

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Předmět: Hospodářská úprava lesů II

Přístrojová diagnostika jako zdroj objektivních informací o stromech a porostech významných pro lesy a lesnictví

Čermák J., Nadeždina N., a Simon J.

Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně.

Optimální cílená volba strategie managementu na úrovni lesního ekosystému, případně (Korf 1955; Krammer 1988) strategie hospodářské musí být vždy založeny na objektivním posouzení stavu lesa a konkrétní formulaci cílové představy. K uvedenému se běžně používá široká škála biometrických metod a na ně navazující matematické modelování (Šmelko 2007, Pretzsch 2009, Simon et al. 2010). Tento postup pro běžné provozní plánování dosud v podstatě dostačoval, opomíjí však využití informací, které dnes poskytuje řada v běžných terénních podmínkách použitelných ekofyziologických metod. Tyto metody se zejména v posledních letech velmi intenzivně rozvíjejí a poskytují dříve nedostupné informace, čímž přinášejí často nový pohled na problematiku a výrazně rozšiřují aplikační úroveň. Předložený příspěvek si klade za cíl rámcově upozornit na některé zpracované a ověřené metody s naznačením příkladů realizačního využití.

Voda a struktura stromů

Vodní provoz rostlin je všeobecně spojen s největšími toky energie v ekosystémech. Voda je nejčastější přírodní limitující faktor růstu (neuvažujeme-li arktické oblasti a vrcholky hor) a nezbytným základem umožňujícím existenci dalších fyziologických procesů. Lesy jsou největším kontrolním mechanismem koloběhu vody na kontinentech a klimatu. Největší objem struktur stromů a porostů představuje jejich vodovodivý systém, zahrnující jak dřevo, tak lýko, změny velikosti vodivého systému představují růst. Současná technika nám umožňuje měřit mobilní soupravou přístrojů nezávislou na stacionárních objektech kvantitativní parametry vodního provozu, struktury a růstu na úrovni celých stromů a porostů a jejich kombinací i na úrovni povodí či větších lesních celků.

Denní a sezónní dynamika transpiračního proudu

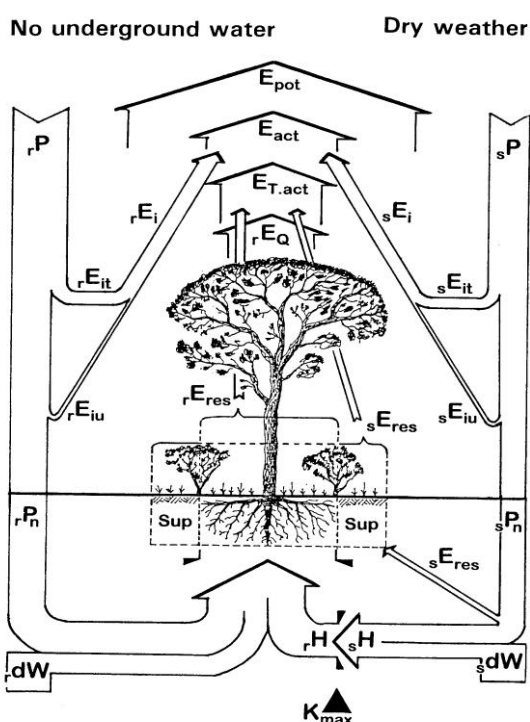
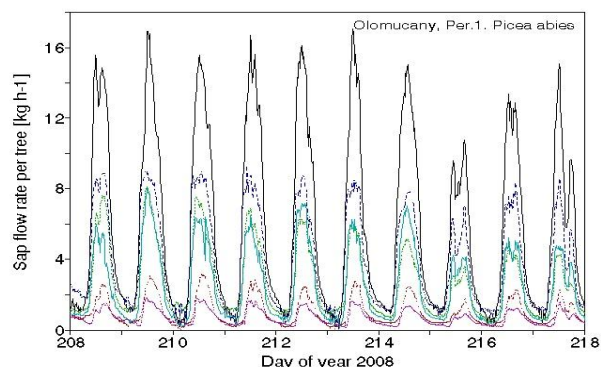
K měření transpirace, resp. transpiračního proudu (průtoku vody v kmenech a skeletu stromů) je k dispozici **metoda tepelné bilance** kmene (THB), měřící celkový tok vody stromem (Čermák et al. 1973, 1982, 2004) a **metoda deformace tepelného pole** (HFD, Nadezhdina et al., 1998; Čermák a Nadezhdina 1998) založená na poměru toku tepla v axiálním a tangenciálním směru a umožňuje měřit v řadě bodů napříč bělí tedy získat radiální profily transpiračního proudu. Obě metody pracují jak na úrovni jednotlivých **stromů** (v případě potřeby i jejich částí), tak na úrovni **porostu** (**Obr. 1**). Fotografie zachycuje lesní porost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

smrku ztepilého v horské oblasti (povodí Liz na Šumavě) se sérií stromových vzorníků zapojených pro dlouhodobá měření.

Příklad **denních průběhů transpiračního proudu**. Proud integruje chování celých stromů a je velmi citlivý na jakékoli změny vnějších podmínek, tedy i diagnostiku míry stressových podmínek apod. (**Obr. 2** – Čermák, Prax 2009). Obrázek ukazuje kvantitativní rozdíly u série denních průběhů proudu a mezi stromy různých tlouštěk ve smíšeném lese Školního lesního podniku Mendelovy univerzity u Olomučan, kde denní amplituda proudu se pohybovala u nejmenších stromů nevysoko nad 1 litrem za hodinu (tj. asi 10 litrů za den) a u největších stromů kolem 16 litrů (tj. asi 160 litrů za den). Sezónní spotřeba vody smrkovým porostem se pohybovala mezi 150 až 250 mm. V případě intenzivně transpirujícího smíšeného lužního lesa na Břeclavsku v období nelimitující dodávky vody z půdy šlo o rozmezí u jednotlivých stromů asi mezi 30 až 600 litrů vody za den, v sezónním úhrnu cca 250 až 450 mm (nižší z uvedených hodnot se týká přechodného období bez záplav po regulaci vodotečí při výstavbě přehrad). Nejvyšší transpiraci, cca 1000 litrů vody za den jsme zjistili u solitérních polykormonů vrby (*Salix fragilis*). Díky kulovitému tvaru korun stromů byly vyšší než potenciální evapotranspirace. 35 vrb spotřebovalo stejné množství vody jako tráva na celém hektaru (Čermák et al. 1984). Na několika lokalitách (Lednice – lužní les, Rajec - smrčina) jsou k dispozici data měřená po dobu 10-15 let v rozmezí cca 30-40 let (Čermák et al. 2001). Na základě modelování bylo možné přibližně odvodit historickou situaci až do 12. století (Pietsch et al. 2003).



Vodní bilance porostů.

