

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav zakládání a pěstění lesů
Oddělení zakládání lesů



RHIZOLOGIE LESNÍCH DŘEVIN

Mauer O. a kolektiv

Učební text

2013



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vznik za finanční podpory projektu INOBIO CZ.1.07/2.2.00/28.0018



prof. Ing. Oldřich Mauer, DrSc.

ISBN: 978-80-7375-697-0



Úvod

Kořenový systém je základem stromu v tom nejširším slova smyslu – zajišťuje jeho mechanickou stabilitu, výživu a vodu. Většina stresorů, které působí na strom, ale i nevhodných biotechnických opatření, se často nejdříve a nejvíce projeví na kořenovém systému. Přesto o kořenovém systému, který má funkci stabilizační, vodivou, vyživovací, zásobní a syntetickou, máme málo informací. Je to způsobeno nejen tím, že rhizologické studie jsou pracné, časově a finančně náročné, ale i tím, že rhizologie je mladou vědní disciplínou a tudíž se stále hledají nejlepší a nejvhodnější formy jejího studia. Komplikovanost je i v tom, že vývin a funkčnost kořenového systému ovlivňují téměř všechny faktory prostředí, stav a věk stromu nebo porostu a všechna realizovaná biotechnická opatření.

Předložený učební text je určen pro studenty lesnické fakulty (nebo obdobně zaměřených fakult), může však být využit i pracovníky praxe. Není sestaven hluboce teoreticky, i když ze základního výzkumu vychází, ale seznamuje s většinou aspektů, které by dobrý absolvent lesnické fakulty (nebo provozní pracovník) měl o kořenovém systému pro svoji praxi vědět.

Text je z větší části sestaven z již publikovaných vědeckých a odborných prací (v převážné většině pracovníků Ústavu zakládání a pěstění lesů LDF, kteří se rhizologií zabývají více než 30 let a jejich přístup je často nazýván „Brněnská nebo Česká rhizologická škola“). Jeho výhodou je, že tudíž obsahuje celou řadu literárních odkazů, které lze při dalším studiu využívat. Nevýhodou je, že se v některých aspektech opakuje (například u popisovaných metodických postupů). Komplexnost výuky tohoto předmětu bude dále doplněna speciálními přednáškami a přímo výukou v terénu.

Vítáme v našem kolektivu všechny ty, kteří se chtějí zabývat důležitou, zajímavou a málo probádanou problematikou lesnictví.

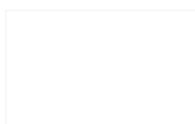
Učební text vznikl v rámci projektu INOBIO.

Oldřich Mauer

Obsah

Metody studia kořenového systému lesních dřevin	7
Architektura kořenového systému stromů	19
Deformace kořenového systému a jejich vliv na stabilitu a vitalitu dřevin	29
Způsob zalesňování a deformace kořenového systému hlavních lesních dřevin	42
Vývoj kořenového systému řízkovanců smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.) do dvaceti pěti let po výsadbě	45
Vývin kořenového systému generativně a vegetativně množeného dubu zimního (<i>Quercus petraea</i> /Mattusch./ Lieblein)	56
Mykorhiza a její význam pro lesní dřeviny	66
Mykorhiza a technologie pěstování sadebního materiálu lesních dřevin	75
Vliv antropogenní činnosti na vývin a funkčnost mykorhizy lesních dřevin	83
Kořeny v rámci celých stromů a jejich vodní provoz	89
Dřeviny porostů náhradních dřevin - současný stav (r. 2004) a perspektivy	102
Současný stav (r. 2004) smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.) v imisní oblasti východního Krušnohoří	113
Vliv provenience na vývin kořenového systému smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.)	135
Vzájemné vztahy kořenových systémů jeřábu, buku a smrku ve smíšeném horském lese .	146
K některým aspektům vývinu kořenového systému lesních dřevin (cenotické postavení stromu, výchovné zásahy, zemědělské půdy)	157
Chemické a mechanické možnosti ovlivnění tvorby kořenového systému lesních dřevin ...	161
Vliv zkracování kořenového systému buku lesního (<i>Fagus sylvatica</i> L.) a dubu zimního (<i>Quercus petraea</i> L.) na výskyt hnilob kořenového systému	169
Kořenový systém ve spádovém okraji při obnovách dubu letního (<i>Quercus robur</i> L.)	174
Odezva kořenového systému na stres v uměle založených smrkových porostech	185
Kořenový systém a chřadnutí smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.)	196
Vliv sucha a zvýšených depozic dusíku na odrůstání borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i> L.) ..	210
Synergické působení acidity půdy a sucha na zdravotní stav smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.) v 6. lesním vegetačním stupni	220
Vývin nadzemní části a kořenového systému dubu letního (<i>Quercus robur</i> L.) po celoplošných mechanických přípravách stanoviště orbou a frézováním a po obnově sítí a sadbou	225

Poškození kořenů u mělce kořenících dřevin (smrku ztepilého, <i>Picea abies</i> (L.)Karst.) vlivem pojezdu těžkých těžebních a přibližovacích mechanismů v lesních porostech	238
Příprava stanoviště pro výsadbu dřevin na antropogenních půdách	249



Metody studia kořenového systému lesních dřevin

Eva Palátová, Oldřich Mauer

Úvod

O utváření kořenových systémů lesních dřevin máme dosud nesrovnatelně méně informací než o nadzemní části. Je to proto, že přímému pozorování kořenů brání půda, ve které jsou kořeny uloženy. Důvodem pro časté opomíjení kořenových systémů při studiích dřevin jsou nejen velká pracnost, obtížnost a časová náročnost rhizologických studií, ale i absence nebo vysoká nákladnost přístrojového vybavení. Lesnická rhizologie je mladá disciplína, jejíž terminologie není dosud zcela jednotná a ustálená. V hodnocení kořenových systémů často převládá slovní popis a jednotliví autoři při něm používají různé termíny. V posledních dvou desetiletích se stala rhizologie dynamicky se rozvíjícím oborem.

Základy rhizologické terminologie

Kořenový systém dřevin je tvořen velkým množstvím kořenů různé tloušťky, délky a funkce, rostoucích různými směry, které vytvářejí v půdě spleť sítí.

Podle směru růstu kořenů a jejich postavení v kořenovém systému se kořeny obvykle rozlišují :

- Horizontální kořeny – vyrůstají z báze kmene a rostou vodorovně, souběžně s povrchem půdy.
- Vertikální kořeny – vertikální kořeny jsou kořeny s pozitivně geotropickým směrem růstu, které vyrůstají kolmo nebo šikmo pod úhlem větším než 45° z bazální části kmene.
- Kosterní kořeny – jsou silné (dominantní) kořeny kořenového systému, které v dané chvíli zajišťují jeho mechanickou stabilitu (mohou být horizontální i vertikální).
- Adventivní (náhradní) kořeny – vyrůstají po výsadbě na nadzemní části stromu (nad kořenovým krčkem) a mají horizontální charakter růstu.
- Kůl – jasný, silný, dominantní, pozitivně geotropicky rostoucí kořen vyrůstající z báze kmene (radix primaria).
- Panohy – kůl často zastavuje svůj růst, nebo je jeho růst zastaven mechanickým zásahem; v místě báze kůlu vyrůstá několik silných pozitivně geotropicky rostoucích kořenů (panoh).
- Kotvy – mohou vyrůstat z báze kmene nebo z horizontálních kořenů, vždy mají pozitivně geotropický charakter směru růstu.
- Kolenovité kořeny – jde o horizontální kořeny, které náhle změni svůj směr růstu na pozitivně geotropický, ale v menší hloubce půdy se stočí opět do směru horizontálního.
- Deskovité kořeny – jde o horizontální kořeny; horizontální kořeny mají různý tvar příčných průřezů (kulovitý, elipsovitý, v kamenitých půdách nepravidelný), pro zajištění mechanické stability stromu mohou na kořenových náběžích vytvářet deskovité kořeny (jejich výška je mnohonásobně větší než šířka).
- Hřebenovité kořeny – z horní části kotvy nebo panohy vyroste kořen, který se okamžitě stočí do stejného směru růstu jeho kotva nebo panoha, tento růst může být i opakovaný; kořeny rostou blízko od sebe (cca 10-15 cm) a vytváří charakter hřebene (obdobným způsobem se vytváří i některé kotvy na horizontálních kořenech – horizontální kořen se stočí do pozitivně geotropického směru růstu a v horní části stočení prorůstá nový horizontální kořen).

Rozdílné bývá zakončení růstu (koncová část) horizontálních i vertikálních kořenů. Koncová část horizontálních kořenů se nemusí vůbec větvit, ale může se větvit do vidlice nebo z jednoho místa vyrůstá několik stejně tlustých kořenů – vytváří se tzv. snopkovité větvení. Rovněž i vertikální kořeny se na své bázi nesmí větvit, mohou se větvit do vidlice, nebo se vytvoří větší množství stejně tlustých kořenů, tzv. kořenová štětka.

Podle tloušťky se dělí kořeny na různé frakce. Je třeba konstatovat, že frakcionace kořenů dle tloušťky je pouze konvencí, která nesouhlasí nebo nemusí souhlasit s rozdíly v důležitých fyziologických funkcích jako příjem vody a živin a zakotvení stromu. Podle tloušťky se kořeny obvykle člení na hrubé kořeny ($\varnothing > 2$ mm) a jemné kořeny ($\varnothing \leq 2$ mm). V rámci kategorie hrubých kořenů někteří autoři vymezují další subkategorie. Ani pojem jemné kořeny nemá jednotný obsah. Někteří autoři považují za jemné kořeny o průměru menším než 1 mm. Kořeny posledních řádů se označují jako krátké kořeny nebo kořeny omezeného růstu; jsou zakončeny kořenovými špičkami a bývají přeměněny v mykorhizy.

Cílem studia kořenového systému obvykle je zjistit, jak kořeny plní některou z funkcí, nebo odhalit vzájemné vztahy mezi kořeny a jejich prostředím, případně se přesvědčit se o tom, jak reagují kořeny na ekologické podmínky nebo různé antropogenní vlivy. Nejčastěji je předmětem zájmu funkce upevňovací a funkce absorpční, tj. příjem živin a vody. K plnění funkcí jsou uzpůsobeny jednotlivé části kořenového systému, k jejichž studiu existují různé metodické postupy.

Architektonika kořenového systému

Pro upevnění stromu v půdě mají největší význam hrubé kořeny, které se často označují z hlediska statické funkce jako kosterní kořeny. Jsou to kořeny, které mají v daném stádiu vývoje rozhodující význam pro zajištění mechanické stability stromu. Abychom mohli posoudit jak jednotlivé kořeny a celý kořenový systém tuto funkci plní, musíme zjistit jejich uspořádání, tloušťku i délkový a hloubkový dosah, což souborně označujeme pojmem architektonika kořenového systému. K tomu je třeba kořenový systém většinou obnažit, i když existují i možnosti jak poznat prostorové uspořádání kořenů, aniž bychom kořenový systém vyzvedávali. Z hlediska míry poškození kořenového systému při jeho hodnocení můžeme metody, kterými získáváme informace o architektonice, rozdělit na destruktivní a nedestruktivní.

Destruktivní metody studia architektoniky kořenového systému

Podstatou destruktivních metod je odstraňování půdních vrstev a horizontů a postupné odkrývání jednotlivých větví až celého kořenového z půdního prostředí a jeho následné hodnocení. Zeminu, která obklopuje kořeny, lze odstranit trojím způsobem.

Ruční odstraňování půdních vrstev

Postup umožňuje detailní sledování rozložení kořenů. Vyžaduje kopáčské nářadí případně řehtačkový zvedák, který usnadní vyzvednutí pařezu s kořeny ze země. Po odstranění nadzemní části stromu se vykope v dostatečné vzdálenosti od kmene kruhový příkop a postupně se ručně uvolňují kořeny. Pokud je cílem studia zjištění typu kořenového systému, vyzvedávají se kořenové systémy celé většinou s balem o poloměru cca 60 cm od kmene, ze kterého jsou pak vypreparovány jednotlivé kořeny. Alternativně nemusí být vykopáván příkop a kořenový systém může být ručně odkrýván od kořenových náběhů směrem ven. Pokud je cílem měřit i dosah horizontálních kořenů, sledují se postupným odkrýváním v jejich celé délce. Klasická ruční archeologická metoda vyzvedávání

kořenových systémů je vhodná pro stromy do věku maximálně 30 – 40 let, u stromů starších již pracnost při vyzvedávání kořenových systémů enormně narůstá. Je to však zatím nepřesnější a nejexaktnější metoda studie architektiky kořenového systému.

Kořenové systémy je možné také vytrhávat. Tímto destruktivním způsobem může být celý kořenový systém vyzvednut podstatně rychleji a racionálněji. Problémem je, že v důsledku značného narušení půdních horizontů je dodatečná rekonstrukce přirozené polohy kořenů většinou nemožná. Vytrhávání kořenů se provádí v době maximálního nasycení půdy vodou mimo vegetační období, aby se snížilo riziko přetrhávání kořenů.

Jinou možností je částečné vykopávání kořenových systémů v podobě tzv. profilových stěn. Metoda je vhodná hlavně pro studium kořenových systémů starých stromů. Při použití metody profilové stěny je vykopávána jen polovina nebo část kořenového systému a druhá zůstává intaktní. Metoda umožňuje sledování prokořenění v závislosti na jednotlivých vrstvách půdního profilu, které při celkovém vykopávání není přesně možné. Nevýhodou je, že při použití profilové stěny je viditelná jen část kořenového systému. Pokud je kořenový systém vyvinut asymetricky, je výpovědní hodnota výsledků získaných metodou profilové stěny omezena.

Modifikací metody profilové stěny jsou kořenové profily. Ty se vytvářejí tak, že před pařezem předem skáceného stromu se vykope 1,5 – 3 m dlouhý příkop o šířce cca 0,8 m. Hloubka příkopu se řídí hloubkou prokořenění sledovaného stromu. Z příkopu se potom ručně preparují jednotlivé kořeny, čistí se a dokumentují (foto, nákres). Metoda je vhodná pro popis kořenění stromu, ale nehodí se ke kvantitativnímu hodnocení.

Pokud jde o zjištění architektiky hrubých kořenů v oblasti kolem pařezu, lze použít blokovou metodu. Její podstata spočívá ve vytvoření kruhového příkopu kolem stromu. Pro hodnocení vertikálního prokořenění u mladších stromů ve věku do cca 30 - 40 let se doporučuje odstup příkopu od kmene cca 112,5 cm, protože plocha preparovaného bloku odpovídá 1 m². Půda se odstraňuje podle půdních horizontů nebo jiného schématu a mohou být hodnoceny přerušené kořenové větve ve vazbě na půdní horizonty po celém obvodu. Metoda je vhodná pro srovnání vertikálního prokořenění různých dřevin na stejném stanovišti nebo téže dřeviny na stanovištích rozdílných.

Vymývání proudem tlakové vody

K uvolnění kořenového systému, zejména jeho povrchových částí, lze použít proud vody z hasičské stříkačky. Tato metoda nenabyla velkého uplatnění, protože je limitována dopravní přístupností lokality a lze ji realizovat spíše na mírném svahu. Problém představuje vznik bláta, které slepuje jemné kořeny a vysoký tlak vody může způsobit i poškození nebo otrhávání. Metoda je vhodná spíše pro studium horizontálních kořenů.

Odstraňování půdy supersonickým proudem vzduchu (vzdušný rýč - air spade)

Novější a účinnou metodu uvolňování kořenů z půdy představuje preparace kořenových systémů supersonickým proudem vzduchu. Princip metody spočívá v tom, že proud vzduchu o rychlosti 2 machy, tj. cca 650 m/sec a tlaku 6 – 8 atm, vznikající činností vysokotlakového kompresoru, odtrhává od rostlé země částičky zeminy. K odtržení ale může dojít jen tehdy, existují-li v materiálu, na který působíme supersonickým proudem vzduchu, mikropóry, trhlinky či štěrbinčky, do kterých může vzduch proniknout. Hladké povrchy a tedy ani kořeny nejsou tímto způsobem poškozeny. Jemné kořeny nezůstávají zcela intaktní, část je jich odfoukána, ale pro hodnocení architektiky, eventuálně srůstů kořenů je metoda vhodná. Při uvolňování kořenových systémů v horizontálním i vertikálním směru musí být přesouvány a transportovány značné objemy zeminy. Metoda je vázána na lokality, kam dojedete dopravní

prostředek táhnoucí kompresor. Nedá se použít na příliš vlhkých lokalitách nebo na skeletnatých půdách, ideální jsou půdy písčité, nedá se použít u hlubokých kořenových systémů.

Nedestruktivní metody studia architektiky kořenového systému

Měření půdním georadarem

Alternativu k destruktivnímu obnažování kořenového systému a hodnocení jeho architektiky představuje nedestruktivní metoda měření půdním georadarem. Při použití georadaru vysílač umístěný na půdním povrchu vysílá do země elektromagnetické vlny, které jsou, po odrazu od tělesa v zemi, zpětně přijímány přijímačem a aparaturou dále zpracovávány. Pomocí tohoto způsobu může být zachycen a s pomocí dalšího programového vybavení i vykreslen řez půdním profilem. Zachyceny a vykresleny mohou být nejen objekty, (kameny, kořeny a celé kořenové systémy), ale i půdní vrstvy. Rozlišení kořenů od kamenů na jednotlivém profilu je problematické až nemožné, lze je však provést korekcí na systému profilů. Hloubkový dosah může činit několik desítek metrů, v nepříznivých podmínkách to však mohou být jen první metry od povrchu. Pro sledování kořenových systémů stromů je hloubkový dosah dostatečný prakticky ve všech situacích.

Přesnost určení polohy zachyceného objektu je dána krokem měření po profilu a do hloubky hustotou vzorkování signálu. V obou směrech současné aparatury umožňují dosáhnout přesnosti řádově v centimetrech, ve velmi příznivých podmínkách i v milimetrech. Měření se uskutečňuje v síti profilů vzdálených po 0,25 m, vedených ve dvou navzájem kolmých směrech. Krok měření je obvykle na všech profilech 5 cm. Takto provedené měření umožňuje zmapovat kořenové systémy s dostatečnou hustotou a přesností.

Použité programové vybavení umožňuje pak vykreslit rozložení kořenů v ploše (v půdorysu). Kromě toho lze z výsledků měření sestavit boční pohledy na kořenové systémy. Ze schémat zhotovených počítačovým programem lze získat řadu cenných informací o kořenovém systému, např. rozložení kořenů v půdorysném pohledu, hloubku prokořenění a vyhodnocení všech řezů i typ kořenového systému.

Metoda je vhodná především pro hodnocení starších stromů, kde výrazně snižuje pracnost, ale dobře se může uplatnit i v případě, že není přijatelné narušení lokality klasickým kopáním kořenového systému, nebo počítá-li se s dalším sledováním hodnoceného stromu. Dá se však použít pouze v optimálních podmínkách (malý podíl skeletu v půdě).

Ostatní nedestruktivní metody

Kořenové systémy jsou stejně jako v případě měření georadarem posuzovány v jejich přirozené poloze. Tyto nové slibné metody jsou však ještě nedostatečně odzkoušeny a vyžadují shromáždění dalších zkušeností a další technický vývoj, aby se dalo posoudit jejich praktické využití. Jedná se o měření elektrických charakteristik, jejichž pomocí lze zjistit velikost kořenového systému, výskyt hniloby a vitalitu kořenů (živé/mrtvé). Kombinované měření obsahu vody v půdě a stromem odebraného množství vody prostřednictvím toku vody kmenem může zprostředkovat informaci o vertikálním a horizontálním rozložení kořenů. Detailní, ale přesné zjištění architektiky krytokořenného sadebního materiálu lze realizovat na rhizotronu (jeho princip je obdobný jako v medicíně užívaná magnetická rezonance). Mezi nové metody patří i měření rychlosti akustických pulzů (rozdíl rychlosti šíření mezi půdou a kořeny).

Parametry zjišťované na vyzvednutých kořenových systémech

Po ručním vykopání kořenových systémů nebo jejich obnažení vzdušným rýčem následuje jejich hodnocení, které spočívá v několika krocích. Prvním je posouzení typu kořenového systému dřeviny, podle tvaru, směru růstu a prostorového rozložení hrubých kořenů.

K hodnocení architektiky patří rovněž podrobnější popis kořenového systému, tzn. uspořádání kořenů a zjištění tloušťky a dosahu kořenů, které se v dané vývojové fázi podílejí na zajištění mechanické stability stromu. Při posuzování kořenového systému z hlediska stability je zapotřebí vycházet ze tří základních aspektů:

- jaké je rozložení kořenové sítě (hodnotíme mechanickou stabilitu stromu),
- jak jsou deformovány jednotlivé kořeny, případně kořenový systém jako celek (hodnotíme převážně zajištění výživy stromu),
- jaký je vztah mezi rozvojem kořenového systému a nadzemní částí

Tato tři kritéria vždy musíme posuzovat ve vzájemných vazbách. Jejich váha se při zajištění mechanické stability stromu v průběhu života mění. Deformace kořenového systému jsou důležité zejména při hodnocení krytokořeného sadebního materiálu. O rozložení kořenové sítě se v této fázi nedá ještě mluvit, protože je zatím většinou modifikováno obalem. K hodnocení kořenového systému sadebního materiálu se používá spektrum více méně subjektivních kritérií. Deformace jsou obvykle charakterizovány slovním popisem a hovoří se o zploštění kořenového systému, spirálovitých, věnčitých nebo chůdovitých deformacích, lokalizuje se výskyt deformací v rámci obalu apod. Znamená to, že použité metody příliš neumožňují využití matematických metod k hodnocení a srovnání. U starších stromů je třeba položit důraz na hodnocení rozložení kořenové sítě a posuzovat i vztah mezi rozvojem kořenového systému a nadzemní částí. U starších stromů se při hodnocení rozložení kořenové sítě více uplatňují i matematicky definovatelné parametry, zvyšující objektivitu hodnocení a přinášející i dílčí možnost srovnání.

Rozložení kořenové sítě

Předpokladem pro zajištění stability je dostatečný počet kořenů přiměřené tloušťky. Nejpoužívanějším postupem (v závislosti na druhu a věku dřeviny) je počítání kořenů a měření jejich tloušťky v určité definované vzdálenosti od báze. Samotný počet kosterních kořenů v kombinaci s jejich tloušťkou (průměrem) není ani jediným, ani nejvhodnějším kritériem k posouzení stability stromu. I za předpokladu vysokého počtu kořenů nemusí být totiž stabilita zajištěna, neboť kořeny mohou být nahloucheny v jednom směru. Vhodnější je proto posuzovat i vzájemné uspořádání kořenů, tzn. způsob, jakým jednotlivé kořenové větve vykrývají pomyslnou kruhovou plochu, v jejímž středu leží báze kmene. Tato pomyslná kruhová plocha se obvykle rozděluje na čtyři kruhové výseče (kvadranty, sektory) vymezené dvěma na sebe kolmými rovinami, protínajícími se v ose kmene, přičemž jedna z rovin probíhá po spádnicí (na rovině např. ve směru řad nebo ve směru výsadby). V jednotlivých kvadrantech se pak zjišťuje počet kosterních kořenů.

Jinou možností, jak zhodnotit předpoklady mechanické stability, je měření velikostí úhlů mezi sousedními horizontálními kosterními kořeny, tzn. měření úhlů, který svírají dvě roviny, charakterizující směr růstu sousedních kosterních kořenů a protínající se v ose kmene. Vypočítávají se průměrné úhly a průměry největších úhlů a na základě absolutních hodnot největšího úhlu každého kořenového systému se zjišťuje procentické zastoupení stromů s největším úhlem do 90° , od 91° do 180° a nad 180° . Stromy s největším úhlem od 91° do 180° mají i menší předpoklady pro zajištění mechanické stability, stromy s největším úhlem nad 180° nejsou proti mechanickým vlivům zajištěny. Dále se sleduje výskyt vertikálních

kosterních kořenů a výskyt adventivních horizontálních kosterních kořenů.

Uvedené parametry charakterizující architekturu kořenového systému lze zjišťovat pouze na vyzvednutých kořenových systémech. Nedestruktivní metoda měření půdním georadarem má z tohoto hlediska svá omezení. Neumožňuje například exaktní měření úhlů mezi horizontálními kosterními kořeny, protože výsledný půdorysný záznam je dvourozměrnou projekcí třírozměrného objektu a neinformuje o hloubce, ve které se jednotlivé kořenové větve nacházejí. Rovněž zjišťování tloušťky jednotlivých kořenů je při tomto způsobu sledování kořenového systému poněkud problematické. Rozlišení různě silných kořenů je v daném měřítku technicky nereálné. Také možnost zachytit pouze kořeny o průměru větším než 1-2 cm může při řešení určitých témat použití metody limitovat.

Deformace jednotlivých kořenů a kořenového systému jako celku

Při analýzách kořenového systému stromů je třeba posuzovat i odchylky od přirozeného směru růstu kosterních kořenů a deformaci kořenového systému jako celku. Na základě hodnocení deformací lze získat informaci o stavu vývoje kořenového systému v době analýzy, odvodit příčiny deformací (krytokořenový sadební materiál, způsob výsadby, sortiment rostlin, řez kořenů..) a stanovit prognózu dalšího vývoje. U starších stromů sledování deformací již nevyžaduje tak detailní přístup jako při stejných analýzách sadebního materiálu. Zploštění do vertikální roviny, odchylky typu J-L a jiné jednostranné formy již v podstatě neexistují a v případě jejich výskytu jsou signalizovány a lépe popsány měřeními úhly mezi kosterními kořeny. Velmi důležitá je deformace jednotlivých kořenů zaškrcením (strangulací), která může mít za následek vyřazení určité části kořene z vodivé funkce. Smyčky jednotlivých kořenů vytvořené při pěstování sadebního materiálu se poměrně rychle vyrovnávají nebo se daný kořen stává součástí strboulu. Bez většího významu jsou ty zaškrcené kořeny, které již ztratily svou funkci, nebo je-li takto postižena jen malá část funkčních kořenů. Spirálovité a věncité deformace přecházejí tloušťnutím ve strboul (jinými autory označovaný jako drdol, klubkatění, palice..). Jsou-li kořeny strboulu funkční, je vážně ohrožena i jejich vodivá funkce a tím i výživa stromu.

Vztah mezi rozvojem kořenového systému a nadzemní části

Stav kořenového systému je třeba posuzovat i z hlediska rozvoje nadzemní části stromu, tzn. z hlediska velikosti koruny, charakteru kmene a těžiště nadzemní části. To je u plnodřevných válcovitých kmenů posunuto výš a na velikost kořenového systému jsou kladeny vyšší nároky. Pokusem o zohlednění rozvoje nadzemní části je hodnota tzv. indexu P. a L. Toto kritérium jistě není zcela dokonalé a vyžadovalo by zpřesnění pro jednotlivé druhy dřevin a jejich věk.

Index $P(I_P)$ = poměr ploch průřezu kořenů k délce nadzemní části stromu.

Index $L(I_L)$ = poměr plochy průřezu kořenů k ploše kmene, která se posuzuje u mladších stromů nad kořenovými náběhy nebo v $d_{1,3}$.

Všechna tři kritéria je třeba posuzovat ve vzájemných vazbách. Není např. stabilizován strom s velkým počtem kořenů a malým indexem P nebo naopak.

Metody studia jemných kořenů

Nedílnou součástí kořenového systému jsou jemné kořeny. Pod pojmem jemné kořeny rozumíme kořeny o průměru menším než 1 mm (podle některých autorů o průměru menším než 2 mm). Do této kategorie spadají i kořeny posledního řádu, tzv. krátké kořeny, které

bývají pro svůj minimální růst do délky označovány také jako kořeny omezeného růstu. Mají limitovanou délku života a rozdílnou anatomickou stavbu (druhotně netloustnou). Jejich turgescenční kořenové špičky mají rozhodující význam v příjmu živin a vody a jsou i místem syntézy růstových regulátorů a rovněž uvolňují do půdy kyseliny a jiné exudáty organické povahy. Kromě toho žijí jemné kořeny většiny dřevin mírného pásma v symbióze s houbami a vytváří tzv. mykorhizy. Jemné kořeny jsou fyziologicky nejdůležitější částí kořenového systému. Mají funkci absorpční a syntetickou, i když do jisté míry rovněž přispívají ke stabilitě stromu, zvláště vykazují-li velkou hustotu a vyskytují-li se ve velkém množství.

Jemné kořeny představují velmi dynamickou složku kořenového systému. Protože jsou v přímém kontaktu s půdou, odrážejí citlivě všechny změny v půdně chemických podmínkách a mohou být i citlivým indikátorem přirozeného i antropogenního stresu. Proto je právě této části kořenového systému v posledních letech věnována značná pozornost. Pro studium jemných kořenů existuje celá řada metod. Rozhodnutí jakou metodu použít, závisí především na tom, jakou otázku řešíme, ale i na finančních a časových možnostech.

Také při studiu jemných kořenů můžeme zvolit metody nedestruktivní nebo destruktivní.

Nedestruktivní metody studia jemných kořenů

Pokud je cílem studia jemných kořenů např. zjištění časové dynamiky jejich růstu a nepočítá se s kvantitativním hodnocením, je vhodné využít nedestruktivních metod.

Metoda skleněné stěny (kořenové bedny) nebo kořenových oken

Metoda skleněné stěny je používána déle než 100 let. Nejprve se používala tzv. kořenová bedna, jejíž jedna stěna byla skleněná a umožňovala pozorování kořenů. Metoda je vhodná pro sledování růstu kořenů mladých rostlin v laboratorních podmínkách. Modifikací je zařízení používané ke studiu délkového růstu a dynamiky růstu kořenů, sestávající ze dvou desek z průhledného akrylátu, mezi nimiž je prostor naplněný substrátem. Když kořeny dorostou k průhledné stěně, je možné nesmyvatelným fixem určité barvy zaznamenat různě silné kořeny a poté v 3 –5 denních intervalech zakreslovat jejich pokračující růst. Na to navazuje digitální analýza obrazu, kterou je možno vyhodnotit délku zakreslených kořenů.

Výše uvedený způsob je vhodný pouze pro malé rostliny a v laboratorních podmínkách. Proto se časem přešlo od kořenové bedny na terénní hodnocení a metoda byla modifikována tím, že tabule skla byla montována přímo na půdní profil. Kořenová okna jsou průhledné desky instalované přímo na půdní profil, které umožňují nedestruktivní sledování růstu kořenů. Používá se obvykle tabule skla nebo akrylátu o rozměrech 50 x 50 cm o tloušťce 10 mm, která se která připevňuje přímo na hladce vypreparovaný půdní profil. Umisťuje se svisle nebo šikmo. Předpokladem nerušeného měření je dobrý kontakt mezi půdou a skleněnou deskou, protože volný prostor půdní podmínky ovlivňuje a navíc může přispívat k tvorbě kondenzační vody. Z tohoto důvodu se volný prostor naplňuje zeminou, která je nejprve podle vrstev odstraněna vysušena a přesáta. Kořenová okna musí být chráněna proti světlu a kolísání teplot. Při dlouhodobých pozorováních je často nezbytné čištění skleněné stěny. Kořeny se sledují pomocí binokulárního mikroskopu a dokumentují se fotograficky. Metoda je vhodná pro detailní pozorování jemných kořenů, nehodí se pro hodnocení prostorového rozložení kořenů. V současnosti se nepoužívá často, ale pro studium interakcí kořenů s mikroorganismy a půdní faunou je to metoda levná a účinná.

Výhodou kořenových oken je, že umožňují dlouhodobé sledování kořenů in situ. Pomocí nich je možné zjistit např. periodicitu růstu, období růstu kořenů vzhledem k růstu nadzemní části, sledovat kořeny na zvláštních mikrostanovištích a hodnotit interakce kořenů a

půdní fauny apod.

Rhizoskop

Modernějším prostředkem pro sledování jemných kořenů je rhizoskop. Slouží ke sledování dynamiky růstu jemných kořenů a jejich morfologických parametrů. Využívá principu lékařské endoskopie a v posledních letech se často používá v lesnictví při řešení ekologicky orientovaných problémů. Nasazení rhizoskopu (v německy mluvících zemích označovaného jako minirhizotronu) umožňuje dlouhodobé pozorování živých kořenů za terénních podmínek, přičemž měření je časově i prostorově reprodukovatelné. Rhizoskop sestává z čočkové optiky, která je upevněna v trubce z ušlechtilé oceli. K pozorování kořenů se zasouvá endoskop do skleněné trubice o průměru 15 mm. Postavení trubice v půdě ovlivňuje významně výsledky měření kořenů. Z praktických důvodů bývá roura postavena šikmo a zůstává během požadovaného času (např. také v zimě) v půdě. Obvykle používané zvětšení zajištěné optikou je 5 x až 10x. Nasazení barevné videokamery umožňuje lepší identifikaci jemných kořenů nebo kořenových vlásků a současnou fotografickou dokumentaci. Následná digitalizovaná analýza obrazu dia snímků nebo filmu umožňuje snadné vyhodnocení kořenů. Při použití skleněné nebo plastové roury mohou nastat některé problémy, jako např. nepřírozené nahloučení a nadprůměrné osidlování stěny roury kořeny vzhledem k zvýšenému množství vody na povrchu roury, naleptání a zakalení povrchu trubice exudáty kořenů.

Rhizoskop je vhodný pro dlouhodobé pozorování ročního průběhu aktivity kořenů, vertikálního rozdělení, antropicky podmíněných morfologických změn, intenzity růstu a mykorhizace. Nevýhodou je menší plocha sledování, ve srovnání s kořenovými okny a její zakřivení.

Ostatní nedestruktivní metody studia jemných kořenů

K nedestruktivnímu sledování jemných kořenů se odzkoušely i techniky používané v humánní medicíně, které umožňují pozorování kořenového systému umístěného v půdě.

Všechny jsou založeny na skutečnosti, že kořeny obsahují víc vody než okolní substrát. Patří k nim např. počítačové tomografie, neutronové radiografie nebo nukleární magnetické rezonance. Dají se použít pouze u malých objektů (sadební materiál).

Destruktivní metody studia jemných kořenů

Pokud je cílem sledování zjištění množství jemných kořenů a hodnocení jejich dalších parametrů, je nezbytné použití metod destruktivních.

Metoda půdních monolitů

Patří mezi nejstarší metody studia jemných kořenů. Biomasu jemných kořenů lze zjistit např. odběrem půdních monolitů tvaru kvádrů nebo válců o určitých rozměrech a známém objemu. Metoda monolitů je vhodná, pokud má být v porostu zjišťována kvantitativně hmotnost jemných kořenů, obzvlášť ve srovnání s množstvím slabých a hrubých kořenů. Přesnost metody se zvyšuje s počtem odebraných monolitů. S jejich narůstajícím počtem však současně roste i míra narušení lokality a riziko dalšího ovlivnění hodnocených stromů, protože intenzivní destruktivní vzorkování narušuje zůstávající kořeny, což může pak ovlivnit výsledky v budoucnosti.

Metoda půdních výkrojů

Analogii metody monolitů představuje metoda půdních výkrojů. Umožňuje rychlé získání přehledu o prokořenění v různých hloubkách. Půdní výkroje se odebírají pomocí vzorkovače obvykle o průměru 5 cm nebo 7 – 8 cm do hloubky 30 - 40 cm. Hloubka odběru se řídí charakterem uložení jemných kořenů, které je druhově specifické. Větší počet výkrojů (oproti půdním monolitům) obvykle zajišťuje větší reprezentativnost výsledků a snižuje nebezpečí významného narušení plochy.

V průběhu roku podléhá růst a tím i množství jemných kořenů značným výkyvům, proto je vhodné výkroje odebírat ve více termínech během roku. Prostorová variabilita kořenových systémů vyžaduje velký počet opakování, aby se získaly reprodukovatelné výsledky. Počet půdních výkrojů a místo jejich odběru musí postihnout prokořenění rhizosféry a závisí proto na stanovišti, obzvláště na homogenitě půdních podmínek. Výkroje bývají obvykle odebírány v prostoru mezi stromy, pokud potřebujeme získat informaci o produkci jemných kořenů na celé ploše. Pokud mají být analyzovány jednotlivé stromy, odebírají se obvykle výkroje ve více soustředných kruzích okolo jednoho stromu.

Metoda výkrojů není vhodná pro morfologické studie, protože je odebírána jen malá část kořenového systému. Z praktického hlediska je obtížné získat výkroje z kamenitých půd, ale i z půd velmi drobných a sypkých.

Metoda ingrowth bags

Metoda ingrowth bags je založená na zjišťování biomasy jemných kořenů, které vrostly za určitou dobu do prostoru naplněného substrátem. Pomocí vzorkovače o průměru cca 10 cm se do hloubky 20 – 50 cm je vytvoří dutina. Vyjmutá zemina se proseje a odstraní se z ní kořeny. Do dutiny se umístí sáček z nylonové síťoviny a velikosti ok 7,5 mm a vyplní se přesátou zeminou nebo perlitem. Po určité době (obvykle po dvou růstových sezonách) jsou sáčky vyjmuty a separují se z nich jemné kořeny, které do prostoru vrostly.

Touto metodou se dá zjistit intenzita, s jakou jemné kořeny obsazují volný půdní prostor ve stanoveném časovém období za daných stanovištních podmínek. Metoda je jednoduchá, ale pracná a přináší výsledky za delší dobu. Při ambulantním šetření ve velkém počtu porostů by byla jen obtížně zvládnutelná. Metodu lze doporučit pro statisticky vyhodnotitelná plošná pozorování, protože se dá standardizovat a umožňuje více opakování během delšího časového období.

Podmínkou použití všech uvedených destruktivních metod je pravidelné prokořenění a přibližně homogenní rozložení jemných kořenů, s jakým se setkáváme u některých dřevin, např. u smrku nebo buku. Při volbě místa odběru monolitů, půdních výkrojů i při instalaci ingrowth bags je třeba vycházet z přirozené distribuce jemných kořenů, která se u jednotlivých druhů dřevin liší.

Zpracování výkrojů a ingrowth bags

Zpracování monolitů, výkrojů nebo vyjmutých sáčků je časově velmi náročné a je spojeno s některými metodickými obtížemi. Získané půdní výkroje je třeba nejprve rozdělit podle půdních horizontů nebo na schematické vrstvy. V laboratoři jsou pak ze zhomogenizovaných výkrojů separovány jemné kořeny. Používá se k tomu tzv. mokrá cesta. Nejpřesnější je separace rozplavováním. Oddělování kořenů od jehličnaté hrabanky v humusových horizontech je možné při vyšším proudě vody (což ale může vést ke ztrátám lehčích mrtvých kořenů. Pro krátké kořeny je vhodná soustava sít s maximální velikostí ok 0,25 mm.

Určení druhové příslušnosti jemných kořenů

Zařazení jednotlivých segmentů jemných kořenů ke druhu dřeviny podle morfologických znaků (obzvláště při analýzách ve smíšených porostech) představuje značný problém. V současné době neexistuje žádná obsáhlá literatura zaměřená na určování jemných kořenů podle morfologických znaků. Absence klíče k určování jemných kořenů znamená, že si při řešení dané otázky musí rhinolog stanovit předem kritéria pro rozlišování jemných kořenů jednotlivých druhů sledovaných dřevin. Ty se určují pod stereomikroskopem. Druhové přiřazení v terénu je možné jen s velkými zkušenostmi. V poslední době se projevují snahy přiřazovat kořeny k jednotlivým druhům na molekulárně biologickém základě. Postup je v současné době testován v několika laboratořích. Jedná se však o metodiky velmi pracné a nákladné.

Hodnocení jemných kořenů

Po separaci jemných kořenů se mohou zjišťovat jednotlivé parametry jemných kořenů. Přitom se jedná jednak o primární hodnoty a v následujícím o hodnoty kombinované.

Zjišťování živých a mrtvých jemných kořenů

Délka života jemných kořenů je časově omezená na týden až několik měsíců. Odumřelé jemné kořeny jsou průběžně nahrazovány novými, proto se v půdě nacházejí současně kromě živých i kořeny odumřelé. Protože podíl mrtvých jemných kořenů může být ukazatelem změn biotických a abiotických faktorů prostředí a z ekologického hlediska je třeba tento poměr zohledňovat při celkové bilanci uhlíku v ekosystému, separují se v některých studiích odděleně kořeny živé a kořeny mrtvé.

Mezi živé jemné kořeny se řadí ty, které jsou elastické a při ohybu se nelámou a jejich aktivně rostoucí kořenové špičky jsou světle zbarvené, sukulentní a nesuberinizované. Mrtvé jemné kořeny jsou naopak na povrchu svrasklé, jejich boční větve opadávají a snadno se lámou. Analýzy jsou zatíženy velkou subjektivní chybou, kterou se snaží někteří autoři eliminovat chemickým testováním životnosti na základě redukce 2,3,5 trifenylyltetrazolium chloridu (JOSLIN a HENDERSSON 1984).

Biomasa a vertikální distribuce jemných kořenů

Biomasa se stanoví vážením jemných kořenů vysušených do konstantní hmotnosti. Zjištěním množství kořenů v jednotlivých půdních horizontech je možné získat představu o rozmístění jemných kořenů v půdním profilu - o jejich vertikální distribuci.

