DB)	32,8	42,8	37,5	38,9	17,2	27,2	22,5	22,2	10	28,9	18,9	0,0	11,7
Lokalita 2 (DB)	32,5	40	41,7	36,7	21,7	23,8	13,3	22,7	7,5	15,4	21,7	0,0	15,4
Lokalita 3 (DB)	40,8	42,5	35	41,7	23,8	24,2	42,5	24	10,8	20,4	20	0,0	2,5
Lokalita 1 (JS)	37,1	44,2	52,5	40,8	32,9	33,3	60	33,1	7,5	20	18,9	13,3	13,8
Lokalita 2 (JS)	45,4	50	30	47,9	34,2	28,8	-	31,5	12,1	20	15,8	10	7,1
Lokalita 3 (JS)	42,9	49,2	-	46,3	31,7	31,7	-	31,7	8,8	15	22,5	13,1	2,5

Dendrochronologické hodnocení radiálního přírůstu *Fraxinus excelsior* a *Quercus robur*

V případě jasanu ztepilého nebyl zaznamenán statisticky významný vliv faktoru lokality ($p = 0,05$, Anova). Rozdíly mezi lokalitami nevykazovaly statisticky významné rozdíly ($p = 0,05$, Tukey post-hoc test). Jasany na lokalitě 1 dokonce vykazovaly mírně vyšší hodnotu mediánu indexu šířky letokruhu ve srovnání s lokalitami 2 a 3. Naopak, lokalita 3 vykazuje nejnižší hodnotu mediánu indexu šířky letokruhu (obr. 3B).

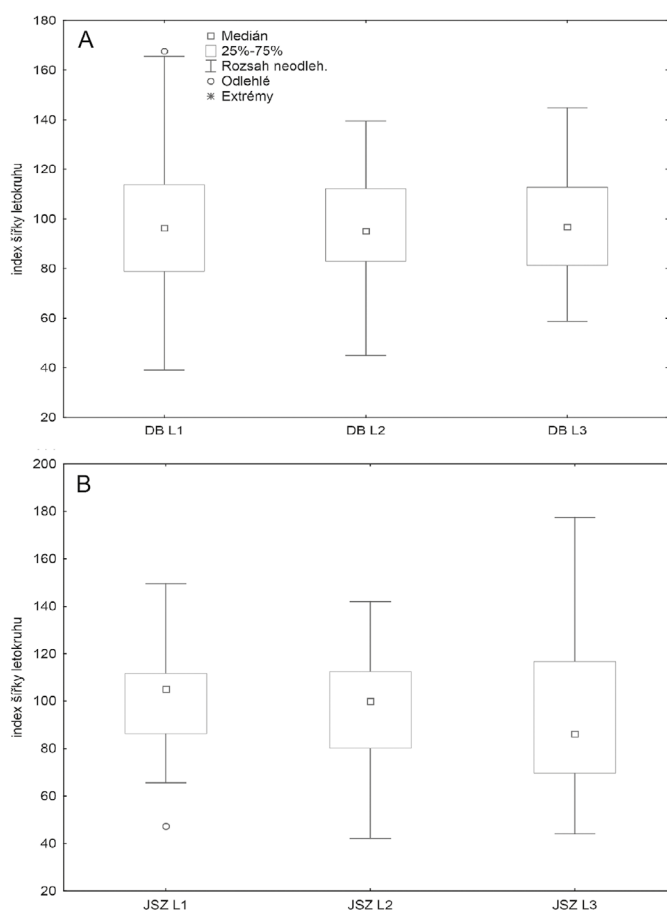
Indexované šířky letokruhů u dubu letního nevykazovaly statisticky významné rozdíly mezi lokalitami ($p = 0,05$, Tukey post-hoc test). Faktor lokality rovněž, jako v případě jasanu ztepilého, nevykazoval statisticky významný vliv ($p = 0,05$, Anova). Hodnoty mediánu indexu šířky letokruhu byly velmi podobné na všech lokalitách (obr. 3A).

Hodnocení vodního potenciálu listů

V případě dubu letního nebyly (dne 11. 8. 2015) zaznamenány statisticky významné rozdíly ($p = 0,05$, Anova) vodních potenciálů listů mezi jednotlivými lokalitami. V odpoledních hodinách vykazovaly duby mírný stres z nedostatku vody. Nicméně ranní hodnoty vodních potenciálů (-9,8 až -12,1 bar) poukazují na to, že duby se v průběhu nočních hodin úspěšně hydratují (tab. 2).

V případě měření hodnot vodních potenciálů jasanů (11. 8. 2015) byly zjištěny rozdílné výsledky ve srovnání s dubem letním. Nejvyšší vodní stres (-31,5 bar) byl zaznamenán na lokalitě 1. Rovněž vysoký vodní stres (-27,3 bar) byl zaznamenán na lokalitě 3 (viz tab. 2). Faktor lokality byl shledán jako statisticky významně průkazný ($p = 0,05$, Anova). Nicméně nebylo zaznamenáno statisticky průkazné snížení vodních potenciálů mezi lokalitou 1 a lokalitou 3 (Tukey post hoc, $p = 0,05$).