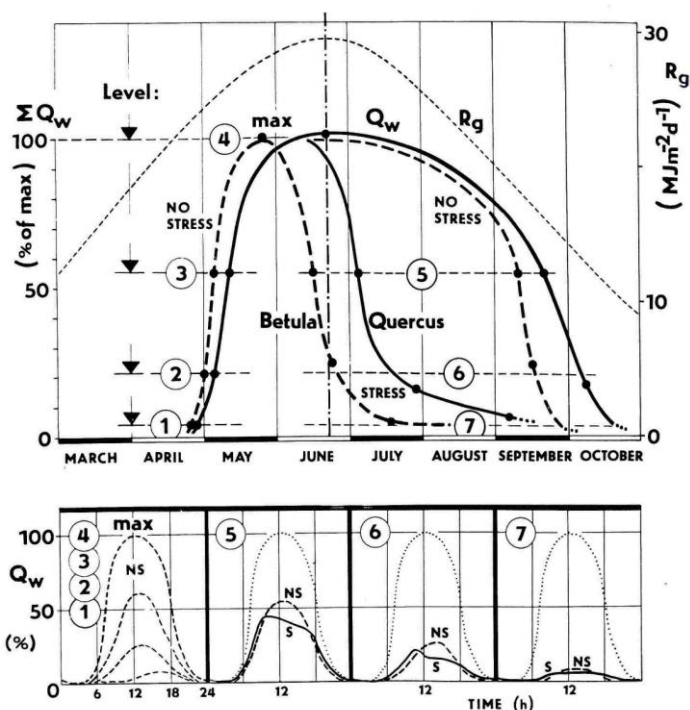
Stejně údaje slouží i pro výpočet vodní bilance porostů. Příklad zachycuje situaci v lužním lese u Lednice (**Obr. 3**). Písmeny jsou označeny jednotlivé složky vodní bilance (P=srážky, E=evaporace, dW=zásoba vody v půdě, H=horizontální transport vody, K=hydraulická vodivost půdy), šíře šipek ukazuje intenzitu proudů vody. Tento les je za normálních podmínek na Jižní Moravě závislý především na dodávce podzemní vody (během slunné sezóny až ze 70 %) (Čermák et al. 1982, 1991). V případě podstatného snížení hladiny podzemní vody a jejímu zaklesnutí z cca 1-2 m hluboké povrchové vrstvy těžké půdy o 1-3 m až do podložního štěrkopísku, (k jakému došlo např. v důsledku regulace Dyje), porostní transpirace klesla na polovinu. Při tom došlo ke zvýšení mortality druhů jak keřového

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

porostu (zejména svídy), tak i stromů hlavního porostu (dub letní, jasan ztepilý, lípa srdčitá aj) s nižším sociálním postavením. Šlo o jmenovitě o stromy, které nebyly strukturálně vyvážené (měly malou plochu obalovou plochu kořenových systémů ve srovnání s plochou osvětlených listů). Rozhodující se při tom staly vlastnosti půdy. Při snížení objemové vlhkosti půdy v blízkosti kořenů o 4% klesl vodní potenciál, půdy o 8 barů, ale hydraulická vodivost půdy 100x! Největší mortalita byla ovšem u stromů s nedostatečně vyvinutým kořenovým systémem (Čermák, Prax, 2009).

Detekce vodního stressu (suchem nebo převlažením)

Nedostatek vody v půdě (stress suchem) nebo její přebytek působící nedostatek vzduchu (hypoxie) patří mezi nejčastější příčiny jednotlivého či hromadného odumírání stromů působením abiotických činitelů. Situace je patrná u dvou druhů s různou distribucí kořenového systému (hlubokého u dubu - *Quercus* a mělkého u břízy - *Betula*) - **Obr. 4**. Sezónní amplituda je uvedena v % maxima. Vegetační období je charakterizováno průběhem sluneční radiace (R_g). V sezónním průběhu za podmínek dostatečného zásobování stromů půdní vodou trvá transpirace (resp. transpirační proud (Q_w)) v závislosti s na rozvoji listoví) cca od konce dubna do konce října (mimo řidčeji se vyskytující transpiraci jehličnanů např. během teplých zim). Jestliže se vyskytne silný průsušek, transpirace prudce klesá, a k tomu může dojít u mělce kořenících druhů již v červnu. Pak mají stromy již v červenci suché listoví a odumírají). Transpirace hluboce kořenících druhů, které mají k dispozici větší objem půdy, při tom může probíhat bez omezení. Jestliže však následuje několik suchých let po sobě, i v dosahu hlubokých kořenů je vyčerpána voda a takový strom reaguje podobně jako ten mělce kořenící, i když o něco později. V průběhu sezóny se mění i tvar denních křivek transpirace. Na obrázku jsou označeny čísla v kroužku dny, které měly stejnou denní sumu transpirace, ale lišil se průběh při dostatečné vlhkosti půdy (čárkované křivky) a za sucha (plné křivky – to se netýká prvních čtyř dnů během rašení). Ve dnech s průsuškem je ve srovnání s denním maximem křivka zploštělá, jakoby odříznutá a pokles amplitudy ukazuje míru ohrožení přežití stromů (Čermák 1986).

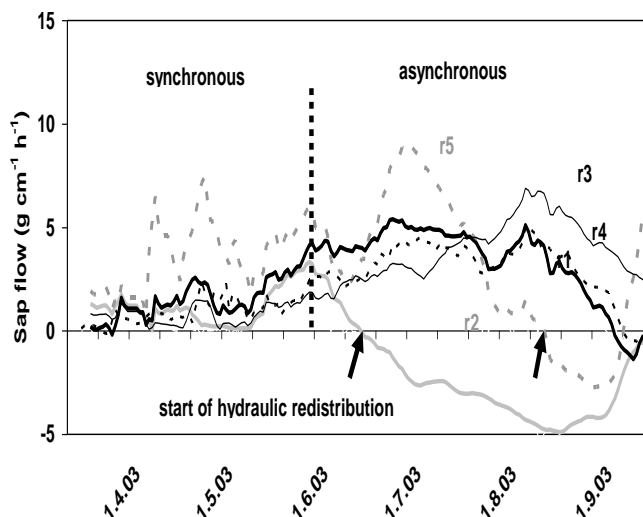


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Redistribuce vody mezi kořeny kmenem a půdou

Významným ukazatelem vzniku sucha v půdě je sezónní **dynamika nočních průběhů** transpiračního proudu, patrná zejména v malých kořenech (**Obr. 5**). Když je v půdě dostatek vody, transpirační proud v různých kořenech se chová podobně (může mít různou amplitudu, ale má synchronní průběh a směr od konců kořenů do kmene – viz levá strana obrázku).

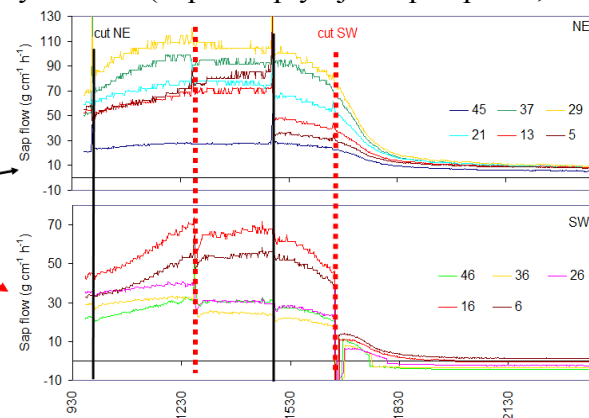
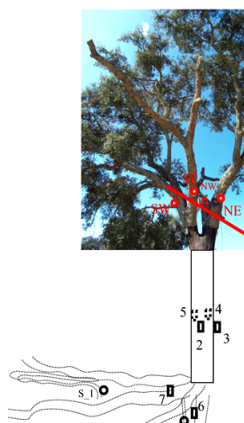
Jakmile však z některé strany stromu půda začíná prosychat, proud se stává asynchronní a pochopitelně ze suché strany klesá. Nejvýznamnějším ukazatelem je ale reverzní proud (směřující od kmene ke koncům kořenů – na jeho začátky ukazují šípky na pravé straně obrázku). reverzní proud indikuje, že měřený kořen se nachází v kriticky suché půdě. V takovém případě podle gradientu vodního potenciálu začíná nasávat vodu z kmene i z jiných kořenů, které zasahují do nějakého o něco vlhčího místa kolem kmene. Tento mechanismus brání odumření kořenů během přísušku a tedy odumření celého stromu. Může dojít k situaci, že o



přežití stromu rozhoduje funkce jediného kořene. Pokud např. hluboký nebo dlouhý povrchový kořen je u relativně většího zdroje vody, ta může protékat do protějšího kořene a z něho pronikat do okolní půdy. Tím je pak umožněn růst bylin, které by bez dodávky vody stromem neměly šanci přežít (Naděždina et al. 2010).