Délka jemných kořenů

Délka jemných kořenů se zjišťuje jak na svěžím materiálu, tak na snímcích. V současné době nahradilo pracné a časově náročné ruční měření hodnocení pomocí analýzy obrazu za využití software pro IBM PC. Čerstvé vzorky kořenů jsou rozstříhány na cca 1 cm úseky a rozmístěny do vodou naplněné misky se spodním osvětlením a snímány videokamerou. Obraz je pak analyzován PC a vyhodnocen. Metoda redukuje časové nároky pro hodnocení na několik vteřin.

Počet kořenových špiček a index větvení

Podle morfologického hlediska tloušťky zahrnují jemné kořeny i kořeny posledních řádů zakončené kořenovou špičkou. Bývají také označovány jako krátké kořeny, nebo jako kořeny omezeného růstu. Jejich délka je obvykle 1-5 mm a bývají obvykle obsazeny mykorhizními houbami a přeměněny v mykorhizy. Analýza kořenových špiček může přinést informace o změnách okolního prostředí, protože poškození kořenů se začíná projevovat nejprve na krátkých kořenech a mykorhize. Počet kořenových špiček se zjišťuje jejich počítáním pod stereomikroskopem.

Při počítání krátkých kořenů se někdy rozlišují živé a mrtvé kořenové špičky. Tyto dvě kategorie nelze však od sebe vždy jednoznačně rozlišit. Živé kořenové špičky mají světle až středně hnědou barvu s výraznou až 1 mm dlouhou transparentní špičkou. Rozlišování může být zatíženo chybou, protože zejména ve skupině mrtvých kořenových špiček, které jsou zpravidla tmavěji zbarveny a mají svrasklý povrch mohou být nejen odumřelé, ale i zestárlé krátké kořeny, ze kterých mohou (přes svrasklou kůru) obnovit růst další kořeny. Kromě toho mohou jejich množství ovlivnit i mykorhizní houby infikující kořeny, které působí svými růstovými látkami stimulačně na vznik nových krátkých kořenů. Proto se obvykle nepoužívají absolutní hodnoty, ale spíše relativní vyjádření, která zahrnují i délku případně sušinu jemných kořenů. Je to např. koeficient větvení, což je prostý poměr počtu kořenových špiček a délky kořenů tj. počet kořenových špiček na 1 cm délky jemného kořene.

Specifická délka jemných kořenů

Specifická délka kořenů tj. poměr délky jemných kořenů k jejich hmotnosti (m/g sušiny jemných kořenů) se používá jako index celkové morfologie jemných kořenů. Specifická délka jemných kořenů má vztah k příjmu živin, protože dává nepřímou informaci o ploše povrchu dané hmotnosti kořenů. Vysoká hodnota specifické délky indikuje tenké kořeny. S nárůstem specifické délky jemných kořenů se zvyšuje jejich absorpční plocha. Hodnoty se mění s věkem stromu, podmínkami výživy a fyzikálními půdními podmínkami.

Funkčnost jemných kořenů absorpcí značených prvků

Stav výživy, který může být dobrým indikátorem vitality stromu, je závislý na příjmu živin a jejich dostupnosti v půdě. Proto se z fyziologických vlastností hodnotí funkčnost jemných kořenů na základě schopnosti příjmu značených radioaktivních prvků (LANGLOIS, FORTIN 1984).

Studia mykorrhizy

Studium mykorrhizy je specifickou, ale velmi důležitou součástí rhizologických studií. Základem je určení typu funkční mykorrhizy, realizuje se vyhodnocováním morfologické stavby pod binolupou nebo přímo zjišťování anatomické stavby po zabarvení houby pod mikroskopem. Studie mykorrhiz jsou však podstatně širší. Studuje se vazba mezi mykorhizní houbou a vytvořenou mykorhizou, postupy umělé mykorhizace stromů nebo stanoviště, funkčnost a příčiny tvorby jednotlivých morfotypů mykorrhiz (např. jen u ektomykorrhiz je vylišeno několik desítek rozdílných morfotypů).

Do rhizologických studií můžeme zařadit i všechny práce, které se zabývají kvantitativním vyhodnocením účinnosti mykorrhizy nebo práce, které se zabývají kořenovými exudáty (jejich chemickým složením, funkčností, účinností, kvantitou, dobou a příčinami jejich vylučování).

Závěr

V přehledu metod presentovaných v tomto příspěvku jsou zařazeny metody používané naším pracovním týmem a metody popsané v publikacích uvedených v seznamu použité literatury. Pomocí nich lze získat informace o utváření a modifikacích kořenových systémů jak z hlediska plnění jejich upevňovací tak i absorpční funkce.

Časová a prostorová variabilita kořenových systémů i půdního prostředí přináší problémy se zobecňováním a statistickým hodnocením výsledků, protože vysoká pracnost, časová náročnost a často i nemalé finanční náklady si vynucují omezení na menší počet analyzovaných vzorků. Nezanedbatelnou komplikací představuje i fakt, že na rozdíl od nadzemní části nejsou dosud známy modelové hodnoty zjišťovaných parametrů kořenových systémů a proto je zapotřebí relativního srovnání oproti kontrole (porost nebo strom na stejném stanovišti, stejného věku, lišící se např. defoliací, způsobem výsadby.).

Kořenové systémy zajišťují zakotvení stromů v půdě a mají zásadní úlohu i v metabolismu dřevin. Jsou integrální součástí rostliny a jejich studium je při hodnocení produktivity a stability ekosystémů nezbytné.

Seznam použité literatury

- Bolte, A., Hertel, C., Ammer I., Schmidt, R., Nörr, M., Redde, N., 2003: Freiland Untersuchung von Baumwurzeln. Forstarchiv, 74, s. 240 – 262.
- Böhm, W., 1979: Methods of studying root system. Springer Verlag Berlin, 187 s.
- Joslin, J.D., Henderson, G.S., 1984: The determination of percentages of Libiny tissue in woody fine root samples using triphenyltetrazolium chloride. Forest Science, 30, s. 965 – 970.
- Köstler, J. N., Brückner, E., Biebelrhietter, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 282 s.
- Langlois, C.G., Fortin, J.A., 1984: Seasonal variations in the uptake of ^{32}P phosphate ions by excised ectomycorrhizae and lateral roots of *Abies balsamea*. Can. J. For. Res. 14, s. 412 - 415
- Leibundgut, H., Dafis, S., Richard, F., 1963: Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. Schweiz. Z. Forstwes., 114, s. 621 – 645.
- Mauer, O., 1989: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karsten). Doktorská disertační práce, LF VŠZ Brno, 322 s.
- Mauer, O., Palátová, E., 2000: Root system response to stress in artificially established Norway spruce stands. Ekológia (Bratislava), 19, Supplement 1, s. 151 – 161.
- Polomski, J., Kuhn, N., 1998: Wurzelsysteme. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 290 s.
- Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., Van Noordwijk, M., Pellerin, S., Van Geijn, C., 2000: Root methods. A handbook. Springer, 587 s.

Architektura kořenového systému stromů

Miloš Pejchal, Oldřich Mauer

Úvod

Kořen je podzemní orgán bez listů, nodů a pravidelně postavených pupenů (výhony s listy se na nich tvoří pouze z dodatečně a nahodile vzniklých pupenů náhradních). Upevňuje rostlinu v zemi, přijímá vodu s živinami, slouží jako zásobní orgán, produkuje některé rostlinné hormony a je i místem symbiosy dřevin s mikroorganismy. Je to orgán heterotrofní povahy, odkázaný na přesun asimilátů z nadzemní části rostliny.

Vzhledem ke skrytosti a tím i obtížné zkoumatelnosti kořenů není jejich znalost srovnatelná s nadzemní částí. U dřevin, ve srovnání s bylinami, jejich poznání komplikují i velké rozměry kořenových systémů.

Anatomická stavba kořenu

U nahosemenných a dvouděložných dřevin se rozlišuje stavba primární a sekundární.

Primární stavba je výsledkem činnosti primárního dělivého pletiva, lokalizovaného v kořenové špičce. Od povrchu směrem dovnitř se nachází:

- **Rhizodermis.** Obvykle jednovrstevná, bez kutikuly a průduchů. Přibližně 0,7 až 3 mm od vrcholu kořenu se na ní tvoří kořenové vlášení (vlásky), žijící většinou pouze několik málo týdnů v období jarního a období letního (až podzimního) růstu kořenů. Jsou na hranici viditelnosti prostým okem; v praxi často zaměňováno kořenové vlášení za koncové kořínky (viz níže)!
- **Primární kůra.** Vícevrstevná a na rozdíl od stonku nezelené pletivo.
- **Endodermis.** Většinou jednovrstevná vnitřní část primární kůry (s gasparyho proužky).
- **Centrální válec.** Na jeho obvodu je obvykle jednovrstevný **pericykl**, v němž vznikají postranní kořeny. Uvnitř válce pericyklu je **cévní svazek**, jehož dřevní a lýkové části se paprscitě střídají. Dřeň – na rozdíl od stonku – často chybí.

Sekundární stavba kořenu vzniká v důsledku činnosti druhotných dělivých pletiv kambia a felogénu. Mezi prvotním dřevem a lýkem se postupně vytváří souvislá vrstva **kambia**, která začne oddělovat dovnitř **sekundární dřevo** a vně **sekundární lýko**. Druhé dělivé pletivo **felogén** se vytvoří v pericyklu a vně odděluje **korek**, dovnitř pak někdy **nezelenou kůru (felodermu)**. Obdobně jako u stonku se tak vytváří **druhotná kůra (periderma)**. **Borka** na kořenech v půdě obvykle nevzniká.

Větvení a diferenciacce kořenů

Vznik postranního kořene, který je podmínkou vzniku kořenového systému, probíhá u nahosemenných a dvouděložných dřevin dvojím základním způsobem (upraveno dle Jeník 1974):

- **Endogenní větvení**, kdy se postranní kořeny založí v pericyklu kořene primární stavby (viz výše) a prorůstají jeho primární kůrou ven. Uplatňuje se především u mladých rostlin a u kořenů vyrůstajících v ekologicky příznivém půdním prostředí (dobře provzdušněná hlinitá půda, trvale vlhká, nezasažená mrazem či škodlivou aktivitou edafonu).
- **Exogenní větvení** prostřednictvím adventivních kořenů. Ty vznikají na kořenu či stonku

druhotné stavby, nejčastěji ve spodních vrstvách lýka blízko kambia, v samotném kambiu a dále v kalusu na poškozeném kořenu, popřípadě kmenu. Adventivní kořeny se dále mohou větvit buď endogenně nebo exogenně. Jejich význam stoupá jak se vzrůstajícím věkem dřevin, tak pod vlivem nepříznivých činitelů v půdě (mráz, sucho, dlouhodobé zamokření, kontakt s půdním skeletem, žír hmyzu, vliv patogenních hub, bakterií atd.). Vedle nahrazování ztracených či poškozených částí kořenového systému tvorbou adventivních kořenů v kalusu se tento typ kořenů uplatňuje:

- **V periferní (distální) části kořenového systému**, kde je běžným a normálním jevem, který umožňuje: (a) náhradu aktivních kořenů poškozených prostředím (při silném poškození nebo odumření úseku primární stavby je možná obnova pouze tímto způsobem); (b) cyklickou obnovu kořenů, tzv. „kořenopad“, který je součástí vnitřního vývojového rytmu mnoha dřevin a při kterém buď odumírá jen vzrostlý vrchol kořenu (apikální meristémy), nebo celý úsek s primární stavbou, nebo dokonce celá soustava těchto terminálních úseků a jejich nosný kořen.
- **V centrální (proximální) části kořenového systému**, kde tímto způsobem probíhá u mnoha dřevin postupná výměna kořenového systému, který: (a) fyziologicky zestárl - v literatuře např. popsána cyklická výměna kosterních kořenů jabloně v periodě přibližně devítileté; (b) ocitl se v nepříznivých půdních podmínkách - např. smrky zarůstající rašelinou tvoří postupně nové generace kořenového systému na povrchu původních kořenů a později z větví vyrůstajících z pohřbené části kmenu (viz níže); (c) je takto představován do tvaru, který lépe přizpůsoben fyziologickým a mechanickým nárokům stárnoucí dřeviny - např. velmi staré duby postupně tvoří výše položené horizontální kořeny, které srůstají s dolním patrem do deskovitých útvarů.
- **Na kmenu a větvích** je za mimořádných okolností schopna vytvořit adventivní kořeny většina dřevin. U taxonů pěstovatelných v našich venkovních podmínkách tento jev pozorujeme, když: (a) bázi dřeviny zatopí dlouhodoběji voda, (b) báze dřeviny zapadne nebo zaroste do rašeliny, (c) báze dřeviny je přirozeně či uměle překryta půdou, (d) kmen nebo větve jsou dlouhodobě přitisknuty k vlhké zemi a (e) odlomené větve se ocitnou na vlhkém substrátu.
- **Uvnitř prasklých a dutých kmenů**, kde vznikají tak, že na prasklině či jiném poranění kmenu se vytvoří kalus, z něhož vyrůstají adventivní kořeny do středu vyhnílého kmenu. Jak význam těchto kořenů pro výživu a stabilitu stromů, tak nutnost jejich ochrany jsou nesporné.

I když je morfologie kořenů dnešní středoevropské dendroflóry relativně jednotvárná, neexistuje obecně platná kategorizace a názvosloví jednotlivých částí kořenových systémů. Dále uvedený přehled vychází z publikací Jeník (1957, 1960, 1974) a je částečně doplněn dle Köstler et al. (1968).

Kořenový systém tvoří u nahosemenných a dvouděložných dřevin následující dvě skupiny kořenů:

- **Kosterní kořeny**, což jsou pokročile druhotně ztlustlé kořeny nižších řádů, které ztratily schopnost aktivní sorpce a jejich převážující funkcí je statické zakotvení stromu, vedení živin a asimilátů a shromažďování zásobních látek. Soustava těchto kosterních větví se nazývá **kostra kořenového systému**. Tyto kořeny lze dělit na:
 - **Vodorovné (horizontální) kořeny**, nacházející se blízko povrchu a probíhající víceméně paralelně s ním.
 - **Svislé (vertikální) kořeny**, vyrůstající svisle nebo šikmo v ostrém úhlu ke svislici z báze kmenu (kořenového krčku) nebo z vodorovných kořenů, včetně jejich ve větších hloubkách se nacházejících dceřinných kořenů (i vodorovné orientace). Do této skupiny kořenů možno zařadit: (a) **kulový kořen** – hlavní kořen svislé orientace, který je přímým prodloužením

kmenu v půdě a většinou se vyvinul z primárního klíčného kořínku; někdy se vyskytují **postranní (vedlejší) kořeny kulové** – z báze kmenu vyrůstající a paralelně s kulovým kořenem probíhající vedlejší kořeny; (b) **srdčité kořeny** - vyrůstají z boku nebo spodní strany báze kmenu a pronikají víceméně šikmo do hloubky; (c) **kotevní kořeny** – z vodorovných kořenů vyrůstající a svisle nebo šikmo do půdy pronikající kořeny.

• **Koncové kořínky**, za které jsou označovány kořenové větvičky nejvyšších (posledních) řádů, které jsou doposud ve stadiu primární anatomické stavby nebo právě v počátcích druhotného tloustnutí (mají ještě přítomnou živou primární kůru). Jsou hlavními orgány sorpce. V praxi často mylně označovány jako kořenové vlášení (viz výše). Jsou zřetelně dvojího druhu:

- **Ztlustlé koncové kořínky**, označované někdy jako prodlužovací kořínky a představují určitou obdobu makroblastů u stonku. Nachází se na periférii kořenového systému a jsou mnohem vzácnější než následující typ koncových kořínků. Jsou to praví pionýři rhizosféry, přizpůsobení i pro nepříznivé části půdního prostoru (zamokření, nedostatek kyslíku, nedostatek živin). Schopné dlouhodobé existence. Druhotným tloustnutím se z nich postupně vytváří kosterní kořeny.
- **Koncové kořínky omezeného růstu**, nazývané také občas jako vyživovací či sací kořínky, představují jistou obdobu brachyblastů. Nachází se především v horních vrstvách půdy a jsou lokalizovány obvykle po celé ploše kořenového systému (viz níže). Jejich existence omezena na jeden až několik málo roků. Pouze na nich se vytváří mykorrhizy.

Architektura kořenového systému stromů

Definice pojmů

Kořenový systém je soubor všech kořenů jedince, bez ohledu na jejich ontogenetický původ. Většinou tedy sestává z kořenů vzniklých v důsledku jak endogenního, tak exogenního větvení (viz výše). Primární klíčný kořen roste ve směru zemské tíže, postranní kořeny prvního řádu z něj vyrůstají přibližně kolmo (vodorovně s půdním povrchem nebo poněkud šikmo dolů), kořeny dalších řádů jsou obvykle již k zemské tíži necitlivé a pronikají půdou za vodou, živinami a vzduchem všemi směry.

Architektura kořenového systému je viditelný morfologický výraz způsobu jeho uspořádání, jež je dán především diferenciací, větvením, orientací a lokalizací kořenů. Tento pojem je statický, neboť v sobě neobsahuje dynamiku výstavby. V souvislosti s architekturou nadzemní části stromů, která je podstatně lépe prozkoumaná, označuje Hallé et al. (1978) růstový program stromu, který determinuje sukcesivní architektonické etapy, jako **architektonický model**, nebo krátce model. Tento model je abstraktní pojem, zviditelněný jedinečnými sériemi „architektur“. Pro kořenový systém však není problematika architektonickým modelem dostatečně zpracována, takže se je třeba spokojit se statickým pojetím jejich třídění. I s tímto jednodušším přístupem ovšem existují nemalé problémy. Vedle již naznačené technické obtížnosti zkoumání kořenových systémů dřevin je to dáno i jejich velkou proměnlivostí v čase (během života jedince) a v prostoru (rozmanitost stanovištních podmínek). Nepříznivé vlivy stanoviště v mnoha případech geneticky dané vlastnosti jedince, zvláště staršího, výrazně překrývají; z tohoto důvodu je obtížné poznat „normální“ kořenový systém. Proto mají jakékoliv údaje o něm bez konkretizace stanoviště a stáří dřevin jen omezenou hodnotu!

Třídění architektury

Tradiční, ve středoevropské praxi doposud používaná klasifikace (především Köstler et al. 1968) vychází z charakteru kostry kořenového systému v jeho centrální části; jako doplňkový údaj také někdy uváděna hustota kořenového systému. Pro typizaci kořenového systému jako celku se však lépe hodí třídění dle prostorového rozdělení kořenové masy, jež navrhli Kutschera et Lichtenegger (2002). V některých případech může mít význam i typizace dle vzniku kořenů (např. Kutschera et Lichtenegger 2002).

Třídění dle charakteru kostry kořenového systému v jeho centrální části

Vymezeny následující tři základní typy kořenového systému (Köstler et al. 1968, Kutschera et Lichtenegger 2002):

- **Kulový**, v jehož obraze dominuje především silný kulový kořen a dále pak kořeny vodorovné, z nichž vyrůstá větší či menší množství kořenů kotevních. Tento kořenový systém mají v prvních letech života semenáče prakticky všech stromů! Teprve později u mnohých z nich kulový kořen krní až odumírá a vytváří se tak jiný („normální“) typ kořenového systému.
- **Srdčitý**, kterého charakter určují kořeny srdčité. Kulový kořen chybí, popřípadě jen málo vyvinutý. Vodorovné kořeny bývají méně výrazné a brzy se větví. Protože je časné větvení typické i pro kořeny srdčité, je prokořenění půdy obvykle intenzivnější než u ostatních dvou kořenových systémů.
- **Kotevní (talířovitý)**, v němž mají dominantní postavení vodorovné kořeny, ze kterých s přibývajícím stářím vyrůstají víceméně svislé kotevní kořeny. Kutschera et Lichtenegger považují tento typ za více podmíněný stanovištně než geneticky. U některých dřevin, jimž je běžně přiřazován (např. *Picea abies*, *Fraxinus excelsior*) byl na hluboko prokořenitelných stanovištích zjištěn kořenový systém jiný. Řazení jednotlivých dřevin do této skupiny je tedy třeba chápat především jako informaci o jejich kořenění na pro ně nejběžnějších stanovištích. Charakter kotevního kořenového systému získávají ve vyšším věku často i oba výše uvedené typy tím, že jejich z báze kmenu vyrůstající vertikální kořeny odumřou.

Typ kořenového systému u vybraných druhů stromů. Tento přehled vznikl na základě zhodnocení následujících pramenů: Balder (1998), Ehlers (1986), Köstler et al. (1968) a Kiermeier (1996):

- **Kulový:** *Abies alba*, *Carya*, *Juglans regia*, *Pinus nigra*, *P. sylvestris*, *Pyrus communis*.
- **Kulový až srdčitý:** *Castanea sativa*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Q. rubra*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus glabra*, *U. laevis*, *U. minor*.
- **Srdčitý:** *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus*, *Corylus colurna*, *Fagus sylvatica*, *Liriodendron tulipifera*, *Larix decidua*, *Platanus xacerifolia*, *Prunus avium*, *P. padus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*.
- **Srdčitý až kotevní:** *Acer campestre*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Pinus strobus*.
- **Kotevní:** *Acer negundo*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*, *Picea abies*, *P. sitkaensis*, *Populus*, *Salix alba*, *S. fragilis*, *Sorbus aucuparia*.

S uvedenou charakteristikou jednotlivých typů kořenových systémů bývá nezdědka automaticky spojováno, že první typ je vlastní dřevinám hlubokokořeným a poslední naopak mělkokořeným. Tato představa však platí do určité míry pouze pro stanoviště neomezující výrazně rozvoj kořenů (viz výše). Na nich bude sice s velkou pravděpodobností první skupina

dřevin kořenit hlouběji než poslední, ta však na těchto (mimo jiné) hlubokých půdách nebude se stejnou pravděpodobností kořenit mělce! Např. u smrku, paušálně prohlašovaného za dřevinu mělkokořenennou, mohou ve zmíněných podmínkách pronikat kotevní kořeny do hloubky dvou i více metrů (Jeník 1957; Köstler et al. 1968, Kutschera et Lichtenegger 2002). Na druhou stranu je zřejmé, že na velmi mělkých půdách se rozdíl v hloubce kořenění mezi oběma skupinami dřevin stírá.

Dále si je třeba v této souvislosti uvědomit, že kořenový systém dospělých dřevin je plochý a poměrně nehluboko pod povrchem půdy se rozprostírající útvar, který může výrazně přesahovat za okapovou linii koruny. I u hlubokokořenenných dřevin na příznivých stanovištích se velká většina kořenové masy nachází do hloubky 1 m, přičemž největší část je soustředěna zpravidla do horních 0,4 m. Dokládají to četné výzkumy. Např. Rachtejenko (1952) uvádí, že ve 22 letém porostu dubu na černozemi bylo zjištěno do hloubky 1 m přibližně 95%, do 0,4 m 75% a v horních 0,2 m ještě okolo 40% veškeré biomasy kořenů. Průměr kořenového systému může být u solitér na chudých půdách (kde bývá největší) až trojnásobkem průměru koruny, někdy i větší (Meyer 1982). Z výše uvedeného vyplývá, že i mělké narušení kořenového prostoru, popřípadě rozsáhlejší narušení půdy za korunovým okapem, může mít pro dřevinu nežádoucí důsledky.

Výše uvedené základní vymezení tří typů kořenového systému (kulový, srdčitý, kotevní) je pro detailnější rhizologické studie nedostatečné. Podle charakteru a směru růstu kosterních kořenů lze vymežit tyto typy architektiky kořenového systému:

- **Kulový** – z báze kmene vyrůstá a pozitivně geotropicky roste dominantní kulový kořen (radix primaria), který se dále nevětví.
- **Panohovitý** – z báze kmene vyrůstá kulový kořen, z báze kulového kořene vyrůstá několik pozitivně geotropicky rostoucích panoh.
- **Srdčitý** – z báze kmene vyrůstá několik pozitivně geotropicky rostoucích kořenů, které zprvu rostou šikmo a později se stácejí pod bázi kmene (z bočního pohledu vytváří tvar srdce nebo elipsy).
- **Bazálně kotevní** – z báze kmene vyrůstá několik pozitivně geotropicky rostoucích kotev.
- **Všestranně rozvinutý** – z báze kmene vyrůstá větší množství horizontálních kosterních kořenů a všemi směry v půdě rostoucích kotev; horizontální kořeny i kotvy jsou poměrně tenké, je jich však mnoho a intenzivně se větví všemi směry.
- **Povrchový** – z báze kmene vyrůstá větší množství horizontálních kosterních kořenů, z nichž nevyrostají kotvy.
- **Horizontální kotevní** – z báze kmene vyrůstá větší množství horizontálních kosterních kořenů, z nichž vyrůstají kotvy.

Jednotlivé typy architektiky kořenového systému se však mohou i kombinovat.

Třídění dle hustoty kořenového systému

Používány relativní kategorie: hustší – řidší, respektive intenzivnější – extenzivnější. Jak pro kosterní kořeny, tak pro koncové kořínky platí, že hustota kořenění je u jehličnanů obecně nižší než u listnáčů a že dřeviny se srdčitým kořenovým systémem koření intenzivněji než druhy s kulovým kořenovým systémem.

Hustotu kosterních kořenů u jednotlivých druhů pod korunovým prostorem charakterizují Kutschera et Lichtenegger (2002) následovně: Mezi jehličnany je nejnižší u borovice a pak u jedle, vysoká je u modřínu a nejvyšší u douglasky. Z listnáčů mají nápadně malou hustotu duby, nízká je také u ořešáku královského. Husté prokořenění vykazují jilmy, jasan ztepilý, habr a buk, mimořádně husté je u lip. Hustota prokořenění je vždy největší v blízkosti kmenu.

Co se týče hustoty koncových kořínků, uvádí Köstler et al. (1968), že mezi lesnický významnými jehličnany mají nejintenzivnější prokořenění modřín a douglaska, Těmto dvěma se nejvíce blíží nejextenzivněji prokořeňující listnáče, kterými jsou duby a jilmy. Intenzivněji koření jasan, pak následuje osika a bříza. Mimořádně hustě prokořeňuje půdu v centrální části kořenového systému buk, habr, klen, mléč a lípa srdčitá, tedy opět dřeviny se srdčítým kořenovým systémem. Kutschera et Lichtenegger (2002) souhlasí s Köstler et al., že jehličnany mají podstatně menší hustotu koncových kořínků než listnáče a druhové rozdíly u této skupiny dřevin označují za malé. Zřetelněji rozeznatelné jsou dle nich naproti tomu u listnáčů. Nápadně nízkou hustotu kořenění uvádí u dubů. Spíše nízkou u *Juglans regia*, *Pyrus pyraeaster*, *Malus sylvestris*, *Robinia pseudoacacia*, *Ilex aquifolium* aj. Vysokou u vrb, olší, jasanů, *Betula pendula* a *Fagus sylvatica*.

Kutschera et Lichtenegger dále zdůrazňují, že hustota prokořenění podléhá velkým výkyvům dle stanovištních podmínek. Suchost horní vrstvy půdy, chudoba na živiny, zhutnění, špatné provětrávání, silné okyselení a malé zahřátí půdy snižují hustotu prokořenění. Nejsilnější podpurný účinek mají na humus bohaté půdní vrstvy.

Třídění dle prostorového rozdělení kořenové masy

Tato vlastnost je podmíněna převážně stanovištními podmínkami. Kutschera et Lichtenegger (2002) vymezují následující typy kořenového systému:

- **Válcovitý**, s kořeny pronikajícími výrazně do hloubky ve všech jeho částech. Charakteristický pro teplé a suché oblasti s hlubokými a do velké hloubky prohrátými půdami, ve kterých srážky během vegetace zpravidla ještě dostačují k provlhčení prokořeněného půdního prostoru. Může být nazýván jako **černozemní typ**.
- **Obráceně kuželovitý**, s hloubkou kořenění se výrazně snižující od středu k obvodu. Na méně hluboko zahřátých, dospodu stále více vlhkých a tím se rychle ochlazujících půdách v oblasti střeoevropských kambizemí. Může být nazýván jako **kambizemní typ**.
- Talířovitý nebo diskovitý, kořeny pouze mělce pod povrchem půdy. Typický především pro vyšší nadmořské výšky, kde se půdy dostatečně zahřívají jen při povrchu. Vysoko vystupující hladina podzemní vody, způsobující nedostatek kyslíku a malé zahřívání půdy, může vést také k mělkému, talířovitému prokořenění.
- **Činkovitý**, s kořeny rozdělenými do dvou víceméně zřetelně oddělených etází. Vzniká v teplejších oblastech na lehčích půdách s v létě vysychavými horními vrstvami. V suchých a teplých oblastech se vyskytuje i na půdách těžších, pokud kořeny dosáhnou spodní vlhké vrstvy; to je především případ lužních poloh. Tvoří ho obzvláště *Quercus robur*.
- **Ve tvaru písmene T (houbovitý)**, mající v centrální části malý počet nevýrazně větvených svislých kořenů, většinu biomasy tvoří mělké horizontální kořeny. Typický pro gleje.

Třídění dle vzniku kořenů

Kutschera et Lichtenegger (2002) uvádí následující tři základní typy:

- **původem z primárního kořenu a jeho rozvětvení (allorhizy),**
- **původem z primárního stonku a jeho rozvětvení (homorhizy),**
- **původem ze stonku kořenových výmladků.**

Mohou existovat jedinci s kořeny kombinovaného původu. Nejčastěji se v tomto případě jedná o keře, u stromů běžné hlavně na extrémnějších stanovištích (např. u horní hranice lesa a v měkkém luhu).

Kořenové srůsty

Jeník (1957) uvádí, že je to velmi běžný projev v ontogenezi kořenového systému jedince i vývoje porostů dřevin. Dochází k němu obzvláště na mělkých půdách s množstvím půdního skeletu. Se stoupajícím stářím dřevin se srůsty stávají stále častější (jak v horizontálním, tak vertikálním směru), zpevňují kostru kořenového systému a zvyšují tak jeho mechanickou odolnost. Zvýšenou odolnost vůči vývratu uvádí i Kari (1929 in Kutschera et Lichtenegger 2002). V zapojeném porostu jsou běžné srůsty mezi kořeny téhož jedince, mezi jedinci téhož druhu, ale i mezi různými dřevinami. Umožňují „spolupráci“ mezi propojenými exempláři. Kutschera et Lichtenegger (2002) citují práce autorů uvádějících, že srůsty zvyšují přírůst stromů a jejich konkurenční sílu. Uvádějí též údaje několika autorů poukazujících na to, že srůsty kořenů mohou umožnit šíření škodlivých činitelů (původci chorob, herbicidy). Balder (1998) naznačuje, že snad mohou být i prostředkem konkurenčního boje.

Proměnlivost architektury kořenového systému

Jak bylo již naznačeno v úvodu předchozí kapitoly, je proměnlivost kořenového systému dána jeho geneticky podmíněným vývojem v průběhu života jedince (ontogenezi) a dále pak působením stanovištních podmínek. U dřevin pěstovaných k tomu dále přistupuje jak technologie založení nebo obnovy těchto vegetačních prvků, tak způsob následné péče o ně. Další faktor, kterým je geneticky podmíněná vnitrodruhová variabilita, je u dřevin velmi málo prozkoumán, a proto mu dále nebude věnována pozornost.

Ontogenetický vývoj

Prakticky u všech stromů semenného původu je na samém počátku jejich existence kůlový kořenový systém (viz výše). V tomto období vertikální kořeny, představované na stanovišti bez negativních vlivů (jedním) kůlovým kořenem, výrazně dominují v délce, tloušťce i celkové biomase nad kořeny horizontálními. Velmi brzy však nastává proces, trvající až do konce existence jedince, který je charakterizován snižováním významu kořenů vertikálních a naopak zvyšováním důležitosti kořenů horizontálních. Např. u smrku, pro který je charakteristický talířovitý kořenový systém, ustupuje kůlový kořen z jeho obrazu již ve věku asi 10 let, kdežto u douglasky a modřínu, majících srdčitý kořenový systém, poněkud později (Köstler et al. 1968). U dubu letního nebo zimního které mívají na příznivém stanovišti kůlový až srdčitý kořenový systém, dochází asi po 30 letech k rovnovážnému zastoupení vertikálních a horizontálních kořenů a ve stáří 50 – 100 let lze již většinou pozorovat relativně mohutnější horizontální kořenové soustavy oproti kořenům vertikálním (Jeník 1957). Dokonce i u dřevin s výraznějším kůlovým kořenem než mají duby (např. borovice lesní nebo jedle bílá) lze ve vyšším věku očekávat určité převážení horizontální kořenové soustavy nad vertikální. Proces snižování podílu vertikálních kořenů v kořenovém systému je doprovázen i snižováním významu kůlového kořenu v rámci této kategorie, a to v důsledku rozvoje kotevních nebo srdčitých kořenů. Např. Jeník (1957) uvádí, že u dubu po 30. roce téměř vždy ztrácí kůlový kořen svoji hegemonii mezi stejně vzrostlými nebo i vzrostlejšími kotevnými kořeny a Köstler et al. (1968) poukazují na to, že se ve vyšším věku kůlový kořen již neobjevuje v obraze kořenového systému dubů. Obecným jevem pak je, že u starých jedinců prakticky všech stromů často zcela chybí vertikální kořeny vyrůstající z báze kmenu.

Se stoupajícím věkem se zvyšuje význam adventivních kořenů a stoupá četnost srůstů kořenů (viz kapitola 3. a 4.). Oba jevy souvisí, mimo jiné, s adaptací kořenového systému na

zvyšující se biomechanické (statické) namáhání, spojené s rozvojem nadzemní části stromu. Velmi často jsou zvýšené nároky na zakotvení stromu spojené s mohutným rozvojem kořenových náběhů a nápadným epigonním (směrem nahoru) tloušťnutím horizontálních kořenů, které tak dostávají až deskovitý charakter; jev lze vysvětlit tzv. adaptivním růstem (Mattheck et Breloer 1993).

Působení stanovištních podmínek

Geneticky determinovanou architekturu kořenového systému modifikuje široká škála stanovištních faktorů, často navzájem úzce propojených a ve svém účinku obtížně rozlišitelných. Lze je rozdělit do následujících skupin:

- **Faktory ovlivňující poměr mezi kořenovým systémem a nadzemní částí.**

Velikost není veličina obsažená v pojmu architektura, tak jak ho definoval Hallé et al. (1968). Protože je však možnost rozvoje kořenového systému ve směru vertikálním prakticky vždy omezená, respektive konstantní, odrazí se každá změna rozsahu kořenového systému změnou poměru jeho hloubky a šířky, což je již parametr architektury. Uvedený poměr ovlivňují především:

- **Obsah vody a živin v půdě.** Různé prameny (Köstler et al. 1968; Malek et Wawrik 1985; Höster 1993; Siewniak et Kusche 1994; Balder 1998; Kutschera et Lichtenegger 2002) udávají, že kořenový systém představuje 1/5 až 1/3, v krajním případě až 1/2 celkové biomasy stromu. Shodují se v tom, že se snižováním obsahu vody a živin (především dusíku) se podíl kořenů zvyšuje. Meyer (1982) uvádí příklad jabloně, u které byl zjištěn v živné hlinité půdě poměr hmoty podzemní části ku nadzemní 1:2 a v chudé písčité půdě 1:1. Meyer (1982) dále udává, že na chudých písčitých půdách je u solitér průměr prokořeněného půdního prostoru třikrát a vícekrát větší než šířka koruny a na úrodných a vodou dobře zásobených půdách nepřesahuje zřetelně linii korunového okapu. Literatura, např. Kutschera et Lichtenegger (2002) popisuje přímý vliv nadbytku či nedostatku jednotlivých prvků na růst a větvení kořenů. Zmínění autoři však zdůrazňují, že podstatně větším modifikacím podléhají kořenové systémy vlivem minerálního složení na texturu a strukturu půdy.
- **Zastínění koruny.** Ať už je důsledkem nízkého sociálního postavení v porostu, či důsledkem jiných příčin, způsobuje u všech stromů redukcí podílu kořenového systému (Balder 1998, Kutschera et Lichtenegger 2002).
- **Faktory ovlivňující šíření kořenů.** Ovlivňují velikost a pravidelnost kořenového systému. Omezují-li výrazně jeho hloubku, brání rozvoji, nebo i samotnému vzniku vertikálních kořenů. Tím výrazně determinují typ kořenového systému. Patří k nim obzvláště:
 - **Hloubka zahřátí půdy.** Tato veličina a s ní související hloubka pronikání teplotních výkyvů je podstatný faktor pro hloubku kořenění (Kutschera et Lichtenegger 2002).
 - **Obsah vzduchu v půdě.** Obsah O₂ se snižuje a CO₂ zvyšuje přirozeně se vzrůstající hloubkou a i v nejpříznivějších půdách se tak vytváří hranice, pod kterou už nemohou kořeny růst. Provětrávání půdy zhoršuje nejčastěji zhutnění, překrytí neprodyšnými materiály a nadměrný obsah vody.
 - **Obsah vody v půdě.** Nedostatek omezuje šíření kořenů jak ve vodorovném, tak i svislém směru. S druhým případem se je možné setkat např. na silně propustných půdách, ve kterých jsou jediným zdrojem vláhy vodní srážky (Jeník, 1957; Köstler et al. 1968, Kutschera et Lichtenegger 2002). Nadbytek, především ve formě vysoké hladiny stojaté podzemní vody omezuje hloubku prokořenitelného prostoru.
 - **Fytotoxické látky v půdě,** jako jsou např. herbicidy, posypová sůl atd.
 - **Pro kořeny neprostupné materiály a vrstvy,** např. ortstein, zhutnělý jíl, beton apod.
 - **Hrubý půdní skelet.** Způsobuje především nepravidelnost a abnormálnost průběhu a

- větvení kořenů, vyvolává jejich deformace a srůsty.
- **Humus.** Jeho obsah má rozhodující vliv na rozložení kořenové hmoty v půdě a především na větvení koncových kořínků (Kutschera et Lichtenegger 2002).
 - **Výrazná diskontinuita fyzikálních a chemických vlastností mezi vrstvami či sektory půdy či substrátu,** zpomaluje až zabraňuje šíření kořenů. Krieter (1993) zmiňuje nebezpečí tzv. květináčového efektu, který způsobuje ve výsadbové jámě nadměrně živný a fyzikálními vlastnostmi od okolní půdy zřetelně odlišný substrát.
 - **Kořenová konkurence.** V první řadě se vztahuje na „boj“ o vodu (Kutschera et Lichtenegger 2002). V přírodě blízkých lesích se dle těchto autorů zmenšuje ostrost kořenové konkurence do té míry, jak se v průběhu sdružování druhů ustaví druhově specifické prostorové rozdělení kořenů v půdě. Jeník (1957) uvádí, že na půdách dobře zásobených vodou může v kořenovém prostoru hlubokokořenné dřeviny (zvláště jeho vnější části) zbývat ještě místo pro mělčeji rozložené kořeny jiného druhu. Např. k hluboko kořenícímu dubu je v Querceto-Carpinetu takovou doplňkovou dřevinou habr a v Querceto-Ulmetu pak lípy, jasan a jílny. Uvedený vztah se nazývá edafická komplementárnost. Také rozdílné věkové kategorie v porostu přispívají k určitému vyvážení prostorového uspořádání kořenů v půdě.
 - **Faktory vyvolávající narušení, redukci či odumření stávajících částí kořenového systému.** Do této skupiny patří:
 - **Většina negativních faktorů uvedených v předchozím okruhu,** pokud se objevily na daném stanovišti až dodatečně.
 - **Mechanické poškození** v důsledku zemních prací atd.
 - **Tepelné poškození.** Povrchové kořeny může poškodit oheň.
 - **Choroby a škůdci kořenů dřevin.**
 - **Faktory způsobující nerovnoměrnou biomechanickou zátěž kořenového systému.** V sektoru zvýšeného namáhání dochází k intenzivnějšímu tloušťnutí kořenů. Vodovodné kořeny získávají často deskovitý charakter a vytváří se i výrazné kořenové náběhy. Naznačené jevy způsobuje především:
 - **Vítr,** a to na návětrné straně stromu.
 - **Prudká svažitosť terénu,** vyvolávající uvedené projevy v části kořenového systému ležící po svahu dolů.
 - **Asymetrická koruna,** např. v důsledku nerovnoměrného osvětlení.

Závěr

Z výše uvedeného vyplývá, že současná znalost architektury kořenového systému u stromů významných pro zahradní a krajinářskou tvorbu není zdaleka na potřebné úrovni. Platí to především pro ty, které nejsou v centru zájmu lesníků. Problémem je i nejednotné názvosloví a nejednotné či dokonce chybné chápání obsahu některých pojmů. Cílem příspěvku bylo trochu podhalit tuto skrytou, ale velmi důležitou část stromů.

Seznam použité literatury

- Balder, H. Die Wurzeln der Stadtbäume. Berlin : Parey Buchverlag, 1998. 180 s. Ehlers, M. Baum und Strauch in der Gestaltung und Pflege der Landschaft. Berlin und Hamburg : Verlag Paul Parey, 1986. 257 s.
Hallé, F. aj. Tropical Trees and Forests :an Architectural Analysis. Berlin - Heidelberg - New York : Springer Verlag, 1978. 441 s.