Při opakovaném měření dne 21. 9. 2015 (realizovaném pouze na lokalitách 1 a 3), již nebyly zaznamenány tak nízké hodnoty vodních potenciálů jako v případě předchozích měření (11. 8. 2015). Zároveň nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi lokalitami, a to jak v případě dubu letního, tak i jasanu ztepilého (viz tab. 2).



Obr. 3. Krabicové grafy srovnávající hodnoty indexů šířky letokruhů v rámci standardních chronologií dubu letního (*Quercus robur*, blok B, n = 15) a jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*, blok A, n = 15) mezi jednotlivými lokalitami (zkratky: L1 – lokalita 1, L2 – lokalita 2, L3 – lokalita 3, DBL – dub letní, JSZ – jasan ztepilý). Grafy znázorňují indexované šířky letokruhů od roku 1910 (začátek odčerpávání).

Fig. 3. The boxplots comparing indexed values of tree ring width within the standard chronologies of oak (*Quercus robur*, block B, n = 15) and ash (*Fraxinus excelsior*, block A, n = 15) between the sites (L1 – Locality 1, L2 – Locality 2, L3 – Location 3, DBL – oak, JSZ – ash). The graphs show ring width indexed since 1910 (the start of water pumping).

Tab. 2. Průměrné hodnoty se směrodatnými odchylkami vodních potenciálů na jednotlivých lokalitách v ranních a odpoledních hodinách, uvedené zvlášť pro dub letní a jasan ztepilý. Hodnoty jsou uvedeny v barech. Pro každý druh bylo v ranních hodinách měřeno 6 vzorků a v odpoledních hodinách rovněž 6 vzorků. Horní panel znázorňuje hodnoty naměřené dne 11. 8. 2015, dolní panel znázorňuje naměřené hodnoty ze dne 21. 9. 2015.

Average values with standard deviation of leaf water potentials at all investigated locations in the morning and afternoon, provided separately for oak and ash. The values are shown in bars. For each species, 6 samples were measured in the morning, and likewise 6 samples in the afternoon. Upper panel shows the measured values of 8. 11. 2015, lower panel shows the measured values of 21. 9. 2015.

Lokalita/Locality	1		2		3	
	ráno ¹	odpoledne ²	ráno ¹	odpoledne ²	ráno ¹	odpoledne ²
Dub/Oak	-10.5±1.3	-22.8±3.1	-9.8±0.3	-22.3±0.6	-10.1±1.6	-22.3±0.6
Jasan/Ash	-18.3±0.6	-31.5±0.5	-19.3±2.8	-22.3±0.5	-18.3±0.6	-27.6±0.7
Dub/Oak	-9.9±0.8	-23.8±3.9	x	x	-10.3±1.5	-23.1±1.9
Jasan/Ash	-8.4±1.2	-21.4±3.8	x	x	-8.9±2.9	-22.4±3.5

¹morning; ²afternoon

Hodnocení transpiračního proudu

Dynamické a kvantitativní hodnoty křivek transpiračního proudu poukazují na obdobný trend průběhu a kvantitu všech měřených jasanů na obou lokalitách (obr. 4A). Denní průběhy křivek reflektují evaporační požadavky, které jsou vyjádřeny referenční evapotranspirací a tlakem nasycených par (obr. 4B). Nejvyšší hodnoty transpiračního proudu vykazoval jasan na lokalitě 1 (0,05 kg.h⁻¹.cm⁻¹). Nicméně rozdíly oproti ostatním měřeným stromům jsou nevýrazné.