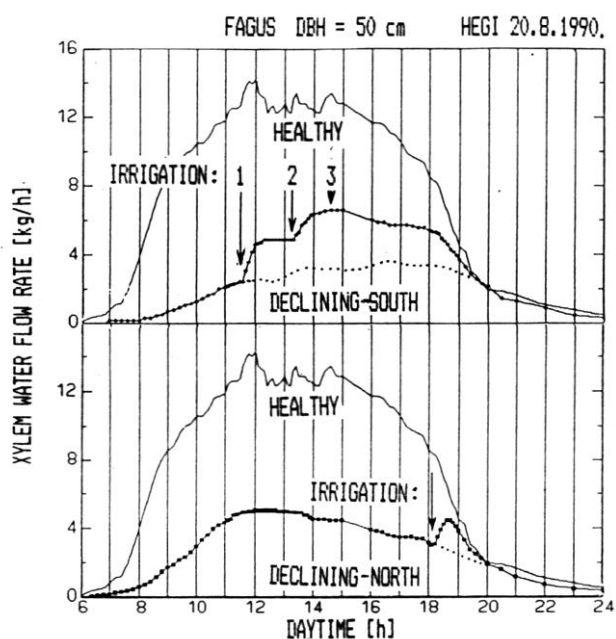
Použitím mnohabodových čidel, které měří transpirační proud v různých hloubkách běle lze studovat **hydraulickou strukturu stromů**. Tedy jak je transpirační proud z různých kořenů spojen v bělové části dřeva kmene s různými částmi koruny (**Obr. 6**). Většina druhů (z jehličnanů a difúzně pórovitých listnáčů) má proud integrovaný tak, že z variabilnější distribuce u base kmene se v průběhu kmene vyrovnává (např. rozptyluje se po spirále, nebo

vedením cik-cak), takže při poškození jednoho kořenu se o něco sníží dodávka vody do celé koruny, ale nestává se kritickou. U jiných druhů (zejména kruhovitě pórovitých, z jehličnanů např. u thuje) probíhá proud z jednoho kořenu úzkým sektorem



kmene do jedné nebo několika větví nad sebou. Při poškození kořenu, nebo jen odřením kůry z malé části kmene jsou pak významně poškozeny i tyto větve a zpravidla odumírají. Tento

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



jen čidlo s té samé strany kmene. Tato studia potvrzuje, že dub má výrazně sektorovou hydraulickou strukturu, kdy určitým místem v kmeni voda protéká (anebo při poškození neprotéká) jen k větvím umístěným nad ním (Naděždina et al. 2009)..

jev je ilustrován na vedlejší obrázku (Obr. 7). Nejvíce informací dostaneme, když tato měření provádíme s vysokou frekvencí zápisu dat (1 min nebo několik sekund) v průběhu pokusů. Tj. např. lokální zavlažování, stínění, či v krajním případě řezání větví, apod. Jako příklad experimentu u dubu, na kterém bylo instalována série mnohabodových čidel (viz schéma na Obr. 5). Velké větve dubu byly odřezávány postupně během několika dnů tak, že od každé velké větve prvního řádu bylo odřezáváno během slunného dne jen pár tenkých větví druhého řádu (aby bylo vidět jasnou odezvu na každý řez). Na grafu je ukázán záznam jen ze dvou čidel z protilehlých stran kmene, kde je vidět že při řezání větví z jedné strany vždy reagovalo

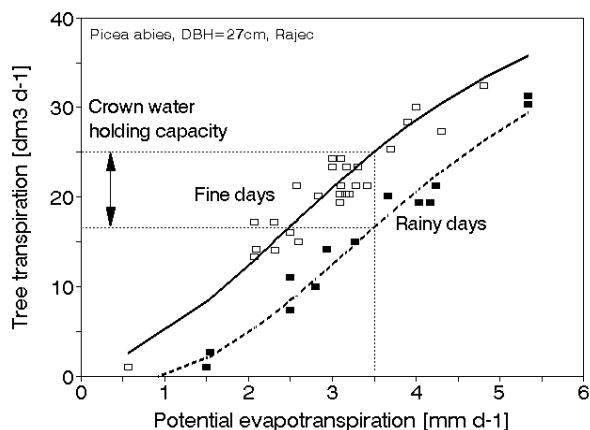
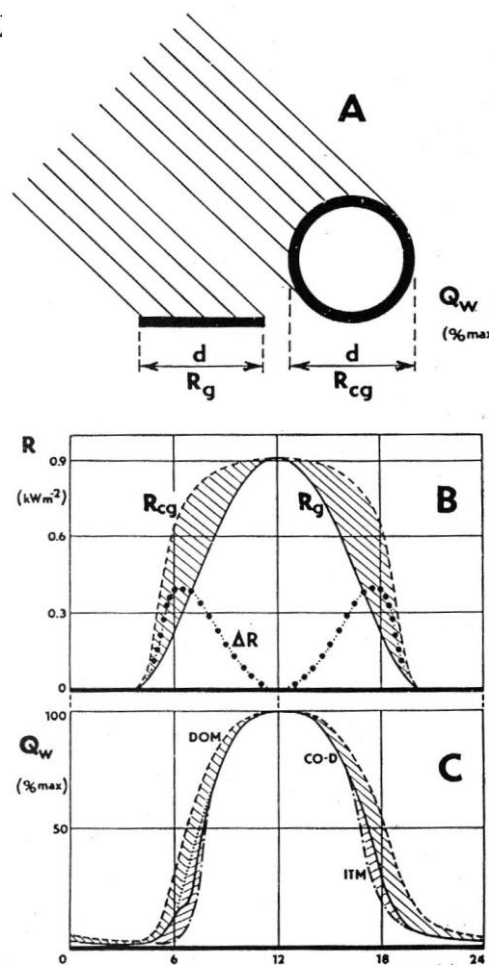
Dle změn denní amplitudy transpiračního proudu stromů rostoucích na suché půdě lze při lokálním zavlažení kvantifikovat podíl snížení proudu vlivem okamžité vlhkosti půdy a vlivem trvalého poškození vodivého systému (např. vznikem embolie v cévách, postupným omezováním rozvoje listové plochy apod.). Situaci ilustruje denní průběh proudu u buku ve smíšeném lese (s dubem, jasanem, borovicí a jedlí) v horském lese (oblast Hegi) ve Švýcarsku (Čermák et al. 1991 – Obr. 8). Tento les rostoucí na jílovité půdě byl silně poškozen vichřicí (vyvráceno nebo zlomeno 50% kmenů) a po jejich vytěžení začala rychle odumírat většina buků. Šlo o buky původně rostoucí v hustších skupinách stromů, které byly uvyklé na zástin svými sousedy a vystačily zásobovat transpiraci poměrně malým kořenovým systémem s půdorysem menším než činil půdorys často asymetrických korun (s větvemi vrůstajícími do osvětlenějších prostorů v nejbližším okolí). Buky od počátku rostoucí ve volnějších částech porostu s kořeny zasahujícími vně půdorysu koruny nápor vichřice vydržely, po ní neodumíraly a silně transpirovaly (viz oblé křivky na obrázku) a téměř nereagovaly na zavlažení. Nedaleké stromy měly transpiraci silně sníženou a kolem nich byl kruh suché půdy bez podrostu, zatímco v okolí byl hustý porost keřů a bylin. Tyto stromy po silném zavlažení (50 mm) výrazně reagovaly, ale jen dvakrát po sobě - zvýšená amplituda křivky indikovala vliv změn okamžité vlhkosti půdy. Po třetím zavlažení již ke zvýšení nedošlo. Rozdíl amplitudy poškozeného a zdravého stromu indikoval míru trvalého poškození jeho vodivého systému. Místním lesníkům tak bylo možné doporučit od počátku vývoje porostu dbát o vytvoření řídkého zápoje stromů.