- Höster, H. R. Baumpflege und Baumschutz. Stuttgart : Ulmer Verlag, 1993. 225 s.
- Jeník, J. Kořenový systém dubu letního a zimního (*Quercus robur* L. et *Q. petraea* Liebl.). In Rozpravy ČSAV, řada Mat.-Přír.věd. 67. Praha, 1957, č. 14, s. 1 - 85.
- Jeník, J. Kořenový systém dřevin. In Zprávy Dendrologické sekce ČSBS Praha. 5. Praha, 1960, s. 1 – 9.
- Jeník, J. Adventivní kořeny u nahosemenných a dvouděložných dřevin. In Acta Musei Silesiae, series dendrologica, XXIII, Opava 1974, s. 153 – 163.
- Köstler, J.N., Brückner, E. et Bibelriether, H. Die Wurzeln der Waldbäume. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey, 1968. 284 s.
- Kiermeier, P. Planungshilfen. In Bäume und Grün ...natürlich geplant. Teil VI. Hamburg : Lorenz von Ehren Baumschulen, 1996. 126 s.
- Krieter, M. Bodenaufbau am innerstädtischen Strassenbaumstandort. Das Gartenamt, 42, 1993, č. 8, s. 492 – 494.
- Lokvenc, T. Mají deformace kořenů obalených sazenic smrku vliv na kvalitu kultur Lesnická práce, 63, 1984, č. 10, s. 454 – 558.
- Lokvenc, T. Vývoj kořenových systémů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v kulturách založených obaleným sadbovým materiálem. Lesnictví, 31, 1985, č. 7, s. 601 – 620.
- Malek, J. von et Wawrick, H. Baumpflege. Stuttgart : Verlag Eugen Ulmer, 1985. 382 s.
- Mattheck, C. et Breloer, H. Handbuch der Schadenskunde von Bäumen. Freiburg : Rombach Verlag, 1993. 192 s.
- Meyer, F.H. (Hrsg.) Bäume in der Stadt. Stuttgart : Verlag Ulmer, 1982. 380 s.
- Pejchal, M. Metodické principy výběru dřevin pro obnovu ploch zeleně v sídlech. In Obnova zeleně v podmínkách sídel. Luhačovice : Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu, 1997, s. 12 – 18.
- Pejchal, M. Dřevinné vegetační prvky s výraznou autoregulací v období rozvojové péče. In Umění spolupráce : Luhačovice 2000. Olomouc : Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu, 2000, s. 49 – 54.
- Rachtejenko, I.N. Kornevyje sistemy drevesnyh i kustarnikovych porod. Moskva : Goslesbumizdat, 1952. 105 s.
- Siewniak, M. et Kusche, D. Baumpflege heute. Berlin und Hannover : Patzer Verlag, 1994. 320 s.

Deformace kořenového systému a jejich vliv na stabilitu a vitalitu dřevin

Oldřich Mauer, Eva Palátová

Úvod a cíl práce

Kořenový systém je všestranným základem stromu – zajišťuje mechanickou stabilitu, příjem vody a výživu stromu. Pokud není kořenový systém přirozeně rozvinut (je-li deformován, je-li v poměru k výšce nadzemní části malý nebo nemá-li přirozenou architektoniku), může to vést nejen k mechanické nestabilitě stromu, ale kořenový systém se může stát i významným predispozičním faktorem chřadnutí a odumírání stromů. Dokladovat to lze plošnými vývraty modřínových porostů v Krušných horách, odumíráním smrku ztepilého v různých oblastech ČR, odumíráním břízy bělokore v Krušných horách, odumíráním smrku pichlavého v Jizerských horách, ale i plošným napadením smrkových porostů kůrovcem (tab. 1).

Cílem příspěvku je přispět k objasnění vzniku a vlivu deformací kořenového systému na růst dřevin a podat návrhy, jak těmto, pro další vývoj porostů možná klíčovým negativním aspektům, předcházet.

Metody a použitý materiál

V příspěvku je v tabulkové podobě a ve stručném komentáři uvedena celá řada výsledků. Postupy hodnocení jsou zřejmé z prezentovaných tabulek výsledků a dalšího textu. Vysvětlení vyžaduje uváděná hodnota Indexu p (označovaná I_p). Index p je hodnota vypočítaná a udává vztah mezi velikostí kořenového systému a velikostí nadzemní části stromu. Konkrétně je počítána jako poměr ploch příčných průřezů všech kosterních kořenů v mm^2 k výšce stromu v cm . Čím je hodnota Indexu p větší, tím větší je kořenový systém stromu. Všechny kořeny byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem. V každém prezentovaném výsledku bylo hodnoceno minimálně 30 stromů zdravých a 30 stromů poškozených a u každého stromu bylo hodnoceno až 36 parametrů. Většina prezentovaných výsledků je uváděna pro nejvíce poškozenou dřevinu v ČR – smrk ztepilý. Závěry hodnocení však platí i pro další druhy našich dřevin.

Výsledky

Typy deformací kořenového systému a místo jejich vzniku

Deformace kořenového systému jsou odbornou veřejností nejčastěji dávány do souvislosti s užitím krytokořenného sadebního materiálu. Skutečností je, že při nevhodném pěstování krytokořenného sadebního materiálu může dojít k nejzávažnějším deformacím kořenového systému a tím i významnému ohrožení takto založených porostů. V 80. letech minulého století docházelo ve Skandinávii k tak velkým plošným vývratům porostů založených krytokořenným sadebním materiálem, že se dokonce uvažovalo o zákazu použití krytokořenného sadebního materiálu při obnovách lesních porostů. Podstatnými změnami technologie pěstování, ale zejména zásadními změnami v konstrukci obalů, byla i u krytokořenného materiálu snížena možnost vzniku deformací vyvolaných vlastní technologií na minimum. V čem spočívají uplatněné změny:

- zvětšení obalu a přizpůsobení jeho tvaru přirozené architektonice kořenového systému pěstovaných rostlin (podle druhu i velikosti pěstovaných rostlin),
- odstranění dna obalu a pěstování rostlin na vzduchovém polštáři, perforace bočních stěn obalu (je uplatněn „vzdušný stříh kořenů“ - obalem prorůstající kořeny zasychají a je stimulován růst kořenů vyšších řádů v obalu),
- přidání vlisů a žeber na vnitřní stěny obalů - usměrnění kořenů v pozitivně geotropickém směru růstu,
- zkrácení doby pěstování rostlin v obalech,
- aplikace chemických látek na bázi mědi na vnitřní stěny obalu, inhibujících po dobu pěstování rostlin růst kořenů, které se dostanou do bezprostředního kontaktu se stěnou obalu - „chemický stříh kořenů“.

Uplatněním všech výše uvedených prvků jsou vytvořeny pouze předpoklady pro minimalizaci deformací kořenového systému. Není-li sadební materiál dobře pěstován, i nadále zůstává krytokořený sadební materiál „nejnebezpečnějším“ typem sadebního materiálu z hlediska vzniku možných deformací kořenového systému. (Např. v letech 2002-2008 jsme analyzovali kvalitu krytokořeného sadebního materiálu před výsadbou ve 34 případech; výsledek - 73 % rostlin mělo nejzávažnější deformace kořenového systému.)

I když se často jeví, že k tvorbě deformací kořenového systému dochází pouze u krytokořeného sadebního materiálu, stejně vážné deformace mohou být vyvolány i užitím prostokořeného sadebního materiálu, ale o těchto deformacích se mluví již méně.

Odchylek od přirozené architektoniky kořenového systému (u prostokořených i krytokořených rostlin jsou shodné) může být celá řada, za nejzávažnější je třeba považovat následující.

- Strboul; je vyvolán tvorbou spirál a dalším vzájemným proplétáním kořenů. Jeho vznikem dochází nejenom k narušení přirozené architektoniky, ale dalším tloušťnutím kořenů i k jejich zaškrpcování, čímž může být narušena i výživa stromu; kořenový systém je i výrazně napadán parazitickými houbami.
- Absence kůlu nebo panoh u dřevin s kůlovým, panohovitým nebo všestranně rozvinutým kořenovým systémem. Jejich absencí je výrazně narušena přirozená architektonika, výživa a mechanická stabilita stromu.
- Nepravidelné rozložení horizontálních kořenů v kruhové síti. Extrémním případem této odchylky jsou až jednostranné formy kořenového systému.

I když výše uvedené odchylky se mohou vyskytovat jednotlivě (samostatně), často se stává, že na jednom kořenovém systému lze zaznamenat všechny tři současně.

Deformace kořenového systému mohou být vyvolány celou řadou faktorů. Mohou vznikat při pěstování sadebního materiálu, při výsadbě, ale také až dalším růstem kořenů po relativně zdařilé výsadbě.

Při pěstování sadebního materiálu v lesních školkách mohou být deformace vyvolány zejména:

- nevhodnými a nehomogenními fyzikálními a chemickými vlastnostmi půd ve školce včetně zásyvky (povrchové a nepravidelně rozložené kořeny, deformace v oblasti kořenového krčku),
- nesprávným školkováním (strboul, nepravidelně rozložené kořeny, absence kůlu)
- špatnou přesadbou do obalu (strboul, absence kůlu),

- nevhodným hnojením (velikost kořenového systému není adekvátní velikosti nadzemní části),
- výsevem semen s nepřiměřeně dlouhým klíčkem (deformace v oblasti kořenového krčku),
- nedodržením technologie při pěstování krytokořenného sadebního materiálu (všechny deformace).

Při nesprávné výsadbě prostokořenného sadebního materiálu dochází k nejzávažnějším deformacím kořenového systému:

- tvorba strboulu - spirálovitým otočením rostliny po umístění do malé jamky nebo štěrbin (kořenový systém „se musí“ směstnat do malého prostoru), stěny jamky nebo štěrbin jsou ohlazené (kořen neproroste ohlazenou stěnou),
- absence kůlu, nepravidelné rozložení kořenových větví - délka vysazovaného kořenového systému je větší než velikost použité jamky nebo štěrbin,
- nepravidelné rozložení kořenového systému – kořenový systém není uložen do přirozené polohy, před sadbou je odstraněna jednostranně část kořenového systému, zejména jemných kořenů, při ruční štěrbinové sadbě dochází k velkému zhutnění při zatahování štěrbin.

Nejnebezpečnější je tvorba strboulu způsobená otočením rostliny v otvoru v půdě a neumístění kůlu (panoh) do pozitivně geotropického směru růstu. Je-li kůl stočen do horizontálního směru (nebo dokonce do negativně geotropického směru růstu), rostlina nevytvoří pozitivně geotropicky rostoucí kořeny a většina povrchových kořenů se tvoří pouze ve směru stočení kúlového kořene.

Krytokořenný sadební materiál by měl být vysazován jamkovou sadbou a povrch kořenového balu by měl být překryt minimálně 2 cm zeminy. Výsadba pomocí sázecích rour a tvarovaných dutých rýčů sice přináší významné zrychlení práce, ale mimo vážných deformací kořenového systému může vyvolat i stagnaci růstu a úhyn vysázených rostlin:

- při násilném umístěním kořenového balu do vytvořeného otvoru dochází k deformaci kořenového balu a ve spodní části otvoru často vzniká vzduchová kapsa,
- ohlazením stěn otvoru,
- nepřekrytím povrchu kořenového balu dochází k jeho vysychání (rašelina vysychá rychleji než okolní půda), nebo jsou kořenové baly „vytaženy“ ze země při vymrzání a nejsou vytvořeny předpoklady pro tvorbu adventivních kořenů.

I při pečlivé práci může k nejzávažnějším deformacím kořenového systému dojít až po výsadbě. Jde zejména o tyto aspekty:

- Nerespektování stanovištních podmínek a druhu vysazované dřeviny. Přirozená architektura kořenového systému většiny druhů našich dřevin není geneticky fixována, ale jeho tvar je modifikován podmínkami stanoviště. Narazí-li kořen na nepropustnou půdní vrstvu, vodu nebo vrstvu s výraznou chemickou změnou, stáčí se do horizontálního směru. Proto i borovice, jedle, modřín, buk, jasan aj. vytváří naprosto povrchový kořenový systém s nepravidelně rozloženými horizontálními kořeny (dokladovat to lze celou řadou plošných vývratů těchto dřevin po větrných kalamitách).
- Nevhodná příprava stanoviště. Kořenový systém smrku ztepilého roste pouze v humusových horizontech. Jsou-li při výsadbě humusové horizonty strženy a smrk je vysazován do minerální půdy, všechny kořeny se natočí směrem k nejbližším humusovým horizontům Nevhodné startovací a udržovací hnojení. Je-li startovací hnojení realizováno malým množstvím tablet (bodového zdroje živin), kořeny se stočí

k těmto tabletám. Je-li hnojení realizováno pouze ploškově v blízkosti rostliny, kořeny neprorůstají z luxusně vyhnojené oblasti.

- Velký rozdíl v chemickém složení kořenového balu krytokořenného sadebního materiálu a okolní půdy. Kořenový systém neprorůstá z balu a v jeho malém prostoru se neustále stáčí.
- Výsadba krytokořenného sadebního materiálu v obalech umožňujících prorůstání kořenů na suchá stanoviště. Obal se v takové půdě nerozkládá a stává se pro kořeny neprostupným.

Jelikož deformace kořenového systému nejsou po výsadbě vidět, vzniká otázka, zda lze na deformace usuzovat podle růstové reakce nadzemní části stromu krátce po výsadbě. Odpověď zní jednoznačně - nelze. Je-li sadební materiál při výsadbě pouze deformován a není-li jinak oslaben, v normálních stanovištních podmínkách dobře odrůstá, byť šok z přesazení může trvat déle. Záleží na velikosti kořenového systému vysazovaných rostlin a lze dokonce říci, že v prvních vývojových fázích přirůstá takový materiál rychleji než materiál s nedeformovaným kořenovým systémem. Trvají-li příznivé podmínky i nadále, strom normálně přirůstá, i když jeho kořenový systém je nejen deformovaný, ale vzhledem k objemu (velikosti) nadzemní části i podstatně menší, než je kořenový systém nedeformovaný. Dojde-li však k odchýlení stanovištních podmínek a vitality stromu od normálního stavu - imise, sucho, mráz, defoliace, dlouhodobé přemokření půdního profilu apod. - malý kořenový systém (na rozdíl od normálně vyvinutého kořenového systému) nestačí zajistit všechny funkce, strom ztrácí vitalitu a odumírá. Celý tento proces je umocňován tím, že většina našich dřevin je povinně mykorhizních a malý kořenový systém má i menší mykorhizu. Deformace kořenů je nenormální stav a i když se to nemusí vizuálně projevit na růstu nadzemní části, strom je již oslaben. Většina stromů s deformovaným kořenovým systémem je proto napadena parazitickými houbami, zejména václavkou, outkovkou a kořenovníkem, které při dalším oslabení stromu vykonají své. Stromy s deformovaným kořenovým systémem jsou častěji napadeny i hmyzími škůdci.

I odborná veřejnost si často myslí, že má-li strom deformovaný kořenový systém, v krátké době po výsadbě vytvoří kořenový systém nový - normální. Tato hypotéza byla ještě před několika lety tradována i na lesnických školách. Skutečnost je však jiná. Strom dovede tvořit pouze nové adventivní kořeny. Tyto kořeny se však převážně tvoří na nadzemní části osy, tzn. nad kořenovým krčkem, ale až po jeho zahrnutí opadem nebo rozkládající se buřeni. U většiny dřevin se adventivní kořeny ve větším měřítku tvoří v cca 30 a 70 letech věku. Má-li rostlina při výsadbě zahrnutý kořenový krček, jsou vytvořeny podmínky pro tvorbu adventivních kořenů podstatně dříve. Do 30 let věku stromu jsou však všechny nově vytvořené adventivní kořeny pouze povrchové (horizontální), zcela minimálně se tvoří pozitivně geotropicky rostoucí kotvy, šikmé kotevní kořeny nebo panohy, tzn. vytváří se pouze povrchový kořenový systém; oproti „normálním“ horizontálním kořenům jsou však adventivní horizontální kořeny vždy slabší a kratší. Tvorba adventivních horizontálních kořenů tedy sice částečně kořenový systém zlepšuje, ale s výjimkou smrku důsledně neřeší ani mechanickou stabilitu, ani velikost kořenového systému. Dále si je třeba uvědomit, že jsou pouze čtyři dřeviny, které tvoří adventivní kořeny bez větších problémů, a to smrk, modřín, olše a douglaska. Ostatní dřeviny tvoří adventivní kořeny pomaleji a ne v tak velkém měřítku.

Stále platí stará pravda, že ujmavost rostlin se výrazně zlepšuje v tom případě, když je při výsadbě ke kořenovému systému přidána organická hmota (humus). Biologický princip tkví v tom, že organická hmota výrazně stimuluje tvorbu kořenů. Přidání organické hmoty sice neodstraní deformace, ale kořenový systém se stává větším a mohutnějším.

Vliv kvality užitého sadebního materiálu na následnou kvalitu a stabilitu založených porostů

Nevhodná kvalita užitého sadebního materiálu je nejčastější příčinou velkých ztrát do doby zajištění kultur (porostů). Kvalita užitého sadebního materiálu má však nepoměrně delší dobu své odezvy – výrazně ovlivňuje i další kvalitu založených porostů, byť v době zajištění se porost jeví i jako bezproblémový.

Kvalita sadebního materiálu je komplex vzájemně podmíněných parametrů a znaků. V základních aspektech je dělena na kvalitu genetickou, morfologickou a fyziologickou. I když s výjimkou kvality fyziologické je u lesních dřevin exaktně určena (limitována) legislativou, více než 40 % v současné době užitého sadebního materiálu v lesnictví této legislativě neodpovídá. Budeme-li konfrontovat užitý sadební materiál pro výsadbu a obnovu mimo lesní půdu ve světle lesnické legislativy, musíme konstatovat, že téměř žádný sadební materiál těmto kritériím neodpovídá.

Příklady jsou koncipovány tak, aby ukázaly, jak jednotlivé legislativou limitované parametry a znaky sadebního materiálu ovlivňují kvalitu porostů. Všechna ověřování byla realizována na poloprovozních a výzkumných plochách, které byly vždy založeny tak, aby užitý sadební materiál nesplňoval parametry kvality pouze v jednom parametru; všechny ostatní parametry a znaky byly v optimu, rovněž kvalita obnovních prací byla pečlivá.

Vliv deformace hlavního kořene (tab. 2)

Legislativa připouští užití sadebního materiálu s ne zcela pozitivně geotropicky rostoucím hlavním kořenem (nemusí jít vždy o *radix primaria*) za předpokladu, že jeho osa svírá s povrchem půdy úhel větší než 45 stupňů. Je-li tento úhel menší (deformace hlavního kořene do tvaru písmene L a J), sadební materiál z hlediska délky nadzemní části a ztrát odrůstá stejně jako sadební materiál standardní, významné rozdíly jsou však v růstu kořenového systému. Takovýto sadební materiál vytváří pouze povrchový, jednostranný (většina kořenů je stočena ve směru deformace hlavního kořene) a velmi slabý kořenový systém. Tím jsou vytvořeny všechny předpoklady pro mechanickou nestabilitu a ztrátu vitality stromu.

Vliv deformace kořenového systému do strboulu (tab. 3)

Legislativa sice nepřipouští užití sadebního materiálu s deformovaným kořenovým systémem do strboulu, v praxi se však často takovýto sadební materiál užívá. I nejméně závažnější deformace kořenového systému do strboulu nevyvolávají ztráty a neretardují růst nadzemní části stromu. Výrazné rozdíly jsou však v růstu kořenového systému. Takovýto sadební materiál vytváří pouze povrchový, nepravidelně rozložený a velmi slabý kořenový systém. Tím jsou vytvořeny předpoklady pro mechanickou nestabilitu a ztrátu vitality stromu.

Vliv nevhodného poměru objemu nadzemní části k objemu kořenového systému (tab. 4)

Je-li při výsadbě použit sadební materiál, který nesplňuje parametry legislativy v poměru objemu kořenového systému k objemu nadzemní části, takovýto sadební materiál velmi špatně odrůstá. Má velké ztráty a přežívající stromy výrazně zaostávají v růstu nadzemní části za stromy standardně založenými. Negativně reaguje i jejich kořenový systém; nemění se sice hloubka prokořenění, ale jejich kořenový systém je malý. Tím jsou vytvořeny předpoklady pro mechanickou nestabilitu a ztrátu vitality stromů.

Vliv zaschnutí kořenového systému (tab. 5)

Je-li při výsadbě použit sadební materiál, který ztratil větší množství vody (vodu ztrácí zejména kořenový systém – 3x rychleji než nadzemní část), jeho reakce je stejná jako při užití sadebního materiálu s nevhodným poměrem objemu nadzemní části k objemu kořenového

systemu. Má velké ztráty, zaostává v růstu nadzemní části a má slabý kořenový systém. Tím jsou vytvořeny předpoklady pro mechanickou nestabilitu a ztrátu vitality stromu.

Vliv nevhodného původu reprodukčního materiálu (tab. 6)

Informací o porostech založených reprodukčním materiálem nevhodného genetického původu je celá řada. Jednoznačně z nich vyplývá, že když tyto porosty vůbec odrůstají, jsou málo kvalitní, málo vitální a obecně velmi labilní. Všechny tyto informace potvrzuje i šetření prezentované v tabulce 6.

Vliv kvality obnovních prací na kvalitu (stabilitu) porostů smrku zteplého

Nevhodná kvalita zalesňovacích prací (nedodržení technologických postupů) ovlivňuje deformace kořenového systému a následnou kvalitu porostů stejnou měrou jako užití nekvalitního sadebního materiálu.

Vliv redukce (vliv velikosti) kořenového systému (tab. 7)

Na stanovištích HS 57, kde smrk vytváří pouze povrchový kořenový systém, byla ručně (odseknutím) redukována část kořenového systému stromů a následně zjišťována jejich reakce. Čím je strom mladší, tím větší redukci kořenového systému snese. V normálních podmínkách je kořenový systém „předimenzován“, aby byl schopen reagovat na výskyt eventuálních stresů. V mládí je tato schopnost stromu vždy podstatně větší než v jeho vyšším věku. Na stres strom reaguje nejdříve změnou přírůstu a teprve následně změnou barvy asimilačního aparátu.

Vliv deformace kořenového systému a přidání organické hmoty při sadbě (tab.8)

Při výsadbě by nikdy neměl být kořenový systém deformován a měla by být k němu vždy dodána organická hmota. Organická hmota je „zlatý prášek“, který výrazně stimuluje nejen velikost kořenového systému, ale následně i výškový přírůst, vitalitu stromu a ztráty po výsadbě. Přidaná organická hmota výrazně eliminuje i negativní vliv deformací kořenového systému. (neodstraňuje deformace, ale stimuluje tvorbu většího kořenového systému). deformace do strboulu je vždy nebezpečnější než deformace do písmene L (jednostranné formy kořenového systému).

Vliv utužení půdy a utopení rostlin při jamkové sadbě (tab. 9)

Při standardní jamkové sadbě by měla být rostlina umístěna 2 cm nad kořenový krček a půda zhutněna tak, že stopa dospělého člověka je cca 1 cm hluboká. Nižší umístění rostlin (kořenový krček zahrnut cca 8 až 10 cm půdy – jejich utopení), stejně tak i jejich velké utužení, vyvolávají nedostatek kyslíku pro zdárný vývoj rostliny. Utopení i utužení vyvolává shodné negativní reakce – inhibiční vývin kořenového systému i přírůstu nadzemní části, velké ztráty po sadbě a rychlé napadení kořenového systému parazitickými houbami. Souběžné utopení a utužení rostlin negativní účinky dále prohlubují.

Vliv utužení půdy a utopení rostlin při šterbinové sadbě (tab. 10)

I při standardní šterbinové sadbě by měla být rostlina umístěna 2 cm pod kořenový krček a půda zhutněna tak, že stopa dospělého člověka je cca 1 cm hluboká. I standardní šterbinová sadba dřevin s povrchovým kořenovým systémem vyvolává oproti standardní sadbě jamkové negativní reakce stromu. Tyto negativní reakce se dále prohlubují jejich utopením nebo utužením. Po souběžném utopení a utužení jsou reakce stromu a z toho plynoucí jeho predispozice pro další zdárný růst minimální.

Vliv různých způsobů sadby krytokořenného sadebního materiálu (tab. 11)

Biologicky nejvýhodnější sadbou krytokořenného sadebního materiálu je sadba jamková. Je-li krytokořenný sadební materiál správně vypěstovaný, jeho reakce po jamkové sadbě je téměř stejná jako reakce stejně vysokých prostokořenných rostlin. Sadba krytokořenného sadebního materiálu pomocí sázecích rour, dutých rýčů nebo trnů (byť je ekonomicky výhodnější) vyvolává tak velké negativní reakce stromů, že jeho predispozice pro další zdárný růst jsou výrazně omezeny.

Velikost kořenového systému z umělé obnovy sadbou a z přirozeného zmlazení (tab. 12)

Zejména v laické veřejnosti je zafixováno, že stromy z přirozené obnovy mají lepší predispozice pro svůj další růst než stromy z obnovy umělé (údajně mají větší a více rozvinutý kořenový systém). Je-li umělá obnova realizována pečlivě, stromy z umělé obnovy mají podstatně větší kořenový systém než stejně vysoké stromy z obnovy přirozené. Stromy z umělé obnovy mají tudíž větší predispozice pro svůj další zdárný vývoj.

Vliv fixace stromů kůly na vývin kořenového systému (tab. 13)

V příspěvku jsou uvedeny příklady vývinu kořenového systému a jeho vlivu na stabilitu a vitalitu dřevin v lesních porostech. Řešitelský kolektiv sledoval stejnou problematiku i u dřevin vysázených v intravilánech – u chřadnoucích javorů, lip, lísek a jasanů. Příčina chřadnutí byla shodná jako u dřevin v lesních porostech – malý a deformovaný kořenový systém. Deformace kořenového systému chřadnoucích i zdravých stromů v intravilánech byla stoprocentní. Přesto na rozdíl od výsadeb stromů v lesních porostech není chřadnutí stromů v intravilánech tak zjevné, důvodem je skutečnost, že při prvních náznacích ztráty vitality jsou stromy zalévány a přihnojovány, tudíž je eliminována skutečnost, že jejich kořenový systém je malý. Tvorbu malého kořenového systému však vyvolává i dlouhodobá fixace stromu vysokými kůly – strom není nucen vyvinout kořenový systém, který by zajistil jeho mechanickou stabilitu (u lesních dřevin stejnou reakci vyvolává dlouhodobé umístění stromů v plastových obalech).

Tab.1: Stav kořenového systému zdravých a chřadnoucích (poškozených) stromů v různých oblastech ČR (hodnoceny vedle sebe rostoucí stejně vysoké zdravé a chřadnoucí – poškozené - stromy, kontrolou stromy zdravé, délka nadzemní části 9 až 10 m)

Dřevina	Lokalita, SLT, stav stromů	Hloubka prokořenění (cm)	Deformace kořenů (v % stromů)	Hniloby kořenů (v % stromů)	I _p (v % kontroly)
Modřín	Krušné hory, 7K, zdravý	72	0	0	100
	Krušné hory, 7K, vyvrácený	18	100	43	67
Smrk ztepilý	Českomoravská v., 6K, zdravý	82	0	0	100
	Českomoravská v., 6K, chřadnoucí	76	0	0	47
	Orlické hory, 7K, zdravý	21	16	0	100
	Orlické hory, 7K, chřadnoucí	20	67	50	42
	Jizerské hory, 7M, zdravý	51	12	0	100
	Jizerské hory, 7M, chřadnoucí	25	100	50	51
	Krkonoše, 6K, zdravý	19	0	10	100
	Krkonoše, 6K, chřadnoucí	19	100	100	58
	Beskydy, 4S, zdravý	56	0	37	100
	Beskydy, 4S, chřadnoucí	52	100	100	65
Smrk pichlavý	Jizerské hory, 7M, zdravý	53	100	100	100
	Jizerské hory, 7M, chřadnoucí	27	38	51	48
Smrk ztepilý	Chalkograf, 4K, zdravý	48	0	0	100
	Chalkograf, 4K, napadený	26	100	100	43

Tab. 2: Vliv deformace hlavního kořene sadebního materiálu na kvalitu porostu (HS 45, BK 2 + 0, DB 2 + 0, standardní i nestandardní sadební materiál měl shodnou délku nadz. části, hodnoceno 12 let po sadbě)

Sadební materiál (stupeň) ⁺	Doba pro zajištění (roky)	Ztráty (v % stromů)	Výskyt hlavního kořene nebo panoh (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost Indexu p (v % kontroly)	Délka nadz. části (v % kontroly)
BK – 90 (kontrola)	4	8	100	67	100	100
BK – 50	4	11	100	71	91	104
BK – 30	4	10	22	25	53	104
DB – 90 (kontrola)	5	9	100	94	100	100
DB – 50	5	7	96	87	107	97
DB – 30	5	6	37	37	48	101

Pozn.: ⁺stupeň – úhel, který svírá osa hlavního kořene s povrchem půdy

Tab. 3: Vliv deformace kořenového systému do strboulu na kvalitu porostu (HS 45, SM fk2, BK fk1, standardní i nestandardní sadební materiál měl shodnou délku nadzemní části, hodnoceno 12 let po sadbě)

Sadební materiál (% strboulů)	Doba pro zajištění (roky)	Ztráty (v % stromů)	Výskyt hlavního kořene nebo panoh (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost Indexu p (v % kontroly)	Délka nadz. části (v % kontroly)
SM – 0 (kontrola)	3	5	0	14	100	100
SM - 100	3	8	0	15	63	95
BK – 0 (kontrola)	3	8	100	73	100	100
BK - 100	3	7	0	21	42	101

Tab. 4: Vliv nevhodného poměru objemu nadzemní části (NČ) k objemu kořenového systému (KS) sadebního materiálu na kvalitu porostu (HS 53, SM 2 + 2, BK 1 – 1, standardní i nestandardní sadební materiál měl shodnou délku nadzemní části, hodnoceno 12 let po sadbě)

Sadební materiál (poměr NČ : KS)	Doba pro zajištění (roky)	Ztráty (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost Indexu p (v % kontroly)	Délka nadz. části (v % kontroly)
SM 3 : 1 (kontrola)	4	10	18	100	100
SM 4 : 1	6	39	20	67	81
BK 1 : 1 (kontrola)	4	8	88	100	100
BK 2 : 1	7	42	82	71	73

Tab. 5: Vliv zaschnutí sadebního materiálu na kvalitu porostu (HS 53, SM 2 + 2, BK 1 – 1, zaschlý i nezaschlý sadební materiál měl shodnou délku nadz. části, zaschlý sadební materiál ztratil 10 % celkové hmotnosti, hodnoceno 12 let po sadbě)

Sadební materiál (v % zaschlých rostlin)	Doba pro zajištění (roky)	Ztráty (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost Indexu p (v % kontroly)	Délka nadz. části (v % kontroly)
SM - 0 (kontrola)	4	10	18	100	100
SM – 100	6	51	17	49	53
BK – 0 (kontrola)	4	8	88	100	100
BK – 100	7	55	88	53	76

Tab. 6: Vliv nevhodného původu reprodukčního materiálu na kvalitu porostu (SLT 7K, k výsadbě použit SM 2 + 2 původem z 5. a 7. LVS, hodnoceno 17 let po sadbě)

Původ reprodukčního materiálu	Doba pro zajištění (roky)	Ztráty (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost Indexu p (v % kontroly)	Délka nadz. části (v % kontroly)
7. LVS (kontrola)	6	13	54	100	100
5. LVS	9	47	27	74	63

Tab. 7: Vliv redukce kořenového systému na snížení přírůstu (označeno +) a změnu barvy asimilačního aparátu (označeno ⊕), HS 57

Věk	Odstraněno kořenů (v % celého kořenového systému)	Roky po redukci				
		1.	2.	3.	4.	5.
10	10					
	20					
	30					+
	50				+	⊕
20	10					
	20					
	30				+	+
	50			+	⊕	⊕
30	10					
	20					
	30			+	+	⊕
	50		+	⊕	⊕	⊕
60	10					
	20				+	+
	30			+	⊕	⊕
	50	+	⊕	⊕	⊕	⊕

Tab. 8: Vliv deformace kořenového systému při sadbě a přidání organické hmoty při sadbě na růst a vitalitu (HS 43, ruční jamková sadba, SM 2+2)

Způsob sadby	Roky po sadbě									
	5 let					10 let				
	Ip (%)	Délka NČ (%)	Výskyt václavky (v % stromů)	Ztráty (v % stromů)	Vitalita (%)	Ip (%)	Délka NČ (%)	Výskyt václavky (v % stromů)	Ztráty (v % stromů)	Vitalita (%)
Bez přidání organické hmoty										
Standard	100	100	0	0	100	100	100	0	2	100
Strboul	53	78	15	0	67	52	73	74	28	51
Deformace L	71	93	12	0	71	68	85	48	17	68
S přidáním organické hmoty										
Standard	158	136	0	1	100	157	147	0	3	100
Strboul	72	106	0	0	92	81	109	28	9	93
Deformace L	92	109	0	2	94	92	114	18	9	91

Pozn.: hodnoty Ip a délka NČ jsou vyjádřeny relativně (100 % - standard – správně realizovaná sadba bez přidání organické hmoty).

Tab. 9: Vliv utužení půdy a utopení rostliny při jamkové sadbě na růst a vitalitu 8 let po sadbě (HS 43, ruční jamková sadba, bez přidání organické hmoty, bez deformace kořenového systému, SM 2+2)

Způsob sadby	Ip (%)	Délka nadz. části (%)	Výskyt václavky (v % stromů)	Ztráty (v % stromů)	Vitalita (%)
Jamková • standard	100	100	0	1	100
Jamková • utopená	57	84	46	24	61
• utužená	68	72	19	21	62
• utužená + utopená	44	56	53	38	43

Pozn.: Hodnoty Ip a délka nadzemní části jsou vyjádřeny relativně (100% - standard - správně umístěná a utužená rostlina)

Tab. 10: Vliv utužení půdy a utopení rostliny při štěrbínové sadbě na růst a vitalitu 8 let po sadbě (HS 43, ruční štěrbínová sadba, bez přidání organické hmoty, bez deformace kořenového systému, SM f1+2)

Způsob sadby	Ip (%)	Délka nadz. části (%)	Výskyt václavky (v % stromů)	Ztráty (v % stromů)	Vitalita (%)
Jamková	100	100	0	2	96
• standard					
Štěrbínová	73	88	2	3	94
• standard					
• utužená	51	62	18	26	65
• utužená + utopená	36	54	29	41	43

Pozn.: Hodnoty Ip a délka nadzemní části jsou vyjádřeny relativně (100% - standard - správně umístěná a utužená rostlina)

Tab. 11: Vliv různých způsobů sadby krytokořenného sadebního materiálu na růst a vitalitu 8 let po sadbě (HS 43, SM fk 0,5+k1; kontrola ruční jamková sadba prostokořenných sazenic stejné výšky, SM f1+2)

Způsob sadby	Ip (%)	Délka nadz. části (%)	Výskyt václavky (v % stromů)	Ztráty (v % stromů)	Vitalita (%)
Kontrola	100	100	0	3	100
Jamková	89	108	0	3	100
Sázecí roura (+)	52	81	41	21	58
Sázecí trn (+)	43	62	36	29	49

Pozn.: + bez překrytí kořenového balu

Hodnoty Ip a délka nadzemní části jsou vyjádřeny relativně (100% - jamková sadba prostokořenných sazenic)

Tab. 12: Velikost kořenového systému (v % Ip) neredukovaného přirozeného zmlazení (HS 45, analyzovány úrovně stromy, kontrolou stejně vysoké stromy založené sadbou)

Délka nadzemní části (cm)	Ip (%)	
	Přirozené zmlazení	Umělá obnova
60	100	165
100	100	194
200	100	246

Pozn.: Kontrola -100 % - hodnoty Ip přirozeného zmlazení u příslušné délky nadzemní části

Tab. 13: Javor klen – vliv fixace kůly na vývin kořenového systému (stromy fixovány 3 kůly)

Způsob fixace	Ip (v %)	
	5 let po sadbě	10 let po sadbě
Bez kůly – kontrola	100	136
Kůly o délce 2,0 m	73	51
Kůly o délce 1,2 m (odstraněny 5 let po výsadbě)	88	124

Pozn.: Kontrola – 100 % - hodnoty Ip bez kůly 5 let po sadbě

Závěr

I když by se mohlo zdát, že deformace kořenového systému lesních dřevin jsou spíše jevem výjimečným, opak je pravdou. Řešitelský kolektiv za posledních deset let analyzoval architekturu kořenového systému 5 800 ručně vykopaných stromů ve stáří 10 - 80 let; 4900 z nich mělo nejzávažnější deformace kořenového systému a téměř všechny deformované kořenové systémy byly napadeny agresivními parazitickými houbami - nejčastěji václavkou. U porostů založených krytokořeným sadebním materiálem činil podíl deformovaných kořenových systémů až 85 %. Deformace kořenového systému však nejdou pouze na vrub lesníků předcházející generace. Řešitelský tým za posledních šest let analyzoval architekturu kořenového systému 91 porostů ve stáří 4 až 6 let po výsadbě; celkem bylo vyzvednuto 2 700 stromů a 2 100 z nich mělo nejzávažnější deformace kořenového systému. I když u některých porostů nebyly zjištěny deformace téměř žádné, nebyly výjimkou např. kultury dubu po ruční šterbinové sadbě s 80% deformací nebo zajištěné porosty borovice po mechanizované výsadbě se 100% deformací. Největší podíl deformovaných kořenových systémů byl zjištěn po výsadbě krytokořeného sadebního materiálu a ruční šterbinové výsadbě prostokořeného sadebního materiálu. Významné rozdíly však byly zjištěny mezi jednotlivými lesníky; na některých úsecích deformace nepřesahovaly 20 %, na jiných byly 100 % (stejnou tendenci lze vyvodit u analýz porostů starších deseti let). Deformace kořenového systému jsou velmi vážným problémem, který může ovlivnit vitalitu a stabilitu porostů v kterékoliv jejich vývojové fázi. K deformacím proto nelze přistupovat tak, že „co oči nevidí - srdce nebolí“. Deformace kořenového systému jednoznačně prokazují, že kultury s deformovaným kořenovým systémem nesplňují podmínky zajištěného porostu ve smyslu platné legislativy. Kontrola rozložení a stavu kořenového systému by se proto měla stát naprosto rovnocenným kritériem hodnocení zajištěnosti kultur. Kontrola rozložení a stavu kořenového systému by se měla stát i kritériem přejímání zalesňovacích prací. Minimalizovat chřadnutí porostů lze pouze změnou dřevinné skladby nebo zvýšením vitality stromu. Vitalitu lze zvýšit pouze tak, že budeme pěstovat stromy s velkým kořenovým systémem.

Způsob zalesňování a deformace kořenového systému hlavních lesních dřevin

Oldřich Mauer, Eva Palátová

V posledním období se v lesnické praxi u nás i v zahraničí setkáváme s mechanickou nestabilitou některých porostů v první a druhé věkové třídě. Příčinou tohoto nepříznivého stavu jsou deformace kořenového systému vyvolané nevhodným pěstováním sadebního materiálu nebo nesprávným způsobem výsadby. Cílem práce je seznámit s výsledky hodnocení více než 150 porostů založených ručně různým typem krytokořenného sadebního materiálu nebo prostokořenným sadebním materiálem a mechanizovaně (RZS – rýhovým zalesňovacím strojem) prostokořenným sadebním materiálem.

V každém analyzovaném porostu bylo odebráno a měřeno 30 stromů. Na každém kořenovém systému bylo sledováno 28 parametrů (blíže viz MAUER 1989). Ve výsledných tabulkách tohoto příspěvku je kvalita kořenového systému presentována pouze dvěma komplexními parametry, tj. výskytem jakékoliv odchylky od přirozené architektiky kořenového systému a výskytem nejzávažnějších deformací kořenového systému, jakými jsou u dřevin s povrchovým kořenovým systémem strboul (propletení kořenů zcela narušující architektiku, které může vzájemným zaškrcováním kořenů vést až k poruchám ve výživě) a u dřevin s kúlovým kořenovým systémem absence kúlového kořene nebo panoh. U krytokořenného sadebního materiálu byly analyzovány typy obalů, které mohou rozdílným způsobem deformovat kořenový systém (Nisulova metoda – zploštění do vertikální roviny; RCK, Fortex – propustné obaly, které by neměly deformovat kořenový systém; PE sáčky – nepropustný obal, který může vyvolat nejzávažnější deformace kořenového systému). U smrku a borovice byly do analýz zahrnuty i porosty vzniklé přirozeným zmlazením.

Smrk ztepilý (tab. 1)

Ve všech případech byly zjištěny deformace kořenového systému, a to nejen odchylky od přirozené architektiky (tzn. nerovnoměrné vykrytí půdního prostoru kořeny), ale s výjimkou Nosálovy metody a náletu i výskyt strboulu. S rostoucím věkem porostů deformací “ubývá” a po patnáctém roce zcela mizí. Úbytek deformací není způsoben vyrovnáváním růstu deformovaných kořenů, deformace je nevratná (MAUER, PALÁTOVÁ 1992), ale velkou schopností této dřeviny je tvořit adventivní (náhradní) kořeny.