Hodnocení obvodových změn kmene

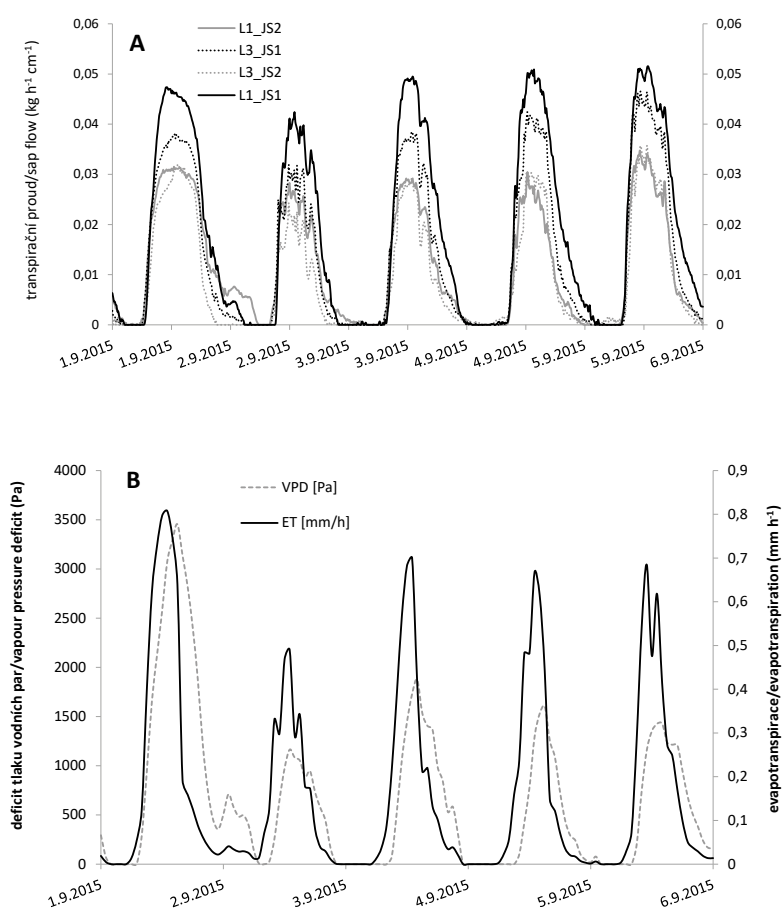
Při analýze denní dynamiky obvodových změn byl zaznamenán statisticky významný vliv faktoru lokality (ANOVA, P = 0,002). Nejvyšší rozdíly mezi denními a maximy a minimy byly zaznamenány u jasanu na lokalitě 2 (průměr ± směrodatná odchylka = 0,15 ± 0,02 mm), naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány na lokalitě 3 (průměr ± směrodatná odchylka = 0,06 ± 0,02 mm). Na lokalitě 1 byly zaznamenány následující denní změny vodních potenciálů v kmeni (průměr ± směrodatná odchylka = 0,08 ± 0,02 mm). Při testování jednotlivých lokalit mezi sebou byla zaznamenána statisticky významná diference pouze mezi lokalitou 2 a lokalitou 3 (Tukeyho post hoc test, p = 0,05).

Gazometrická stanovení fotosyntetických parametrů (A/Ci křivky)

Ze závislosti A na Ci byla dopočítána maximální rychlost karboxylace (V_{cm_{max}}), rychlost elektronového transportu (J), využití triózafofátů (TPU) a respirace na světle (R_q) (podle SHARKEY et al. 2007). Hodnocena byla také limitace fotosyntézy průduchovou vodivostí a kompenzační bod fotosyntézy pro CO₂. Tyto parametry byly srovnávány mezi lokalitou 1 a lokalitou 3. Nižší hodnoty stanovených parametrů, které byly zjištěny u jedince na lokalitě 1, poukazují na nižší vitalitu ve srovnání s hodnotami z lokality 3. Zjištěné hodnoty výše uvedených ukazatelů jsou uvedeny v tab. 3.

DISKUSE

Většina studií zabývajících se podobným tématem byla buď zaměřena na podrobnou dendrochronologickou analýzu dřevinného patra, založenou na rozsáhlém množství vzorků (např. MADĚRA, ÚRADNÍČEK 2001), nebo vycházela z dlouhodobého kontinuálního měření fyziologických parametrů dřevin (měření transpiračního proudu, měření přírůstu dendrometry, např. ČERMÁK, PRAX 2001). V našem případě jsme disponovali pouze omezeným počtem vývrtů určených k dendrochronologické analýze a zároveň jsme na zpracování studie v celém rozsahu měli čas omezený pouze dvěma vegetačními obdobími, pro


Obr. 4.

Kvantita a dynamika transpiračního proudu ($\text{kg h}^{-1} \text{cm}^{-1}$) na lokalitě 1 (L1) a lokalitě 3 (L3). Na každé lokalitě byly měřeny dva jasaný (JS1 a JS2) /blok A/. Hodnoty referenční evapotranspirace a tlaku nasycených par (blok B).

Fig. 4.

The quantity and dynamics of sap flow ($\text{kg h}^{-1} \text{cm}^{-1}$) at locality 1 (L1) and locality 3 (L3). Two *Fraxinus excelsior* trees were measured at each location (JS1 and JS2) /block A/. The values of reference evapotranspiration and vapor pressure deficit /block B/.

Tab. 3.

Srovnání lokality 1 (L1, vzorek – a, vzorek – b) a lokality 3 (L3, vzorek – a, vzorek – b) z hlediska výsledků dosažených gazometrickým měřením. Maximální rychlost karboxylace (V_{cmax}), rychlost elektronového transportu (J), využití triózafofátů (TPU) a respirace na světle (R_d), rychlost asimilace CO_2 při $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (A), teoretická rychlost asimilace CO_2 při $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bez limitace průduchy (A_t). Hodnoty byly měřeny při 20°C .