INVESTICE DO ROZVOJE V.

Funkční parametry korun stromů

Denní úhrny transpiračního proudu na strom (Q_w) spolu s odpovídajícími meteorologickými údaji (potenciální evapotranspirací, PET) slouží k odvození **efektivního půdorysu korun** (Q_w / PET v m^2 na strom). To je vhodné (zejména ve srovnání s geometrickým půdorysem korun) jak při využití snímků z dálkového průzkumu, tak při hodnocení optimální hustoty porostů apod. Jde též o alternativní způsob vyjádření vodivosti korun a jako takový slouží i ke kvantifikaci míry případného stressu (Čermák et al. 1982).

Denní průběhy transpiračního proudu a radiace měřené na různě tvarované povrchy (**Obr. 9** vpravo) jsou také používány k odvození **efektivního tvaru korun**. Např. koruny podúrovňových stromů se funkčně jeví jako „horizontální placky“, zatímco koruny dominantních stromů jako výrazné prostorové útvary (např. elipsoidy, paraboloidy, koule apod.). Tyto tvary také charakterizují poměr horního a bočního osvětlení, tedy i míru zastínění stromů jejich sousedy stejně jako míru zachycení energie směřovaného slunečního záření lesním porostem. Tak lze upřesnit výpočet listovím skutečně přijaté zářivé energie a tím i poklady pro hodnocení porostů z hydrologického hlediska a efektivity růstu (Čermák, Kučera 1990).

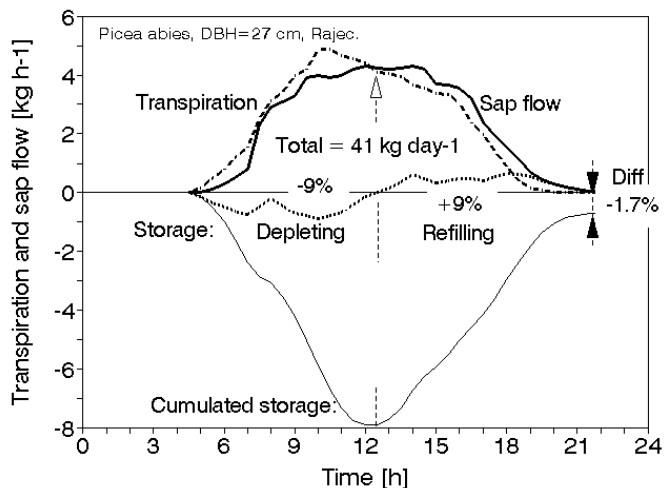


Koruny stromů s větší plochou listoví jsou schopné zadržovat na svém povrchu také větší množství vody. To platí především v období srážek, ale i v zamračených a chladných dnech po dešti ale bez srážek, kdy se voda odpařuje se výrazně méně. V takových případech lze **množství korunami zadržené vody** odvodit ze vztahu denních úhrnů transpiračního proudu k odpovídajícím hodnotám potenciální evapotranspirace za pěkného a deštivého počasí. Na **Obr. 10** vlevo se jeví se jako rozdíl hodnot mezi křivkami (Čermák et al. 1990).

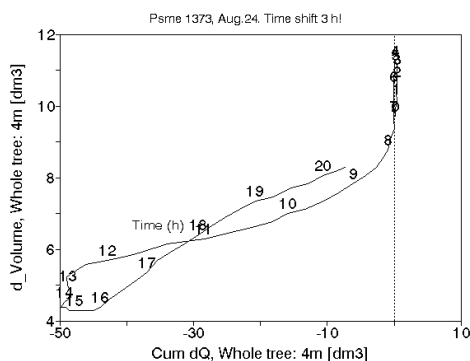
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vodní zásoby v pletivech kmene a jeho růst

Závažnou součástí mechanismů zajišťující odolnost stromů vůči suchu je zásoba vody v jejich pletivech, kdy největší roli má velké množství vody v bělovém dřevě kmenů. Ta funguje jako pufrovací kapacita a je běžně využívána v průběhu dne a vegetačního období (Čermák et al., 2006). Tato voda (snadněji přístupná než voda z půdy) je využívána zejména k prudce stoupající transpiraci ráno, dokud nejsou vyčerpány její zásoby. Naopak v odpoledních hodinách transpirace již klesá, ale transpirační proud stále pokračuje a dosycuje v různé míře dehydratovaná pletiva, což probíhá přes celou noc až do dalšího rána (Obr. 11 vpravo). Nedojde-li k řádnému dosycení pletiv, vznikající deficit (viz šipky vpravo) se v sezóně kumuluje. Nedostatečná velikost této zásoby může



být jedním z důvodů zvýšené mortality stromů např. na mělčích půdách na jaře po zimním období, během kterého se půdní voda stala pro stromy nepřístupnou v důsledku dehydratujících mrazů, nebo naopak došlo k jejímu vyčerpání v podmínkách teplé zimy.

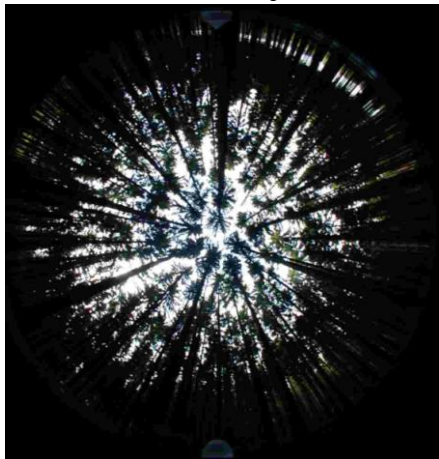


Změny velikosti **vodní zásoby v kmeni** v průběhu dne mají za následek pulsování jeho tloušťky. Tyto změny jsou na poloměru kmene zdánlivě malé (cca 0.1-0.2 mm), ale při přepočtu na objem celého stromu představují jednotky až desítky litrů vody (Obr. 12. - Čermák et al. 2006). Podobné, avšak menší změny objemu kmene nastávají v důsledku jeho **růstu**. Příklad denních změn objemu kmene u douglasky za teplého a suchého počasí ukazuje, že cca od 08 do 21

hod docházelo k výrazné dehydrataci (ráno) a pozdější rehydrataci kmene, zatímco růst nastával jen v období vodou dostatečně zásobených pletiv (když se rehydratovaný objem pletiv již neměnil), cca mezi 21 až 08 hod následujícího dne. Samotné růstové změny v průběhu sezóny dostatečně zachycují samotné dendrometry (Tatarinov et al. 1999, 2005), zmíněná denní měření však pomáhají objasnit příčiny déledobé dynamiky.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

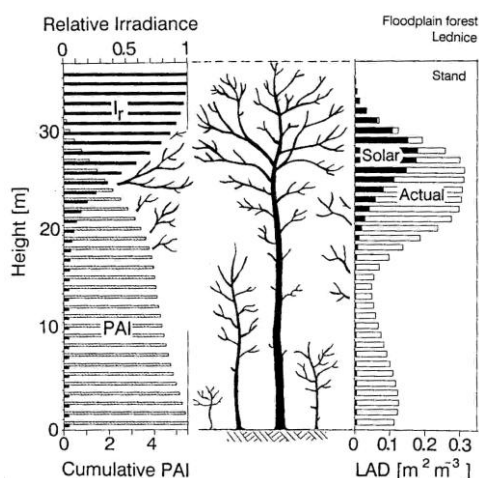
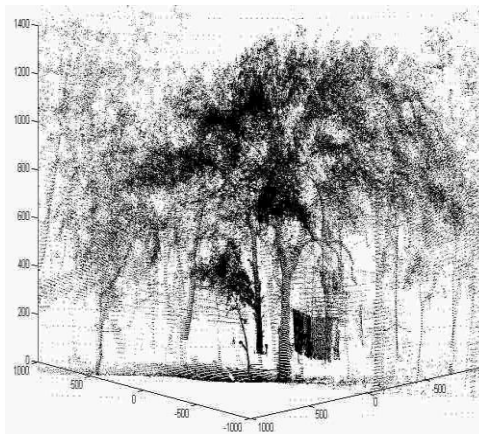
Distribuce listoví (jehličí)



Listoví je základním organem pro zachycování sluneční energie a produkci asimilátů v procesu fotosyntézy. Pro jeho hodnocení je třeba ho kvantifikovat. Je to obvykle prováděno různými optickými čidly (např. rybí oko – **Obr. 13** vlevo, dle kterého lze dobře odvodit osvětlení podrostu.