Po patnáctém roce smrk vytváří zcela nový kořenový systém. Odchylky v růstu kořenového systému náletu odpovídajícího věku jsou způsobeny nemožností tvorby adventivních kořenů (kořenový krček je stále na úrovni půdního povrchu; rostliny při umělé obnově jsou vždy více nebo méně “utopeny”). V dalších letech se však kořenový systém náletu rychle vyvíjí a celkově je kvalitnější než kořenový systém z umělé obnovy (MAUER, PALÁTOVÁ 1996).

Borovice lesní (tab. 2), buk lesní (tab. 3), modřín opadavý (tab. 4)

Reakce dřevin s kúlovým nebo srdčitým kořenovým systémem byla obdobná. Tento stav je na rozdíl od smrku způsoben velmi omezenou schopností uvedených dřevin tvořit náhradní kořeny.

V čem tkví příčiny zjištěných deformací kořenového systému:

- Nisulova technologie – zploštění do vertikální roviny je této technologii vlastní, strboul je způsoben špatným vkládáním rostlin do obalu, absence křivého kořene je zapříčiněna malou výškou balu a jeho umístěním na pevné neprostupné podloží,

Tab. 1: Smrk ztepilý – deformace kořenového systému a jejich vývoj (v % stromů)

Věk porostu	Nisula	RCK	PE sáčky	RZS	Ruční výsadba	Nálet
6 - 7	29/0	15/15	100/100	55/9	37/12	nezj.
8 - 10	32/0	12/11	62/62	14/5	22/12	18/0
16 - 20	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	9/0

Pozn. V čitateli zlomku je uveden výskyt jakékoliv odchylky od přirozené architektiky, ve jmenovateli zlomku je uveden výskyt strboulu

Tab. 2: Borovice lesní – deformace kořenového systému a jejich vývoj (v % stromů)

Věk porostu	RCK	PE sáčky	RZS	Ruční výsadba	Nálet
4 - 6	19/9	72/72	64/64	12/12	0/0
8 - 10	11/11	68/68	72/72	8/8	0/0
12 - 18	nezj.	54/54	49/49	14/14	0/0

Pozn. Viz tab. 4

Tab. 3: Buk lesní – deformace kořenového systému a jejich vývoj (v % stromů)

Věk porostu	Nisula	PE sáčky	RZS	Ruční výsadba
4 - 6	7/7	nezj.	28/28	17/17
8 - 10	7/7	37/37	21/21	15/15
12 - 18	5/5	49/49	18/18	11/11

Pozn. Viz tab. 4

Tab. 4: Modřín opadavý – deformace kořenového systému a jejich vývoj (v % stromů)

Věk porostu	Nisula	RCK	Fortex	RZS	Ruční výsadba
4 - 6	5/5	84/84	nezj.	nezj.	14/14
8 - 10	8/8	61/61	nezj.	37/37	12/12
12 - 18	4/4	47/47	83/83	nezj.	8/8

Pozn. V čitateli zlomku je uveden výskyt jakékoliv odchylky od přirozené architektiky, ve jmenovateli zlomku je absence křivého kořene nebo panoh

- RCK, Fortex – deformace do strboulu je vyvolána neprostupností obalu (nekvalitní materiál, vyschnutí obalu) nebo špatným osazováním obalu, absence křivého kořene je způsobena špatným osazováním, malou výškou obalu a jeho umístěním na neprostupném podloží,
- PE sáčky – jde o neprostupný obal; nepřiměřeně dlouhou dobu pěstování v obalu (nebo je-li obal malý) dochází k vytvoření strboulu nebo absenci křivého kořene, stejné deformace může způsobit i špatné osazování rostlin (kořenový systém je větší než obal),

- RZS – zploštění do vertikální roviny je technologií vlastní, strboul je způsoben výsadbou rostlin s neupraveným kořenovým systémem (rychlé vkládání velkého kořenového systému do úzké štěrbiny), absence křivého kořene je způsobena výsadbou rostlin s kořenovým systémem delším než je hloubka štěrbiny,
- ruční sadba – u smrku jsou deformace způsobeny nekvalitní jamkovou sadbou (kořenový systém je větší než jamka, kořeny nejsou rozloženy na “kopeček“ uvnitř jamky), při štěrbinové sadbě jsou příčiny obdobné jako u RZS,
- deformace kořenového systému může být způsobena již při pěstování rostlin ve školce (nevhodné školkování, podřezávání), výsadbou takových sazenic se mohou deformace dále prohlubovat.

Z uskutečněného šetření vyplývá, že porosty dřevin s křivým nebo srdčítým kořenovým systémem mohou být ve dvaceti letech mechanicky nestabilní. Deformace kořenového systému, které tuto nestabilitu způsobují, jsou prioritně vyvolány lidským faktorem (nevhodné způsoby pěstování sadebního materiálu, volba nesprávné velikosti obalu, špatná výsadba, nezpracovaná osádka RZS apod.). Výsledky šetření proto nelze chápat jako impuls k omezování výsadby krytokořenného sadebního materiálu nebo užití RZS (stejně vážně deformace způsobuje i špatná ruční sadba prostokořenných rostlin), ale jako zamyšlení a impuls k nutnému respektování biologických principů pěstování sadebního materiálu a jeho výsadby.

Seznam použité literatury:

- MAUER, O.: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.). Doktorská disertační práce, VŠZ Brno, 1989, 322 s.
- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: Vliv různých způsobů a typů sadby na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.). *Lesnictví – Forestry*, 38, 1992 (3 – 4), s. 193 – 203
- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: Morfogeneze kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) z přirozeného zmlazení do 30 let věku porostu. *Lesnictví – Forestry*, 40, 1996 (3), s. 166 – 128

Vývoj kořenového systému řízkovanců smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) do dvaceti pěti let po výsadbě

Oldřich Mauer, Eva Palátová

Vegetativní množení se v současné době stává alternativním způsobem reprodukce stále širšího spektra lesních dřevin. Má nezastupitelný význam při rozmnožování vyšlechtěného materiálu a jeho výhody se projevují zejména ve spojení se šlechtitelskými programy (Paule, 1987; Šindelář, 1987, 1992).

Úspěch klonového lesnictví závisí výrazně na růstových projevech vegetativně namnoženého sadebního materiálu po výsadbě. Selektované klony teoreticky skýtají potenciál vyššího genetického zisku, ale ten se může projevit jen za předpokladu, že způsoby množení a pěstování nebudou mít negativní vliv na růst rostlin po výsadbě.

Růstové projevy řízkovanců jsou podle Fostera et al. (1987) ovlivňovány přinejmenším čtyřmi základními faktory:

- genetickým potenciálem,
- stavem zralosti (dospělosti) donorové rostliny (ortetu),
- morfologií a funkcí regenerovaného kořenového systému,
- vitalitou řízkovanců.

Stav dospělosti donorové rostliny má vliv nejen na úspěch zakořenění, ale i na rychlost růstu a morfologii řízkovanců. Detailní analýzy růstu ramet v závislosti na stáří ortetu prokázaly, že výškový a tloušťkový růst řízkovanců klesl se stářím ortetu. V některých případech byli zahrnuti do srovnání i stejně staří a stejně pěstovaní jedinci generativního původu. Závěry však nejsou jednoznačné.

Kleinschmit, Schmidt (1977) zaznamenali u tříletých klonů smrku o 20 až 100 % větší výškový růst než u generativně vzniklých jedinců. Žďárská (1983) nezjistila, že by se růst autovegetativně rozmnožených smrků ze čtyř až šesti let starých ortelů 15 let po výsadbě lišili tvarem nebo vitalitou od jedinců semenného původu. V průběhu patnáctiletého sledování se projevil nejmarkantnější rozdíl ve výšce ve prospěch řízkovanců pět let po výsadbě. Později se difference snižovala a růst v 15 letech byl téměř stejný. Hodnocení 20 let po výsadbě (Žďárská, 1988; Stephan, Žďárská, 1990) potvrdilo předchozí výsledek. Hartig (1986) zjistil, že osm let po výsadbě si řízkovance udržovaly výškový náskok 0,5 – 1,0 m proti stromům vzniklým ze semen. Také srovnávací analýza vegetativně a generativně množených smrků osm let po výsadbě publikovaná Gemmelem et al. (1991) potvrdila vyšší procento přežití a lepší růst řízkovanců. Podobné výsledky zaznamenali autoři i při hodnocení komerčních výsadeb na 27 lokalitách Švédska. Podle autorů se v osmém roce vyrovnaly délky terminálního přírůstu. Naopak Roulund et al. (1985) informovali o zvýšení růstové dynamiky s věkem řízkovanců.

O vývoji kořenových systémů řízkovanců dřevin po výsadbě je k dispozici nesrovnatelně méně informací. Vzhledem k možnému poškození větrem a sněhem je však zapotřebí se tímto problémem zabývat a zjistit, zda se kořeny řízkovanců nebudou vyvíjet po výsadbě tak, že by mohly ohrozit dlouhodobou stabilitu porostů založených tímto typem sadebního materiálu.

V literatuře se udává, že adventivně vzniklý kořenový systém je horší než kořenový systém generativního původu. Podle některých autorů je adventivní kořenový systém řízkovanců nebo rostlin z explantátových kultur mělký, méně větvený a dokonce méně efektivní v příjmu živin než kořenový systém jedinců vzniklých ze semen (McKeand, Allen, 1984; Struve, 1982; Struve, McKeand, 1990). Adventivní kořeny, které se zakládají

v reprodukční fázi, tvoří hlavní kořeny budoucího kořenového systému. Počet hlavních kořenů je podle autorů Struve, Blasich (1982) tedy určován již v prvním roce rozmnožování.

Destruktivní analýza kořenových systémů smrku sitky tři roky po výsadbě, provedená Masonem et al. (1986) ukázala pouze neprůkazně vyšší sušinu kořenů řízkovanců proti stromům generativního původu. Autoři upozornili na nepravidelnou distribuci kořenů řízkovanců, která podle nich naznačuje, že řízkovance sitky by mohly vytvářet méně stabilní konfiguraci kořenů než běžný sadební materiál. V dostupné literatuře se nám nepodařilo získat žádné komplexnější údaje o vývoji kořenových systémů řízkovanců po významně delší době výsadby. Jedinou výjimku tvoří informace, které zveřejnil Baldwin, Mason (1986), kteří na malém souboru hodnotili kořenové systémy řízkovanců sitky ve stáří 28 let. Autoři konstatovali, že řízkovance vyvinuly normální kořenový systém. O tři roky později, tedy ve věku 31 let, bylo několik stromů vegetativního původu v důsledku větru vyvráceno, zatímco porosty semenného původu byly poškozeny pouze sporadicky.

Vzhledem k rostoucímu rozsahu využití vegetativně množeného smrku v naší republice je třeba vědět, jak se budou vyvíjet řízkovance po výsadbě a nevznikne-li u takto založených stromů riziko snížené mechanické stability. Cílem práce je rozšířit poznatky o růstu a vývoji řízkovanců smrku obecného po výsadbě se zaměřením na kořenový systém, který představuje dosud nejméně probádanou, ale současně nejproblematičtější část vegetativně množených rostlin.

Metody a použitý materiál

Testovanou dřevinou byl smrk obecný (*Picea abies* /L./ Karst.), který tvoří v současné době převážnou část provozně uplatňovaného vegetativně množeného sadebního materiálu.

Výběr analyzovaných porostů

Při sledování vývoje kořenového systému řízkovanců jsme se snažili zachytit pokud možno kompletní vývojové řady. Do analýzy jsme zahrnuli pouze ty porosty, které nebyly z více než 10 % vylepšovány. Porosty na extrémních stanovištích byly vylučovány. V bezprostřední blízkosti musel být stejně starý porost generativního původu (založený stejným typem sadby), který sloužil jako kontrola. Charakteristiky použitého sadebního materiálu a způsob založení porostů včetně údajů o ekotopu uvádí Mauer (1993). Celkem bylo analyzováno 34 porostů v ČR, SR a SRN. Soubory porostů jsou v tabulkách označovány kódem. První tři písmena jsou zkratky lesních závodů (ŠLP – ŠLP VŠZ Brno, HA – Harrachov, KO – ŠLP VŠZ Praha, VR – Vrchlabí, PR – Prešov, TO – Týniště nad Orlicí, SRN – Spolková republika Německo, Escherode). První číslice je pořadové číslo porostu v rámci příslušného závodu, druhá číslice udává věk porostů v době měření a poslední písmena označují, zda jde o kontrolu (K) nebo porost založený řízkovanci (Ř).

Metody analýz kořenového systému

Cílem analýz bylo postihnout morfogenezi kořenového systému z hledisek vytvoření předpokladů pro zajištění mechanické stability a výživy stromů.

V každém sledovaném porostu byl jednorázově vyzvednuto 6 až 30 kořenových systémů se zemním balem o poloměru 80 cm od kmene, které byly po odstranění zeminy měřeny. Stromy byly vybírány podle průměrných výšek a tloušťek.

Pro morfologické analýzy kořenového systému byla použita metodika Mauera (1989). Předpoklady kořenového systému pro zajištění výživy stromu byly posuzovány na základě zjišťování životnosti kořenů vitálním barvením (Joslin, Henderson, 1984), množství

biomasy jemných kořenů (Mauer, 1989), mykorhizní infekce (Vignon et al., 1986) a fyziologické aktivity kořenů příjmem značeného fosforu (Langlois, Fortlin, 1984).

Všechny výsledky byly zpracovány za pomoci matematicko-statistických metod. V tabulkách dílčích vyhodnocení je u jednotlivých parametrů v čitateli zlomku uváděn aritmetický průměr, ve jmenovateli směrodatná odchylka (x/sx). K hodnocení významnosti byl použit t -test při hladině významnosti 95 %. V tabulkách jsou výsledky testu označeny graficky: + rozdíl průkazný, - rozdíl neprůkazný.

Součástí analýz bylo i detailní sledování růstu nadzemní části – nepublikováno.

Výsledky

Při hodnocení morfologických charakteristik růstu kořenového systému řízkovanců bylo v různém věku porostů sledováno 30 parametrů (tab. I, II a III). Protože se jedná o značné množství číselných údajů a tendence jejich závislosti je celkem jednoznačná, dovolili jsme si v komentáři charakterizovat právě tyto tendence.

V počtu horizontálních kosterních kořenů a jejich tloušťkách jsme mezi testovanými porosty řízkovanců a porosty kontroly nezjistili rozdíly. Případné odchylky se vyskytují pouze do šesti let věku porostu.

Při shodném počtu horizontálních kosterních kořenů je však pravidelnost jejich rozložení v kořenové síti u porostů řízkovanců lepší (vyskytuje se zde více stromů s maximálním úhlem mezi horizontálními kosterními kořeny do 90°; tím mají tyto porosty i lepší předpoklady pro zajištění mechanické stability).

Ani ve výskytu nekosterních horizontálních kořenů jsme nezjistili, že by porosty řízkovanců byly ve všech vývojových stadiích horší než porosty kontrolní.

Mechanickou stabilitu ovlivňuje i výskyt a tloušťka vertikálních kosterních kořenů. Šetření sice neprokázalo statisticky významný rozdíl v tloušťkách, ale naznačilo častější výskyt vertikálních kosterních kořenů u porostů řízkovanců vyššího věku. Hlavní kořen se u porostů řízkovanců vyskytuje s průkazně větší frekvencí než u porostů kontrolních.

Důležitým ukazatelem vyjadřujícím vztah rozvoje kořenového systému k dimenzím nadzemní části je hodnota indexu P . Z našich šetření vyplývá, že ani v tomto parametru nejsou porosty řízkovanců horší než porosty kontrolní.

V délce zóny růstu kořenů na bázi kmene jsme nezaznamenali podstatnější rozdíly. Za významné však považujeme zjištění, že ve všech vývojových fázích se u porostů řízkovanců statisticky průkazně vyskytuje kořenový systém ve dvou rovinách. Dokladuje to i častější tvorbu nových adventivních kořenů u porostů založených tímto sadebním materiálem.

Naše analýzy neprokázaly rozdíly ani ve výskytu deformací jednotlivých kořenů, ani ve výskytu deformací kořenového systému jako celku. S přibývajícím věkem deformací ubývá a jejich eventuální výskyt je jak u řízkovanců, tak i u kontroly shodný.

Ani při hodnocení ukazatelů charakterizujících předpoklady kořenového systému k příjmu živin a vody jsme nezjistili rozdíly.

Při zjišťování biomasy jemných kořenů u porostů čtyři a 27 let po výsadbě jsme nezaznamenali v žádném ze sledovaných horizontů významné rozdíly. U porostů šest a sedm let po výsadbě se vyskytly statisticky průkazné rozdíly v celkové biomase jemných kořenů ve prospěch řízkovanců (tab. IV).

Hodnocení mykorhizní infekce jemných kořenů u porostů čtyři roky po výsadbě neprokázalo signifikantní rozdíly mezi řízkovanci a kontrolou (tab. V).

Životnost jemných kořenů, zjišťovaná u porostů čtyři a šest let po výsadbě, vyjádřená regresními rovnicemi, se nelišila (tab. VI).

Nezjistili jsme rovněž statisticky významné rozdíly ve fyziologické aktivitě mezi jemnými kořeny řízkovanců a sazenic generativního původu čtyři roky po výsadbě (tab. VII).

Diskuse

Intenzivní pěstování sadebního materiálu a nedostatek osiva některých druhů dřevin vede lesnickou praxi u nás i v zahraničí k širšímu zavádění vegetativního způsobu reprodukce. Uplatňování vegetativně vypěstovaného materiálu přináší ovšem určitá rizika. Vedle možného zúžení genetické variability, které je však především otázkou dodržování platných předpisů a šlechtitelských programů, vyvstává problém, jak se budou řízkovance vyvíjet po výsadbě a nevznikne-li nebezpečí snížení mechanické stability takto vzniklých porostů, protože právě v morfologii kořenového systému se řízkovance smrku nejvíce liší od sadebního materiálu vypěstovaného generativní cestou. Kořenový systém řízkovanců je vytvořen pouze z adventivních kořenů a i nejkvalitněji zakořeněné řízkovance mají, v porovnání s generativním sadebním materiálem, jinou architekturu kořenového systému.

Pro nedostatek literárních údajů je konfrontace námi získaných výsledků značně obtížná. Můžeme pouze srovnávat, zda odchylky růstu kořenového systému zjištěné u jiných dřevin (ale i s jiným charakterem růstu kořenového systému) se nevyskytují také u řízkovanců smrku.

Podle Struveho et al. (1984) existuje úzká závislost mezi počtem kořenů a výškovým růstem řízkovanců u *Pinus strobus*. Naše šetření u řízkovanců smrku tuto skutečnost nepotvrdilo. Nezaznamenali jsme ani výrazně nerovnoměrné rozložení kořenů řízkovanců smrku, jak popsali u *Picea sitchensis* Mason et al. (1986). Nemůžeme potvrdit ani rozporné údaje o tom, že kořenový systém řízkovanců má hlouběji uložené kořeny (Fielding, 1970), nebo že je kořenový systém naopak mělčí (Struve, McKeand, 1990) než kořenový systém jedinců vzniklých generativně.

Za závažné (a z hlediska hodnocení řízkovanců jistě negativní) je třeba považovat informace o tom, že kořenový systém řízkovanců je méně efektivní v příjmu živin. Naše šetření toto tvrzení nepotvrdilo ani přímými fyziologickými analýzami, ale ani nepřímo – měřením výšek nadzemní části. Naše předchozí studie (Volná, Mauer, 1983; Mauer, 1987), ale i práce jiných autorů – např. Lokvenc (1984) – jednoznačně dokázaly, že i při umělé obnově smrku sadebním materiálem generativního původu je po jistém čase po výsadbě kořenový systém stromu tvořen převážně adventivními kořeny.

Za přínos práce považujeme zjištění, že kořenový systém řízkovanců, i když je od samého počátku tvořen pouze adventivními kořeny a rozložení kořenové sítě zakořeněných řízků se výrazně liší od semenáčků a sazenic, se v dalších letech vyvíjí stejným způsobem jako kořenový systém sadebního materiálu generativního původu. To znamená, že má nejen stejnou architekturu, ale stejným způsobem reaguje i na vnější podněty. Po hlubokém školkování a hluboké výsadbě se např. vytvářejí další adventivní kořeny, při nepečlivé práci je kořenový systém deformován a reakcí stromu na deformaci je opět tvorba adventivních kořenů.

Cílem naší práce nebyly šlechtitelské aspekty vegetativního množení. Naše experimenty jsme nevedli na bázi klonů, ale na bázi proveniencí a dokonce i neznámých populací. Důvodem byla skutečnost, že starší výzkumné plochy a provozní porosty nejsou tímto způsobem založeny a zakládat nové výzkumné plochy nebylo vzhledem k cílům práce reálné. Jsme si však plně vědomi toho, že reakce různých klonů z hlediska tvorby kořenového systému (ale hlavně v případě růstu nadzemní části) může být odlišná.

Mohlo by se zdát, že pro řešení otázek souvisejících s vývojem kořenového systému řízkovanců jsme analyzovali málo porostů v ČR. I přes větší množství vypěstovaných řízkovanců máme tímto sadebním materiálem založených málo porostů. V počátcích byly sice některé porosty rekonstruovány pro jejich větevnatý růst, ale hlavním důvodem je to, že nebyly a dosud ani nejsou provozně evidovány.

I když se nepředpokládá, že by se řízkování stalo hlavním způsobem pěstování sadebního materiálu, např. Kleinschmit (1992) je toho názoru, že by podíl vegetativně pěstovaného sadebního materiálu neměl přesáhnout jednu třetinu produkce, my se domníváme, že v podmínkách ČR by to nemělo být více než 8-10 %, zájem o poznání vývoje kořenového systému řízkovanců v poslední době narůstá. Realizované analýzy prokázaly, že porosty založené řízkovanci mají nejméně stejnou kvalitu jako porosty založené generativně a v některých aspektech jsou dokonce lepší. Přes počáteční rozdíly v morfogenezi kořenových systémů vegetativně a generativně vypěstovaného sadebního materiálu smrku probíhá morfogeneze kořenových systémů velmi podobně a nedá se předpokládat, že by odlišný vývoj kořenového systému řízkovanců mohl být příčinou zhoršené stability a růstu takto založených porostů (obr. 1). (Obdobné závěry lze konstatovat i při posuzování růstu nadzemní části porostů řízkovanců - obr. 2).

Tab. 1: Morfologická charakteristika růstu kořenového systému řízkovanců

Soubor	Počet horizontálních kosterních kořenů (ks)	Počet nekosterních horizontálních kořenů vyrůstajících z kmene		Úhel mezi horizontálními kosterními kořeny				
		(ks)	výskyt u stromů (%)	maximální úhel (%)	průměrný úhel (%)	stromy s maximálním úhlem (%)		
						91°- do 90°	nad 180°	180°
ŠLP-1-4-Ř	8,12/1,47-	4,16/1,37+	100	103,27/21,34+	42,73/9,52-	38,4	61,6	0,0
ŠLP-2-4-K	7,20/1,81	2,90/1,28	100	162,00/61,42	52,74/12,58	20	80	0,0
HA-1-5-Ř	9,71/1,93-	3,64/1,94-	100	87,85/32,14-	38,45/7,73-	64,3	35,7	0,0
HA-2-5-Ř	8,53/1,80-	3,30/1,37-	100	98,46/34,84-	44,00/9,58-	59,2	40,8	0,0
HA-3-5-Ř	9,41/1,62-	4,83/1,89+	100	88,33/27,57-	39,17/6,07-	66,7	33,3	0,0
HA-4-5-K	8,66/2,87	3,41/1,56	100	98,33/30,10	45,34/13,01	50	50	0,0
KO-1-5-Ř	9,57/2,99-	5,57/2,69	100	122,85/89,38-	43,05/21,52-	57,1	28,5	14,4
KO-1-5-K	8,12/1,83	nezjištěno	nezjištěno	101,51/27,54	46,50/11,00	43	57	0,0
HA-5-6-Ř	11,00/3,05+	6,00/4,02-	100	70,00/15,27+	34,85/9,06+	100	0,0	0,0
HA-6-6-Ř	10,00/1,63+	5,70/2,05-	100	74,00/11,73+	36,91/6,27+	100	0,0	0,0
HA-7-6-Ř	8,90/1,92+	5,09/1,64-	100	83,63/22,48+	42,20/9,37+	81,8	18,2	0,0
HA-8-6-Ř	12,00/2,30+	7,80/2,29	100	68,00/18,73+	30,96/5,65+	100	0,0	0,0
HA-9-6-Ř	10,20/3,39+	6,60/2,75-	100	85,00/24,60+	39,40/14,71+	90	10,0	0,0
HA-10-6-Ř	7,10/1,89-	7,90/1,51+	100	99,09/22,56-	54,19/11,87-	63,6	36,4	0,0
HA-11-6-K	6,72/1,34	5,80/2,48	100	124,54/49,87	55,60/11,67	18,3	72,7	9,0
HA-12-6-Ř	9,08/2,39-	4,25/1,95-	100	106,66/52,45-	42,35/11,48-	58,3	25,0	16,7
HA-13-6-Ř	7,83/2,16-	5,33/1,61-	100	111,66/43,86-	48,68/11,01-	41,7	50,0	8,3
HA-14-6-K	8,50/1,97	5,33/2,26	100	106,66/35,50	45,12/13,38	50	23,6	26,4
VR-1-7-Ř	7,64/1,73-	3,30/1,75-	93	116,42/24,68-	49,48/11,51-	14,3	85,7	0,0
VR-2-7-K	7,43/2,78	3,00/1,73	94	136,25/53,77	54,47/18,76	18,7	81,3	0,0
PR-1-8-Ř	8,50/1,97-	8,50/1,09+	100	101,66/34,30-	44,11/9,17-	50	50,0	0,0
PR-2-8-K	7,33/1,50	6,00/1,67	100	143,33/36,69	51,16/12,25	16,7	66,7	16,6
TO-1-9-Ř	8,46/2,41-	4,26/2,05-	100	90,66/21,86-	46,14/14,05-	73,3	26,7	0,0
TO-2-9-K	8,58/2,02	5,54/2,76	100	95,83/39,41	43,97/9,60	66,7	25,0	8,3
VR-3-9-Ř	11,81/3,45-	6,81/2,44-	100	72,72/11,03-	33,05/10,77-	100	0,0	0,0
VR-4-9-K	10,33/1,73	6,00/2,78	100	73,33/19,36	35,67/5,71	88,9	11,1	0,0
SRN-1-16-Ř	10,66/0,81-	13,50/4,13+	100	71,66/9,83-	33,75/22,78-	100	0,0	0,0
SRN-2-16-K	9,00/1,78	3,83/1,47	100	91,66/18,34	40,00/27,31	50	50,0	0,0
KO-2-25-Ř	13,25/2,50-	3,75/1,25-	100	55,10/5,73+	27,97/5,76-	100	0,0	0,0
KO-3-25-K	10,40/2,70	4,20/1,78	100	80,00/15,81	36,82/10,68	80	20,0	0,0
KO-4-25-Ř	11,80/3,19-	6,40/2,41-	100	68,55/13,03-	32,38/8,86-	100	0,0	0,0
KO-5-25-K	9,40/2,50	4,00/1,22	100	76,22/16,73	40,36/9,80	100	0,0	0,0
KO-6-25-Ř	8,60/0,54-	3,20/1,78-	100	100,82/10,03-	42,00/2,73-	42	58,0	0,0
KO-7-25-K	8,15/1,67	3,03/1,17	100	105,64/12,34	44,12/2,86	34	66,0	0,0

Tab. 2: Morfologická charakteristika růstu kořenového systému řízkovanců

Soubor	Tloušťka horizontálních kosterních kořenů (mm)	Tloušťka vertikálních kosterních kořenů (mm)	Výskyt vertikálních kosterních kořenů stromů (%)	Počet vertikálních kosterních kořenů (ks)	Hlavní kořen stromů (%)			Index <i>P</i>	
					výskyt	Deformace			
						shluk	J-L		celkem
ŠLP-1-4-Ř	5,98/0,77+	2,89/0,71-	55	1,64/0,58-	44	0	0	0	0,4432/0,0623+
ŠLP-2-4-K	4,42/1,00	2,50/0,50	30	1,33/0,57	20	0	10	10	0,3167/0,0577
HA-1-5-Ř	3,86/0,71-	2,07/0,73-	50	1,42/0,53+	43	0	0	0	0,2130/0,0449-
HA-2-5-Ř	4,25/1,05-	2,00/0,00+	8	1,00/0,00	38	0	0	0	0,2663/0,0629-
HA-3-5-Ř	2,94/1,03+	1,87/0,55+	33	2,50/1,00+	0	0	0	0	0,2305/0,0593-
HA-4-5-K	3,82/0,56	2,33/0,57	25	1,00/0,00	8	0	0	0	0,2398/0,0287
KO-1-5-Ř	5,33/1,13	2,73/1,16	71	1,60/0,89-	0	0	0	0	0,3598/0,0917-
KO-1-5-K	nezjištěno	nezjištěno	53	1,00/1,11	66	50	0	50	0,3251/0,1152
HA-5-6-Ř	5,30/1,03-	1,81/0,47-	100	3,85/1,21+	28	14	14	28	0,2672/0,0374-
HA-6-6-Ř	5,68/0,80-	2,54/0,53+	90	4,20/0,39+	20	0	20	20	0,2187/0,0465+
HA-7-6-Ř	5,07/2,20-	1,93/0,46-	90	3,00/0,54-	27	0	9	9	0,2646/0,0402-
HA-8-6-Ř	4,63/1,34/-	2,11/0,71-	90	3,80/0,85+	10	0	10	10	0,3262/0,0665-
HA-9-6-Ř	6,01/0,97-	2,27/0,67-	100	3,40/1,57-	40	0	30	30	0,3009/0,0541-
HA-10-6-Ř	3,89/0,88+	1,90/0,22-	45	1,20/0,44+	18	0	0	0	0,2716/0,0326-
HA-11-6-K	5,89/1,80	2,08/0,36	90	2,54/1,36	9	0	9	9	0,2856/0,0663
HA-12-6-Ř	2,80/0,61+	1,40/0,73-	58	1,57/0,78-	25	0	0	0	0,1862/0,0634+
HA-13-6-Ř	3,11/0,73-	2,50/1,91-	33	1,50/0,57-	25	0	0	0	0,1883/0,0571+
HA-14-6-K	3,86/1,11	1,63/0,76	50	1,83/0,75	0	0	0	0	0,2482/0,0791
VR-1-7-Ř	4,22/1,16-	1,50/0,50-	21	2,00/0,00-	43	7	7	14	0,2753/0,0134+
VR-2-7-K	4,49/1,11	2,02/0,68	37	1,50/0,83	37	25	0	25	0,2157/0,0656
PR-1-8-Ř	8,07/2,30-	4,33/0,10+	17	3,00/0,00	50	0	0	0	0,3504/0,09991-
PR-2-8-K	8,69/1,17	4,00/0,00	17	1,00/0,00	50	0	17	17	0,3113/0,1062
TO-1-9-Ř	9,25/1,88-	3,68/0,84-	93	4,60/2,89-	53	6	40	40	0,3251/0,0639+
TO-2-9-K	8,15/2,04	3,52/0,63	91	4,41/2,53	25	0	16	16	0,2282/0,0477
VR-3-9-Ř	14,52/5,14-	6,77/2,12-	100	3,27/1,90-	9	0	9	9	0,6021/0,1593-
VR-4-9-K	11,45/2,13	7,05/2,43	100	3,66/1,87	22	0	22	22	0,4820/0,0952
SRN-1-16-Ř	34,70/21,38-	9,93/3,11-	100	5,00/3,46-	33	0	33	33	0,8575/0,1507-
SRN-2-16-K	34,56/15,79	8,52/4,29	83	4,20/3,34	0	0	0	0	0,6727/0,1760
KO-2-25-Ř	32,88/6,05+	15,16/1,04-	80	2,33/1,52-	100	20	0	20	0,6324/0,1088-
KO-3-25-K	23,18/4,66	16,87/4,49	80	1,75/0,50	100	0	0	0	0,4917/0,727
KO-4-25-Ř	29,37/5,09-	16,83/6,93-	60	2,00/1,00-	100	30	20	50	0,6021/0,1959-
KO-5-25-K	29,63/2,51	17,00/2,60	40	1,50/0,56	100	20	0	20	0,4635/0,0417
KO-6-25-Ř	32,76/4,69-	18,41/2,31-	80	1,75/0,95-	100	69	0	60	0,5943/0,1141+
KO-7-25-K	34,26/4,72	19,17/2,15	50	1,56/0,82	100	40	0	40	0,4238/0,0563

Tab. 3: Morfologická charakteristika růstu kořenového systému řízkovanců

Soubor	Délka zóny růstu kořenů z kmene (cm)	Kořeny ve dvou rovinách (%)	Deformace jednotlivých kořenů				Deformace celého kořenového systému stromů (%)					
			smyčky		zaškrčení		zploštění do vertikální roviny	jednostranné formy	J- L	strboul	strboul bez funkce	Celkem
			stromy (%)	kořeny (%)	stromy (%)	kořeny (%)						
ŠLP-1-4-Ř	4,98/1,67-	42	100	19	36	25	0	0	0	28	14	42
ŠLP-2-4-K	4,80/1,88	14	90	28	80	43	0	0	0	57	14	71
HA-1-5-Ř	5,03/2,83-	57	100	44	100	24	0	0	0	26	0	26
HA-2-5-Ř	4,11/1,86+	61	100	50	100	25	0	0	0	40	0	40
HA-3-5-Ř	6,75/2,41-	25	100	56	75	15	0	0	0	26	6	32
HA-4-5-K	6,54/2,67	17	100	36	75	32	0	0	0	40	0	40
KO-1-5-Ř	4,57/1,85	71	100	41	57	9	0	14	0	0	0	14
KO-1-5-K	nezjištěno	88	71	15	20	5	5	0	0	9	0	14
HA-5-6-Ř	11,00/4,16-	85	57	7	14	9	0	0	0	14	0	14
HA-6-6-Ř	10,20/2,20-	100	80	22	0	0	0	0	0	0	50	50
HA-7-6-Ř	8,63/1,32-	100	81	24	18	10	0	0	0	18	0	18
HA-8-6-Ř	9,70/2,01-	85	30	4	80	40	0	0	0	60	10	70
HA-9-6-Ř	8,90/2,81-	81	70	17	0	0	0	0	0	0	20	20
HA-10-6-Ř	8,50/0,86-	90	100	10	0	0	0	0	0	0	0	0
HA-11-6-K	7,63/4,78	63	45	13	54	36	0	0	0	36	18	54
HA-12-6-Ř	5,37/2,72-	100	100	9	33	3	0	0	0	0	0	0
HA-13-6-Ř	5,12/1,92+	100	100	11	0	0	0	0	0	0	0	0
HA-14-6-K	7,50/2,91	25	100	50	50	7	8	0	0	0	0	8
VR-1-7-Ř	4,96/3,72-	50	79	16	29	5	7	0	0	0	0	7
VR-2-7-K	5,31/2,90	37	81	15	31	5	6	0	0	0	0	6
PR-1-8-Ř	8,83/2,85-	50	83	11	33	3	0	0	0	0	50	50
PR-2-8-K	8,00/2,81	50	66	16	16	4	0	0	0	0	50	50
TO-1-9-Ř	11,16/3,94+	91	26	3	0	0	0	0	0	0	0	0
TO-2-9-K	6,13/3,15	42	75	14	0	0	0	0	0	0	0	0
VR-3-9-Ř	12,63/3,80-	81	54	8	18	9	0	0	0	9	36	45
VR-4-9-K	12,66/4,50	77	11	2	11	7	0	0	0	11	33	44
SRN-1-16-Ř	19,83/2,48-	100	50	3	66	4	0	0	0	0	0	0
SRN-2-16-K	17,16/4,57	50	16	2	33	4	0	0	0	0	0	0
KO-2-25-Ř	19,87/4,25+	80	75	9	50	7	0	0	0	0	0	0
KO-3-25-K	13,80/2,01	20	20	4	38	8	0	0	0	0	0	0
KO-4-25-Ř	14,50/2,29-	100	40	3	20	3	0	0	0	0	0	0
KO-5-25-K	15,20/4,60	60	60	8	20	2	0	0	0	0	0	0
KO-6-25-Ř	15,70/2,58-	80	20	2	40	7	0	0	0	0	0	0
KO-7-25-K	13,52/2,12	30	30	4	40	5	0	0	0	0	0	0

Tab. 4: Biomasa jemných kořenů (ve 100 ml rozborovém vzorku)

Soubor	Humus		Obohacený horizont		Minerální horizont		Celkem	
	biomasa (10 ⁻³ g)	kontrola (%)	biomasa (10 ⁻³ g)	kontrola (%)	biomasa (10 ⁻³ g)	kontrola (%)	biomasa (10 ⁻³ g)	kontrola (%)
Odběr únor 1992								
ŠLP-1-4-Ř	21,7/5,4-	131,5	9,5/2,1-	79,1	7,3/1,4-	83,9	38,5	103,4
ŠLP-2-4-K	16,5/5,9	100,0	12,0/2,8	100,0	8,7/3,3	100,0	37,2	100,0
Odběr září 1991								
HA-12-6-Ř	68,3/9,9+	127,4	49,2/3,4+	146,4	22,0/4,7-	135,8	139,5	134,9
HA-13-6-Ř	59,9/6,1-	111,7	31,6/3,9-	94,0	14,7/2,5-	90,7	106,2	102,7
HA-14-6-K	53,6/8,6	100,0	33,6/2,3	100,0	16,2/3,5	100,0	103,4	100,0
Odběr srpen 1991								
VR-1-7-Ř	43,1/3,7-	103,6	42,9/5,7+	235,7	11,1/1,3-	119,3	97,1	140,5
VR-2-7-K	41,6/2,3	100,0	18,2/1,4	100,0	9,3/1,6	100,0	69,1	100,0
Odběr prosinec 1991								
KO-27-Ř	169,5/24,7-	97,5	104,0/15,6-	74,6	50,5/13,7-	142,2	324,1	92,9
KO-27-K	173,9/18,4	100,0	139,4/28,5	100,0	35,5/5,8	100,0	348,9	100,0

Pozn.: V 27 letech odběr uskutečněn bez ohledu na původ reprodukčního materiálu

Tab. 5: Mykorhizní infekce jemných kořenů řízkovanců - odběr 17.11.1992

Soubor	Horizont	μg glukosaminu.mg ⁻¹ sušiny	Kontrola (%)
ŠLP-1-4-Ř	humus	14,36/1,05-	94
ŠLP-2-4-K	humus	15,3/0,72	100
ŠLP-1-4-Ř	obohacený	16,19/0,71-	98
ŠLP-2-4-K	obohacený	16,55/0,64	100
ŠLP-1-4-Ř	minerální	11,18/0,60-	109
ŠLP-2-4-K	minerální	10,29/0,55	100

Tab. 6: Životnost jemných kořenů řízkovanců

Soubor	Datum odběru	Životnost
ŠLP-1-4-Ř	20.9.1991	$\gamma = 0,014299x - 0,010543$ $r = 0,9954$
ŠLP-2-4-K	20.9.1991	$\gamma = 0,150190x - 0,025142$ $r = 0,9985$
HA-12-6-Ř	11.9.1991	$\gamma = 0,016351x - 0,012565$ $r = 0,9886$
HA-13-6-Ř	11.9.1991	$\gamma = 0,010378x - 0,084194$ $r = 0,9838$
HA-14-6-K	11.9.1991	$\gamma = 0,015878x - 0,011789$ $r = 0,9846$

Tab. 7: Fyziologická aktivita jemných kořenů řízkovanců - odběr 15.11.1992

Soubor	32PO ₄ Absorpce KH ₂ (mg.g ⁻¹ sušiny)		
	hlavní kořeny	zbylé postranní kořeny	kořenové špičky
ŠLP-1-4-Ř	0,247/0,117-	0,358/0,036-	0,974/0,266-
ŠLP-2-4-K	0,226/0,044	0,358/0,122	1,060/0,272

Závěr

Provozní uplatnění řízkovanců smrku obecného má v ČR i v zahraničí vzrůstající tendenci. Proto jsme v letech 1990 až 1992 uskutečnili hodnocení porostů založených tímto sadebním materiálem s hlavním zaměřením na studium vývoje kořenového systému. Kontrolou byly porosty založené generativně vypěstovaným sadebním materiálem. Byly sledovány porosty do 25 let po výsadbě. Z dosažených výsledků vyplývá:

- Nebyly zjištěny rozdíly mezi kořenovými systémy řízkovanců a kontrolou v počtu a tloušťce horizontálních kosterních kořenů, hodnotě indexu P , délce zóny růstu kořenů na bázi kmene, deformacích kořenového systému jako celku, biomase jemných kořenů, životnosti, fyziologické aktivitě a mykorhizní infekci jemných kořenů.
- Kořenové systémy řízkovanců byly spíše lepší než kořenové systémy kontrolních porostů v rozložení kořenové sítě, výskytu nekosterních horizontálních kořenů, výskytu a tloušťce vertikálních kosterních kořenů, výskytu hlavního kořene a výskytu kořenů ve dvou rovinách.
- Kořenové systémy řízkovanců byly horší než kontrola v deformaci hlavního kořene.
- Při dodržování šlechtitelských aspektů a ekologických nároků lze řízkovance smrku obecného uplatňovat v provozních výsadbách.