Comparison of the locality 1 (L1, sample – a, sample – b) with the locality 3 (L3, sample – a, sample – b) in terms of the results of gasometric measurements – maximum carboxylation velocity (V_{cmax}), electron transport rate (J), triosafosfat use (TPU) and respiration in light (R_d), assimilation rate of CO_2 at $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (A), theoretical assimilation rate of CO_2 at $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ without stomata limitation (A_t). The values were measured at 20°C .

	L1a	L1b	L3a	L3b
V_{cmax} [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	12	30	33	58
J [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	23	57	58	102
TPU [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	2,0	3,7	4,1	7,3
R_d [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	1,59	1,72	2,04	9,13
A [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	1,42	7,04	4,27	4,02
A_t [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	3,31	9,37	8,19	7,83
Limitace průduchy/Stomata limitation [%]	57,26	24,91	47,89	48,63
Kompenzační bod CO_2 / Compensation point CO_2 [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	96,62	58,75	61,35	112,44

fyzilogická měření pouze necelé jedno vegetační období. Z těchto důvodů jsme pro zjištění potenciálního vlivu jímání použili kombinaci co největšího množství použitelných metod a vycházeli z předpokladu, že pakliže má jímání vody významný vliv na vitalitu lužního lesa, v zjištěných výsledcích se to v rámci většiny metod projeví.

Všechny použité metody lze rozdělit do dvou skupin. První umožňuje vyhodnotit retrospektivně dlouhodobé změny, druhá skupina jsou ambulantní měření poukazující na aktuální stav měřených stromů. Dosažené výsledky naznačují, že lužní les na zkoumané lokalitě 1 s odběrem vody nevykazuje žádné dlouhodobé změny, které by ho odlišovaly od ostatních dvou zkoumaných lokalit. Změny nebyly zaznamenány ani v bylinném patře, ani v šířce letokruhů u zkoumaných druhů (*Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*). Bylinné patro je považováno za citlivý indikátor ekologických podmínek, včetně dostupnosti vody. Při změně vodního režimu reaguje změnou své struktury a zastoupením ekologických skupin druhů (ELLENBERG et al. 1992). Rovněž šířka letokruhu odráží vitalitu dřeviny v daném roce. Na nedostatek vody v půdním profilu stromy reagují výrazným snížením přírůstu, jak například zaznamenaly studie týkající se růstové odezvy dubů a jasanů vůči suchu (MADĚRA, ÚRADNÍČEK 2001; CORCUERA et al. 2004). Reakce vůči suchu je tím výraznější, čím více je dostupnost vody na daném stanovišti limitujícím faktorem. Proto stromy nejvíce reagují snížením přírůstu při nedostatku vody v nižších nadmořských výškách, kde je růst stromu nejvíce svázán se srážkami (ROZAS et al. 2005; WERF et al. 2007). Naopak v nejvyšších horských polohách, kde růst stromů více koreluje s teplotami ve vegetačním období, reagují stromy na změny vlhkostního režimu minimálně (TREML et al. 2012). V případě námi analyzovaných stromů nebyly zaznamenány významné rozdíly v tloušťkovém přírůstu mezi lokalitou 1, kde dochází k jímání vody a kontrolními lokalitami 2 a 3; lze tedy usuzovat, že na lokalitě 1 nedošlo ke změně dostupnosti vody v rhizosféře dřevin. Nepatrné rozdíly mezi lokalitami jsou patrně zapříčiněny dalšími faktory, jako například mírou ovlivnění mikrorelieфом stanoviště a mírou napadení patogeny (SCHWEINGRUBER 1996; STOFFEL, BOLLSCHWEILER 2008). Také hodnocení zdravotního stavu bývá výsledkem delšího působení stresových faktorů, i když tomu tak nemusí být vždy. Zdravotní stav jasanu je v současné době silně ovlivněn na území celé republiky chorobou *Chalara fraxinea* (JANKOVSKÝ, HOLDENRIEDER 2009) a studované lokality nejsou výjimkou a navzájem se neliší. Na rozdíl od jasanu, zdravotní stav dubu letního je dobrý a také se významně neliší.