Čidla jsou většinou uzpůsobena tak, aby na výstupu dávala index listové plochy (LAI v $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$). Pomocí laserového skenování lze získat 3D obraz s přesností

asi na 5 cm. (**Obr. 14** vpravo – Van der Zande et al. 2009). Tento postup je však použitelný jen u solitérních stromů nebo těch rostoucích v řídkých porostech. Někdy je vhodné pracovat s vertikální distribucí listoví (zejména vzhledem ke světlu), případně radiální



distribucí (při hodnocení let snímků z dálkového průřezu). Také je možné pro odvození distribuce listoví použít na statistické úrovni platné allometrické rovnice. Na základě přímých měření irradiance, I_r (nebo i vyhodnocení plošné hustoty listů ve vertikálním a radiálním profilu). Tak lze odvodit vedle celkové plochy listoví (bílé sloupečky) i jeho osvětlenou část, závisející na zastínění listů vlastní korunou i korunami sousedních stromů (černé sloupečky - viz **Obr. 15** vlevo). Poměr obou těchto ploch udává procentické osvětlení celé koruny. Pro orientaci v lužním lese LAI = cca 5, v borovém lese cca 3, v hustší smrčíně cca 10 (Čermák 1998, Čermák et al. 1998).

Vizualizace a kvantifikace kořenových systémů

Pro hodnocení situace stromů a porostů je zvláště důležitá jak popisu kořenových systémů,

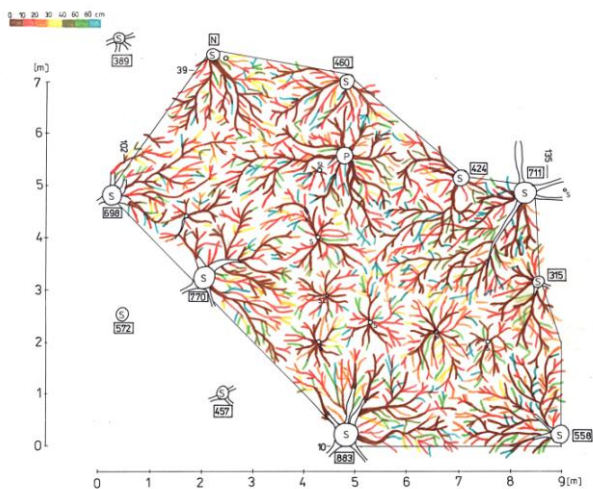
které nejsou běžně viditelné. Tradiční velmi pracné ruční metody odkryvu kořenů dnes v případě potřeby bohatě nahrazuje technika **supersonického proudu vzduchu** (**Obr. 16** – Čermák et al. 2008). Ta je za příznivé vlhkosti půdy schopná odhalit jak skeletové kořeny, tak téměř bežeškodně i tenké a jemné kořeny a pomocí obrazové analýzy je i



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

přibližně kvantifikovat. Jestliže jsou kořeny během těchto prací zavlažovány, kořenový systém zůstane po následném zahrnutí půdou funkční. Tato technika je vhodná i pro některé stavební práce, které se dotýkají kořenů a kdy je možné je provést po krátkodobém odkrytí kořenů daleko jemnějším způsobem než s použitím bagrů či buldozerů.

Georadar



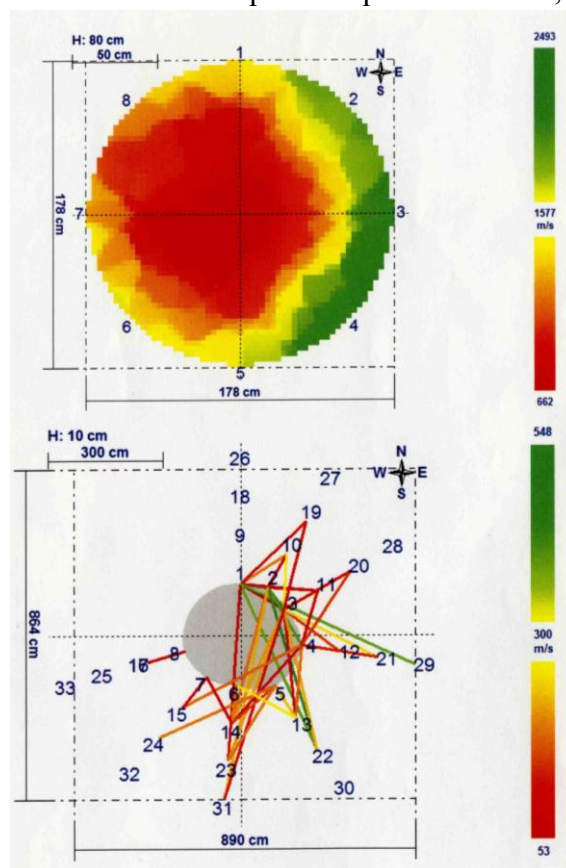
Pro řadu geofyzikálních výzkumů odborníci běžně používají metoda georadaru. Ten umožňuje u velkých předmětů (balvany, staré stavby apod.) „pohled“ do velkých hloubek (cca 30-60 m). Malé předměty jako kořeny jsou viditelné do hloubky cca 3 m, ty tenčí než prst cca do 1 m (**Obr. 17** – Hruška et al. 1998). Podstatné je, že radar „vidí“ i skrze betonovou stěnu (např. dno bazénu), což má význam zejména při použití ve městech apod. (Čermák et al. 2000). V půdním prostředí je množství odrazů mnohem větší než ve vzduchu, k vyhodnocení dat je tedy nutný speciální

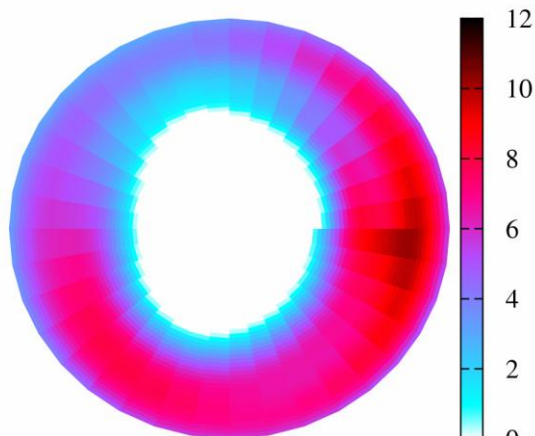
software. Georadarem je též možné velkoplošně (hektary) zviditelnit podloží půd, to umožňuje lepší volbu míst pro půdní sondy ap.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stav báze kmene a distribuce hlavních větví kořenového systému