Seznam použité literatury

- BALDWIN, E. - MASON, W. L.: An early trial of Sitka spruce cuttings. *Scott. For.*, 40, 1986: 176-184.
- FIELDING, J. M.: Trees grown from cuttings compared with trees from seed (*Pinus radiata* D. Don.). *Silvae Genet.*, 19, 1970: 54-63.
- FOSTER, G. S. - LAMBETH, C. C. - GREENWOOD, M. S.: Growth of loblolly pine rooted cuttings compared with seedlings. *Can. J. For. Res.*, 17, 1987: 157-164.

- GEMMEL, P. - ÓRLANDER, G. - HČGBERG, K. A.: Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin. *Silvae Genet.*, 40, 1991: 198-202.
- HARTIG, M.: Praktische Erfahrungen bei der autovegetativen Anzucht von Fichten. *Sozial. Forstwirtschaft.*, 36, 1986: 177-181.
- JOSLIN, J. D. - HENDERSON, G. S.: The determination of percentages of living tissue in woody fine root samples using triphenyltetrazolium chloride. *Forest Sci.*, 30, 1984: 965-970.
- KLEINSCHMIT, J.: Use of spruce cuttings in plantations. In: Super Sitka for the 90s. Forestry Commission, Bull. 103, 1992: 1-10.
- KLEINSCHMIT, J. - SCHMIDT, J.: Experiences with *Picea abies* cuttings propagation in Germany and problems connected with large scale application. *Silvae Genet.*, 26, 1977: 197-203.
- LANGLOIS, C. G. - FORTIN, J. A.: Seasonal variations in the uptake of (³²P) phosphate ions by excised ectomycorrhizae and lateral roots of *Abies balsamea*. *Can. J. For. Res.*, 14, 1984: 412-415.
- LOKVENC, T.: Mají deformace kořenů obalených sazenic smrku vliv na kvalitu kultur? *Lesn. Práce*, 63, 1984: 454-458.
- MASON, W. L. - MANNARO, P. M. - WHITE, M. S.: Growth and root development in cuttings and transplants of Sitka spruce 3 years after planting. *Scott. For.*, 40, 1986: 276-284.
- MAUER, O.: Chemické ovlivňování tvorby kořenového systému obaleného sadebního materiálu. *Lesnictví*, 33, 1987: 121-136.
- MAUER, O.: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého [*Picea abies* (L.) Karst.]. [Doktorská dizertační práce.] VŠZ Brno, 1989: 322.
- MAUER, O.: Vývoj kořenového systému řízkovanců a přirozeně zmlazeného smrku obecného [*Picea abies* (L.) Karst.] do třiceti let věku porostů. /Habilitationní práce./ VŠZ Brno, 1993: 150
- McKEAND, S. E. - ALLEN, H. L.: Nutritional and root development factors affecting growth of tissue culture plantlets of loblolly pine. *Physiol. Plant.*, 61, 1984: 523-528.
- PAULE, L.: Úloha vegetatívneho rozmnožovania pre záchranu genofondu a v šľachtení lesných drevín. *Lesnictví*, 33, 1987: 491-500.
- ROULUND, H. - WELLENDORF, H. - WERNER, M.: A clonal experiment in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. 15 years' results. *Forest Tree Improvement*, No. 17, 1985: 33.
- STEPHAN, G. - ŽDÁRSKÁ, D.: Untersuchungen zur Auswirkung der autovegetativen Vermehrung von Fichten auf Wachstum und Rohdichte des Holzes. *Sbor. Ústavu aplikované ekologie VŠZ v Praze*, 9, 1990: 51-59.
- STRUVE, D. K. - BLASICH, F. A.: Comparison of three methods of auxin application on rooting of eastern white pine stem cuttings. *For. Sci.*, 28, 1982: 337-344.
- STRUVE, D. K. - TALBERT, J. T. - McKEAND, S. E.: Growth of rooted cuttings and seedlings in a 40-year-old plantation of eastern white pine. *Can. J. For. Res.*, 14, 1984: 462-464.
- STRUVE, D. - McKEAND, S. E.: Growth and development of eastern white pine rooted cuttings compared with seedlings through 8 years of age. *Can. J. For. Res.*, 20, 1990: 365-368.
- ŠINDELÁŘ, J. : Genetické a šlechtitelské aspekty záchranu genofondu ohrožených populací lesních dřevin vegetativním množením. *Lesnictví*, 33, 1987: 485-490.
- ŠINDELÁŘ, J. : Základní principy šlechtitelských programů pro hospodářsky významné lesní dřeviny jehličnaté. *Lesnický průvodce*, 1992: 78.
- VIGNON, C. - PLASSARD, C. - MOUSAIN, D. - SALSAC, L.: Assay of fungal chitin and estimation of mycorrhizal infection. *Physiol. vég.*, 24, 1986: 201-207.
- VOLNÁ, M. - MAUER, O.: Trvalost deformací kořenového systému smrku ztepilého (*Picea excelsa* LINK.). *Lesnictví*, 29, 1983: 177-189.

ŽDÁRSKÁ, D.: Autovegetativní rozmnožování smrku ztepilého. Sbor. Ústavu aplikované ekologie a ekotechniky VŠZ v Praze, 1, 1983: 85-107.

ŽDÁRSKÁ, D.: Vyhodnocení růstu autovegetativně množených jedinců smrku ztepilého (*Picea abies* Karst.). Sbor. Ústavu aplikované ekologie a ekotechniky VŠZ v Praze, 7, 1988: 3-15.

Vývin kořenového systému generativně a vegetativně množného dubu zimního (*Quercus petraea* /Mattusch./ Lieblein)

Oldřich Mauer, Antonín Jurásek, Eva Palátová

Úvod a cíl práce

V současné době jsme svědky dvou výrazných a protichůdných tendencí v obnově lesa. Na jedné straně jde o návrat k přírodě blízkému obhospodařování lesů, preferujícímu často až jednostranně přirozenou obnovu. Na straně druhé ekonomické aspekty, nepravidelná a slabá fruktifikace dubu i nedořešené problémy s dlouhodobým skladováním žaludů nutí majitele lesa uplatňovat ve větším rozsahu vegetativně množný sadební materiál. Vedle nepříznivých genetických dopadů vegetativní reprodukce (zužování genofondu) představuje závažný biologický problém i morfogeneze kořenového systému sadebního materiálu dubu vegetativního původu.

Cílem práce bylo posoudit a srovnat vývin kořenového systému dubu ze sítě, umělé obnovy výsadbou sazenic generativního původu s různě upraveným kořenovým systémem, řízkovanců a sadebního materiálu vypěstovaného metodou *in vitro*.

Rozbor problematiky

Rozhodující podmínkou mechanické stability stromu je dobře rozvinutý kořenový systém. Jeho utváření je sice specifické pro jednotlivé druhy dřevin, ale výrazně se mění v závislosti na stanovišti, fyzikálních a chemických vlastnostech půdy a sociálním postavení stromu v porostu (Köstler et al. 1968). Na utváření kořenových systémů může mít vliv i způsob pěstování a metoda výsadby sazenic (Horvath-Marolt, 1984; Strohschneider, 1992 oba ex Polomski, Kuhn, 1998; Streller, Moosdorf, 2002; Mauer et al., 2002).

U dubu, který patří k hospodářsky významným listnatým dřevinám v lesích ČR, převládá dosud generativní způsob reprodukce. Pro duby je charakteristické hypogeické klíčení a mohutný vývoj primárního kořene v počátečních vývojových stádiích. Při studiu kořenového systému dubu letního zjistili Köstler et al. (1968), že v prvním roce vytváří dubový semenáček kulový kořen pronikající do hloubky 27 cm a v následujícím roce prorůstá o 20 až 30 cm hlouběji. Jeník (1955) zaznamenal v lehčí půdě v prvním roce kulový kořen v průměru 60 cm dlouhý, přesahující několikanásobně délku nadzemní části. Biebelriether (1962) pozoroval, že vyšetě duby dosahují svými kulovými kořeny ve třech letech do 40 - 60 cm, v 10 letech do 80 - 100 cm. Na rozdíl od toho Schüte, Kim Tae Su (1993) zjistili u dubů z přímého výsevu ve věku 11 let délku kulového kořene pouze 40 cm.

Jak ukázaly analýzy kořenového systému dubu z přirozeného zmlazení nebo sítě, ne vždy se od počátku vyvíjí pouze jeden dominující kulový kořen. Např. Köstler et al. (1968) při analýze 13letých dubů ze sítě zjistili, že pouze u 25 z 38 hodnocených stromů byl vyvinut typický kulový kořen, u 8 stromů se základ kulového kořene dělil hned na počátku a 5 jedinců mělo srdčité kořeny. Podobně Jeník (1955) při analýze deseti 12letých dubů ze sítě zjistil, že pouze 7 z nich mělo jediný výrazný kulový kořen, větvíci se nebo ohýbající se v určité hloubce (pod vlivem zvýšené příměsi skeletu), dva duby měly dvojitý náhradní kulový kořen a jeden měl kulový kořen deformovaný. Vznik dvojitého kulového kořene

popř. celé soustavy náhradních svislých kořenů je podle autora i při přirozeném zmlazení obvyklým úkazem. Vzniká po poškození klíčku žaludu (mechanicky, žírem edafonu), po poškození kůlového kořene nebo dosednutím vzrostného vrcholu kůlového kořene na mechanickou překážku v půdě (půdní skelet, ortštein) .

Vyzvedávání semenáčků nebo využití technologií zahrnujících mechanickou úpravu kořenového systému (školkování, podřezávání) rovněž vedou k poškození vzrostného vrcholu kůlového kořene, který regeneruje obvykle více než jedním náhradním kůlovým kořenem. Počet a charakter vzniklých náhradních kořenů závisí na době, kdy k odstranění vrcholu došlo (Riedacker, Poda, 1977). Podle Jeníka (1955) je počet regenerovaných kůlových kořenů ovlivněn také velikostí sečné plochy. Autor uvádí, že není výjimkou vytvoření pouze jediného náhradního kůlu.

Podřezávání je v současné době často používaný postup pěstování sadebního materiálu dubu. Cílem je usnadnit přesazování a indukovat větvení kořenového systému. Podle Rohriga (1977) vede podřezání ke zvýšené tvorbě postranních kořenů. Zatímco u nepodřezaných rostlin bylo zaznamenáno v průměru 8 postranních kořenů na 1 cm délky hlavního kořene, u podřezaných jich bylo v průměru 15, přičemž jejich počet u jednotlivých rostlin velmi kolísal. Hlavní kořeny podřezaných rostlin byly silnější.

Zásah do kořenového systému se odráží na růstu nadzemní části. Šika, Zavadil (1954) prokázali, že duby s ulomeným klíčkem nezůstaly v dosažené hloubce náhradních kořenů ani ve výšce nadzemní části pozadu za kontrolními výsevy. Pokud došlo k poranění ve stádiu klíčku, růst nadzemní části nebyl ovlivněn (Riedacker, Poda, 1977). Jak zjistili uvedení autoři, pozdější zásah do kořenového systému ovlivňoval mortalitu, datum rašení, produkci listů, tloušťkový růst kořenového krčku ale i výškový růst. Vývoj nadzemní části se zdá být, podle autorů, mnohem citlivější na redukci laterálních kořenů než na zkrácení kůlového kořene. Andersen et al. (2000) rovněž prokázali, že způsob zásahu do kořenového systému významně ovlivňuje výškový růst rostlin. Autoři podřezávali kořenový systém s ponecháním 19, 13 nebo 7 cm kořene od kořenového krčku. Alternativou bylo odstranění hrubých kořenů (> 2 mm) za ponechání pouze kůlového kořene a jemných kořenů (< 2 mm), nebo s odstraněním jemných kořenů z hrubých kořenů a kůlového kořene. Srovnání s nepodřezanými kontrolními rostlinami po jednom roce ukázalo vliv podřezání na celkovou sušinu rostlin v souladu s rozsahem podřezání. Sušina nadzemní části byla přitom ovlivněna více než sušina kořenového systému. Informace o dalším vývoji kořenového systému dubů ze sítě a sadby publikovali Mauer et al. (2002).

V nedávné minulosti byla zvládnuta i vegetativní metoda množení dubu a to jednak řízkováním (Spethmann, 1986), kterou v ČR dopracoval do provozního měřítka Jurásek (2001) jednak metoda množení *in vitro* (Meier-Dinkel, 1987).

Na rozdíl od generativně vzniklých jedinců, u kterých je dán základ kořenového systému primárním kořenem, který se dál větví, vytváří se základ kořenové soustavy řízkovanců regenerací adventivních kořenů na stonkovém řízku. Kvalita kořenového systému vegetativně vzniklých jedinců bude určována počtem a rozložením adventivních kořenů, vzniklých ve fázi zakořenění řízků nebo regenerace *in vitro*. Počet a délka hlavních kořenů může být dle Spethmanna (1985 ex Schüte, Kim Tae Su, 1993) ovlivněna termínem zapíchávání řízků. Počet vytvořených kořenů a kvalita kořenového systému klesá s věkem ortetu. Vysoce průkazný rozdíl v počtu vytvořených kořenů na řízku a jejich průměrnou délkou mezi jednoletými a víceletými rostlinami, které sloužily jako zdroj řízků, dokumentoval Spethmann (1986). Vysoký počet a malou průměrnou délku vytvořených kořenů považuje autor za juvenilní znak.

Pro budoucí rozvoj kořenového systému z hlediska stability má význam má i uspořádání a prostorová orientace kořenů v půdním prostředí. Na tu má rovněž vliv věk

mateřské rostliny, ze které byl odebrán řízek (Riedacker, Belgrand, 1983). Podle autorů jsou špičky primárních kořenů semenáčků a řízků odebraných ze semenáčků ortogeotropické, zatímco kořeny řízků odebraných z výmladků starých pařezů semiplagiotropické.

Informace o dalším vývoji kořenových systému vegetativně rozmnožených dubů jsou sporadické. Riedacker, Belgrand (1983) srovnávali kořenové systémy řízkovanců a semenáčků. Sedm let po zakořenění zůstaly primární kořeny řízkovanců ze starých pařezů semiplagiotropické. Na témž pseudoglejovém stanovišti měly semenáčky vyvinuty zjevné vertikální i horizontální kořeny. Šetření na kořenových systémech řízkovanců a rostlin vypěstovaných *in vitro* a srovnání s materiálem generativního původu realizovali také Schüte, Kim Tae Su (1993). Ze srovnání vyplynulo, že podřezané semenáčky měly ve věku 9 let v průměru 9 kořenů o průměru větším než 5 mm, řízkovanci 7 kořenů. Podřezané semenáčky však měly více kořenů o průměru menším než 5 mm, zatímco řízkovanci měli jen hlavní kořeny a jemné kořeny. V počtu kořenů autoři zaznamenali také podobnost mezi rostlinami z řízků a *in vitro*. Rostliny z obou způsobů pěstování vykazovaly ve věku 8 popř. 9 let stejný počet 9,5 hlavních kořenů o průměru větším než 5 mm. Jemný kořenový systém rostlin *in vitro* byl přitom lépe vyvinut než u semenáčků.

Rozdíly mezi rostlinami vegetativního a generativního původu zaznamenali Schüte, Kim Tae Su (1993) také v utváření vertikálních kořenů. Pouze 35 % rostlin z přímé síše mělo původní kulový kořen. Po narušení hlavního kořene u přímých sijų se u 65 % rostlin vyvinuly postranní kulové kořeny. U řízkovanců a *in vitro* množených rostlin zaznamenali navíc autoři v průměru o 15 cm nebo 25 % menší hloubku hlavních kořenů, než dosahovaly semenáčky srovnatelného věku na stejném stanovišti.

Vegetativně rozmnožené rostliny se od generativních lišily také zřetelně ve vývoji horizontálních kořenů. Schüte, Kim Tae Su (1993) zjistili u řízkovanců na všech stanovištích vyšší počet jednostranně a dvoustranně utvářených kořenových systémů. Z 33 % se vyskytovaly jednostranně vyvinuté kořenové systémy, třístranné a pravidelně vyvinuté kořenové systémy tvořilo jen 18 % řízkovanců. U rostlin rozmnožených *in vitro* jedno nebo dvoustranné kořenové systémy nepozorovali. Na jedné z hodnocených lokalit rostliny množené *in vitro* vykazovaly pravidelnější rozložení kořenů než řízkovanci. Pravidelný kořenový systém měly přímé síše, přičemž postranní kořeny byly u nich, v důsledku dominance kulového kořene, slabě vyvinuty.

U všech způsobů rozmnožování pozorovali autoři deformace kořenových systémů. Nejvyšší podíl (73,6 %) deformovaných kořenových systémů měly rostliny vypěstované *in vitro*. Řízkovanci vykazovali 42,3 % deformovaných kořenových systémů, podřezané semenáčky 26,5 %. Deformace se však vyskytovaly i u 18 % rostlin z přímé síše.

Na základě provedených analýz kořenových systémů vegetativně rozmnožených dubů upozornili Schüte, Kim Tae Su (1993) na vysoký podíl kořenových systémů klasifikovaných jako nedostatečné v důsledku deformací a chybějícího vertikálního vývoje kořenů a vyslovili domněnku, že porosty založené tímto typem sadebního materiálu by mohly mít, zejména na vodou ovlivněných stanovištích, sníženou mechanickou stabilitu.

Metody a použitý materiál

Sledování bylo realizováno na dvou výzkumných plochách, založených k tomuto účelu.

Plocha Hády

Plocha byla založena na Školním lesním podniku MZLU ve Křtinách v porostu 381 B9 Charakteristika porostu: nadmořská výška – 400 m, lesní typ - 2H2, pásmo ohrožení imisemi

- D, půdní typ - hnědozem modální velmi slabě oglejená. Na ploše byla na jaře 1996 uskutečněna obnova dubu ploškovou sítí, ruční jamkovou výsadbou cca 20 cm vysokých jednoletých prostokořenných semenáčků, u nichž byl kůlový kořen zkrácen na 10 nebo 15 cm, ruční jamkovou výsadbou jednoletých prostokořenných semenáčků, jejichž kůlový kořen měl délku cca 20 cm a nebyl před sadbou upravován (jde o běžný provozní způsob výsadby, v tabulkách označováno Kontrola) a ruční jamkovou výsadbou krytokořenných sazenic vypěstovaných metodou *in vitro* (rostliny byly vypěstovány v laboratoři explantátových kultur firmy MIPPO Dvůr Králové nad Labem, v době výsadby měly výšku nadzemní části cca 20 cm a byly pěstovány v obalech typu Roottrainer). Plocha byla založena ve sponu 1x1 m a výsadba byla realizována tak, aby nedošlo k deformaci kořenového systému.

Plocha Josefov

Plocha byla založena u LČR, LS Rychnov nad Kněžnou, revír Nový ples v porostu 110A11. Charakteristika porostu: nadmořská výška - 260 m, lesní typ - 1S2, pásmo ohrožení imisemi - D, půdní typ - pseudoglej typický. Na ploše byla na jaře 1999 uskutečněna obnova dubu ruční šterbinovou výsadbou dvouletých prostokořenných semenáčků (běžný provozní způsob zakládání dubových porostů, v tabulkách označováno Kontrola), ruční jamkovou výsadbou krytokořenných řízkovanců (řízkovance byly vypěstovány ve školce VÚLHM-VS Opočno, v době výsadby měly výšku nadzemní části cca 20 cm a byly pěstovány v obalech typu Quick pots) a ruční jamkovou výsadbou krytokořenných sazenic vypěstovaných metodou *in vitro* (rostliny byly vypěstovány v laboratoři VÚLHM, v době výsadby měly výšku nadzemní části cca 20 cm a byly pěstovány v plastových obalech o objemu 2 l). Plocha byla založena ve sponu 1x 0,6 m. Na ploše Josefov se po jejím založení objevil přirozený nálet dubu. I když náletové semenáčky byly v době měření poněkud nižší, byly do hodnocení rovněž zahrnuty.

Na jaře korku 2002 byly na obou plochách měřeny a hodnoceny následující parametry:

Biometrické parametry nadzemní části.

- Výška nadzemní části (měřeno od půdního povrchu po špici terminálního pupene).
- Tloušťka kořenového krčku (měřena tloušťka kmene 10 cm nad půdním povrchem).

Biometrické parametry kořenového systému.

- Hloubka prokořenění (měřena kolmá vzdálenost od půdního povrchu po nejhlouběji zasahující špici panohy nebo kůlového kořene).
- Počet a tloušťka horizontálních kořenů (tloušťka horizontálních kořenů měřena 2 cm od místa nasazení).
- Počet a tloušťka panoh (tloušťka panoh měřena 2 cm od místa jejich nasazení). Panoha je pozitivně geotropicky rostoucí kořen, který vyrůstá z kůlového kořene nebo kořene nižšího řádu s maximálním úhlem směru jeho růstu k pomyslné ose růstu kůlového kořene 45 stupňů.
- Hloubka nasazení panoh (měřena vzdálenost od půdního povrchu po místo nasazení panoh).
- Počet nekosterních kořenů (počet kořenů slabších než 3 mm na ploše Hády a slabší než 2 mm na ploše Josefov, které vyrůstají z báze kmene).
- Výskyt deformací celého kořenového systému.

Na ploše Hády bylo u každého způsobu generativní obnovy vyzvednuto a analyzováno 8 kořenových systémů, u metody *in vitro* 15 kořenových systémů. Na ploše Josefov bylo u každého způsobu obnovy vyzvednuto 45 kořenových systémů, u metody *in*

in vitro 15 kořenových systémů. Všechny kořenové systémy byly vyzvedávány ručně - archeologickým způsobem na jaře roku 2002. Biometrické parametry nadzemní části byly zjišťovány u každého způsobu obnovy u všech vysázených jedinců (150 až 200 stromů).

Další metodické poznámky.

- V průběhu analýz byly zjišťovány eventuální odchylky od přirozeného růstu nadzemní části, výskyt hnilob a vitalita stromů.
- V tabulkách výsledků jsou uváděny aritmetické průměry a směrodatné odchylky.
- Autorem prezentovaných obrázků je O. Mauer.

Výsledky

Plocha Josefov (tab. 1, obr. 1)

- Mezi hodnocenými způsoby obnovy nebyly zjištěny podstatné rozdíly v těchto parametrech stromů - výška nadzemní části, průměr kořenového krčku, hloubka prokořenění, tloušťka horizontálních kořenů, počet panoh a tloušťka panoh.
- Zásadní rozdíly byly zjištěny mezi rostlinami generativního a vegetativního původu v počtu horizontálních kořenů a počtu nekosterních kořenů. Řízkovance a rostliny *in vitro* jich mají podstatně více.
- Nebyly zjištěny rozdíly v hloubce nasazení panoh; s výjimkou rostlin rozmnožených *in vitro*, u nichž je hloubka nasazení velmi malá (několik centimetrů).
- Překvapivá je skutečnost, že nejen u rostlin vegetativního původu ale i u rostlin Kontroly na ploše Josefov se vyskytla u více než 50 % kořenových systémů nejzávažnější deformace tzn. strboul.
- Stejně jako u všech analyzovaných způsobů umělé obnovy sadebním materiálem generativního původu, vyskytoval se pouze u 30 % stromů z přirozeného náletu dominantní kulový kořenový systém.

Plocha Hády (tab. 1, obr. 2)

- Mezi hodnocenými způsoby obnovy nebyly zjištěny podstatné rozdíly v těchto parametrech stromů - výška nadzemní části, průměr kořenového krčku, hloubka prokořenění, tloušťka horizontálních kořenů, tloušťka panoh a počet nekosterních kořenů.
- Zásadní rozdíly byly zjištěny mezi:
 - sítí a ostatními způsoby obnovy v počtu horizontálních kořenů; síje jich má podstatně méně a jsou i slabší,
 - v počtu panoh mezi sítí a rostlinami *in vitro* na straně jedné a ostatními způsoby obnovy na straně druhé; síje a rostliny *in vitro* jich mají podstatně méně,
 - v hloubce nasazení panoh (hloubka nasazení panoh koresponduje u všech způsobů obnovy sadebním materiálem s místem mechanického zásahu do jejich kořenového systému).
- U 67 % rostlin *in vitro* byla zjištěna deformace kořenového systému do strboulu; u jiných způsobů obnovy deformace nenastala.
- Rostliny po mechanickém zkracování kulového kořene před výsadbou nevytváří kořenový systém s dominantním kulovým kořenem. Ani u síje však není vytvořen kořenový systém s dominantním kulovým kořenem u více než 25 % stromů.

K oběma sledovaným plochám:

- Na obou plochách nepřevýšily ztráty dosud u žádného způsobu obnovy 8 % (síje však byla v období klíčení semen zalévána).

- Nebyly zjištěny žádné podstatné rozdíly v růstu nadzemní části stromů ze sledovaných způsobů obnovy. Rovněž nebyly zjištěny odchylky v růstu nadzemní části, vitalitě a nebyl zaznamenán výskyt hnilob nadzemní části nebo kořenového systému.
- Mezi sledovanými způsoby obnovy nebyly zjištěny žádné větší rozdíly v hloubce prokořenění. Stromy ze všech způsobů obnovy mají v dané vývojové fázi architekturu kořenového systému, která zabezpečuje mechanickou stabilitu i výživu stromu.
- Velmi závažný je až 70% výskyt deformací kořenového systému stromů vegetativního původu na obou plochách. Téměř stejné množství deformací kořenového systému však bylo zjištěno i při málo pečlivé výsadbě sadebního materiálu generativního původu na ploše Josefov.

Diskuse

I když se traduje, že dub vytváří kulový kořenový systém, skutečností je, že ve většině případů se kulový kořen v dalším vývoji větví na několik pozitivně geotropicky rostoucích panoh. Takto reagují i duby ze sítě a přirozené obnovy (Jeník, 1955; Köstler et al., 1968; Schüte, Kim Tae Su, 1993). Naše šetření tuto skutečnost opět potvrdilo a současně prokázalo, že úprava kořenového systému rostlin při pěstování sadebního materiálu ve školkách nebo při jejich vlastní výsadbě, která má za následek tvorbu panoh, neovlivňuje negativně architekturu a funkčnost kořenového systému v dalším vývoji stromu. Stejně reagují a stejně funkční jsou i kořenové systémy vytvořené pouze z adventivních kořenů u sadebního materiálu vegetativního původu.

Hloubka nasazení panoh jednoznačně koresponduje s místem mechanické úpravy (řezu) na kořenovém systému. Zjištěné několikacentimetrové difference nasazení panoh od místa mechanické úpravy jsou způsobeny ne zcela stejnou hloubkou výsadby, ale i tím, že s výjimkou rostlin získaných *in vitro* panohy vyrůstají nejen v místě řezu, ale i několik centimetrů nad tímto místem. Místo tvorby panoh u rostlin Kontroly, korespondující s délkou jejich mechanicky neupravovaného kořenového systému při pěstování ve školce nebo výsadbě dokumentuje, že při manipulaci se sadebním materiálem nebo špatné výsadbě dochází k vizuálně nepostřehnutelnému poškození vrcholu kulového kořene a rostlina reaguje stejně jako po jeho mechanické úpravě.

I když tvorba panoh u sítě a přirozeného náletu může být vyvolána i mechanickým poškozením kulového kořene během dalšího růstu stromu (zejména vlivem biotických činitelů), častý výskyt takového utváření kořenového systému spíše dokladuje genetické podmínění tvorby kořenového systému. Místo tvorby panoh zcela nekoresponduje se změnou vlastností půdního profilu (s hranicemi půdních horizontů). Že jde o geneticky podmíněné utváření dokladuje i to, že panohy (a to u všech sledovaných technologií obnovy) se netvoří pouze jednou (tzn. pouze v jednom místě), ale v dalším vývoji se panoha opět větví na panohy další. Zajímavé je však zjištění, že první místo tvorby panoh u rostlin vypěstovaných technologií *in vitro* leží nejenom velmi vysoko, ale zejména to, že panohy vyrůstají pouze v horizontální rovině v jednom místě.

Stromy reagovaly na sledované způsoby obnovy rozdílnou tvorbou horizontálních a nekosterních kořenů. Nejméně těchto kořenů mají stromy ze sítě a přirozené obnovy, nejvíce jich mají stromy vegetativního původu. Z toho nejen vyplývá, že mechanická úprava kořenového systému může zajistit mohutnější kořenový systém, ale i to, že iniciovaná tvorba adventivních kořenů (řízkovance, *in vitro*) je počtem vzniklých kořenů úspěšnější než řez již vytvořených normálních kořenů.

Z předmětného sledování vyplývá, že obnova dubu řízkovanci a rostlinami *in vitro* může být přijatelná a úspěšná. Je však třeba upozornit na několik dalších aspektů. Pro obnovu

musí být používány pouze všestranně kvalitní rostliny. Za nekvalitní je třeba považovat všechny rostliny, u nichž je vizuálně zřejmé, že se morfologicky a vitalitou liší od standardního sadebního materiálu generativního původu. (Pouze odborník od sebe rozezná rostliny generativního a vegetativního původu.) Pro obnovu však mohou být použity pouze rostliny na výsadbu dobře připravené. Často se totiž stává, že se vysazují rostliny, které sice morfologicky nejeví žádné anomálie, ale jsou nedostatečně aklimatizované a tudíž brzy po výsadbě dochází k jejich úhynu nebo dlouhodobé stagnaci růstu. (Vychází z dlouholetých zkušeností řešitelského týmu.)

Velmi vážným nedostatkem z hlediska provozního uplatnění vegetativně množeného sadebního materiálu je nepříjemně velký výskyt deformace kořenového systému do strboulu (nežádoucí jsou ovšem i deformace typu L, J, U apod.). Tato skutečnost však nesouvisí s metodou množení. Deformace jsou vyvolávány lidským faktorem a vznikají nesprávným způsobem přesazování do obalu a nevhodnou technologií pěstování krytokořeného sadebního materiálu. Řízkovance a rostliny *in vitro* vytváří pouze adventivní kořeny, které ve fázi sadebního materiálu mají horizontální charakter růstu. Aby byla zajištěna přirozená architektonika kořenového systému, je naprosto nezbytné při přesazení do obalu kořeny ručně orientovat pozitivně geotropickým směrem. Při přesazování je nezbytné a vhodné mechanicky upravit (zkrátit) dlouhé kořeny, a to podstatně. I vlastní technika výsadby řízkovanců a rostlin *in vitro* by měla být odlišná – rostliny by se měly vždy “utopit”. Že deformace kořenového systému vyvolal lidský faktor dokladuje i to, že téměř stejné množství deformací bylo zjištěno při provozních výsadbách generativně množenoého sadebního materiálu na ploše Josefov.

Z výsledků práce vyplývá, že zatím nebyly mezi sledovanými způsoby obnovy zjištěny žádné rozdíly v rychlosti růstu nadzemní části, i když nejen podle zkušeností řešitelského týmu stromy vegetativního původu jiných druhů dřevin rostou rychleji než stromy původu generativního. Shodná dynamika růstu trvá od samého založení ploch (na ploše Hády je dynamika růstu nadzemní části vyhodnocována každoročně).

Na obou sledovaných plochách bylo zjištěno, že křlový kořen nebo panohy většinou nerostou v pozitivně geotropickém směru jednoznačně přímo, ale jejich růst je více nebo méně vlnitý. Mimo analyzované plochy Josefov a Hády autorský tým založil i další výsadby vegetativně množenoého dubu. I tyto další výsadby potvrzují výsledky uváděné v této práci.

Tab. 1: Biometrické parametry nadzemní části, architektura kořenového systému

Způsob obnovy	Výška nadz. části (cm)	Průměr kořen. krčku (mm)	Hloubka prokořenění (cm)	Horizontální kořeny		Panohy		Hloubka nasazení panoh (cm)	Nekosterní kořeny (ks)	% stromů		
				Počet (ks)	Tloušťka (mm)	Počet (ks)	Tloušťka (mm)			s dominantním ⁺ kůlovým kořenem	s deformací kořen. systému	
JOSEFOV												
Kontrola	94,3 ± 7,7	17,3 ± 1,1	30,2 ± 2,7	8,1 ± 2,2	5,1 ± 1,1	2,9 ± 0,7	5,6 ± 1,1	14,1 ± 1,9	7,3 ± 3,1	33	48	
Řízkovance	113,1 ± 9,2	17,7 ± 1,8	34,5 ± 4,2	10,0 ± 2,2	6,4 ± 1,9	2,3 ± 1,1	6,3 ± 2,4	12,3 ± 3,1	24,1 ± 9,8	37	52	
In vitro	110,0 ± 4,8	21,7 ± 2,3	27,3 ± 8,0	12,1 ± 2,4	7,2 ± 1,8	2,1 ± 0,9	8,1 ± 2,5	6,8 ± 1,3	34,0 ± 5,6	50	73	
Nálet	71,3 ± 5,3	15,3 ± 1,0	33,0 ± 3,7	4,6 ± 1,3	4,1 ± 1,0	2,7 ± 0,6	8,5 ± 2,5	15,0 ± 1,4	9,0 ± 1,4	27	0	
HÁDY												
Síje	280 ± 26	39,6 ± 2,7	72 ± 9	6,7 ± 1,3	6,4 ± 1,3	3,2 ± 0,9	8,1 ± 2,8	13,8 ± 11,3	12,9 ± 3,3	25	0	
Zkráceno 10 cm	263 ± 31	39,3 ± 4,1	76 ± 5	10,3 ± 1,4	9,3 ± 2,7	5,0 ± 1,6	9,4 ± 3,1	10,7 ± 1,9	12,3 ± 2,5	0	0	
Zkráceno 15 cm	273 ± 31	37,5 ± 3,0	73 ± 6	10,7 ± 1,4	9,6 ± 2,6	5,1 ± 1,6	11,8 ± 5,4	14,1 ± 2,1	9,7 ± 1,0	0	0	
Kontrola	274 ± 27	36,3 ± 3,7	75 ± 5	10,7 ± 1,3	8,3 ± 1,7	5,0 ± 1,4	9,2 ± 2,8	24,3 ± 2,6	9,1 ± 2,4	12	0	
In vitro	252 ± 25	36,2 ± 3,1	82 ± 8	14,3 ± 3,7	8,1 ± 2,5	2,7 ± 0,5	8,5 ± 3,4	8,9 ± 1,5	15,1 ± 2,8	20	67	

Pozn.: ⁺ hodnoceno pouze u kořenových systémů bez deformace

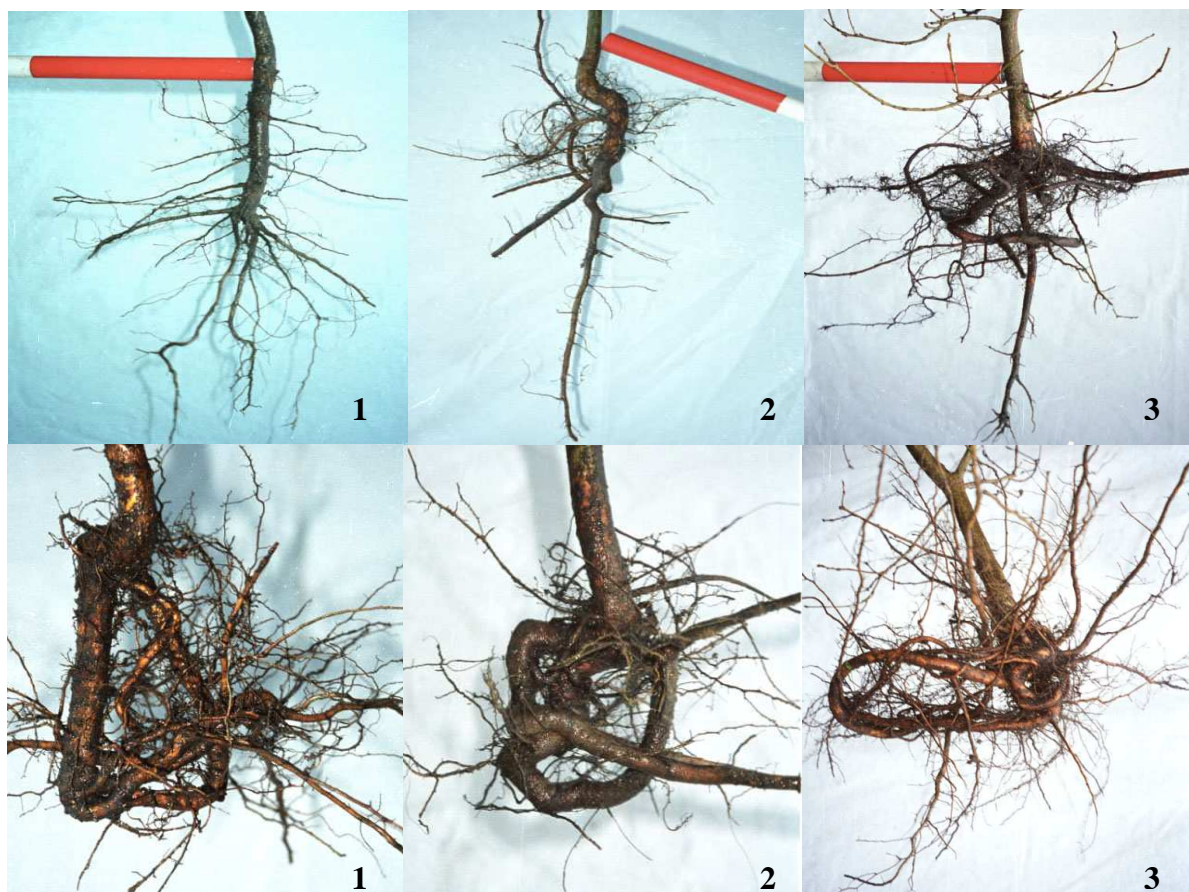


Fig. 1. The Josefov research plot – Root system architecture (1 – control, 2 – rooted cuttings, 3 – *in vitro* plants, below – root system deformation into tangle).

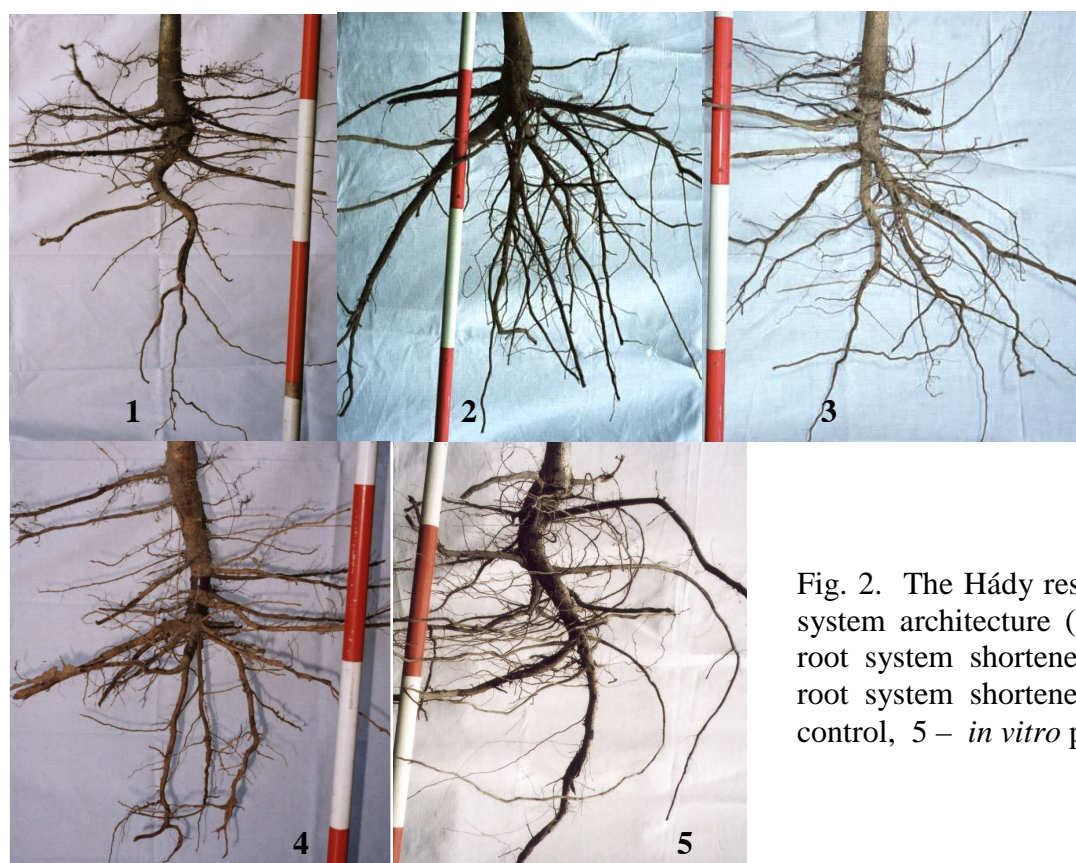


Fig. 2. The Hádý research plot – Root system architecture (1 – sowing, 2 – root system shortened to 10 cm, 3 – root system shortened to 15 cm, 4 – control, 5 – *in vitro* plants).