U ambulantních měření jsme také většinou nezaznamenali žádné rozdíly mezi studovanými lokalitami, i když ne všechny výsledky jsou jednoznačné. Jako například výsledky gazometrického měření fotosyntézy, kde byla vyšší míra stresu zaznamenána na lokalitě 1. Změny v závislosti A/C_i mohou být způsobeny mnoha vnějšími i vnitřními faktory, například teplotou, ozářeností či dostupností dusíku (DÍAZ-ESPEJO et al. 2006; DARBAH et al. 2010). Vzhledem k tomu, že teplota a ozářenost byly na obou lokalitách srovnatelné a měření probíhalo ve stejnou denní dobu, lze předpokládat, že rozdíly byly způsobeny různou dostupností vody v době vývinu listů během vegetační sezóny. Snížení V_{cmax} , J a TPU , které jsme pozorovali na lokalitě 1, bylo popsáno při nedostatku vody v půdě například u dubu (ZENG et al. 2008; VAZ et al. 2010) a vinné révy (SOUZA et al. 2003). Nicméně je třeba vzít v potaz, že gazometrické měření probíhalo pouze u dvou listů jednoho stromu celkově na dvou lokalitách. Všechny studované stromy vykazovaly velmi podobnou kvantitu a dynamiku transpiračního proudu. Naměřené kvantitativní hodnoty transpiračního proudu (viz obr. 4) odpovídají běžným hodnotám dosaženým u nestresovaných jasanů (HÖLSCHER et al. 2005). Tvar křivky denního průběhu transpirace reflektuje na obou měřených lokalitách referenční evapotranspiraci (viz obr. 4), což je typické pro nestresované stromy s dostatkem vody v půdě (JEŽÍK et al. 2015). V případě silného stresu jasanu obvykle dosáhnou denního maxima krátce po východu slunce a následně dochází

ke kontinuálnímu snížení transpirace v důsledku stomatální regulace transpirace (STÖHR, LÖSCH 2004). Ambulantně naměřené hodnoty vodních potenciálů v koruně dubu a jasanu neprokázaly negativní vliv jímání vody. U jasanu ztepilého byla zjištěna vyšší míra stresu než u dubu letního, což je patrně zapříčiněno celkově horším zdravotním stavem jasanu. Vyšší míru adaptace dubu letního vůči stresu suchem naznačují vyšší ranní hodnoty vodních potenciálů, poukazující na schopnost dubu dosytit své vodní zásoby v průběhu noci. Výsledky měření obvodových změn vodních potenciálů v kmeni jasanů rovněž neprokázaly vliv jímání vody. Faktor lokality zde byl sice těsně shledán jako statisticky průkazný, nicméně největší obvodové změny byly zaznamenány na lokalitě 2 a nikoliv na lokalitě 1, kde dochází k jímání vody. Výše uvedená ambulantní měření rozhodně nelze zobecňovat, protože zachycují sledovaný proces v omezeném čase a u omezeného počtu studovaných objektů. Jsou však podnětem pro případné dlouhodobější a preciznější výzkumy, jež zachytí dobře variabilitu měřených procesů a umožní jejich důkladné statistické vyhodnocení.

Nutno vzít v potaz, že v půdním profilu lužního lesa dochází k výraznému kolísání spodních vod v průběhu vegetační sezóny (KLIMO et al. 2008), které může ovlivnit námi studované parametry. Nicméně naše měření (transpirační proud, fotosyntéza, vodní potenciály atd.) probíhaly v období, které zahrnovalo i výskyt extrémního sucha (měsíc srpen roku 2015), které je dle našeho názoru nejvhodnější k zaznamenání potenciálních změn ve fyziologii stromů způsobených v důsledku jímání vody.

Na základě námi dosažených výsledků, získaných použitím celé škály vzájemně se podporujících metod, a vzhledem k tomu, že obdobných výsledků bylo dosaženo v rámci studie v PR Zbytky (ČEJKOVÁ 2009) a při dlouhodobějším měření transpiračního proudu CHKO Litovelské Pomoraví (ČERMÁK – ústní sdělení), lze konstatovat, že jímání vody v CHKO Litovelské Pomoraví nemá negativní vliv na vitalitu ekosystému lužního lesa.

ZÁVĚR

Článek předkládá škálu metodických přístupů k zjištění odezvy ekosystému lužního lesa na změny vodního režimu. Takto komplexně pojatá studie umožňuje podrobně zjistit reakce jednotlivých biotických složek ekosystému (synuzie bylin, stromy) na případný stres suchem.

Navržená metodika umožňuje porovnávat různé lokality navzájem a nabízí při dlouhodobějším měření i hodnocení dynamiky vývoje. Při srovnání různých lokalit jsme použili celou řadu metod, které se dají rozdělit do dvou skupin. První umožňuje vyhodnotit retrospektivně dlouhodobé změny, druhá zahrnuje ambulantní měření poukazující na aktuální stav měřených stromů. Současně jsou jednotlivé metody použitelné i samostatně. Nicméně za tohoto předpokladu je nutné dostatečné množství opakovaných měření sledovaných jevů. U ambulantně použitých metod je požadavek na dostatečné množství opakovaných měření nejvyšší, protože tyto metody odrážejí pouze aktuální stav stromů.

Za klíčovou metodu lze považovat dendrochronologii, která umožňuje srovnat vitalitu stromů i daleko do minulosti. Rovněž metody hodnocení zdravotního stavu, bioindikace bylin a měření transpiračního proudu se ukázaly být velmi vhodné, protože nám umožňují zpětně vyhodnotit dlouhodobé změny. Naopak ambulantní gazometrické stanovení fotosyntetických parametrů a měření vodních potenciálů mohou sloužit pouze jako doplňkové pro podpoření nebo vyvrácení metod odrážejících dlouhodobé změny.