Statická stabilita stromu je výrazně ovlivňována kvalitou dřeva na příčném průřezu kmene, zejména na jeho bázi (kde především hraje roli výskyt hniloby) a distribucí a funkčním stavem kořenového systému. Pro stanovení uvedených parametrů dosud hodnocených většinou jen na základě intervenčních, destruktivních metod je logicky výhodnější využití metod nedestruktivních. Z nich se v poslední době rozvíjí a využívá zejména metoda **pulzní akustické tomografie** (Rinn 2001). Tato metoda umožňuje na základě hodnocení rychlosti průchodu zvuku dřevem při vhodné kalibraci odlišit zdravé a v různé míře poškozené dřevo a zároveň v půdě vizualizovat rozložení, případně míru destrukce hlavních větví kořenového systému. Z pohledu analýzy kmene (dub, 300 let, lokalita Hluboká nad Vltavou) (**Obr. 18**–nahore) je zcela zřetelné výrazné poškození báze (červená a žlutá barva), zůstatková, zbytková stěna dřeva plně staticky funkčního (zelená barva) je zachována pouze ve východní straně kmene. Uvedené situaci odpovídá i prostorová distribuce kořenového systému (**Obr. 18**. - dole), kde analýza je záležitostí složitější (Simon et al. 2011). Lze konstatovat, že zvukový impuls se postupně šíří dvěma odlišnými médii (půda, kořen). V půdě ve formě mechanické vlny (popsatelné LAMÉOVOU rovnicí), při interakci s kořenem pak dojde k vybuzení zejména podélné a ohybové vlny, která se pak kořenem šíří k přijímači, zejména v úrovni vln nižších frekvencí. Z uvedeného je zřejmá obtížnější kalibrace z hlediska hodnocení zdravotního stavu kořenů, otázka distribuce se jeví méně problematická. Z Obr. 12 je zřejmá i destrukce kořenového systému odpovídající hnilobě kmene. Souhrnně lze analyzovaný strom hodnotit jako výrazně nestabilní a rizikový, což okulárně nemusí být zjistitelné. Na uvedené analýzy lze napojit softwarovou aplikaci řešící mechanický modul kmene, tedy i rizikové směry možné destrukce (a pádu) stromu.

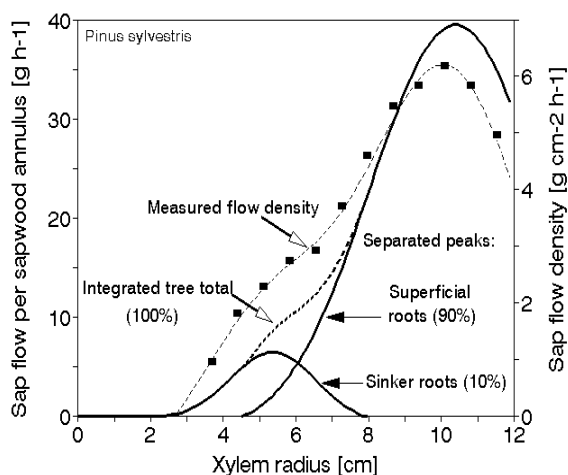




12 OZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

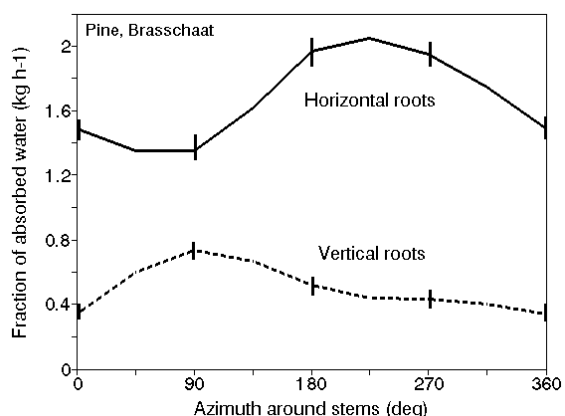
Příčný virtuální průřez kmene (**Obr. 19**) ilustruje vnitřní **variabilitu transpiračního proudu** (viz stupnice jeho hustoty na jednotku plochy běle: $\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ vpravo), zjištěnou sérii multibodových čidel (Čermák et al. 2004) kterou lze interpretovat z hlediska příjmu vody kořeny (měříme-li proud u base kmene), nebo jejího výdeje různými částmi koruny (měříme-li pod korunou). V řadě pokusů s odřezáváním a lokálním zavlažováním (Naděždina et al. 2006, 2007; Čermák, Naděždina 2009) bylo zjištěno, že vnější vrstvy běle vedou vodu

přijatou převážně mělkými povrchovými kořeny, zatímco hlubší vrstvy běle vodu přijatou hlubokými kotevními nebo křovými kořeny (Naděždina a Čermák 2000a). S ohledem na použitou metodu lze tuto dynamiku běžně sledovat kontinuálně, se záznamem dat třeba každý den či minutu, čili přesně prověřit funkci celého vodivého systému.



Tok vody ve vnějších a vnitřních vrstvách běle lze také dobře rozlišit na radiálním profilu transpiračního proudu (**Obr. 20**, v bodech na křivce byl transpirační proud přímo měřen), i když se samozřejmě prolínají. Podíly toků jsou na obrázku znázorněny šipkami (Naděždina et al. 2007, Čermák et al. 2008). Křivky charakterizují **dodávku vody hlubokými a povrchovými kořeny** (sinker & superficial). Toto měření má význam např. pro zjištění odolnosti stromů vůči suchu nebo zaplavení i zhodnocení jejich predispozice k napadení houbami nebo hmyzem. Zde jsou

také důležité i změny „vůně“ (uvolňování těkavých látek) ze stromů (Čermák, Novák 1987; Čermák, Urban 1995). Stromy s hlubším zakořeněním díky němu zaujímají větší objem půdy a tedy i dostupné vody. Ta pak pomáhá udržovat dostatečnou hydrataci pletiv a tím i přetlak pryskyřice ve skeletu (Martinková a Čermák 1994). Následkem toho jsou hlouběji kořenící stromy odolnější vůči napadení kůrovcem (Alexandr et al. 2010). Naproti tomu mělce kořenící stromy choulostivě na přísušky podléhají jeho ataku podstatně dříve a snáze.



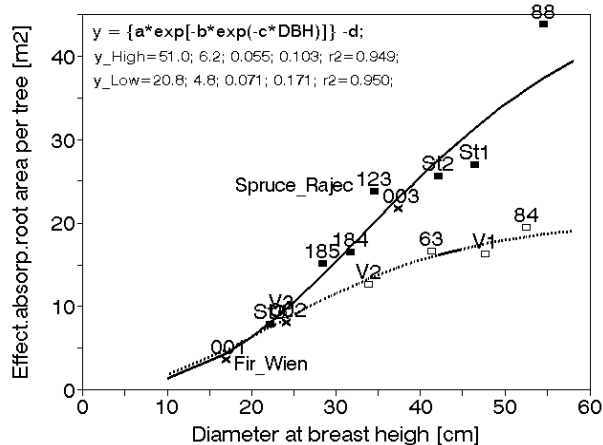
Distribuce kořenů má ovšem význam také při posuzování **mechanické stability stromů**. Např. náklon stromů asi o 10° ovlivnil větší rozvoj funkčních povrchových kořenů směrem proti převládajícímu větru, kdežto hlubokých kořenů ve směru po větru. (**Obr. 21** – Čermák et al. 2008). Obdobným způsobem se kořeny stromů přizpůsobují např. rozdílné hloubce půdy (Naděždina et al. 2007), různé hustotě okolního porostu (větším rozvojem do

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

volnějších částí porostu) apod. Zvláštní význam tato měření mohou mít význam při hodnocení bezpečnostních otázek u stromů rostoucích v nějakém omezeném prostoru, např. ve městech nebo v alejích. Podobná analýza rovněž umožnila např. posouzení vlivu pojezdu traktorů na přibližovacích linkách na kořeny stromů (Naděždina et al. 2008).