Závěry

Z analýzy biometrických parametrů růstu nadzemní části, architektiky kořenového systému, vitality a ztrát dubu zimního na výzkumných plochách založených sítí, sadebním materiálem generativního původu s různým rozsahem zkracování kořenového systému, řízkovanci a sadebním materiálem vypěstovaným metodou *in vitro* lze vyvodit tyto hlavní závěry.

- Stromy ze všech sledovaných způsobů obnovy mají shodnou dynamiku růstu nadzemní části, přibližně stejné ztráty a nevykazují sníženou vitalitu.
- Stromy ze všech sledovaných způsobů obnovy mají podobnou architektiku kořenového systému a prokořeňují půdní profil do stejné hloubky.
- Častý výskyt deformace kořenového systému, zejména u sadebního materiálu vegetativního původu, není vyvolán metodou množení, ale pouze lidským faktorem - špatným pěstováním krytokořeného sadebního materiálu a nedbalou výsadbou.

Seznam použité literatury

Andersen, L., Rasmussen, H.N., Brander P.E., 2000: Regrowth and dry matter allocation in *Quercus robur* (L.) seedling root pruned prior transplanting. *New Forests*, 19, 2, p. 205-213.

Biebelriether, H., 1962: Wurzeluntersuchungen an Tannen und Eichen in Mittelschwaben. *Forstwiss. Cbl.*, 81, 7/8, p. 230 – 248.

Jeník, J., 1955: Deformation of oak root system by planting (in Czech). *Lesnictví*, 28, 1, p. 15-24.

Jurásek, A.: Pěstební postupy pro získání výsadbyschopných řízkovanců buku a dubu. Lesnický průvodce 1/ 2001, 30 s.

Köstler, J. N., Brückner, E., Biebelriether, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 282 pp.

Mauer, O., Palátová, E., Ochman, J., 2002: Development of root system in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) from sowing and planting. *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 21, Supplement 1, p. 152-170.

Meier-Dinkel, A., 1987: *In vitro* Vermehrung und Weiterkultur von Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* /Mat./ Liebl.). *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 158, 11/12, p.199 – 204.

Polomski, J., Kuhn, N., 1998: Wurzelsysteme. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 290 pp.

Riedacker, A., Belgrand, M., 1983: Morphogenese des systém racinaires des semis et boutures de chene pedonculé. *Plant and Soil*, 71, p.131 – 146.

Riedacker, A., Poda, U., 1977: Les systemes racinaires de jeunes plants de hetre et de chene. 1. Modification de leur morphogenese par decapitation d'extremities de racines et consequences pratiques. *Annales-des-Sciences-Forestieres*. 34, 2, p.111-135.

Röhrig, E., 1977: Wurzelschnitt an Eichensämlingen. *Forstarchiv*, 48, 2, p. 25 – 28.

Schüte, G., Kim Tae Su, 1993: Vergleichende Wurzeluntersuchungen an Stecklingen, in Vitro vermehrten Pflanzen, Direktsaaten und Sämlingen der Stiel- und Traubeneiche. In: *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 111, p.159 – 177.

Spethmann, W., 1986: Stecklingvermehrung von Stiel und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* /Matt./ Liebl). *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, Band 86, 99 pp.

Streller, S., Moosdorf, F., 2002: Wurzelanalysen an Stieleichen und Weistannen auf Pseudogley. AFZ-Der Wald, 5, p. 232 – 234.

Šika, A., Zavadil, Z., 1954: Establishing protection forest belts by sowing acorns (in Czech). Práce výzkumných ústavů lesnických, 4, p. 237-256.

Mykorhiza a její význam pro lesní dřeviny

Ewa Chmelíková, Pavel Cudlín

Úvod

Mykorhizní symbiózy se vyskytují u více než 90% vyšších rostlin a pouze u malého počtu rostlinných druhů, patřících například do čeledí Chenopodiaceae (merlíkovité), Brassicaceae (brukvovité), Juncaceae (sítinovité), Cyperaceae (šáchorovité) a Polygonaceae (rdesnovité), se tyto symbiózy příliš neuplatňují (Harley a Halley 1987). Mykorhizní symbiózy zahrnují řadu vzájemně prospěšných vztahů mezi rostlinami a půdními houbami a patří bezpochyby k nejvýznamnějším vztahům mezi rostlinami a mikroorganismy vůbec.

Tyto vztahy se vyvinuly v průběhu fylogeneze zúčastněných organismů; první mykorhizy byly nalezeny již u paleontologických nálezů z období devonu (Pirozynski, Malloch 1975). Představují přirozený mechanismus, zprostředkovávající styk kořenového systému rostlin s půdou a umožňující jejich efektivnější začlenění do koloběhu látek a energií. Houbové hyfy pronikají do kořenových pletiv hostitelské rostliny a přetvářejí je na speciální orgány – mykorhizy.

V případě lesních dřevin rostoucích na území České republiky jsou mykorhizy nedílnou součástí každého jedince žijícího v neaseptických podmínkách. To znamená, že ve volné přírodě nenajdeme dřevinu se sterilním kořenovým systémem bez alespoň částečné infekce mykorhizními hubami. Při tom je však stav a funkčnost mykorhiz výrazně ovlivňován vnějšími vlivy a velmi záleží na vhodnosti příslušných mykorhizních symbiontů. Proto je třeba stavu mykorhiz, současně s dalšími kvalitativními a kvantitativními parametry lesních dřevin, věnovat patřičnou pozornost. V naší zemi proběhlo několik „vln“ popularizující umělou mykorhizaci bez výrazného dopadu na praxi. Domníváme se, že hlavní příčinou byl nedostatek informací o složitosti této problematiky a přílišné očekávání praxe i odborné veřejnosti od výsadeb očkovaných jedinců. Je třeba si uvědomit, že mykorhizní infekce je pouze jedním z faktorů ovlivňující funkční celistvost rostliny, nemá však schopnost zcela vyřešit problém se zalesňováním imisních či jinak antropogenně zatížených lokalit, ani nahradit nedostatky např. v průběhu pěstování sazenic. Žádný preparát nedokáže zcela eliminovat případné nevhodné pěstební postupy. Kvalitní mykorhizní infekce nemůže napravit deformaci kořenového systému, pouze jej může v některých směrech částečně kompenzovat.

Typy mykorhiz

Mykorhizy rozdělujeme do tří morfologicky výrazných skupin, podle toho, zda houbové hyfy vytvářejí na povrchu kořenů houbový plášť a zda pronikají do buněk primární kůry kořene: ektomykorhizy, endomykorhizy a ektendomykorhizy.

Ektomykorhizy (EKM) nalézáme většinou na krátkých kořenech dřevin (všechny jehličnaté dřeviny mají tento typ mykorhiz, z listnatých dřevin především buky, duby, břízy, topoly a vrby), které mají délkově omezený růst a nejsou sekundárně ztloustlé; bezprostředně po houbové infekci ztrácejí tyto kořeny kořenové vlášení (Harley, Harley 1987). Houbové hyfy tvoří na povrchu kořenů několikavrstevný houbový plášť a pronikají do mezibuněčných prostor primární kůry, kde vytvářejí tzv. Hartigovu síť; nikdy nepronikají do živých buněk kořene.

Většina ektomykorhizních hub je druhově specifická, to znamená že tvoří mykorhizy jenom s jedním druhem hostitelské dřeviny (např. klouzek modřínový) nebo s několika dřevinami (čechratka podvinutá).

Endomykorhizy byly zjištěny na kořenech největšího počtu rostlinných druhů; jsou tvořeny různými skupinami hub, u lesních dřevin se vyskytuje pouze tzv. vesikulo-arbuskulární (podle nové zahraniční terminologie jen arbuskulární) typ mykorhiz. U endomykorhiz houbové hyfy prorůstají do živých buněk primární kůry kořene, mohou však též růst v mezibuněčných prostorech, nebo tvořit řidší či hustší síťku na povrchu kořene. Vyskytuje se u některých listnatých dřevin, např. u javorů, jasanů, jilmů a habru (Harley, Harley 1987).

Arbuskulární mykorhizy jsou tvořeny nižšími houbami s velmi nízkou specifitou vůči hostitelským rostlinám. Jeden houbový druh tak běžně vytváří mykorhizy s kapradinami, travami, dvouděložnými bylinami i listnatými stromy.

Ektendomykorhizy představují přechodný typ – mají vytvořený houbový plášť a houbové hyfy prorůstají do mezibuněčných prostor i dovnitř buněk. Vyskytují se u menšího počtu rostlinných druhů, patřících většinou do řádu Ericales (vřesovcotvaré), občas též jako přechodná fáze u semenáčků některých dřevin.

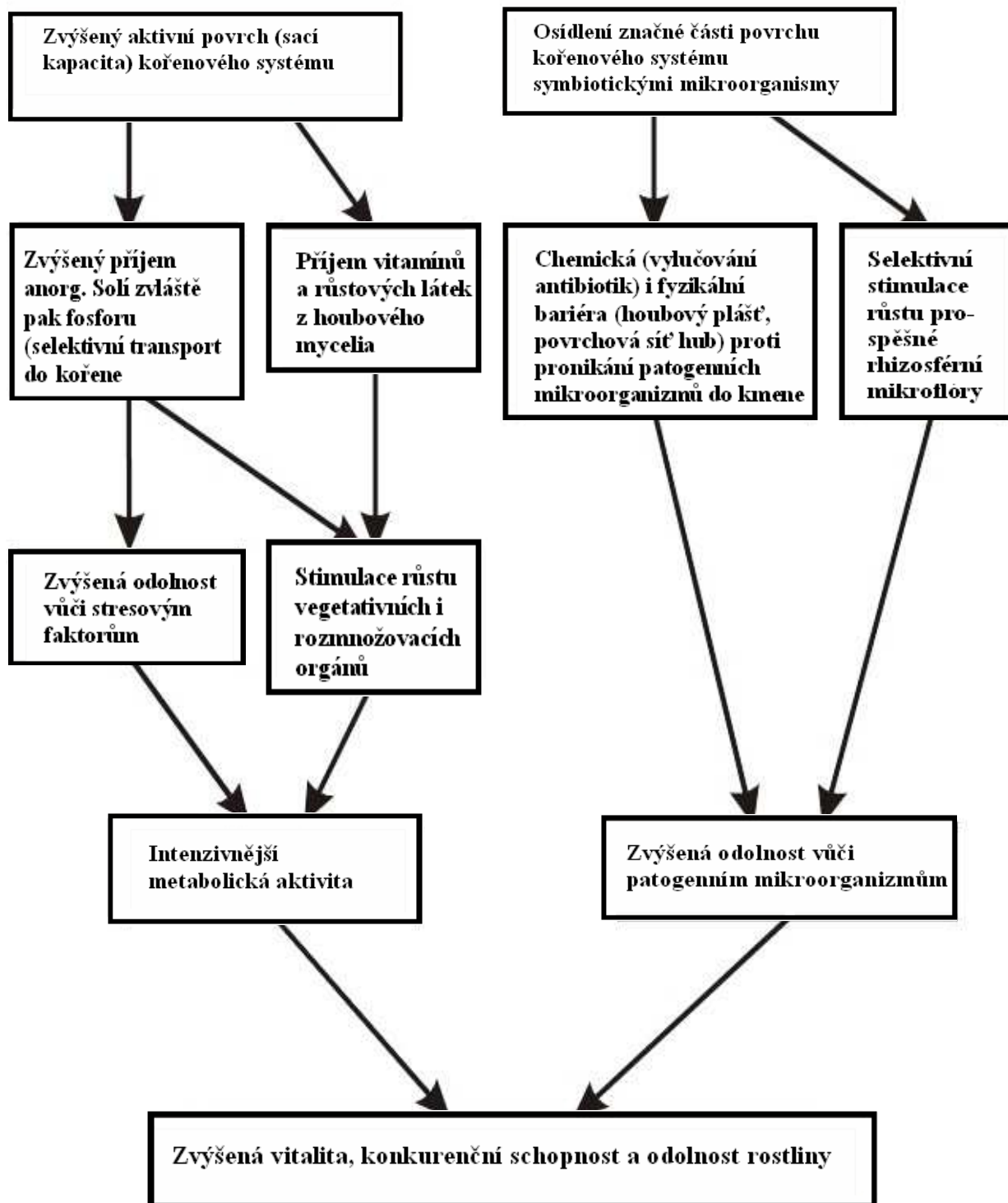
Tento typ mykorhiz je u semenáčků dřevin tvořen primitivními zástupci vřeckovýtusých hub (Ascomycetes), jejichž specifita není dodnes zcela prozkoumána.

Význam mykorhizní symbiózy pro rostlinu

Hlavní význam mykorhizních symbióz vyplývá ze skutečnosti, že se jedná o nedílnou součást většiny rostlin. V případě narušení či poškození těchto vztahů dochází k narušení celistvosti rostliny a tuto nerovnováhu je třeba kompenzovat, což může přinést další nepředvídatelné změny a ovlivnění růstu.

Mykorhizní symbiózy obecně podporují rovnovážný růst rostlin a jejich odolnost vůči environmentálním faktorům (Obr. 1) zvětšením absorpčního povrchu kořenů pomocí extramatrikálního (mimo rostlinu žijícího) mycelia symbiotických hub, spojeného s houbovými hyfami v kořenech (Mejstřík 1988). Toto zvětšení absorpčního povrchu kořenů má za následek zvýšení příjmu vody a anorganických (především fosforu) i organických látek z půdy. Mykorhizní houby zásobují kromě toho kořeny rostlin vitamíny a růstovými látkami a různými mechanismy chrání kořen před mikrobiálními patogeny (Harley, Smith 1983). K nejvýznamnějším mechanismům patří fyzická bariéra houbového pláště u ektomykorhiz, vylučování antibiotických látek do okolí kořene a ovlivňování takového osídlení kořene rhizosférní mikroflórou, která sama chrání kořen před patogenními mikroorganismy (Moser, Haselwandter 1983). Mykorhizní houby získávají od hostitelské rostliny produkty fotosyntetické asimilace – cukry a další organické látky.

V posledních letech se podařilo díky novým biochemickým a molekulárně biologickým metodám vysvětlit další fyziologické a ekologické souvislosti vzniku a fungování mykorhizních symbióz, jako je například kontrola zásobování houbového symbionta cukry (Buscot et al. 2000) nebo vliv rostlinného genomu na vytváření vhodného rhizosférního prostředí (Wiemken, Ineichen 1996, Domenech et al. 2004).



Obr. 1: Význam mykorhizní symbiózy pro hostitelskou rostlinu.

Mutualistické vztahy mezi mykorhizní houbou a její hostitelskou rostlinou však mohou být narušeny, a to jak na stanovišti (například vlivem kyselé depozice, velkých depozic atmosférického dusíku, nebo zastíněním), tak i ve školkách (například vlivem přehnojení půdy nebo používáním pesticidů). V těchto případech převáží energetická náročnost (množství cukrů dodané houbě) mykorhizní symbiózy nad množstvím látek získaných od houby. Vzájemně prospěšný vztah se tak může změnit na parazitický v neprospěch rostliny (Johnson a kol. 1997).

Praktické využití mykorhizních symbióz

Obecně se dá říci, že dodnes lesnická praxe nevěnuje existenci mykorhizních symbióz dostatečnou pozornost. Přesto jsou postupně (s určitými periodami) stále častěji objektem zájmu výzkumu a odborné veřejnosti a objevuje se stále více a více pokusů o umělé očkování dřevin, případně dalších intenzivně pěstovaných rostlin, ektomykorhizním nebo endomykorhizním inokulem. Příkladem mohou být školky francouzské firmy ROBIN či kontejnerové školky v Polsku, které se zabývají pěstováním očkovaných sazenic pomocí vybraných klonů ektomykorhizních hub.

Velmi malá pozornost byla doposud věnována průzkumu mykorhizních poměrů ve školkách, případně na místech výsadby, a ověřování metod, jak zlepšit stav mykorhizních symbióz pomocí modifikace pěstebních postupů. Vnášení umělého inokula do půdy (umělá mykorhizace) je totiž nejproblematičtější, a proto též také nejdražším opatřením, které by mělo následovat až po vyčerpání všech ostatních možností (Göbl, Heumader 1989). Velmi cenným přístupem k identifikaci mykorhizních symbiontů ve školkách i na zalesňovaných stanovištích jsou v posledním desetiletí se rychle rozvíjející metody molekulární biologie; nejčastěji se k tomuto účelu používají metody PCR/RPLF (Lanfranco et al. 1998).

Úspěšná umělá mykorhizace vyžaduje v každém případě velmi podrobně vypracovanou strategii, zahrnující průzkum mykorhizních poměrů ve školce i v místě výsadby, výběr efektivních mykorhizních symbiontů, izolaci a napěstování dostatečného množství mycelia v čisté kultuře, přípravu mykorhizního inokula a testování jeho vlastností, vhodný způsob umělé inokulace a dopěstování rostliny do výsadby schopného stavu (Cudlín a Mejstřík 1989). Vhodný houbový symbiont by měl mít schopnost převedení a udržení v čisté kultuře, měl by stimulovat růst symbiotické dřeviny, a to i s jejími ranými vývojovými stádii (Mason a kol. 1983), a měl by být odolný vůči stresovým faktorům, vyskytujícím se ve školce i na cílové lokalitě. Úspěšnost komerčního pěstování očkovaných sazenic je přímo úměrná schopnosti nalézt takový klon, který má co nejširší možnosti dalšího použití a není vázán na příliš specifické podmínky.

Z výše uvedeného významu mykorhizních symbióz vyplývá účelnost umělé inokulace ektomykorhizními i endomykorhizními houbami v lesnictví, která byla v posledních desetiletích již mnohokrát prokázána, ať již šlo o zalesňování bývalých zemědělských půd, stepí či jiných původně bezlesých oblastí (Mikola 1968), rekultivaci výsypek a skládek (Schramm 1966, Huttel, Weber 2001), introdukce exotických dřevin (HacsKaylo, Vozzo 1967), pěstování dřevin ve sterilizovaných substrátech (Marx a kol. 1978), nebo o řešení dalších speciálních problémů ve školkách (Göbl, Platzer 1968). Při zalesňování výsypek se úspěšně uplatnila též inokulace dřevin i travin VAM houbami (Daft a kol. 1973), případně i inokulem, obsahujícím mykorhizní houby a nitrifikační bakterie (Moser, Haselwandter 1983). V posledních letech stoupá zájem o využití ektomykorhizních symbióz v „agroforestry“ (Haselwandter, Bowen 1996).

Mykorhizní inokulace je v neposlední řadě se střídavými výsledky využívána i pro pěstování jedlých EKM hub, ať už hříbovitých nebo lanýžů (Fassi, Fontana 1969, Zdražil, Schliemann 1977). Praktickou ukázkou mohou být sazenice naočkované lanýži dodávané již zmíněnou firmou ROBIN.

Umělá mykorrhizace je (přes všechny dále uvedené problémy) považována za jeden z perspektivních přístupů pro řešení takových problémů, jako je potravinová krize, alternativní zdroje bioenergie, nebo zmírňování následků globální klimatické změny.

Ovlivnění mykorrhizních symbióz při pěstování dřevin

Potřeba ovlivnění mykorrhizních symbióz při pěstování dřevin ve školkách v současnosti vyplývá ze dvou podstatných změn, kterými naše krajina i školkařtví procházejí v posledních desetiletích:

- 1) Zhoršení stanovištních podmínek pro dřeviny, a to ať jde o lesy, zemědělskou krajinu nebo intravilán, způsobené jak globálními environmentálními změnami (globální oteplení, acidifikace, zvýšené koncentrace škodlivin v ovzduší, vodě a půdě), tak i stále rostoucím tlakem na využívání krajiny (růst sídel, intenzifikace výroby, vznik velkoplošných antropogenních substrátů);
- 2) Intenzifikace školkařské produkce vedoucí k potlačení mykorrhiz, přirozeně vznikajících v extenzivně obhospodařovaných školkách; hlavními příčinami je nadměrné používání fungicidů a umělých hnojiv a pěstování v umělých substrátech (Cudlín, Mejstřík 1989).

Dřeviny s dobře vytvořeným kořenovým systémem a s mykorrhizami, schopnými v prvních letech po vysazení na cílové místo podporovat ujmoutí a růst sazenic, mají mnohem lepší předpoklady pro úspěšnou výsadbu. Samy o sobě však nejsou zárukou dobrých výsledků bez optimalizace dalších pěstebních postupů. Mykorrhizy vzniklé ve školce, tuto funkci často neplní a většinou po výsadbě brzy odumřou (Trappe 1997). Vhodně vybrané kmeny hub však mohou přinést velmi dobré výsledky i po několika letech od výsadby (Selosse et al. 2000).

Ovlivnění podmínek pro vznik a rozvoj mykorrhizních symbióz houbami, vyskytujícími se ve školce

Především je třeba si uvědomit, že všechny sazenice ektomykorrhizních dřevin vyprodukované v lesních školkách mají část kořenového systému infikovanou ektomykorrhizním houbovým symbiotem; je pouze otázka, nakolik je tento symbiont vhodný pro výsadbu sazenice na konkrétní stanoviště.

- 1) Rozmístění mykorrhizních dřevin ve školce.- Velmi významným faktorem je poloha samotné školky. Nejvhodnější je její umístění v lese, nejlépe smíšeném, nebo v lese, kde se střídají porosty různých dřevin a různých věkových stádií. Při založení školky „na zelené louce“ je účelné vytvořit vnitřní členění výsadbou stěn rychle rostoucích (topol, modřín) a pomaleji rostoucích (buk, dub, další listnáče a jehličnany) dřevin. Tím zajistíme dříve či později přísun propagujících (rozmnožovacích částic) mykorrhizních hub do kultur pěstovaných dřevin. Tímto způsobem se nám může podařit vyřešit problém s přísunem spór EKM hub, létajících na velkou vzdálenost. Větším problémem jsou VAM houby, které se šíří kolem VAM dřevin rychlostí několik decimetrů až metrů za rok.
- 2) Kultivační podmínky.- I v případě, že se nám podaří zajistit dostatečný přísun propagulí mykorrhizních hub (spór, vegetativního mycelia, sklerocií apod.) do kultivačních prostor školky, nemusí se mykorrhizní mycelium za daných kultivačních podmínek dobře rozrůstat a tvořit se sadbovým materiálem efektivní mykorrhizní symbiózy. K základním podmínkám patří: dostatečné množství organické hmoty (v půdě, nebo v umělém substrátu), udržení určité minimální vlhkosti substrátu, střední nebo nižší obsah živin (např. opakovaná aplikace nízké koncentrace roztoku hnojiva na list) a selektivní

používání pesticidů. Fungicidy lze většinou používat jen ke sterilizaci substrátu (u EKM hub dojde brzy k rekolonizaci), po vytvoření mykorhiz již jen k postřiku nadzemních částí, aby se dostalo co nejméně přípravku do půdy. V některých případech lze i tady použít fungicidy na bázi benomylu, proti kterému jsou EKM houby relativně odolné (Fitter, Nichols 1988).

Umělá inokulace mykorhizními houbami

Mykorhizní inokula můžeme rozdělit do čtyř hlavních skupin (Mexal 1980): půda, popřípadě hrabanka z porostu nebo ze starší lesní školky, starší mykorhizní sazenice, spóry hub a vegetativní inokulum houbového mycelia. Přestože bylo toto dělení používáno většinou pro EKM houby, platí i pro VAM houby, s tím, že vegetativní inokulum obsahuje vždy i spóry.

Klasické metody umělé mykorhizace EKM houbami (půdou, mykorhizními sazenicemi a kousky plodnic se spórami) byly od svých začátků před více než 100 lety v posledních desetiletích většinou vystřídány „modernějšími“ metodami, využívajícími čisté houbové kultury (Mikola 1968). Nejprve bylo mycelium EKM hub pěstováno v různých substrátech za sterilních podmínek (pšeničná zrna, písek, perlit), často ve směsi s rašelinou (Sobotka 1957, Moser 1963). Později byly hledány substráty, do kterých by mycelium vrůstalo a bylo tak chráněno před vysycháním a napadením patogenními mikroorganismy. Nejvhodnějším materiálem se ukázal vermikulit s malým množstvím rašeliny pro udržení stabilní hodnoty pH (Marx a kol. 1984) a jeho výroba probíhá již řadu let v USA. Prakticky tuto metodu používají kontejnerové školky v Polsku. Současně se v USA prováděly pokusy s inokulací vodní suspenzí spór (většinou zástupců Gasteromycetes); tyto spóry se zde též často používaly k zaočkování substrátu pro vegetativní inokulum (Marx, Cordell 1990).

V 80. letech vznikl imobilizací mycelia v pektinovém gelu nový typ inokula – tzv. granulované inokulum, s cílem zjednodušit a zkrátit technologii výroby a zmenšit jeho objem (Le Tacon 1983). Krátce nato byla u nás vypracována modifikace této metody a granulované mycelium celé řady EKM hub bylo u nás poloprovozně testováno pro mykorhizaci sazenic borovice lesní a smrku ztepilého, určených pro zalesňování výsypek v Podkrušnohoří (Kropáček a kol. 1989a). Prakticky tuto metodu očkování užívá firma ROBIN.

Všechny typy vegetativního inokula, včetně vodní suspenze spór, se zapravují do půdy nebo do substrátu těsně před výsevem, nejpozději při tvorbě prvních laterálních kořenů semenáčků. Později je již rhizosféra kořenů kolonizována EKM houbami a ostatní půdní mikroflórou, nacházející se ve školce. Výjimku tvoří za určitých podmínek řízkovanci v první vegetační sezóně (Chmelíková, Cudlín 1991). Jiná je situace u VAM dřevin, kde k samovolné infekci dochází pomaleji.

Vnesení mykorhizního inokula do půdy či do substrátu je samozřejmě jen prvním krokem úspěšného vytvoření mykorhizní symbiózy; kultivační podmínky po celou dobu růstu semenáčku či sazenice musí podporovat tvorbu mykorhiz a platí pro ně stejné zásady, jako pro ovlivňování mykorhizních symbióz houbami vyskytujícími se ve školce. Budou však spojeny více se způsobem umělé inokulace a metodou pěstování sadbového materiálu; odlišné metody budou například použity pro prostokořenný materiál (Marx a kol. 1984) a krytokořenný materiál (Marx a kol. 1982).

Využití metod ovlivňování mykorhizních symbióz při pěstování a výsadbě domácích i introdukovaných dřevin

Dále uvedený text se snaží přinést jakýsi stručný návod, jak postupovat v případě zjištění jakýchkoliv problémů s růstem a vývojem sazenic ve školce, nebo s ujmoutím a dalším růstem vysazeného sadbového materiálu, které by mohly souviset s nedostatečným rozvojem efektivních mykorhizních symbióz.

Jak již bylo uvedeno, je nejprve zapotřebí udělat průzkum mykorhizních poměrů ve školce. Hodně napoví, zda byly v minulých letech nalézány v blízkosti semenáčků a sazenic plodnice EKM hub. Nejčastějšími druhy ve školkách jsou zástupci rodů *Laccaria* (lakovka) a *Hebeloma* (slzivka). Hned potom následuje prohlídka kořenových systémů EKM dřevin pod binokulární lupou na přítomnost mykorhiz. U VAM dřevin je zapotřebí obarvit vzorek kořenů trypanovou modří (Phillips, Hayman 1970) a pozorovat pod mikroskopem. Mykorhizní inokulační potenciál půdy či jednotlivých používaných substrátů zjistíme po čtyřměsíčním pěstování semenáčků (po vysetí semen příslušné dřeviny do substrátu v laboratorních podmínkách). Je třeba zabránit dalšímu přísunu spór v průběhu testu (Kropáček a kol. 1989b). Vhodným doplňkem je též stanovení růstového potenciálu kořenů (Sutton 1979) – přírůst kořenů po dvou týdnech na začátku vegetační sezóny po náhlém zvýšení teploty (například přenesením do skleníku). V případě pozitivních výsledků a při přetrvávání problémů s přesazováním tohoto materiálu, je třeba provést komplexnější stanovení potenciálního indexu ujmoutí, kdy se při různých světelných a vlhkostních kultivačních podmínkách stanovují vybrané morfologické, fyziologické a ekologické parametry (Grossnickle a kol. 1991). Pomocí tohoto indexu lze nalézt sadbový materiál nejvhodnější pro dané stanoviště. Při tomto testu je možné vzít ohled i na specifické podmínky městské zeleně (například malou provzdušněnost a častou vysychavost substrátu, nebo vysoký obsah solí).

V případě špatného stavu mykorhiz u sadbového materiálu ve školce, je třeba se pokusit o zajištění kultivačních podmínek, příhodnějších pro vznik a rozvoj mykorhiz (viz výše). Nevede-li tato cesta k cíli, je třeba přikročit k umělé mykorhizaci. Pro řadu dřevin postačí „primitivnější způsoby“ očkování – hrabanka z porostu této dřeviny (pro dřeviny v přírodě rostoucí) a vysazení kostry starších, mykorhizních sazenic téže dřeviny v intervalu 3-5 m (vhodné zvláště pro introdukované dřeviny – duby, rododendrony, lýkovce apod.). V některých případech je umělá mykorhizace většinou potřebná – například u jednoletých řízkovanců většiny dřevin (Chmelíková, Cudlín 1991). Pro použití umělé mykorhizace čistou kulturou houby doporučujeme obrátit se na některé specializované pracoviště. Velkým problémem pro inokulaci čistými kulturami mohou být některé introdukované EKM dřeviny (např. dub červený), u kterých se nevyskytují žádné plodnice EKM hub. Zde je možné zkoušet druhy hub, tvořící u nás EKM s příbuznými skupinami dřevin. Menší problém bude pravděpodobně s introdukovanými VAM dřevinami, vzhledem k podstatně menší specifitě VAM hub (Trappe 1977, Graham, Eissenstat 1994).

Pokud je zvolen vhodný mykorhizní kmen houby a je úspěšně vyřešena otázka přípravy inokula a technika očkování, zbývá vyřešit již jen velký ekologický problém s konkurencí autochtonní mikroflóry, včetně mykorhizních hub. V každém případě je vhodná sterilizace substrátu, a to propařováním, fumigací Basamidem, popřípadě alespoň prolitím fungicidem (například přípravkem Dithane M-45).

Zcela jiným problémem je ovlivňování mykorhizních poměrů u dospělých stromů, jevících příznaky chřadnutí. Zde je třeba odebrat vzorky kořenů a v případě zjištění poškození kořenů či mykorhiz je třeba eliminovat negativní vlivy působící na strom a spolehnout se na velkou regenerační schopnost dřevin. Možnosti umělé mykorhizace v takovýchto případech nebyly zatím systematicky studovány.

Seznam použité literatury

- Buscot F., Munch J. C., Charcosset J. Y., Gardes M., Nehls U., Hampp R. (2000): Recent advances in exploring physiology and biodiversity of ectomycorrhizas highlight the functioning of these symbioses in ecosystems. *FEMS Microbiol. Rev.* 24: 601-614.
- Cudlín P., Mejstřík V. (1989): Ecological prospects of utilization of ectomycorrhizal symbiosis in forestry. In: Vančura V., Kunc F. (eds.), *Interrelationships between microorganisms and plant in soil*. Academia, Prague, pp. 77-82.
- Daft M. J., Okusanya B. O. (1973): Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. V. Influence of infection on the multiplication of viruses in tomato, petunia and strawberry. *New Phytol.* 72: 975-983.
- Domenech J., Ramos-Solano B., Probanza A., Lucas-Garcia J. A., Colon J. J., Gutierrez-Manero F. J. (2004): *Bacillus* spp. and *Pisolithus tinctorius* effects on *Quercus ilex* spp. *Forest Ecol. and Manag.* 194: 293-303.
- Fassi B., Fontana A. (1969): Sintesi micorrizica tra *Pinus strobus* e *Tuber maculatum*. *Allionia* 15: 115-120.
- Fitter A. H., Nichols R. (1988): The use of benomyl to control infection by vesicular-arbuscular fungi. *New Phytol.* 110: 201-206.
- Göbl F., Heumader J. (1989): Biologische Forstpflanzenanzucht. *Österreichische Forstzeitung* 12/1989: 104-109.
- Göbl F., Platzler H. (1968): Einfluss von Düngung und Mykorrhiza-Impfung auf das Wachstum von Fichtenjungpflanzen. *Zentralbl. Gesamte Forstwes.* 85: 160-172.
- Graham J. H., Eissenstat D. M. (1994): Host genotype and the formation and function of VA mycorrhizae. *Plant a. Soil* 159: 179-185.
- Grossnickle S. C., Major J. E., Arnott J. T., Lemay V. M. (1991): Stock duality assessment through an integrated approach. *New Forests* 5: 77-91.
- Hacskaylo E., Vozzo J. A. (1967): Inoculation of *Pinus caribea* with pure cultures of mycorrhizal fungi in Puerto Rico. In: *Proc. of the 14th IUFRO Congress, München, Vol. 5, Sect. 24*, pp. 139-148.
- Harley J. L., Harley E. L. (1987): A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytol.* 105, Suppl. 2, 102 p.
- Harley J. L., Smith S. E. (1983): *Mycorrhizal symbioses*. Academic Press, London.
- Haselwandter K., Bowen G. D. (1996): Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land reclamation. *Forest Ecol. and Manag.* 81: 1-17.
- Hüttl R. F., Weber E. (2001): Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* 88:322-329.
- Johnson N. C., Graham J. H., Smith F. A. (1997): Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.* 135: 575- 585.
- Chmelíková E., Cudlín P. (1991): Stimulace zakořeňování řízků smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst) pomocí ektomykorhizních hub. *Lesnictví* 36: 985-992.
- Kropáček K., Cudlín P., Mejstřík V. (1989a): The use of granulated ectomycorrhizal inoculum for reforestation of deteriorated regions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 28: 263-269.
- Kropáček K., Krištinová M., Chmelíková E., Cudlín P. (1989b): The mycorrhizal inoculation potential of forest soils exposed to different pollution stress. *Agric. Ecosyst. Environ.* 28: 271-277.
- Lanfranco L., Peroto S., Longato S., Mello A., Cometti V., Bonfante P. (1998): Molecular approaches to investigate biodiversity in mycorrhizal fungi. In: Varma A. (ed.) *Mycorrhizal manual*, Springer, Berlin, p. 353-372.
- Le Tacon F., Jung G., Michelot F., Mugnier M. (1983): Efficacité en pépinière forestière d'un inoculum de champignon ectomycorrhizien produit en fermenteur et inclus dans une matrice

- des polymeres. Ann. Sci. Forest. 40: 7-18.
- Marx D. H., Cordell C. E. (1990): Development of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings from spores sprayed at different times and rates. Southeastern For. Exp. Station, Res. Note SE-356, 7 p.
- Marx D. H., Cordell C. E., Kenney D. S., Mexal J. G., Artman J. D., Riffle J. W., Molina R. J. (1984): Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on bare-root tree seedlings. Suppl. Forest Sci. 30, 101 p.
- Marx D. H., Ruehle J. L., Kenney D. S., Cordell C. E., Riffle J. W., Molina R. J., Pawuk W. H., Navratil S., Tinus R. W., Goodwin O. C. (1982): Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on container-grown tree seedlings. Forest Sci. 28: 373-400.
- Mason P. A., Wilson J., Last F. T., Walker C. (1983): The concept of succession in relation to the spread of sheathing mycorrhizal fungi on inoculated tree seedlings in unsterile soils. Plant a. Soil 71: 247-256.
- Mejstřík V. (1988): Mykorrhizní symbiózy. Academia, Praha, 150 p.
- Mexal J. G. (1980): Aspects of mycorrhizal inoculation in relation to afforestation. New Zeal. J. For. Sci. 10: 208-217.
- Mikola P. (1968): The importance and technique of mycorrhizal inoculation at the afforestation of treeless areas. Helsinki Mimeogr. 1968/2, 35 p.
- Moser M. (1963): Förderung der Mykorrhizabildung in der forstlichen Praxis. Mit. Forstl. Bundes. Vers. Anst. Marianbrunn, No. 60, pp. 691-720.
- Moser M., Haselwandter K. (1983): Ecophysiology of mycorrhizal symbioses. In: Lange O. L., Nobel P. S., Osmond C. B., Ziegler H. (eds.), Physiological plant ecology III., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Vol. 19, pp. 392-421.
- Phillips D. N., Hayman D. S. (1970): Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- Pirozynski K. A., Malloch D. W. (1975): The origin of land plants: a matter of mycotrophism. Biosystems 6: 153-164.
- Schramm J. R. (1966): Plant colonization studies on black wastes from anthracite mining in Pennsylvania. Trans. Am. Philos. Soc. New Ser. 56: 1-194.
- Selosse M. A., Bouchard D., Martin F., Le Tacon F. (2000): Effect of *Laccaria bicolor* strains inoculated on Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) several years after nursery inoculation. Can. J. For. Res. 30: 360-371.
- Sobotka A. (1957): Umělá mykorrhizace semenáčků dubu a borovice. Sborn. Čs. Akad. Zeměd. Lesn. 3: 503-520.
- Sutton R. F. (1979): Planting stock quality and grading. For. Ecol. a. Manage. 2: 123-132.
- Trappe J. M. (1977): Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. Ann. Rev. Phytopathol. 15: 203-222.
- Wiemken V., Ineichen K. (1996): A method to access the below-ground part of a model spruce ecosystem. Funct. Ecol. 10: 417-420.
- Zadražil F., Schliemann J. (1977): Ökologische und biotechnische Grundlagen der Domestikation von Speisepilzen. Mushroom Sci. 9: 199-218.

Mykorhiza a technologie pěstování sadebního materiálu lesních dřevin

Oldřich Mauer, Petra Mauerová

Úvod a cíl práce

Kořenový systém je základem stromu v nejširším smyslu - zajišťuje jeho mechanickou stabilitu, příjem živin a vody. Není-li kořenový systém dostatečně vyvinut, nebo je jeho funkčnost negativně ovlivněna vnějšími faktory, dochází k chřadnutí a odumírání stromu (MAUER, PALÁTOVÁ 2003, CHMELÍKOVÁ, CUDLÍN 2004). Na většinu negativních faktorů stromu nejdříve a často i nejvíce reaguje změnami kořenového systému, obzvláště jemných kořenů, které zajišťují převážnou část výživy a příjmu vody. Nemá-li sadební materiál po výsadbě odpovídající velikost kořenového systému a zejména dostatek jemných kořenů, dochází k dlouhodobé stagnaci jeho růstu a často i úhynu. Při pěstování sadebního materiálu musí být proto voleny takové postupy, které zajistí rostlinám nejen velký kořenový systém jako takový, ale i velký podíl jemných kořenů v objemu celého kořenového systému. Při výsadbách musí být voleny takové postupy obnovy, které zajistí přirozenou architekturu kořenového systému a okamžitý růst a stimulaci vývinu jemných kořenů. Splněním těchto podmínek jsou vytvořeny předpoklady k tomu, že strom bude nejen dobře odrůstat, ale bude i odolávat většině vnějších negativních faktorů (GRYNDLER a kol. 2004, MAUER, PALÁTOVÁ 2004).

Všechny naše hlavní dřeviny jsou obligátně mykorhizní. To znamená, že výživu stromu nezajišťují kořeny jako takové, ale houby pomocí speciálně vytvořených orgánů - mykorhiz. S výjimkou javoru jsou všechny naše hlavní dřeviny obligátně ektomykorhizní. Ektomykorhizy se tvoří na jemných kořenech a existuje vazba - čím více jemných kořenů sadební materiál má, tím větší a kvalitnější je i jeho ektomykorhiza. Pokud byl sadební materiál pěstován v malých školkách na lesních půdách, s minimálním užitím chemizace, ektomykorhiza se vytvářela přirozeně. Zavedením intenzivních školkařských technologií a zakládáním školek na nelesní půdě došlo k tomu, že ektomykorhiza se na kořenovém systému sadebního materiálu nevytváří nebo je výrazně inhibována. Do školkařské praxe proto nutně nastoupil nový prvek - umělá mykorhizace (inokulace vhodné houby). Při umělé mykorhizaci se do půdy nebo substrátu dodává většinou uměle vytvořené inokulum mykorhizních hub. V současné době je možné řadu inokulátů i koupit. Skutečností však je, že výsledky umělé mykorhizace jsou rozdílné - od úspěchu (např. SZABLA, PABIAN 2003), až po totální neúspěch (např. REPÁČ 2006). Výsledky umělé mykorhizace jsou ovlivněny výběrem vhodné a funkční houby a jejím převodem do odpovídajícího inokula. Z vlastní školkařské praxe však víme, že mykorhizu výrazně ovlivňují i použité technologie a postupy pěstování sadebního materiálu. Cílem příspěvku proto je exaktně a detailně analyzovat vliv školkařských technologií a dílčích postupů pěstování sadebního materiálu na vývin jeho mykorhiz.

Metody a použitý materiál

Výsledky šetření obsahují celou řadu dílčích analýz. Metodické postupy jejich založení, ošetřování a vyhodnocení jsou proto uvedeny přímo v tabulkách výsledků. Všem analýzám jsou společné tyto metodické postupy.