Většina metod neprokázala významné rozdíly mezi lokalitami. Lze tedy konstatovat, že jímání vody hloubkovými vrty na námi zkoumaných lokalitách nemá negativní vliv na stav okolního lužního lesa. Výše uvedená tvrzení je založeno na základě výpovědi z celé kombinace použitých metod, jejichž výsledky se vzájemně podporují.

Poděkování:

Publikace vznikla jako výsledek projektu „Monitoring zdravotního stavu lužního lesa u jímacího území Litovel – Čerlinka“, reg. č. 15151/2014-981.

LITERATURA

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO: 300 s. Irrigation and drainage paper, 56.
- BØRJA I., SVĚTLÍK J., NADEZHDIRIN V., ČERMÁK J., ROSNER S., NADEZHDIRINA N. 2013. Sap flow dynamics as a diagnostic tool in Norway spruce. In: Proceedings of the IXth International Workshop on Sap Flow. Ghent, Belgium June 4–7, 2013. Leuven, International Society for Horticultural Science: 31–36. Acta Horticulturae, No. 991.
- BRAAK C.J., SMILAUER P. 2012. Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0.
- BROWN A.G., HARPER D., PETERKEN G.F. 1997. European floodplain forests: structure, functioning and management. Global Ecology and Biogeography Letters, 6: 169–178.
- BUČEK A., ŠTYKAR J. 2002. Geobiocenologické mapování příbřežního pásma vodních toků v povodí Odry. Beskydy, 15: 17–24.
- COOK E.R., HOLMES R.L. 1986. User's manual for program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA.
- COOK E.R., KAIRIUKSTIS L.A. 2013. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Kluwer: 394 s.
- CORCUERA L., CAMARERO J.J., GIL-PELEGRÍN E. 2004. Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. Trees, 18 (1): 83–92.
- ČEJKOVÁ A. 2009. Přírodní rezervace Zbytkva. Dendrochronologická analýza. Výzkumná zpráva. České Budějovice: 15 s.
- ČERMÁK J., PRAX A. 2001. Water balance of a Southern Moravian floodplain forest under natural and modified soil water regimes and its ecological consequences. Annals of Forest Science, 58 (1): 15–29.
- ČERMÁK J., KUČERA J., BAUERLE W. L., PHILLIPS N., HINCKLEY, T. M. 2007. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. Tree Physiology, 27 (2): 181–198.
- ČERMÁK J., NADĚZHDIRINA N., TRCALA M., SIMON J. 2015. Open field-applicable instrumental methods for structural and functional assessment of whole trees and stands. iForest, 8 (3): 226–278. DOI: 10.3832/ifor1116-008
- DARBAH J.N.T., SHARKEY T.D., CALFAPIETRA C., KARNOSKY D.F. 2010. Differential response of aspen and birch trees to heat stress under elevated carbon dioxide. Environmental Pollution, 158 (4): 1008–1014. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.10.019.
- DÍAZ-ESPEJO A., WALCROFT A.S., FERNÁNDEZ J.E., HAFRIDI B., PALOMO M.J., GIRÓN I.F. 2006. Modeling photosynthesis in olive leaves under drought conditions. Tree Physiology, 26 (11): 1445–1456.
- DRÁPELA K., ZACH J. 2002. Statistické metody II. Brno, MZLU: 152 s.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. PAULISSEN D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Göttingen, Erich Goltze: 258 s. Scripta geobotanica, 18.
- GEBAUER R., URBAN J., BØRJA I., GRYC V., VAVRČÍK H., VOLAŘÍK D., RYCHTECKÁ P. 2010. Metodika sledování vitality lesních ekosystémů vystavených suchu k podpoře trvale udržitelného lesnictví. Recenzovaná metodika. Brno, Mendelova univerzita v Brně: 55 s.
- HEATH R.C. 1983. Basic ground-water hydrology. Washington, D. C., US Gov. Print. Off.: 84 s. US Geological Survey water-supply paper, 2220. Dostupné též na/Available on: http://www.samsamwater.com/library/Basic_Ground-Water_Hydrology.pdf
- HENNEKENS S.M., SCHAMINÉE J.H.J. 2001. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science, 12: 589–591. DOI: 10.2307/3237010
- HORÁK J. 1964. Lesní fytoceenóza jako indikátor změn vodního režimu lužních lesů. In: Moravcová, M. (red.): Vegetační problémy budování vodních děl. Praha, ČSAV: 39–53.
- HÖLSCHER D., KOCH O., KORN S., LEUSCHNER C. 2005. Sap flux of five co-occurring tree species in a temperate broadleaved forest during seasonal soil drought. Trees, 19 (6): 628–637. DOI: 10.1007/s00468-005-0426-3
- HRIB M., KORDIOVSKÝ E. (eds.) 2004. Lužní les v Dyjsko-moravské nivě. Břeclav, Moraviapress: 591 s.
- JANKOVSKÝ L., HOLDENRIEDER O. 2009. *Chalara fraxinea* – ash dieback in the Czech Republic. Plant Protection Science, 45 (2): 74–78.
- JEŽÍK M., BLAŽENEC M., LETTS M.G., DITMAROVÁ L., SITKOVÁ Z., STŘELCOVÁ K. 2015. Assessing seasonal drought stress response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by monitoring stem circumference and sap flow. Ecohydrology, 8 (3): 378–386. DOI: 10.1002/eco.1536
- KLIMO E., HAGER H., MATIČ S., ANIČ I., KULHAVÝ J. (eds.) 2008. Floodplain forests of the temperate zone of Europe. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 623 s.
- KNIBBE B. 2004. PAST 4 – Personal Analysis System for Treering Research. Instruction Manual, Version 4. SCIAM – Vienna Institute of Archaeological Science: 141 s.
- KUČERA J., URBAN J. 2012. History of the development of the trunk heat balance method in last forty years. Acta Horticulturae, 951: 87–94.
- LAMBERS H., CHAPIN F.S., PONS T.L. 2008. Plant water relations. In: Lambers, H. et al.: Plant physiological ecology. New York, Springer: 163–223. DOI: 10.1007/978-0-387-78341-3_5
- LONG S.P., BERNACCHI C.J. 2003. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. Journal of Experimental Botany, 54 (392): 2393–2401. DOI: 10.1093/jxb/erg262
- MADĚRA P. 2001a. Response of floodplain forest communities herb layer to changes in the water regime. Biológia (Bratislava), 56: 63–72.
- MADĚRA P. 2001b. Effect of water regime changes on the diversity of plant communities in floodplain forests. Ekológia (Bratislava), 20 (1): 116–129.
- MADĚRA P., ŠEBESTA J., ŘEPKA R., KLIMÁNEK M. 2011. Vascular plants distribution as a tool for adaptive forest management of floodplain forests in the Dyje river basin. Journal of Landscape Ecology, 4 (2): 18–34.
- MADĚRA P., ÚRADNÍČEK L. 2001. Growth response of oak (*Q. robur* L.) and ash (*F. angustifolia*) on changed conditions of the floodplain forest geobiocene hydrological regime. Ekológia (Bratislava), 20 (1): 130–142.