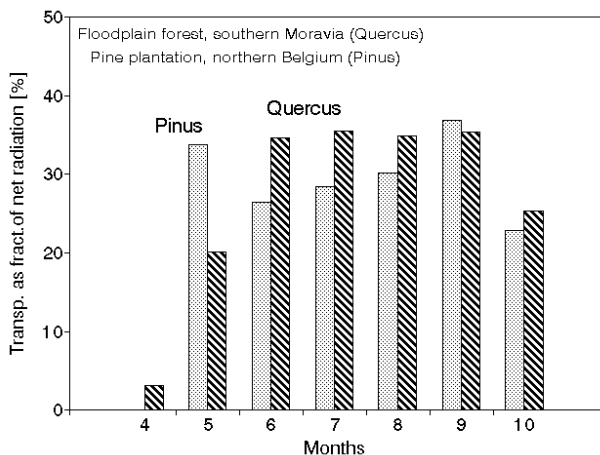
Jedním ze základních biometrických parametrů je **absorpční plocha kořenů**, tedy parametr srovnatelný s plochou listů. K jejímu stanovení byla vyvinuta metoda modifikované elektrické impedance půdy (Aubrecht et al. 2006). Ta uvádí velikost této plochy v sekcích kolem kmene a pro celý strom (**Obr. 22**). I ve složité směsi dřevin systém vnímá jen kořeny stromu, do kterého jsou zapojeny elektrody. Uvedený příklad charakterizuje závislost kořenové plochy na výčetní tloušťce u dvou skupin smrků na pokusné ploše lesnické fakulty v Rájci. Vypočtené allometrické rovnice umožňují přepočítat dat na celé porosty.

Ta je vyjádřena podobně jako u plochy listů (indexem LAI), u kořenů RAI, tedy plochou absorpčních kořenů na jednotku plochy porostu. Poměr RAI / LAI patří mezi nejvýznamnější ukazatele strukturální bilance stromů, tedy vyváženosti příjmu a výdeje látek Čermák et. Al. 2011).



Klimatický efekt lesních porostů v krajině

Kontinuita toku vody všemi vodovodivými drahami mezi půdou a listovým jak je uvedeno výše je rozhodující otázkou pro transpiraci lesních porostů a intenzita transpirace (energetické změny při změnách skupenství vody) rozhoduje o míře ochlazování listů a tím i míře klimatického efektu lesů v krajině. Tato skutečnost se projevuje pochopitelně na teplotě listů ve srovnání s jinými povrchy v krajině. Tato teplota se uplatňuje jak při hodnocení velmi vysokých krajinných energetických toků souvisejících s transpirací (**Obr. 23** - Pokorný et al. 2010) tak při rozbořech toku entropie v lesních ekosystémech, tak jak jí studují hydrologové



srážek a tím udržování její obyvatelnosti. Ta zahrnuje i dostatek pitné vody, lesnickou a

(Tesař et al. 2007). S ohledem na globální klimatické změny lze důvodně očekávat, že význam vody v krajině bude v nejbližší době výrazně stoupat. To se bude týkat jak jejího nedostatku (lokální přísušky), tak náhle vznikajícího přebytku (průtrže mračen a následující záplavy). Jak potvrzují praktické a nověji i teoretické práce klimatem se zabývajících fyziků (Gorškov a Makarieva 2006), řádně fungující, zejména vzrostlé lesní porosty jsou nejvýznamnějším klimatickým regulátorem umožňujícím ochlazování krajiny, udržování dostatečného množství dešťových

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

zemědělskou produkci, právě tak jako včasnou prevenci dezertifikace. Je jedním z nejdůležitějších úkolů lesníků udržet a dle možností zlepšit hydrologickou funkci lesů a tím naši krajinu zachovat budoucím generacím.

Příklady provozně využitelných lesnických aplikací

Naznačené metodické postupy umožňují samostatně, nebo v napojení na další specializované postupy, např. počítačová analýza obrazu (Kadavý, Mazal a Simon 2011), růstové stimulatory (Fabrika, Pretzsch 2011) atd. umožňují řešit celou řadu speciálních úkolů a praktických problémů. Namátkou lze jmenovat následující:

- Analýza a důsledky stresu způsobeného různými faktory, globální klimatická změna, atd.
- Posouzení fyziologického stavu stromů a porostů, např. jako základ pro stanovení atraktivity pro napadení škůdci.
- Funkční optimalizace (biometrické parametry a proporce), stromů a jejich částí a porostů, např. pro formulaci cílové představy lesa.
- Zpřesnění podmínek pro analýzu růstových procesů stromů a porostů, produkční analýzy a předpovědi.
- Posouzení kompetičních vztahů stromů v porostech, např. pro optimalizaci pěstebních postupů.
- Zhodnocení stavu kmene a kořenů dřevin z hlediska provozní spolehlivosti, prognostika dožití.
- Hodnocení (nedestruktivní) kvality dřevní suroviny.
- Vliv lesa různého charakteru a struktury na vodní a tepelnou bilanci krajiny z hlediska optimální strategie jeho managementu či hospodaření.
- Vliv poškození a změn parametrů půdy na stav a vývoj stromů a porostů, např. při stavebních a technologických operacích atd.

Několik uvedených možných aplikací naznačených metod dokumentuje jejich význam nejen pro oblast teorie poznání, ale i pro jemnější aplikační úroveň využitelnou i v praxi. Využití v oblasti znalecké činnosti je již zavedenou praxí.

Literatura:

Alexandr P., Čermák J., Nadezhdina N. **2010**. Some possibilities of functional diagnostics in the juridically expert practice (in Czech). *Soudní inženýrství*, 21: 245-261.

Aubrecht L., Stanek Z., Koller J. **2006**: Electric measurement of the absorbing surfaces in whole tree roots by the earth impedance method - I. Theory. *Tree Physiology*, 26: 1105-1112.

Čermák J. Deml M. Penka M. **1973**. A new method of sap flow rate determination in trees. *Biol. Plant. (Praha)* 15(3): 171-178.

Čermák J. Úlehla J. Kučera J. Penka M. **1982**. Sap flow rate and transpiration dynamics in the full-grown oak (*Quercus robur* L.) in floodplain forest exposed to seasonal floods as related to potential evapotranspiration and tree dimensions. *Biol. Plant. (Praha)* 24(6): 446-460.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Čermák J. Jeník J. Kučera J. Židek V. **1984**. Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia* (Berlin) 64: 145-151.

Čermák J. **1986**. Short- and long-term response of transpiration flow rate in full-grown trees to water stress. In: Proc. 18th IUFRO World Congress, Whole-Plant Physiology Working Party (S 2.01-15) 7-21.Sept 1986, Ljubljana, Yugoslavia, Yugoslav IUFRO World Congress Organiz. Committee (ed.), Plesko Ljubljana pp.187-193.

Čermák J. Novák J. **1987**. Composition of organic volatile compounds in the atmosphere of forest ecosystems as studied by gas-chromatography. *Ekologia* (Bratislava) 6(3): 251-264.

Čermák J. Kučera J. **1990**. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds. *Silva Carelica* 15:101-120.

Čermák J. Kučera J. Štěpánková M. **1991**. Water consumption of full-grown oak (*Quercus robur* L.) in a floodplain forest after the cessation of flooding. In: "Floodplain forest ecosystem II", Penka M. Vyskot M. Klimo E. Vašíček F. (eds.), p.397-417, Elsevier (Developm. in Agricult.& Managed Forest Ecology 15B), Amsterdam-Oxford-N.York-Tokyo.

Čermák J. Matyssek R. Kučera J. **1993**. Rapid response of large, drought stressed beech trees to irrigation. *Tree Physiology*, 12: 281-290.

Čermák J. and Urban J. **1995**. "Volatile organic substances released by forest trees - primary attraction and indication of stresses (in Czech, English abstract) In: Workshop "Zvelebení lesních ekosystémů", VÚLHM-SB-NLK, Opocno, 5-9.11.1995.

Čermák J. and Nadezhdina N. **1998**. Sapwood as the scaling parameter - defining according to xylem water content or radial pattern of sap flow? *Ann.Sci.For.*55: 509-521.