- K testování byly zvoleny smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst.) a buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) - obě dřeviny jsou obligátně ektomykorhizní.

- S cílem eliminovat eventuální neúspěch umělé mykorrhizace užitím nevhodného inokula (komerčního, nebo vlastními postupy připraveného), byla inokulace realizována přidáním humusových horizontů ze smíšeného padesátiletého porostu buku a smrku v nadmořské výšce 580 m. Do substrátu bylo vždy přidáno a řádně promícháno 5 objemových procent humusu. Vlastní inokulace bylo vždy realizováno těsně před založením experimentu. (Přidání humusových horizontů je nevhodnější a nejjistější způsob inokulace. Byly odebírány z porostů stejných druhů dřevin, které byly testovány při inokulaci. Inokulovaný sadební materiál byl vysazován do stejných nadmořských výšek jako měl porost, ze kterého byly horizonty odebírány.)
- V rámci každého experimentu byl vždy použit stejný substrát.
- Jemné kořeny mají menší tloušťku než 2 mm.
- Velikost kořenového systému a objem jemných kořenů byly zjišťovány xylometricky.
- Počet mykorrhizních zakončení byl zjišťován počítáním živých kořenových špiček na 1 cm délky jemného kořene (v textu uváděno jako počet mykorrhiz).

Výsledky a jejich zhodnocení

Analýzy zahrnují celou řadu dílčích výsledků, které jsou prezentovány v příslušných tabulkách. Ve slovním komentáři se proto omezíme na zdůraznění hlavních výsledků a jejich tendencí. Nebude-li uvedeno jinak, výsledky platí pro smrk i buk.

Vliv technologie (způsobu) pěstování na rozvoj mykorrhiz (tab. 1)

- Oproti minerální půdě nedesinfikované rašelinové substráty snižují objem kořenového systému i počet mykorrhiz o 20 %.
- Oproti minerální půdě hydroponické způsoby pěstování snižují objem kořenového systému o 50 %, počet mykorrhiz o 95 %.
- Chemická ani termická desinfekce neovlivňuje velikost kořenového systému. Chemická desinfekce však o 40 % snižuje počet mykorrhiz, termická desinfekce snižuje počet mykorrhiz o 90 %.
- Pěstování v trvale přemokřených substrátech sice zvětšuje objem kořenového systému (až o 50 % - velká tvorba zduřelých kořenů), ale o 60 % snižuje počet mykorrhiz.
- Pěstování v trvale suchých substrátech zmenšuje velikost kořenového systému až o 50 % a o 40 % inhibuje vývin mykorrhiz.
- Sedmidenní vyschnutí substrátu je podstatně horší než pěstování v trvale suchých substrátech - snižuje počet mykorrhiz o 60 %.
- Zhodnocení - podle míry intenzity použitých technologií je přímo úměrně negativně ovlivňována mykorrhiza, technologie bez užití půdy nebo organických hmot mykorrhizu téměř nemají. Čím silnější je desinfekce substrátu, tím menší množství mykorrhiz sadební materiál má. Pěstování v přemokřených i suchých substrátech mykorrhizu snižuje.

Vliv acidity nedesinfikovaného rašelinového substrátu na rozvoj mykorrhiz (tab. 2a, 2b)

- Optimální pH pro rozvoj mykorrhizy smrku leží v rozmezí 3,6 až 4,6 pH/H₂O, pro rozvoj mykorrhizy buku v rozmezí 5,0 až 5,8 pH/H₂O.
- Pěstování v substrátech s pH pod 3,0 inhibuje mykorrhizu až o 80 %, podobným procentem je inhibována mykorrhiza při pěstování s pH nad 7,0; při těchto aciditách je inhibován i výškový růst.
- Zhodnocení - pěstování v substrátech mimo optimum acidity pro jednotlivé druhy dřevin negativně ovlivňuje mykorrhizu, kritické hranice jsou 3,0 a 7,0 pH/H₂O.

Vliv inokulace substrátu a různých způsobů hnojení nedesinfikovaných rašelinových substrátů na růst smrku (tab. 3)

- Po plném vyhnojení substrátu pevnými hnojivy před jeho použitím (dodané množství hnojiva má zajistit výživu po celou dobu pěstování) je jeho inokulace neúčinná (vysoká startovací koncentrace živin).
- Velká koncentrace živin dodávaných v průběhu vegetačního období sice stimuluje rozvoj nadzemní části, ale výrazně inhibuje objem jemných kořenů a zejména počet mykorhiz. Inokulace je neúčinná.
- Při optimálním a postupném dodávání živin v průběhu vegetačního období rostliny dosahují nejen největších biometrických parametrů, ale účinná je i jejich inokulace.
- Zhodnocení - vysoká koncentrace živin (i jednorázová) inhibuje rozvoj mykorhiz.

Růst sadebního materiálu na inokulovaných a neinokulovaných nedesinfikovaných substrátech v průběhu vegetačního období (tab. 4)

- Po úspěšné inokulaci roste kořenový systém inokulovaných rostlin zpočátku pomaleji než u rostlin neinokulovaných, plný účinek inokulace se projeví až na konci vegetačního období (nárůst počtu mykorhiz o 30 %).
- Úspěšně inokulované rostliny mají na konci vegetačního období menší výšku nadzemní části než rostliny neinokulované (totéž viz tab. 3).
- Zhodnocení - tvorba mykorhiz je energeticky náročná, proto i několik měsíců po úspěšné inokulaci jsou inokulované rostliny menší než rostliny neinokulované.

Odrůstání inokulovaného a neinokulovaného sadebního materiálu na různých stanovištích 3 roky po výsadbě (tab. 5a)

- Po výsadbě do optimálních stanovištních podmínek se inokulace výrazně projevila ve výškovém růstu (inokulované rostliny byly až o 50 % vyšší), neinokulovaný sadební materiál měl již stejný počet mykorhiz jako sadební materiál inokulovaný.
- Po výsadbě na extrémní stanoviště (orná zemědělská půda, podzemní požářiště, recentní útvar) se inokulace pozitivně projevila ve snížení ztrát (o desítky procent) a větším výškovém růstu (až o 100 %).
- Zhodnocení - inokulovaný sadební materiál přináší významný efekt zejména při jeho použití na extrémních stanovištích bez vhodné mykorhizy a s minimálním podílem organické hmoty; i při jeho použití je však třeba respektovat ekovalenci užitých druhů dřevin. I když pozitivní výškový růst inokulovaných rostlin na optimálních stanovištích bude v dalším vývoji porostu eliminován, výrazný je jeho efekt z hlediska rychlého zajištění kultury.

Odrůstání inokulovaného a neinokulovaného při výsadbě různým způsobem ošetřeného sadebního materiálu smrku 3 roky po výsadbě (tab. 5b)

- Výsadba neinokulovaných sazenic na extrémnější stanoviště lesních porostů (LT 7M3, pásmo ohrožení B) vyvolává velké ztráty (až 40 %), snížení růstu (až o 30 %) a ani 3 roky po výsadbě nemá kořenový systém odpovídající mykorhizu (počet mykorhiz menší o 50 %).
- Přidáním hydrogelu nebo startovacím hnojením jsou negativní účinky u neinokulovaných rostlin částečně eliminovány. Relativně největší efekt má současné užití hydrogelu a startovacího hnojení, nebo přidání hrabanky do jamky; ztrátami a výškou se rostliny vyrovnají rostlinám neinokulovaným, jejich kořenový systém má však stále menší počet mykorhiz (o 30 a 15 %).

Tab. 1: Vliv způsobu (technologie) pěstování sadebního materiálu na rozvoj mykorrhizy (hodnocené rostliny měly shodnou výšku nadzemní části, neinokulovaný rašelinový substrát měl pH/H₂O 4,1 a byl přihnojován v průběhu růstu rostlin tekutými hnojivy, minerální půda měla pH/H₂O 4,6 a byla vyhnojena při základní přípravě, Kontrola - 100 % - rostliny vypěstované v minerální půdě)

Způsob pěstování	Dřevina	Velikost kořen. systému (v % Kontroly)	Počet mykorrhizních zakončení (v % Kontroly)
Minerální půda (2 + 0)	Smrk	100	100
	Buk	100	100
Rašelinový substrát (2 + 0)	- nedesinfikovaný	Smrk	77
		Buk	81
	- desinfekce chemicky	Smrk	69
		Buk	78
	- desinfekce termicky	Smrk	76
		Buk	82
Nedesinfikovaný rašelinový substrát (fK1)	- trvale přemokřený (85 % vlhkosti)	Smrk	153
		Buk	124
	- trvale suchý (50 % vlhkosti)	Smrk	52
		Buk	71
	- vyschlý po dobu 7 dnů	Smrk	55
		Buk	69
Hydroponie (f1 + 0)	Smrk	42	
	Buk	54	

Tab. 2a: Vliv pH nedesinfikovaného rašelinového substrátu na rozvoj mykorrhizy sadebního materiálu (stejně osivo, shodný způsob ošetřování rostlin, hodnocené rostliny měly shodnou výšku nadzemní části, Kontrola - 100 % - pH substrátu 3,6)

pH/H ₂ O substrátu	Dřevina a způsob pěstování	Velikost kořen. systému (v % Kontroly)	Počet mykorrhizních zakončení (v % Kontroly)
3,6	Smrk f1 + 0	100	100
	Buk f1 + 0	100	100
5,6	Smrk f1 + 0	94	87
	Buk f1 + 0	118	126
7,3	Smrk f2 + 0	73	32
	Buk f1 + 0	85	43

Tab. 2b: Vliv pH nedesinfikovaného rašelinového substrátu na rozvoj mykorhizy smrku ztepilého (stejně osivo, shodný způsob ošetřování rostlin, hodnocené rostliny měly shodnou výšku nadzemní části, Kontrola - 100 % - substrát s pH 3,0)

pH/H ₂ O substrátu	Způsob pěstování	Počet mykorhizních zakončení (v % Kontroly)
3,0	f2 + 0	100
3,6	f1 + 0	147
4,0	f1 + 0	183
4,6	f1 + 0	153
5,6	f1 + 0	103
7,1	f2 + 0	62

Tab. 3: Vliv inokulace substrátu a různých způsobů hnojení nedesinfikovaného rašelinového substrátu na růst smrku ztepilého f1 + 0 (pH/H₂O substrátu 4,2, shodné osivo, Kontrola - 100 % - rostliny rostoucí na plně vyhnojeném substrátu před sítí bez inokulace)

Způsob hnojení	Inokulace substrátu	Výška nadzemní části (v % Kontroly)	Průměr kořenového krčku (v % Kontroly)	Objem jemných kořenů (v % Kontroly)	Počet mykorhizních zakončení (v % Kontroly)
Plně vyhnojeno pevnými hnojivy před sítí - dávka živin na celou dobu pěstování	Ne	100	100	100	100
	Ano	98	107	93	97
Úprava pH a částečné vyhnojení před sítí, dále použita pomalu rozpustná hnojiva - velká dávka živin	Ne	162	136	121	73
	Ano	168	132	119	81
Úprava pH před sítí, v průběhu růstu přihnojováno tekutými hnojivy - optimální dávka živin v průběhu vegetační doby	Ne	187	156	142	122
	Ano	153	138	141	156

Tab. 4: Růst sadebního materiálu na inokulovaných a neinokulovaných rašelinových substrátech v průběhu vegetačního období (nedesinfikovaný substrát s pH/H₂O 4,2, hnojeno tekutými hnojivy v průběhu vegetačního období, Kontrola - 100 % - rostliny rostoucí na neinokulovaných substrátech)

Dřevina a způsob pěstování	Inokulace substrátu	Výška nadzemní části (v % Kontroly)		Objem jemných kořenů (v % Kontroly)		Počet mykorhizních zakončení (v % Kontroly)	
		červen	září	červen	září	červen	září
Smrk f1 + 0	Ne	100	100	100	100	100	100
	Ano	77	95	72	114	88	131
Buk f1 + 0	Ne	100	100	100	100	100	100
	Ano	83	90	81	122	92	127

Tab. 5a: Odrůstání inokulovaných a neinokulovaných sazenic smrku ztepilého 2 + k1 a buku lesního 1 + k1 na různých stanovištích 3 roky po výsadbě (nadmořská výška stanovišť 540 až 710 m, inokulované i neinokulované rostliny měly v době sadby shodnou výšku nadzemní části a po výsadbě byly stejným způsobem ošetřovány, Kontrola - 100 % - na každém stanovišti neinokulovaný sadební materiál)

Stanoviště	Dřevina	Inokulace	Ztráty (v %)	Výška nadzemní části (v % Kontroly)
lesní půda, SLT 5K, pH/H ₂ O 4,4	Smrk	Ne	5	100
	Smrk	Ano	4	147
	Buk	Ne	7	100
	Buk	Ano	7	152
orná zemědělská půda, pH/H ₂ O 7,6	Smrk	Ne	81	100
	Smrk	Ano	56	141
	Buk	Ne	37	100
	Buk	Ano	21	180
podzemní požářiště, SLT 4S pH/H ₂ O 5,2	Smrk	Ne	71	100
	Smrk	Ano	28	220
	Buk	Ne	23	100
	Buk	Ano	11	138
antropogenní půda, pH/H ₂ O 3,8	Smrk	Ne	42	100
	Smrk	Ano	12	183
	Buk	Ne	63	100
	Buk	Ano	21	145

Tab. 5b: Odrůstání inokulovaných a neinokulovaných při výsadbě různým způsobem ošetřených sazenic smrku ztepilého 2+1 3 roky po výsadbě (inokulované i neinokulované rostliny měly v době výsadbě shodnou výšku nadzemní části - jde o 2+k1 po odstranění kořenového balu, po výsadbě byly ošetřovány stejným způsobem, stanoviště 7M3, pásmo ohrožení B, Kontrola - 100 % - inokulovaný sadební materiál)

Sadební materiál a způsob jeho ošetření při výsadbě	Počet mykorhizních zakončení v době výsadbě (v % Kontroly)	3 roky po výsadbě		
		Ztráty (%)	Výška nadzemní části (v % Kontroly)	Počet mykorhizních zakončení (v % Kontroly)
INOKULOVANÝ - bez další úpravy	100	12	100	100
NEINOKULOVANÝ - bez další úpravy - na kořen. systém hydrogel - užito startovací hnojení - na kořen. systém hydrogel + užito startovací hnojení - přidána hrabanka - na kořen. systém hydrogel + užito startovací hnojení + přidána hrabanka	63	37	71	53
		14	80	nezjišť.
		29	93	nezjišť.
		17	107	68
		18	94	85
		10	115	103

- Při současném užití hydrogelu, startovacího hnojení a přidáním hrabanky se neinokulované rostliny po třech letech ve všech parametrech vyrovnají rostlinám inokulovaným.
- Zhodnocení - na extrémnějších stanovištích lesních porostů se inokulovaným rostlinám vyrovnají pouze neinokulované rostliny současně ošetřené hydrogelem, při výsadbě byla přidána hrabanka a bylo aplikováno startovací hnojení (ekonomické náklady na tyto operace však mohou být větší než cena inokulace sadebního materiálu). Jestliže byl při výsadbě neinokulovaných rostlin současně aplikován pouze hydrogel a startovací hnojení, rostliny se ztrátami a výškovým růstem sice vyrovnají rostlinám inokulovaným, ale jejich kořenový systém je stále bez odpovídající mykorhizy.

Závěr

Z rozsáhlých šetření, jejichž cílem bylo zjistit podmínky pro optimální rozvoj ektomykorhizy a rámcově stanovit možnosti užití uměle inokulovaného sadebního materiálu, lze vyvodit tyto hlavní závěry.

- Vytvoření a optimální funkce ektomykorhiz vyžadují specifické postupy pěstování sadebního materiálu, které se často liší od běžných provozních praktik lesních školek. Některé technologie pěstování mykorhizu téměř vůbec nevytváří (technologie s minimálním užitím půdy nebo organické hmoty).
- Mykorhizní sadební materiál má oproti sadebnímu materiálu s menším počtem mykorhiz výrazně pozitivní účinky na extrémních stanovištích nelesních půd a na chudých a antropogenně ovlivněných lesních půdách (i zde je však třeba respektovat ekovalenci použitých druhů dřevin a funkčních druhů ektomykorhizních hub). Pozitivní vliv (větší výškový přírůst) byl zjištěn i při užití mykorhizního sadebního materiálu na běžných lesních stanovištích.
- Současná aplikace hydrogelu a startovacího hnojení při výsadbě nemykorhizního sadebního materiálu sice snižuje ztráty a zvyšuje jeho výškový růst, nestimuluje však vývin mykorhiz.
- Jistější a ekonomicky výhodnější je inokulace sadebního materiálu mykorhizními houbami při jeho pěstování v lesních školkách než při výsadbě v porostech.
- Inokulovaný sadební materiál má v počátcích svého růstu poněkud jinou růstovou reakci a vyžaduje specifické postupy pěstování. Jejich splnění mohou zajistit pouze dobře vybavené lesní školky. Umělá inokulace by proto měla být realizována spíše ve speciálních školkách.
- Pro inokulaci je třeba použít pouze prověřená inokula, která budou funkční pro danou dřevinu a stanovištní podmínky výsadby.
- Šetření znovu potvrdila, že kritériem mykorhizy není u sadebního materiálu velikost kořenového systému, ale velikost (objem) jemných kořenů.

Seznam použité literatury

- GRYNDLER, M. a kol: Mykorhizní symbióza. Academia, 2004, 366 s.
- CHMELÍKOVÁ, E., CUDLÍN, P.: Mykorhiza a její význam pro lesní dřeviny. In: Sborník referát „Kořenový systém - základ stromu“. Křtiny, 2004, s. 37-49.
- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: The role of root system in the dieback of silver birch (*Betula pendula* Roth.) in the air-polluted region Krušné hory Mts. Journal of Forest Science, 49, 2003, č. 5, s. 191-199.

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: Porosty náhradních dřevin a jejich kořenový systém. In: Sborník referátů „Kořenový systém - základ stromu“. Křtiny, 2004, s. 75-85.

REPÁČ, J.: The practical use of mycorrhizal symbiosis in forest trees production. TU Zvolen, 2006, 114 s.

SZABLA, K., PABIAN, R.: Szkolkarstwo kontejnerowe. Centrum Informacyjne Lasow Panstwowych, Varšava, 2003, 212 s.

Vliv antropogenní činnosti na vývin a funkčnost mykorrhizy lesních dřevin

Oldřich Mauer

Mykorrhiza je symbiotické soužití houby s kořenem stromu. Houba zajišťuje výživu stromu, strom vyživuje houbu. Většina našich lesních dřevin bez mykorrhizy nemůže růst. Antropogenní činnost však ovlivňuje vývin i funkčnost mykorrhizy, a to jak kvantitativně, tak kvalitativně. Cílem příspěvku je poukázat na některá lesnická opatření, která mykorrhizu nejvíce ovlivňují.

Bližší upřesnění metodických postupů bude uvedeno přímo u jednotlivých ověřování. Všem ověřování je však společné – byly analyzovány dřeviny s funkční ektomykorrhizou, mykorrhizní infekce byla zjišťována kvantitativně chemicky (kyselou hydrolýzou chitinu – základního stavebního prvku houby), mykorrhizní zakončení bylo zjišťováno podle morfologické stavby pod biolupou, funkčnost kořenů byla zjišťována příjmem radioaktivního fosforu, počet kořenových špiček byl počítán pod biolupou.

Rozvoj mykorrhizní infekce v závislosti na aciditě substrátu

Rozvoj mykorrhizní infekce byl sledován při pěstování sadebního materiálu SM 3+0. Smrk byl celou dobu pěstován v rašelíně s pH/H₂O 6,5, 5,5, 4,0, 3,0 a 2,5. Rašelina měla vždy stejnou zásobu živin, acidita byla kontrolována a upravována jednou za rok.

Z výsledků ověřování vyplývají tyto závěry (tab. 1). Ektomykorrhizní houba je acidofilní druh, proto největší hodnoty mykorrhizní infekce, ale i délky nadzemní části pěstovaných rostlin, byly zjištěny v substrátu s pH 4,0. Snižování acidity pod toto optimum však vyvolává jak výrazné snížení mykorrhizní infekce, tak délky nadzemní části pěstovaných rostlin. Obdobné účinky má i zvyšování acidity.

Vliv acidifikace půdy na vertikální distribuci jemných kořenů

Imisní kalamita v Krušných horách byla vyvolána kyselou depozicí SO₂. V některých oblastech tohoto pohoří klesla pH půdy pod 2,8 pH/KCl, zde docházelo k chřadnutí a odumírání smrku, byly však i oblasti, kde k těmto projevům nedošlo. Ektomykorrhiza jako taková má přímou vazbu na biomasu a počet kořenových špiček jemných kořenů – čím je ektomykorrhiza větší, tím větší je biomasa jemných kořenů a tyto mají i větší množství kořenových špiček. Cílem sledování (které probíhalo v době vrcholící imisní kalamity v Krušných horách) bylo zjistit, jaký je rozdíl na LT 7K3 ve vertikální distribuci biomasy a počtu kořenových špiček mezi poškozenými porosty (stupeň poškození IIIa, IIIb) a porosty s malým poškozením (stupeň poškození 0/I, I). Analyzovány byly porosty ve věku 50 až 80 let. Vždy stejný počet poškozených a nepoškozených porostů. Vertikální distribuce byla sledována proto, že největší kyselost měly humusové horizonty (poškozené porosty 2,6 až 2,8 pH/KCl, nepoškozené porosty 3,2 až 3,5 pH/KCl) a s klesající hloubkou půdy klesala i jejich acidita. Sledovány byly proto humusové horizonty (označeno Humus), vrstva 0 až 10 cm pod humusovými horizonty a celkem obě tyto vrstvy (označeno Celkem).

Z tab. 2 je zřejmé, že ve všech případech došlo u poškozených porostů k signifikantnímu poklesu biomasy a počtu kořenových špiček u Humusu a ve velkém množství porostů k nárůstu těchto parametrů ve vrstvě 0-10 cm. Je tedy zřejmé, že na velkou kyselost reagoval smrk naprosto atypicky – růstem jemných kořenů mimo humusové horizonty. Tato změna byla však kvantitativně malá, neboť ve vrstvě Celkem

došlo u poškozených porostů téměř vždy jak k poklesu biomasy, tak počtu kořenových špiček.

Je známo, že rostlina svými kořenovými exudáty dovede v bezprostřední blízkosti kořene upravovat prostředí tak, aby mohla zdárně odrůstat. S cílem zjistit, zda dovede upravovat aciditu byla realizována dvě ověřování

Do zkumavky bylo dáno 5 jednoletých semenáčků smrku, jejichž kořenový systém byl zalit vodou o kyselosti 2, 3, 4, 5, 6 pH. Po třicetiminutové expozici bylo změřeno pH vody ve zkumavce. Z obr. 1 vyplývá, že v daném případě smrk výrazně a rychle ovlivnil aciditu vody tak, aby odpovídala optimu pro jeho růst.

Do ČR bylo dovezeno osivo a posléze vypěstován sadební materiál z vulkanických oblastí Dálného východu, kde dřeviny rostou na půdách s velkou aciditou. Tyto rostliny byly vysázeny v ČR do půdy s pH/KCl 4,2 a současně s nimi byly vysázeny naše rostliny stejného druhu. Po 12 měsících byla zjišťována acidita půdy ve vzdálenosti 5 cm od kořenů. Z tab. 3 vyplývá, že rostliny z vulkanických oblastí upravily aciditu půdy podstatně více než rostliny domácí.

Vliv těžkých kovů na vývoj mykorrhizy

Ověřování bylo realizováno proto, že při pěstování SM fk1 na plech z pozinkovaného plechu docházelo k velkým pěstebním nezdarům po výsadbě. Pěstován byl proto SM fk1 ve stejně velkých obalech vyrobených z pozinkovaného plechu, měděného plechu a kontrolou byly obaly z umělé hmoty. Po jednom roce sledování byly vyhodnocovány biomasa jemných kořenů a procento mykorrhizních zakončení. Z tab. 4 vyplývá, že zinek (vytvořený oxid zinečnatý) měl výrazné inhibiční účinky na vývoj mykorrhizy, měď (uhličitan měďnatý) vývoj mykorrhizy neinhiboval. I když došlo k výrazné inhibici mykorrhizy u zinku, nedošlo k tak velké inhibici jemných kořenů – vlivem vysoké koncentrace živin ve formě hnojivé zálivky smrk vytvořil kořenový systém bez mykorrhizy.

Vliv aplikace Velpar na vývoj mykorrhizy

Velpar je velmi účinný totální herbicid, je v provozní praxi často používán. Cílem ověřování bylo zjistit, zda tento herbicid negativně neovlivňuje kořenový systém rostlin. Ověřování bylo realizováno na SLT 4S. Část vysázených borovic a smrků byla dva roky po výsadbě v jarním období ošetřena Velparem, část rostlin byla pouze ožnuta (kontrola). Na konci vegetačního období byla zjišťována mykorrhizní zakončení. Tab. 5 dokladuje, že Velpar měl na sledovaný porost negativní účinek. Větší negativní vliv Velparu na smrk než na borovici je vyvolán rozdílnou stavbou kořenového systému těchto dřevin – smrk vytváří povrchový kořenový systém, tudíž účinek herbicidu byl větší.

Vliv zvýšených depozic dusíku a sucha na vývoj mykorrhizy smrku ztepilého

Jedněmi z nejvýraznějších predispozičních faktorů, které negativně ovlivňují růst našich porostů v současné době, jsou sucha a zvýšené depozice dusíku. Přesto se smrk stále vysazuje i tam, kde tyto faktory evidentně negativně působí. Cílem ověřování bylo zjistit, jak zvýšené depozice dusíku, sucha a souběžné působení obou těchto faktorů působí na růst smrku ztepilého 8 let po výsadbě. Stresové faktory byly uměle simulovány po dobu tří let, zvýšené depozice dusíku – každoročně bylo hnojeno v dávce 100 kg čistého N.ha⁻¹, sucha – mimo zimní období eliminováno 60 % atmosférických srážek. Kontrolou byly rostliny nestresované.

Z tab. 6 vyplývá, že vliv zvýšených depozic dusíku nebo sucha je přibližně stejně negativní. Souběžné působení těchto stresorů je však větší než součet vlivu jednotlivých stresorů. I když se podle vizuálně hodnocené stavby mykorrhizních zakončení jeví, že sice

Tab. 1: Rozvoj mykorhizní infekce sadebního materiálu SM 3+0 v závislosti na aciditě substrátu (Výsledky jsou uvedeny v procentech - 100 % 5,5 pH/H₂O)

pH/(H ₂ O)	Mykorhizní infekce	Délka nadz. části
6,5	73	71
5,5	100	100
4	157	118
3	85	84
2,5	47	51

Tab. 2: Vliv acidifikace půdy na vertikální distribuci biomasy a počet kořenových špiček jemných kořenů (porovnány poškozené a nepoškozené porosty smrku ztepilého)

Parametr	Hloubka sledování	Počet analyzovaných parametrů (ks)		
		Celkem	Z toho v poškozených porostech	
			Průkazný pokles	Průkazný nárůst
Biomasa	Humus	35	35	0
	0-10 cm	35	8	18
	Celkem	35	35	0
Počet kořenových špiček	Humus	21	21	0
	0-10 cm	21	1	19
	Celkem	21	19	1

Tab. 3: Aktivní úprava acidity půdy rostlinami (v době výsadby acidita půdy 4,2 pH/KCl)

Dřevina	pH/KCl po 12 měsících
B. verrucosa (kont.)	4,3
B. ermanii	4,7
L. decidua (kont.)	4,3
L. kamschatica	4,6

Tab. 4: Vliv těžkých kovů na vývoj mykorhizy sadebního materiálu smrku ztepilého fk2

Varianta pěstování	Mykorhizní zakončení (%)	Biomasa jemných kořenů (v % kontroly)
Zinek	14	64
Měď	88	96
Kontrola	89	100

Tab. 5: Vliv aplikace Velparu na vývoj mykorhizy

Varianta	Mykorhizní zakončení (%)
BO-kontrola	94
BO-Velpar	86
SM-kontrola	88
SM-Velpar	53

Tab. 6: Vliv zvýšených depozic dusíku a sucha na vývoj ektomykorhizy smrku ztepilého - 3 roky po navození stresu

Varianta	Ektomykorhizní zakončení (v % kontroly)	Funkčnost ¹ kořenů (v % kontroly)
Dusík²	81	44
Sucho³	87	49
Dusík + Sucho	53	nezjišť.
Kontrola	100	100

¹ - zjišťováno pomocí radioaktivního fosforu

² - každoročně hnojeno v dávce 100 kg čistého N.1ha⁻¹

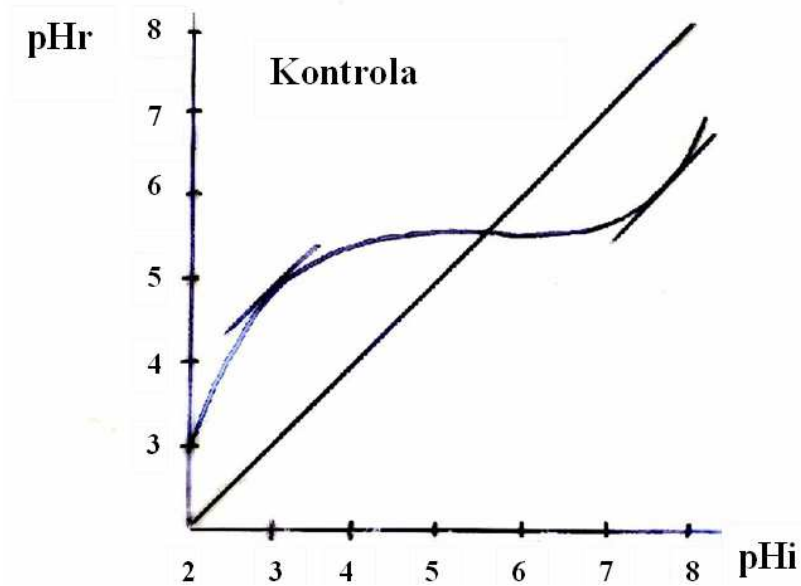
³ - eliminováno 60 % atmosférických srážek

Tab. 7: Mykorhiza při hydroponickém způsobu pěstování sadebního materiálu (substrátové kultury)

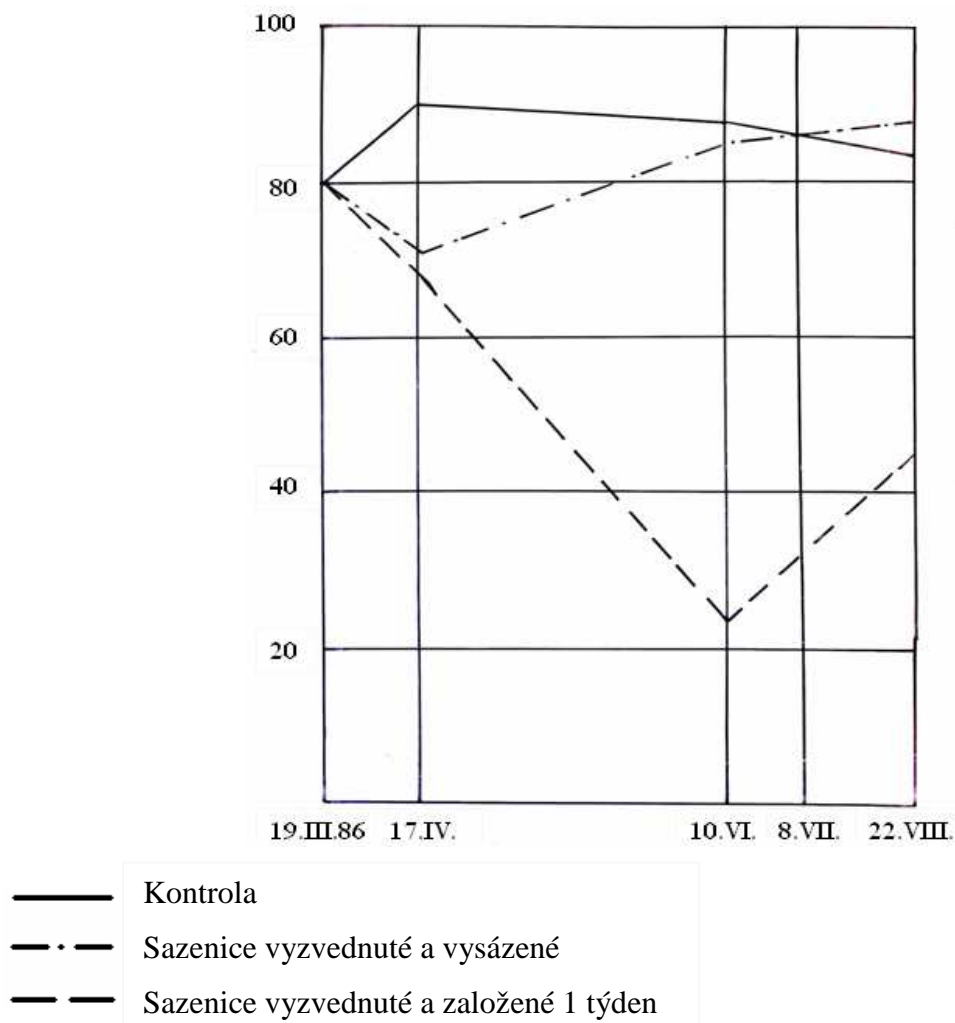
Dřevina	% mykorhiz		
	f1 + 0	f1 + 2	1 + 2
SM	3	94	93
BK	0	88	92

Tab. 8: Vliv dezinfekce rašeliny na mykorhizu jednoletých prostokořenných semenáčků

Způsob pěstování	% mykorhizních zakončení	
	SM f1+0	BK f1+0
Propařovaná rašelina	6	2
Dezinfikovaná rašelina	32	34
Nedezinfikovaná rašelina	52	64
Minerální půda (1+0)	97	91



Obr. 1: Schopnost kořenů upravovat pH prostředí (SM, 30 minutová expozice, 5 rostlin v 5 ml roztoku)



Obr. 2: Vliv manipulace na mykorhizu

došlo k menšímu poklesu ektomykorhiz, vysoký pokles funkčnosti kořenového systému dokladuje, že již nejde o symbiotický vztah, ale že houba začíná na stromu parazitovat (tvorbou ektendomykorhiz nebo pseudomykorhiz).

Hydroponické způsoby pěstování sadebního materiálu a mykorhiza

Při kterémkoliv hydroponickém způsobu pěstování sadebního materiálu dochází k výrazné inhibici mykorhizy, neboť semenáčky jsou pěstovány v inertních anorganických substrátech a živných vodných roztocích. Tab. 7 dokladuje, že jednoleté semenáčky buku nebo smrku vypěstované v substrátové kultuře nemají téměř žádnou mykorhizu. Po jejich zaškolkování do minerální půdy se po dvou letech procento mykorhizních zakončení vyrovná klasicky pěstovaným sazenicím v minerální půdě (1+2).

Vliv dezinfekce rašeliny na vývoj mykorhizy

Jedním ze standardních úkonů při pěstování sadebního materiálu je dezinfekce substrátu, která ničí zejména všechny choroboplodné zárodky, semena plevelů a parazitické houby a plísně. Dezinfekce však ničí i živé části substrátu, které jsou pro růst rostlin potřebné a to jsou symbiotické houby. Při ověřování byly jednoleté prostokořenné semenáčky buku a smrku pěstovány v propařené rašelině (teplota páry +105 °C) a chemicky dezinfikované rašelině (na dezinfekci byl použit Nematin). Pro kontrolu byly semenáčky pěstovány v nedezinfikované rašelině a klasicky v nedezinfikované minerální půdě. Z tab. 8 vyplývá, že propařování téměř zcela likviduje mykorhizu, chemická dezinfekce má rovněž negativní vliv, ale i pěstování v nedezinfikované rašelině příliš mykorhize nesvědčí. Pěstování sadebního materiálu lesních dřevin v dezinfikovaných organických substrátech vyžaduje umělou inokulaci substrátu vhodnou mykorhizní houbou.

Vliv manipulace se sadebním materiálem na mykorhizu

Největší nezdary zalesňovacích prací jsou vyvolány nevhodnou manipulací se sadebním materiálem, při kterém dochází k zaschnutí jemných kořenů a tím inhibici nebo mortalitě mykorhizní houby. Na obr. 2 je zachyceno procento živých mykorhizních zakončení SM 2+2 v průběhu prvního roku po výsadbě, když sazenice byly vyzvednuty, bez ochrany kořenového systému 2 km transportovány a 1 den založeny a když sazenice byly vyzvednuty, bez ochrany kořenového systému 60 km transportovány a 1 týden založeny. V žádném případě nebyly transport a založení provedeny správně (dělala provozní praxe). Kontrolou byly tytéž sazenice, které zůstaly na záhonech ve školce. Z šetření vyplývá, že u sazenic 1 den založených došlo po výsadbě k poklesu živých mykorhizních zakončení cca o 10 % a na původní procento se dotáhlo až v polovině vegetačního období. U sazenic nevhodně transportovaných a založených došlo k poklesu živých mykorhizních zakončení na 20 % a po prvním vegetačním období se dostalo na 50 % původního stavu (tzn. procenta mykorhizních zakončení vypěstovaného sadebního materiálu).

Kořeny v rámci celých stromů a jejich vodní provoz

Jan Čermák a Nadežda Naděždina

Voda v rostlině

Lesy a voda představují nerozdělitelný funkční systém charakterizující danou krajinu. Voda je pokládána za nejvýznamnější jednotlivý faktor, podmiňující růst a rozšíření rostlin, tedy včetně stromů. Gradienty v dešťových srážkách, kontrastní expozice a rozdíly v textuře a hloubce půdy, které mají zásadní vliv na vodní bilanci rostlin, mají i neoddiskutovatelný dopad na vegetaci, její typy a funkční stav. Ten zahrnuje nadzemní i podzemní části rostlin, tedy u stromů skelet větví a jimi drženou plochu listoví a analogicky skelet kořenů a plochu jejich absorpčních částí. Někteří autoři uvádějí, že dodávka vody ovlivňuje produktivitu lesů a podobně i zemědělských plodin více, než všechny ostatní faktory dohromady. Mimo svůj přímý vliv voda hraje i podstatnou roli při dekompozici, zvětrávání a toky živin v půdě, minerální výživa je s vodním režimem proto těsně svázána. Podobně těsné je spojení mezi vodním režimem a fotosyntézou, dané především aktivitou průduchů nebo vodním režimem a respirací, kde jde zejména o regulaci teploty pletiv. Vodním provozem rostlin i speciálně dřevin se v rámci ekofyziologie či ekologie zabývala celá řada autorů, jejichž výsledky i podrobné literární přehledy jsou shrnuty v obsáhlých kompendiích (např. Zimmermann a Brown 1971, Meidner a Sheriff 1976, Hinckley et al. 1978, Kramer a Kozlowski 1979, Zimmermann 1983, Landsberg 1986, Raghavendram 1991, Larcher 1995, Smith a Hinckley 1995, Holbrook a Zwieniecki 2005, aj.).

Obsah vody v pletivech rostlin a její termodynamický stav

Historicky vzato, život vznikl ve vodě a voda zůstává základním médiem, ve kterém probíhají biochemické procesy rostlin. Protoplazma obsahuje vody v průměru téměř 90% čerstvé hmotnosti, na lipidy bohaté organelly jako chloroplasty a mitochondrie obsahují kolem 50% vody. Pokud jde o celé orgány či pletiva rostlin, pak listy a kořeny obsahují kolem 80%, vodivá část dřeva kolem 50%. Nejméně vody obsahují zralá semena, cca 10%. Nadzemní části pozemních rostlin neustále ztrácejí vodu výparem (evaporací), která napomáhá udržování teploty listu v hranicích příznivých pro fotosyntézu. V závislosti na jejich schopnosti kompenzovat krátkodobé kolísání obsahu vody a rychlosti evaporace rozlišujeme rostliny na poikilohydrické a homoiohydrické. Poikilohydrické rostliny jako houby a některé řasy a lišejníky přizpůsobují svůj obsah vody vlhkosti okolí – mají malé buňky bez centrální vakuoly, scvrknou se když vyschnou a jejich životní funkce jsou potlačeny, aniž by však došlo k poškození struktury protoplastu. Homoiohydrické rostliny obsahují centrální vakuolu, která v určitém rozmezí vyrovnává vliv vnějších vlhkostních podmínek. Také to však znamená, že takové buňky nesnášejí dehydrataci. Až s postupujícím vývojem, když vznik kutikuly u rostlin snížil jejich evaporaci, průduchy umožnily regulovat transpiraci a kořenový systém zajistil dodávku vody, staly se tyto rostliny schopné zachovávat si svůj stav nehledě na náhlé změny vlhkosti prostředí a v důsledku toho se rozšířily v globálním měřítku.