- MACHAR I. 2013. Applying landscape ecological principles in sustainable forest management of the floodplain forest in the temperate zone of Europe. *Ekológia (Bratislava)*, 32 (4): 369–375.
- PENKA M., VYSKOT M., KLIMO E., VAŠÍČEK F. 1991. Floodplain forest ecosystem. After water management measures. Amsterdam, Elsevier: 629 s.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- ROZAS V. 2005. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62 (3): 209–218.
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., ŽID T., KOLÁŘ T., TRNKA M., BÜNTGEN U. 2015. Exploring growth variability and crown vitality of sessile oak (*Quercus petraea*) in the Czech Republic. *Geochronometria*, 42 (1): 17–27.
- SHARKEY T.D., BERNACCHI C.J., FARQUHAR G.D., SINGAAS E.L. 2007. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C3 leaves. *Plant, Cell & Environment*, 30 (9): 1035–1040.
- SCHNITZLER A., HALE B.W., ALSUM E. 2005. Biodiversity of floodplain forests in Europe and eastern North America: a comparative study of the Rhine and Mississippi Valleys. *Biodiversity & Conservation*, 14 (1): 97–117.
- SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.T., BRADSTREET E.D., HEMMINGSEN E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148 (3668): 339–346.
- SCHWEINGRUBER F.H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Bern, Haupt: 609 s.
- SIMON J., MACHAR I., BRUS J., PECHANEC V. 2015. Combining a growth-simulation model with acoustic-wood tomography as a decision-support tool for adaptive management and conservation of forest ecosystems. *Ecological Informatics*, 30: 309–312.
- SOUZA C.R. DE, MAROCO J.P., SANTOS T. P. DOS, RODRIGUES M.L., LOPES C.M., PEREIRA J.S., CHAVES M.M. 2003. Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). *Functional Plant Biology*, 30 (6): 653–662. DOI: 10.1071/FP02115
- STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M. 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Science*, 8: 187–202. Dostupné na/Available on: <http://boris.unibe.ch/85914/1/nhess-8-187-2008%281%29.pdf>
- STÓHR A., LÖSCH R. 2004. Xylem sap flow and drought stress of *Fraxinus excelsior* saplings. *Tree Physiology*, 24 (2): 169–180.
- TAIZ L., ZEIGER E. 2010. *Plant physiology*. Sunderland, Sinauer Associates: [953] s.
- TOLASZ R., BRÁZDIL R., BULÍŘ O., DOBROVOLNÝ P., DUBROVSKÝ M., HÁJKOVÁ L., KRŠKA K. 2007. *Atlas podnebí Česka*. Climate atlas of Czechia. Praha – Olomouc, Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého v Olomouci: 255 s.
- TICHÝ L. 2002. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, 13 (3): 451–453.
- TREML V., PONOCNÁ T., BÜNTGEN U. 2012. Growth trends and temperature responses of treeline Norway spruce in the Czech-Polish Sudetes Mountains. *Climate Research*, 55: 91–103.
- UNAR P., ŠAMONIL P. 2008. The evolution of natural floodplain forests in South Moravia between 1973 and 2005. *Journal of Forest Science*, 54 (8): 340–354.
- VAŠÍČEK F. 1985. Changes in the herbal vegetation along the topographical moisture gradient. In: Penka M. et al.: Floodplain forest ecosystem. Before water management measures. Prague – Amsterdam, Academia, Elsevier: 355–386.
- VAŠÍČEK F. 1990. Typy dominance bylinné vrstvy v měnicích se gradientech vlhkosti lužního lesa v rezervaci Raňšpurk. *Lesnictví-Forestry*, 36: 457–468.
- VAZ M., PEREIRA J.S., GAZARINI L.C., DAVID T.S., DAVID J.S., RODRIGUES A., MAROCO J., CHAVES M.M. 2010. Drought-induced photosynthetic inhibition and autumn recovery in two Mediterranean oak species (*Quercus ilex* and *Quercus suber*). *Tree Physiology*, 30: 946–956.
- VRŠKA T. 1997. Pales Cahnov po 21 letech (1973–1994). *Lesnictví-Forestry*, 43: 155–180.
- VYBÍRAL J. 2007. Lužní lesy v Biosférické rezervaci Dolní Morava. *Sborník Regionálního muzea v Mikulově*: 36–42.
- WEI Z., YANLING J., FENG L., GUANGSHENG Z. 2008. Responses of photosynthetic parameters of *Quercus mongolica* to soil moisture stresses. *Acta Ecologica Sinica*, 28 (6): 2504–2510. DOI: 10.1016/S1872-2032(08)60059-1
- WENGER E.L., ZINKE A., GUTZWEILER K.A. 1990. Present situation of the European floodplain forests. *Forest Ecology and Management*, 33–34: 5–12.
- WERF G.W. VAN DER, SASS-KLAASSEN U.G., MOHREN G.M. J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25 (2): 103–112. DOI: 10.1016/j.dendro.2007.03.004
- ZLATNÍK A. 1976. Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných v ČSR. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV*, 13: 55–64.
- ZLATNÍK A. 1978. *Lesnická fytoecologie*. Praha, SZN: 495 s.