Čermák J. Riguzzi F. and Ceulemans R. **1998**. Scaling up from the individual trees to the stand level in Scots pine: 1. Needle distribution, overall crown and root geometry. *Ann.Sci.For.*55: 63-88.

Čermák J. **1998**. Leaf distribution in large trees and stands of the floodplain forests in southern Moravia. *Tree Physiol.* 18:727-737.

Čermák J. Hruška J. Martinková M. Prax A. **2000**. Urban tree root systems and their survival near houses analyzed using ground penetrating radar and sap flow techniques. *Plant and Soil* 219 (1-2): 103-115.

Čermák J., Kučera J., Prax A., Bednářová E., Tatarinov F., Nadyezhdin V. **2001**: Long-term course of transpiration in a floodplain forest in southern Moravia associated with changes of underground water table. *Ekologia* (Bratisl.) Vol.20, Suppl.1: 92-115.

Čermák J. and Prax A. **2001**. Water balance of the floodplain forests in southern Moravia considering rooted and root-free compartments under contrasting water supply and its ecological consequences. *Ann.Sci.For.* 58:1-12.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Čermák J., Kučera J. and Nadezhdina N. **2004**. Sap flow measurements with two thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees, Structure and Function* 18:529-546.

Čermák J., Ulrich R., Stanek Z., Koller J., Aubrecht L. **2006**: Electric measurement of the absorbing surfaces in whole tree roots by the earth impedance method - II. Verification based on allometric relationships and root severing experiments. *Tree Physiology*, 26: 1113-1121.

Čermák J. Kucera N. Bauerle W.L. Phillips J. and Hinckley T.M. **2007**. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes of trunk volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree Physiology* 27: 181-198.

Cermák J., Nadezhdina N., Neruda J., Ulrich R. **2008**. Mechanical damage to root systems by forwarders and its application for objective derivation of safe width of extraction trails. In: *Proceedings 3rd International Scientific Conference FORTECHENVI 2008 (Appendix)*, 389-392. May 26-30, 2008. Prague, Czech Republic.

Cermák J., Nadezhdina N., Meiresonne L., & Ceulemans R. **2008**. Scots pine root distribution derived from radial sap flow patterns in stems of large leaning trees. *Plant and Soil* 305 (1-2): 61-75.

Čermák J. and Prax A. **2009**. Transpiration and soil water supply in floodplain forests. *Ekologia Bratislava*, 28(3): 248-254.

Cermák J., Nadezhdina N. **2009**. Application of sap flow technique for characterizing the whole tree architecture, especially root distribution. 7th International Workshop on Sap Flow, Seville (Spain) 21-24 October 2008. *Acta Horticulturae (ISHS)* 846: 219-228.

Čermák J. et al. **2011**. Effective areas in a Norway spruce forest: sunlit leaf area and absorptive root area. (in press)

David T.S., David J.S., Pinto, C.A., Čermák J., Nadezhdin V., Nadezhdina N. 2011. *Quercus suber* hydraulic architecture depicted through sap flow. *Functional Plant Biology*. (submitted).

Hruška J. Čermák J. Šustek S. **1999**. Mapping of tree root systems by means of the ground penetrating radar. *Tree Physiology* 19: 125-130.

Makarieva A., Gorškov V. and Bai-Lian Li. **2006**. Conservation of water cycle via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecol.Res.*21:897-906.

Makarieva A. and Gorškov V. **2010**. The biotic pump: condensation, atmospheric dynamics and climate. *Internat.J. Water*. 5(4): 365-385.

Martinková M. Čermák J. **1994**. Physiological predisposition of forest woody species to an attack by phytophages and possibility of defense reactions. (in Czech). In: *Proc.Nat.Conf."Bark-beetle calamity: causes, extent, defense."* (25-37), Mendel Agricult. and Forestry Univ.Brno, Czech Rep., Feb.17,1994.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nadezhdina N., Čermák J., Nadezhdin V. **1998**. Heat field deformation method for sap flow measurements. Proc. 4th. International Workshop on Measuring Sap Flow in Intact Plants. Židlochovice, Czech Republic, Oct.3-5, 1998. 72-92 pp. IUFRO Publ. house of Mendel Univ.Brno.

Nadezhdina N., Čermák J., Gašpárek J., Nadezhdin V., Prax A. **2006**. Vertical and horizontal water redistribution inside Norway spruce (*Picea abies*) roots in the Moravian upland. Tree Physiology 26: 1277-1288.

Nadezhdina N., Čermák J., Meiresonne L., Ceulemans R. **2007**. Transpiration of Scots pine in Flanders growing on soil with irregular substratum. Forest Ecology and Management, 243:1-9. Nadezhdina N., Čermák J., Nadezhdin V., Gašpárek J. **2008**. Responses of sap flow in roots and tree stems. In: Neruda J. (ed.): Determination of damage to soil and root system of forest trees by the operation of logging machines. Mendel Univ.of Agr. and Forestry Publ. House, Brno 2008, 106-116pp.

Nadezhdina N., Steppe K., De Pauw D.J.W., Bequet R., Čermák J., Ceulemans R. **2009**. Stem-mediated hydraulic redistribution in large roots on opposing sides of a Douglas-fir tree following localised irrigation. New Phytologist 184: 932-943.

Nadezhdina N., David T.S., David J.S., Ferreira M.I., Dohnal M., Tesar M., Gartner K., Leitgeb E., Nadezhdin V., Čermák J., Jimenez M.S. and Morales M. **2010**. Trees never rest: the multiple faces of hydraulic redistribution. Ecohydrology 3: 431-444.

Pietsch S., Hasenauer H., Kučera J. and Čermák J. **2003**: Modelling the effects of hydrological changes on the carbon and nitrogen balance of oak in floodplains. Tree Physiology 23: 735-746.

Pokorný J., Brom J., Čermák J., Hesslerová P., Huryna H., Nadezhdina N., Rejšková A. **2010**. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. Internat.J. on Water, Vol.2: 311-336.

Simon J., Čermák J., Buček A., Drápela K., Rejšek K., Tichá S., Bagar R. **2011**. Zhodnocení stavu a perspektiva vývoje porostů dubu na EVL Hlubocké hráze (lokality Ohrada). Mendelova univ. Brno.

Tatarinov F., Čermák J. **1999**. Daily and seasonal variation of stem radius in oak. Ann.Sci.For. 56: 579-590. (164)

Tatarinov F., Bochkarev Y., Oltchev A., Nadezhdina N., Čermák J. **2005**. Effect of contrasting water supply on the diameter growth of Norway spruce and aspen in mixed stands: a case study from the southern Russian taiga. Ann.For.Sci. 62:1-10.

Tesar M., Šír M., Lichner L., Čermák J. **2007**. Plant transpiration and net entropy exchange on the Earth's surface in a Czech watershed. Biologia (Bratislava) 62(5): 1-5.

Van der Zande, Mereu S., Nadezhdina N., Čermák J., Muys B., Coppin P., Manes F. **2009**. 3D upscaling of transpiration from leaf to tree using ground based LIDAR: application on a



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mediterraen Holm oak (*Quercus ilex* L.) tree. Agricultural and Forest Meteorology DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.04.010.

Doplňená literatura – prof. Simon

Kadavý, J., Mazal, P., Simon, J., 2011: Technologie zpracování lesních hospodářských plánů na základě využití počítačové analýzy obrazu.

Pretzsch, H., 2009: Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. 664 s.

Kramer, H., 1988: Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 374 s.

Šmelko, Š., 2007: Dendrometria. TU Zvolen. 400 s.

Simon, J. a kol., 2010: Strategie managementu lesních území se zvláštním statutem ochrany. Obecná část I. Lesnická práce s.r.o. 567 s.

Fabrika, M., Pretzsch, H., 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. TU Zvolen. 599 s.

Korf, V., 1955: Hospodářská úprava lesů. SZN Praha. 363 s.