THE COMPLEX STUDY OF FLOODPLAIN FOREST PLANT COMMUNITY RESPONSE TO CHANGED WATER REGIME DUE TO THE DEEP WATER PUMPING

SUMMARY

Floodplain forest ecosystems represent a significant part of European natural wealth, therefore they deserve significant scientific attention to their history, development, status, protection, and revitalization. In the Czech Republic, the floodplain forests have been historically under strong anthropogenic influences, one of which is deep water pumping. Therefore, this study aimed to design a complex methodological approach to the analysis of the effects of ground water pumping on the vitality of the floodplain forest ecosystem in the Litovelské Pomoraví protected landscape area (Czech Republic).

The authors hypothesised that if deep water pumping has a significant effect on the floodplain forest ecosystem, then this will be reflected most in the vicinity of the water pumping site (locality 1). On the other hand, it will be least obvious beyond the water pumping site (locality 3). The methods within the designed methodological approach were split into two groups. The first group, retrospectively, evaluates long-term changes (i.e. dendrochronological analysis, health assessment, plant moisture bioindication), while the second group evaluates the current status of the measured trees (i.e. leaf and stem water potential measurements, sap flow measurement, gasometrical determination of photosynthetic parameters). All of the above-mentioned methods can be used to detect the vitality as well as water tree status and evaluate habitat humidity properties.

Evaluation of habitat moisture through plant bioindications and health assessment of *Fraxinus excelsior* and *Quercus robur* did not reveal any differences between individual localities (Tab. 1, Fig. 2). Similarly, no differences were found in terms of *Fraxinus excelsior* and *Quercus robur* radial growth (Fig. 3). The leaf as well as stem water potential and sap flow measurement results did not reveal any negative effect of deep water pumping on the water status of the measured trees (Fig. 4, Tab. 2). The gasometric measurement results indicate reduced leaf vitality at locations where deep water has been pumped (locality 1), however, a limited number of samples was investigated (Tab. 3). Most of the methods used did not reveal any significant differences between the sites where the water had and had not been pumped. Although each one is based on a different principle, they seem to indicate that ground water pumping has no negative effect on the surrounding floodplain forest ecosystem.

Zasláno/Received: 08. 06. 2016

Přijato do tisku/Accepted: 03. 01. 2017