Většina hydratační vody je vázána kapilárními silami v protoplazmě a buněčné stěně, která jí váže tenzí v rozsahu cca jeden až více než deset MPa a to v závislosti na hustotě fibril. Síly vážící vodu k strukturálním elementům matrice (buněčná stěna,

koloidy) lze vyjádřit jako matriční potenciál. Kvantitativně vzato, význam uložené vody v buňce stoupá s mírou její dostupnosti. Nejsnadněji dostupná voda je ta, vyskytující se v buněčných kompartmentech specializovaných jako rezervoáry pro roztoky. Takto je uložena více než polovina vody obsažené v listech. Avšak tato voda není zcela mobilní, protože je osmoticky vázána k rozpuštěným látkám jako cukrům, organickým kyselinám, sekundárním metabolitům rostlin a elementárním iontům. Osmotický tlak roztoku stoupá se vzrůstající teplotou a s rostoucím počtem rozpuštěných částic. Ideální roztok při 25°C s osmotickým tlakem cca 2.5 MPa odpovídá rovnováze s vodní parou při více než 98 % relativní vzdušné vlhkosti. Makromolekulární látky mohou být přítomny ve značných hmotnostních množstvích, aniž by osmotický tlak výrazně zvýšily. Avšak polymerizace malých molekul na makromolekuly (např. přeměna cukru ve škrob a reverze tohoto procesu - hydrolýza) může osmotický tlak roztoku silně ovlivnit a tedy čistý tok vody může být rostlinou regulován. V protoplastech s centrální vakuolou je těsná spojitost mezi osmoticky vázanou vodou v buňce a dostupností vody v protoplazmě.

V protoplazmě ovlivňuje biochemickou aktivitu všech procesů spíše termodynamický stav vody než její celkové množství. Termodynamický stav vody v buňce označovaný jako vodní potenciál představuje rozdíl chemického potenciálu zcela čisté volné vody a vody nějak vázané v daném systému, který je interpretován jako potenciální energie. Vodní potenciál je práce nutná ke zvýšení potenciálu vázané vody na jeho hodnotu u čisté vody a můžeme ho chápat jako savou sílu. Obvykle je vyjadřován jako množství energie na jednotku objemu (v jednotkách $J\ m^{-3}$), jednotku látkového množství ($J\ mol^{-1}$) nebo jako podtlak (v záporných jednotkách MPa).

Voda v roztoku je osmoticky vázána a stane se pro rostliny dostupnou jen po přidání energie. Osmotický tlak (osmotická složka vodního potenciálu) libovolného roztoku je nižší než u čisté vody a je vždy negativní. Voda vázaná v koloidech a na hydrofilních površích má také negativní potenciál, tedy matriční složku vodního potenciálu. Jestliže je voda pod vlivem tlaku, její volná energie stoupá a tedy tlaková složka vodního potenciálu je ve srovnání s netlakovou vodou pozitivní. Dostupnost vody je vyjádřena jako celkový vodní potenciál vodního systému (např. buňky, buněčného kompartmentu nebo vnějšího roztoku, obvykle označovaný symbolem Ψ), což znamená, že čím negativnější je vodní potenciál daného systému, tím nižší je dostupnost vody ze systému pro okolí. Osmotická složka vodního potenciálu závisí na charakteru a koncentraci roztoku a je dána Van Hoffovým vztahem

$$\Psi_{\pi} = -\Phi R T \rho_w C = \Phi R T (N_s/V),$$

kde: R je univerzální plynová konstanta ($8.31\ mol^{-1}\ K^{-1}$), T je absolutní teplota (K), ρ_w je hustota vody, $C = N_s/V$ je celkový počet molů v roztoku na jednotku hmotnosti vody v symplastu, resp. objemu vody v buňce V , a Φ je osmotický koeficient, který zahrnuje neideální vlastnosti daného roztoku v termodynamickém smyslu.

Rozdíl potenciálů mezi místy s rozdílnými hodnotami vodního potenciálu (Ψ) představuje situaci analogickou elektrickému obvodu, ve kterém jsou body o různém elektrickém napětí (U) měřené ve voltech. V obvodu je tendence, že elektrický proud poteče z místa s vyšším napětím do místa s nižším napětím. I v živé rostlině je podobná tendence, že proud vody poteče z míst s vyšším vodním potenciálem (kladným, resp. méně záporným, kde je voda držena menší savou silou) do míst s nižším vodním potenciálem (více záporným, negativnějším, s vyšší savou silou).

V systému, kde existuje rozdíl vodních potenciálů, existuje i tendence ke snížení tohoto rozdílu. V buňce k tomu dochází transportem vody včetně jiných látek. Pokud nestojí v cestě difúzi žádné překážky, dochází rychle k termodynamickému vyrovnání a to jak uvnitř buňky, tak mezi buňkou a jejím okolím. Vysoký deficit tlaku vodních par ve vzduchu (vysoký sytostní doplněk) nebo v hypertonickém mediu (např. v mořské vodě, nebo ve vodném roztoku zasolené půdy), může způsobit odčerpání vody z buněk a tedy snížení jejich vodního potenciálu. Naopak voda z okolí vtéká do buňky, jestliže je její vodní potenciál nižší. V dané fázi hydratace celé buňky, její vodní potenciál odpovídá rozdílu mezi osmotickým potenciálem a tlakovým potenciálem. Osmotický potenciál je negativní vždy, zatímco tlakový potenciál může být pozitivní, nulový, nebo ve zvláštních případech negativní.

Voda v hierarchii biologických systémů

Fyziologické procesy probíhají na úrovni buňky, pletiva, orgánu až celého organismu (stromu jako individua). Stromy však rostou málo kdy zcela osamoceně. Jedinec se obvykle vyskytuje ve skupině sobě více či méně podobných, se kterými na sebe vzájemně přímo (např. mechanicky) i nepřímo působí - to zejména kompeticí v nadzemím i podzemním prostoru (např. z hlediska toku zářivé energie zastíněním, využíváním stejných, ovšem omezených zdrojů živin a vody v půdě apod.). V populaci je vzájemné působení stromů již omezeno prakticky jen na vzdálené kontakty informačního charakteru, jmenovitě genetické.

Uvnitř rostlinných buněk se voda nachází v několika formách. Jako chemicky vázaná složka protoplazmy, hydratační voda vázaná na ionty, rozpuštěnými organickými látkami a makromolekulami, která vyplňuje prostory mezi jemnými strukturami protoplazmy a buněčnou stěnou, voda uložená ve vakuolách a intercelulárách a konečně voda ve vodivých elementech sloužící jako transportní medium v prostorách mezi buňkami a ve vodivém systému xylemu a floemu. U celých rostlin/stromů nabývá na zvláštní důležitosti spojení různých orgánů nacházejících se v poměrně velkých vzdálenostech od sebe a vyváženost velikosti těchto orgánů (např. absorpčního povrchu kořenů a desorpční plochy listů). Jedním z klíčových fyziologických procesů probíhajících ve stromech je tok vody na dlouhé vzdálenosti, tedy transpirační proud ve specializovaném pletivu - xylemu (a podobně i proud asimilátů tekoucím opačným směrem ve floemu). Stejně jako uvnitř rostlin je pohyb kapalné vody ve zmíněném kontinuu podmíněn gradientem vodních potenciálů (u lýka především jeho osmotickou složkou). Skupenská změna vody na povrchu buněčných stěn uvnitř listu je příkladem přeměny zářivé energie v mechanickou, kdy po odpaření vody z těchto povrchů vzniká tlaková (kapilární) složka vodního potenciálu, podmiňující transpirační proud. Při popisu toku vodních par zevnitř listu do okolní atmosféry skrze průduchy je častěji uvažován gradient tlaku vodních par.

Struktura a funkce, kontinuum půda-rostlina-atmosféra

Pro studium lesních ekosystémů je velmi důležité dokonalé porozumění kvantitativních vztahů mezi strukturou a funkcí jednotlivých orgánů stromů (Fitter and Hay 1987, Larcher 1995). Studovat takovéto vztahy je relativně snadné např. u bylin, avšak mnohem obtížnější je stejný úkol u velkých stromů. Tok vody na dlouhé

vzdálenosti probíhá skrze celé neoddělitelné kontinuum půda-strom-atmosféra ("SPAC" z anglického soil-plant-atmosphere-continuum - Zimmermann and Brown 1971, Zimmermann 1983). Transpirační proud probíhá u vzrostlých stromů vnějšími vrstvami xylemu (jen u mladých jedinců nebo jejich částí celým průřezem xylemu), skutečný průtočný profil však není totožný se zvodnělou částí xylemu (**Obr.1**), která představuje potenciální průtočný profil a současně i vodní rezervu v kmeni. Hydraulické zákonitosti podstatně determinují architekturu stromů (Tyree et al.1987, Tyree 1988). Zatím nejnovější informace v širším pohledu na tyto otázky jsou zahrnuty v kompenciích editovaných např. Bredemeierem et al. (2011), Meinzer et al., (2011), a Manusco (2012).

Definice některých pojmů

Poikilohydrické rostliny - houby a některé řasy a lišejníky přizpůsobující svůj obsah vody vlhkosti okolí – mají malé buňky bez centrální vakuoly.

Homoiohydrické rostliny – jejich buňky obsahují centrální vakuolu, která v určitém rozmezí vyrovnává vliv vnějších vlhkostních podmínek, avšak takové buňky nesnášejí dehydrataci.

(Vodo)vodivý systém – specializovaná pletiva a orgány účastníci se transportu vody v rostlině.

Kruhovitě pórovité druhy – Listnaté druhy typické vytvářením cév velkého průměru v jarním dřevě a mnohem menších v letním dřevě.

Rozptýleně pórovité druhy – Druhy s cévami menších průměrů poměrně homogenně rozložených po ploše letokruhu.

Anatomický a hydraulický poloměr cév – pod anatomickým je míněn skutečně naměřený. Hydraulický poloměr je odvozený dle Hagen-Poiseuilleova zákona, kde se výpočet postupné rychlosti toku provádí s uvažováním druhé a objemového toku čtvrté mocniny poloměru.

Vodní potenciál – termodynamický stav vody v buňce, jde o rozdíl chemického potenciálu čisté vody a vody v nějakém systému (např. rostlině nebo půdě) za stejné teploty a atmosférického tlaku (někdy bývá označován jako "savá síla", většinou se pohybuje v záporných hodnotách). Má tlakovou, osmotickou a gravitační složku. Může být vyjadřován v jednotkách tlaku (Pa), energie na jednotku látkového množství (J mol^{-1}), nebo objemu (J m^{-3}). Gradientem vodních potenciálů je podmíněn tok vody v rostlinných pletivech, resp. v kontinuu půda-rostlina-atmosféra. Voda se pohybuje z míst o vyšším (kladném, resp. méně záporném) potenciálu do míst s nižším potenciálem (více záporným).

Transpirace – Ztráta vody rostlinou (většinou povrchem listů) ve formě vodních par

Transpirační proud – Proud kapalné vody vodivou částí dřeva (xylemu), bělí podmíněný většinou (pokud je vodní potenciál listů nižší než půdy) transpirací, vzácněji naopak (např. když po déletrvajícím přísušku zaprší, může voda téct z koruny do kořenů a někdy i z nich ven do okolní půdy).

Kontinuum půda-rostlina-atmosféra – prostor, ve kterém dochází k toku vody, začínající v půdě ve vzdálenosti kam až působí vodní potenciál kořenů, přes rozhraní půda-kořen, povrch kořene, xylem skeletu kořenů, kmene a větví až po vnitřní povrch listů, rozhraní list-atmosféra, hraniční vrstva atmosféry až po volnou atmosféru ve vzdálenosti, kam už rostliny nepůsobí.

Zviditelňování a měření kořenů přístrojovými metodami

Studium kořenových systémů stromů je obtížnější než studium jejich nadzemních částí už proto, že obvykle nejsou skrze půdu viditelné. Musíme též rozlišovat skeletové kořeny (funkčně podobné skeletu větví) sloužící převážně k mechanickému kotvení stromů a dopravě vody z větší vzdálenosti ke kmenům a jemné kořeny (funkčně podobné listoví), sloužící převážně k absorpci vody z okolní půdy. Z metodického hlediska musíme rozlišovat „zviditelňování“ struktury kořenů a jejich kvantitativní měření. Zviditelňování kořenových systémů je mimo klasických metod dnes prováděno několika přístrojovými metodami, např. na základě měření rychlosti akustických pulzů – tz se šíří rychleji živým dřevem než půdou a shnilým dřevem (Simon et al. 2011), pomocí georadaru (Hruška et al., 1999, Čermák et al. 2000 – Obr.1), nebo supersonického proudu vzduchu, který je schopen odhalit celé kořenové systémy (Čermák et al. 2008 – Obr. 2). Akustická metoda je neinvazivní (nedochází k jakémukoli mechanickému kontaktu s kořeny, používá jen mikrofonů zavěšených na tenkých zvukovodech na kmeni), pracuje rychle a je schopna zjistit horizontální distribuci velkých skeletových kořenů a navíc přibližně jejich zdravotní stav. Georadar je rovněž neinvazivní a obě tyto metody umožňují u stromů opakované použití. Nevýhodou akustiky je, že dává poměrně hrubé údaje s nestejným rozlišením u různých druhů. Georadar je přesnější, ale poměrně spolehlivě „vidí“ jen horizontální kořeny cca v tloušťce prstu, nikoli kořeny vertikální (rostoucí paralelně s paprskem). Má však problémy na štěrkovitých a kamenitých půdách s falešnými reflexemi (náhodná řádka kamenů může simulovat kořen). Výhodou supersonického vzduchu je jeho spolehlivost, tedy že kořeny přímo odhalí a není pochyb o jejich struktuře (což do jisté míry platí i pro jemné kořeny, je-li půda dostatečně měkká). Nevýhodou je, že odkryv kořenů lze obvykle provádět jen jednorázově, zvláště jemné kořeny mohou být poškozeny (ale nikoli vlastním proudem vzduchu, nýbrž kontaktem s rychle se pohybujícími částicemi půdy jako jsou písečná zrna i menší kameny). Odkryté kořeny je nutné měřit (kvantifikovat) jinými metodami (např. pomocí obrazové analýzy apod.), což ve zvýšené míře platí i u obou shora uvedených metod.

Poněkud jiná situace je u metod charakterizujících kořeny dle jejich funkce (tedy odrážejících jejich efektivní parametry). Měření kořenových systémů je obvykle prováděno nepřímo, avšak v jednotkách vhodných pro jakékoli další zpracování. Tyto metody dávají jen hrubší představu o struktuře systému (např. jeho celkové charakteristiky v různých sekcích kolem stromu nebo různých hloubkách půdy), ale přináší kvantitativní údaje. K nejčastěji používaným patří např. měření aktuální absorpční plochy kořenů metodou modifikované elektrické impedance půdy (Aubrecht et al. 2006, Čermák et al. 2006 – Obr. 3). Jinou metodou z této skupiny je analýza radiálních profilů (vektorů) transpiračního proudu v různě hlubokých vrstvách vodovodivého systému (běle), která bžla dříve prováděna např. barvicími metodami (Čermák et al., 1992), nyní je snáze a přesněji obvykle prováděna na základě údajů o transpiračním proudu měřeném pomocí multibodových čidel (Čermák a Naděždina 1998) pracujících na principu deformace tepelného pole (heat field deformation method, HFD – Naděždina et al. 1998, 2006, 2011) – Obr.4.

Kořenový systém tvoří neoddělitelnou část stromu stejně jako kmen a koruna. Všechny tyto části jsou za funkčních poměrů vyváženy a existují mezi nimi silné allometrické vztahy. Příklad takových vztahů, je konkrétně uveden u výčetní tloušťky kmene a hmotnosti sušiny skeletu kořenů s pařezem u borovice lesní (**Obr.5**). Komplexní hodnocení chování stromů v konkrétních podmínkách prostředí je účelné provádět až po

zahrnutí všech jejich hlavních částí, tedy nejen kořenů samých, ale i kmene a listoví (Čermák 1998, 2011a, 2011b).

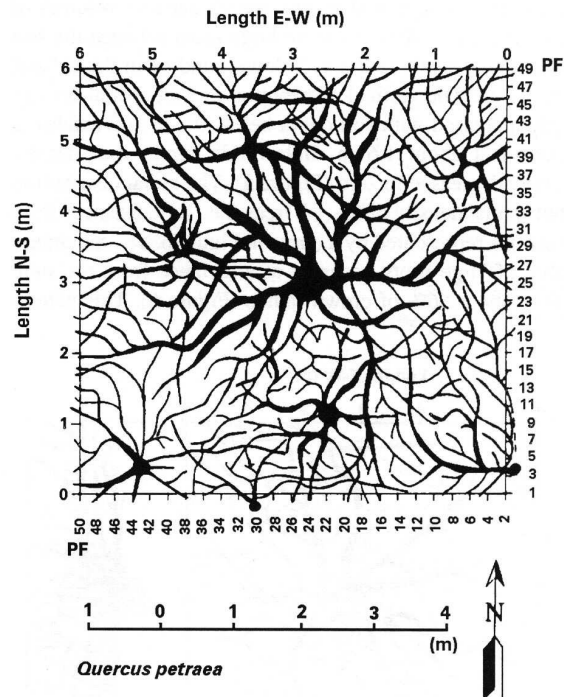
Stejně jako celý strom se kořeny plynule (ale někdy ne dostatečně rychle) přizpůsobují změnám v dostupnosti zdrojů vody a živin v konkrétním prostředí. Je to patrné i na závislosti mezi vývinem vodiých skeletových a jemných absorpčních kořenů (Obr.6. - modifikováno dle Tobina et al. 2007). Existuje zřetelný allometrický vztah mezi plochou výčetní základny a aktuální absorpční plochou kořenů. Příklad takového vztahu u 11ti druhů listnatých i jehličnatých dřevin s tloušťkami v rozmezí dvou řádů (proto bylo nutné jej znázornit v logaritmických hodnotách) na různých lokalitách lišících se půdními charakteristikami a jejich vlhkostí je uveden v příloze (Čermák et al. 2006, Čermák a Naděždina 2011 - Obr.7). Po kompensaci těchto podmínek příslušnými výpočty vychází závislost ještě podstatně lepší.

Distribuce kořenů kolem kmene a v různých vrstvách půdy je rozhodující z hlediska dodávky vody. To je patrné na hustotě transpiračního proudu, jak ukazuje jeho příklad radiálních profilů v různých hloubkách vodivého xylému (běle) z různých světových stran na kmeni vzrostlého stromu borovice (*Pinus sylvestris*) charakterizující variabilitu proudu podél poloměru kmene a současně po obvodu kmene (Obr.8). U daného stromu byl v případě obvodu kmene proud nejvyšší ze severní strany a nejnižší z východní strany a podél poloměru měla asymetrická křivka radiálního profilu vyšší amplitudu ve vnějších vrstvách běle a nižší ve vnitřních vrstvách běle. Podrobnější matematická analýza radiálních profilů relativní hustoty transpiračního proudu (Čermák et al. 2008) vycházející z řady pokusů se zavlažováním, případně separací jednotlivých kořenů (Naděždina et al. 2012a, 2012b) přímo poskytuje kvantitativní informace o podílu dodávky vody povrchovými a hlubokými (superficial & sinker) kořeny dřevin (Naděždina et al. 2007, Čermák et al. 2008 - Obr.9) To platí zejména u jehličnatých a difúzně pórovitých druhů. U druhů kruhovitě pórovitých s typicky největší hustotou transpiračního proudu v jarním dřevě nejmladšího letokruhu tato problematika vyžaduje ještě další studie.

Z praktického hlediska je podstatné získání celkového obrazu chování stromu, tedy i dodávky vody z různých směrů ke kmeni a jeho prostřednictvím dále přes větve až k listům a z různě hlubokých vrstev půdy, což je dobře patrné na variabilitě hustoty transpiračního proudu po obvodu kmene borovice lesní (Obr.10). Na obrázku je zřetelný menší podíl efektivních aktivních kořenů na východní straně kmene a jejich větší podíl na straně západní, při čemž vlhkost v daném příkladě písčité půdy byla po obvodu stromu homogenní a vykazovala jen malé změny s hloubkou. Naproti tomu zde záleželo na hloubce nepropustného podloží – jílová vrstva byla někde 1m, jinde 4m pod povrchem půdy a výrazně se na dodávce vody projevil např. vliv náklonu kmenů ve směru převládajícího větru (Naděždina et al. 2007, Čermák et al. 2008).

Shora popsané příklady jsou jen malou ukázkou významu prostorové distribuce efektivních parametrů kořenů pro fyziologii stromů. Aktivní kořeny se mohou nacházet kolem stromu na ploše menší, než je plocha půdorysu korun, skeletové kořeny jsou tedy v průměru kratší než větve koruny (např. u podzemní vodou dobře zásobeného lužního lesa), v sušších podmínkách se může délka některých kořenů blížit, nebo i přkračovat výšku stromů (Biddle 1998, Čermák a Prax 2001). Tedy kořenový systém se může přizpůsobovat daným podmínkám jak z hlediska dosažení zdrojů vody v povrchových, tak v hlubokých půdách. Velmi podstatným jevem, který byl podrobně popsán teprve nedávno (ač na něj upozornil zakladatel fyziologie stromů Stephan Hales již r.1727) je redistribuce vody mezi půdou a kořenovým systémem. Tedy kořeny mohou vodu vést dle gradientu vodního potenciálu jak směrem ke kmeni (za běžných příznivých vlhkostních podmínek), tak směrem od kmene. K tomu dochází, když je půda vyschlá a zaprší, strom

pak pomocí stejného mechanismu přijímá určité množství vody korunou a transportuje jí do kořenů, což jim umožňuje v kritických podmínkách přežít (Naděždina et al. 2012a, 2012b). Suchá půda pak může vodu z takovýmto způsobem zásobených kořenů „vyssávat“ a částečně se zvlhčovat. To umožňuje růst v blízkosti stromů některým bylinám, které by bez nich nemohly přežít.



Obr.1. Příklad georadarového snímku části dubového porostu na Školním lesím podniku Křtiny (podle Hruška et al. 1999). Nejtenčí kořeny viditelné na snímku mají tloušťku asi 2 cm.

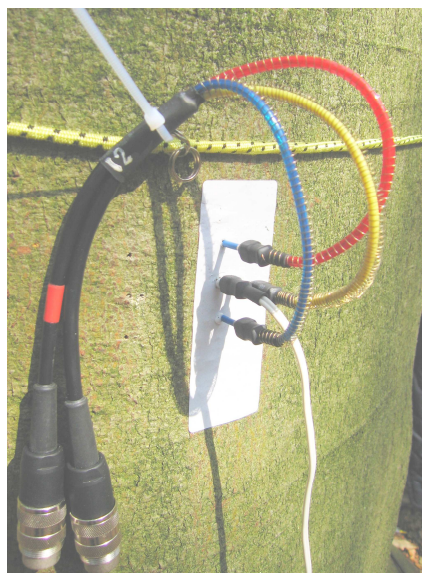


Obr.2. Exkavační práce s použitím proudu supersonického vzduchu (rychlost 2 Machy) dodávaného kompresorem (průtok vzduchu $12 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ při tlaku 12 bar). Dostatečně vlhká půda je rozpojena mikro-explozemi pórů, do kterých byl vzduch vtlačen a je odfouknuta stranou, zatímco hladké objekty (kamery, kořeny, případně noha) zůstávají nepoškozené. Jestliže je třeba odhalit celý kořenový systém, je nutné stromy pokácet (aby nedošlo k úbytku operátorů). Pokud stačí kořenový systém odhalit jen částečně (např. do

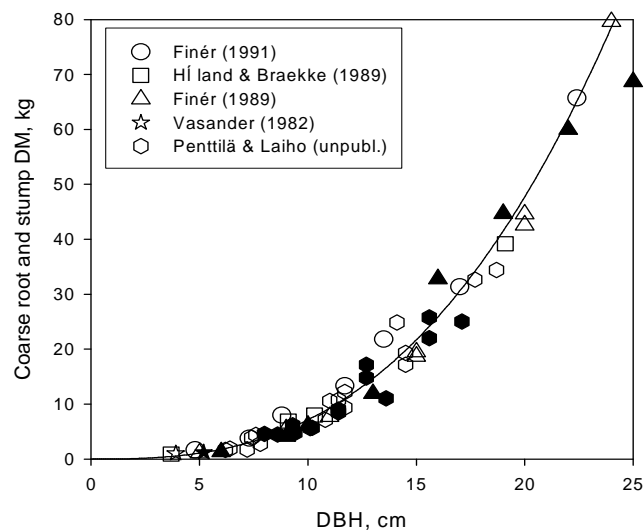
poloviny na jedné straně, nebo ve dvou 90° sekcích proti sobě), kácení nutné není, ale z bezpečnostních důvodů je nezbytné zabezpečit stromy lanem - podle Čermák a Nadezhdina (2011b).



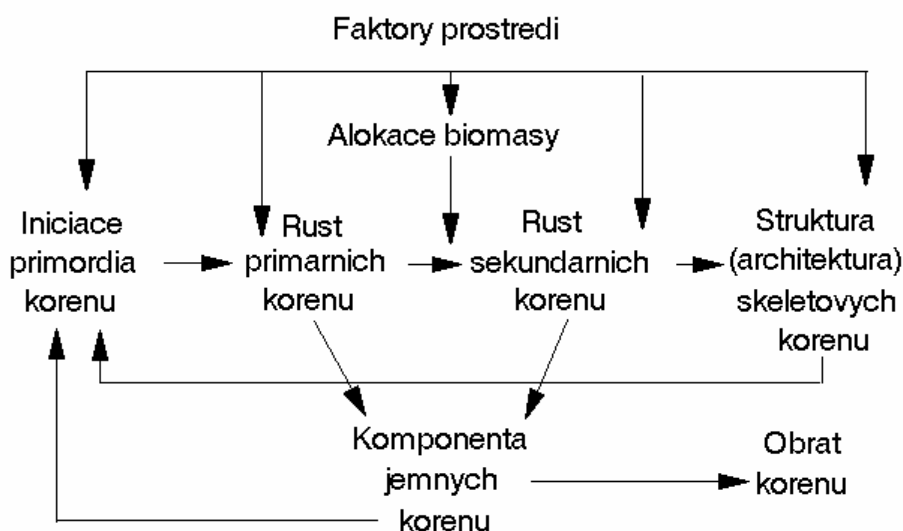
Obr.3. Měření aktuální (v okamžiku měření funkční) absorpční plochy kořenů smrku (v m^2 na určitou sekci nebo na celý strom) metodou modifikované elektrické impedance půdy (Aubrecht et al. 2006, Čermák et al. 2006). Na obrázku je vidět jednu sérii proudových elektrod na kmeni a pohyblivou potenciální elektrodu podél kabelu uloženého v radiálním směru od kmene k druhé sérii proudových elektrod v půdě.



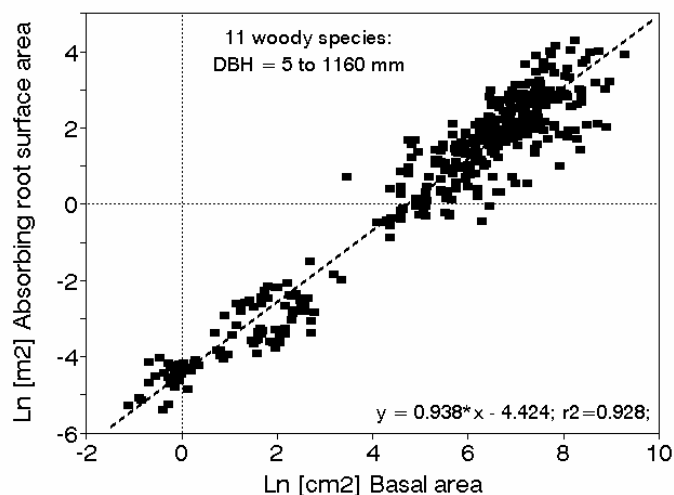
Obr.4. Měření radiálního profilu transpiračního proudu v různých hloubkách vodivého systému (běle) ve výčetní výšce na kmeni vzrostlého stromu, použitého k odvození dodávky vody z kořenů rostoucích v různé hloubce půdy.



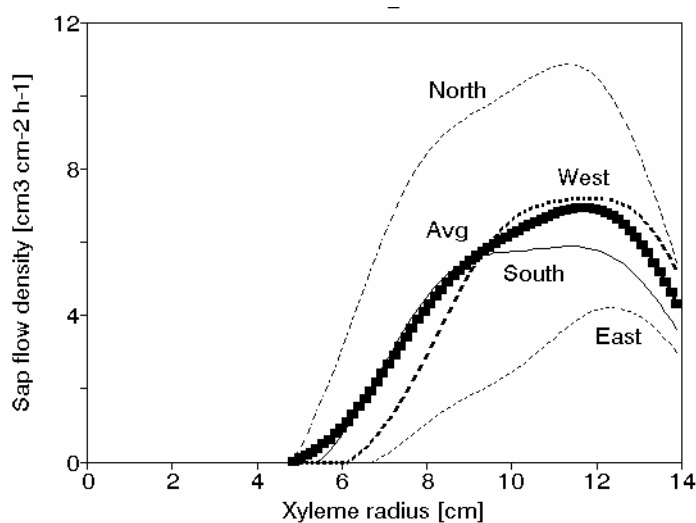
Obr. 5. Příklad vzvážených allometrických vztahů u stromů: Biomasa skeletových kořenů jednotlivých stromů (bez jemných kořenů) jako funkce výčetní tloušťky (diameter at breast height, DBH) u *Pinus sylvestris* rostoucí na hluboké vrstvě rašeliny v různých oblastech Fensokandie. Prázdné symboly reprezentují stromy y odvodněných, ale jinak neovlivněných porostů, plné symboly stromy ze hnojených porostů (Finér, Håland & Braekke, Vasander) nebo silněji probíraných ploch (Penttilä & Laiho). Křivka ukazuje souhlas allometrického modelu $y = 0.013 \text{ DBH}^{2.74}$ ($R^2 = 0.99$), který vzvinuli Laiho & Finér (1996) s použitím dat Finéra (1989, 1991), Håland & Braekke (1989) a Vasandera (1982) z jižní Fensokandie. Data Penttilä & Laiho jsou ze severního Finska (podle Tobin et al. 2007).



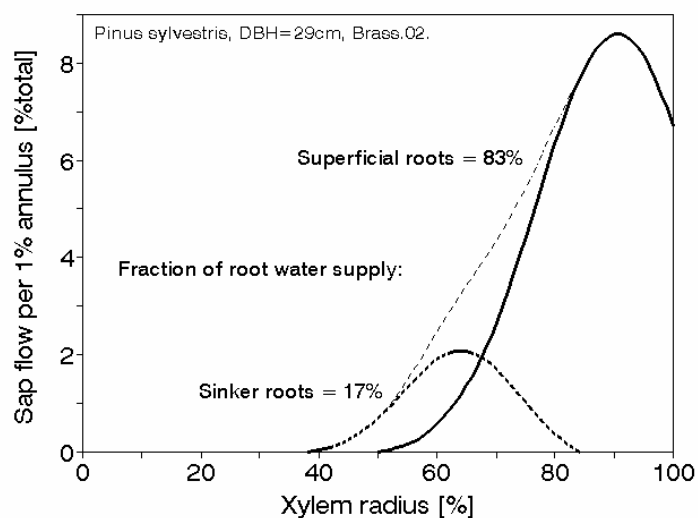
Obr.6. Schema přizpůsobivosti kořenů jako zdroje vody a živin konkrétním faktorům prostředí. Závislost mezi vývinem vodičských skeletových a jemných absorpčních kořenů. Modifikováno dle koncepčního modelu navrženého Coutsem et al. (1999) – dle Tobina et al.(2007).



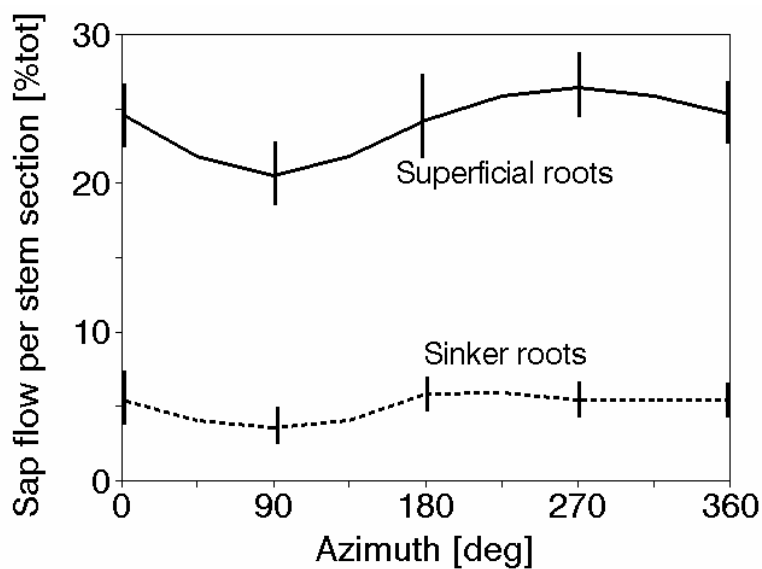
Obr. 7: Příklad allometrického vztahu mezi výčetní základnou a aktuální aktivní absorpční plochy kořenů u 11ti druhů listnatých i jehličnatých dřevin s tloušťkami v rozmezí dvou řádů na různých lokalitách lišících se půdními charakteristikami a jejich vlhkostí. Po kompensaci těchto podmínek příslušnými výpočty vychází závislost ještě podstatně lepší (Čermák et al. 2006, Čermák a Naděždina 2011).



Obr. 8: Radiální profily hustoty transpiračního proudu v různých hloubkách vodivého xylému (běle) z různých světových stran na kmeni vyrostlého stromu (*Pinus sylvestris*) charakterizující variabilitu proudu podél poloměru kmene a současně po obvodu kmene. U daného stromu je v případě obvodu kmene proud nejvyšší ze severní strany a nejnižší z východní strany a podél poloměru má asymetrická křivka vyšší amplitudu ve vnějších vrstvách běle a nižší ve vnitřních vrstvách běle (Čermák et al. 2008).



Obr.9. Radiální profil relativní hustoty transpiračního proudu s vyznačeným podílem dodávky vody povrchovými a hlubokými (superficial & sinker) kořeny borovice lesní (Naděždina et al. 2007, Čermák et al. 2008).



Obr.10. Variabilita hustoty transpiračního proudu po obvodu kmene borovice lesní. Je patrný zřetelně menší podíl kořenů na východní straně kmene a větší podíl na straně západní (Naděždina et al. 2007, Čermák et al. 2008).

Seznam použité literatury

- Biddle G. 1998. Tree root damage to buildings. Vol. 1 and 2, Willowmead Publishing, Acorn Press Swindon, 370 and 298 p.
- Čermák J., Cienciala E., Kučera J., Hallgren J.E. 1992. Radial velocity profiles of water flow in trunks of Norway spruce and oak and the response of spruce to severing. *Tree Physiology* 10: 367-380.
- ČERMÁK J. 1998. LEAF DISTRIBUTION IN LARGE TREES AND STANDS IN FLOODPLAIN FORESTS IN SOUTHERN MORAVIA. *TREE PHYSIOLOGY* 18: 727-737.
- Čermák J. and Nadezhdina N. 2011. Field studies of whole-tree leaf and roots distribution and water relations in several European forests. Chapter 4 in: Bredemeier M., Cohen S., Godbold D.L., Lode E., Pichler V., Schleppei P. (eds.) *Forest Management and the Water Cycle*. Ecological studies, 2011, Vol.212, Part 1
- Čermák J. and Nadezhdina N. 2011. Instrumental approaches for studying tree water relations along gradients of tree size and forest age. Chapter 15 (385-426pp.) in: Meinzer F.C., Dawson T. and Lachenbruch B. (eds.): *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.
- Hales S. 1727. *Vegetable Staticks, or, An Account of Some Statical Experiments on the Sap in Vegetables*. W & J Innys, and T Woodward: London, UK.
- HINCKLEY, T.M., LASSOIE, J.P., RUNNING, S.W. 1978: TEMPORAL AND SPATIAL VARIATIONS IN THE WATER STATUS OF FOREST TREES. *FOREST SCIENCE MONOGRAPH* 20, 72P.
- Holbrook N.M. & Zwieniecki M.A. 2005. *Vascular transport in plants*. Elsevier Acad. Press, 566p
- Huber B (1956) *Allgemeine Grundlagen der Wasserleitung*. In: Ruhland W (ed) *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Bd 3, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp 509-513.
- KRAMER P.D. AND KOZLOWSKI T.T. 1979: *PHYSIOLOGY OF WOODY SPECIES*. ACAD.PRESS, NEW YORK, SAN FRANCISCO, LONDON, 462 P.
- LANDSBERG J.J. 1986: *PHYSIOLOGICAL ECOLOGY OF FOREST PRODUCTION*. ACAD.PRESS. LONDON, ORLANDO, NEW YORK AND OTHERS, 198P.
- Larcher, W. 1995: *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 506 p.
- Meinzer F.C., Dawson T. and Lachenbruch B. (eds.) 2011. *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.
- MEIDNER, H. A SHERIFF, D.W. 1976: *WATER AND PLANTS*. BLACKIE, GLASGOW, LONDON, 148P.
- Nadezhdina N., Nadezhdin V., Gebauer R. and Čermák J. 2011. Redistribution of water within the aboveground part of trees. *Proc. of the 8th International Workshop on Sap Flow* Volterra, Italy, 8-12 May 2011. *Acta Horticulturae* 951: 241-249.
- Nadezhdina N., David T.S., David J.S., Nadezhdin V., Čermák J., Gebauer R., and Stokes A. 2012a. Root structure: In Situ Studies Through Sap flow Research. In: Manasco S. (ed.): *Measuring Roots, an updated approach*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 382p.

- NADEZHDINA N., DAVID T.S., DAVID J.S., NADEZHDIN V., ČERMÁK J., GEBAUER R., FERREIRA M.I., CONCEICAO N., DOHNAL M., TESAR M., GARTNER K. AND CEULEMANS R. 2012B. ROOT FUNCTION: IN SITU STUDIES THROUGH SAP FLOW RESEARCH. IN: MANUSCO S. (ED.): MEASURING ROOTS, AN UPDATED APPROACH. SPRINGER VERLAG, BERLIN, HEIDELBERG, 382P
- RAGHAVENDRA A.S. 1991: PHYSIOLOGY OF TREES. JOHN WILLIAMS & SONS, INC., N.YORK, CHICHESTER, BRISBANE, 508 P.
- Simon J., Čermák J. 2011. Assessment of rot in stem base and roots (in Czech). *Lesnická práce* 90(12):40/833-41/834.
- Simon J., Buček A., Čermák J. 2011. For evaluation of the state of rot and damage in tree base and roots (in Czech). *Živa* 6:270-271..
- SMITH W.K. AND HINCKLEY T.M. 1995: RESOURCE PHYSIOLOGY OF CONIFERS, ACQUISITION, ALLOCATION AND UTILIZATION. ACAD. PRESS, SAN DIEGO, N.YORK, BOSTON, 396P.
- Tobin B., Čermák J., Chiatante D., Danjon F., Di Iorio A., Dupuy L., Esher A., Jourdan Ch., Kaliokoski T., Laiho R., Nadezhdina N., Nicol B., Dupuy L., Pages L., Silva J., Spanos I. 2007. Modeling coarse root structure and biomass. *Plant Biosystems* 141(3): 481-501.
- Tyree MT, Flanagan LB, Adamson N. 1987. Response of tree to drought. In: Hutchinson TC, Meema KM (eds) *Effects of pollutants on forest, wetlands and agricultural ecosystems*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg pp 201-216.
- Tyree M.T. 1988. A dynamic model for water flow in a single tree: evidence that models must account for hydraulic architecture. *Tree Physiology* 4(3): 195-218.
- Zimmermann MH, Brown C.L. 1974. *Trees, structure and function*, 2nd.edn. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, N.York, Tokyo, 336p.
- Zimmermann M.H. 1983. *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, N.York, Tokyo, 144p.

Dřeviny porostů náhradních dřevin - současný stav (r. 2004) a perspektivy

Oldřich Mauer, Eva Palátová, Alena Rychnovská, Pavel Mauer

Úvod a cíl práce

V extrémních imisních a klimatických podmínkách našich hor byly zakládány porosty náhradních dřevin. Jejich prioritními funkcemi byly funkce půdoochranná a vodohospodářská. U porostů náhradních dřevin se nepředpokládalo, že dojde k rychlé změně stanovištních podmínek, proto dřeviny porostů náhradních dřevin budou na témže stanovišti pěstovány dlouhodobě, několikrát po sobě, a to i v případě, že se nedožijí mýtního věku (nejde tedy o klasické přípravné porosty s krátkodobým působením). K jejich založení byla odzkoušována celá řada dřevin, ale nejrozšířenějšími se staly smrk pichlavý, modřín opadavý, jeřáb ptačí, bříza bělokorá, olše lepkavá, olše zelená, kosodřevina a borovice blatka. V imisní oblasti Krušných hor, která má výměru 34 000 ha, byly nejčastěji použity smrk pichlavý - 26 %, modřín opadavý - 15 %, bříza bělokorá - 36 %, jeřáb ptačí - 10 % a olše lepkavá - 4 %. Byly tedy použity dvě skupiny dřevin. Jehličnany, které nemají téměř žádný meliorační účinek, ale relativně snesou dané stanovištní podmínky a listnáče s širokou ekovalencí, velkou odolností a podstatnými melioračními účinky.

I když je kořenový systém základem stromu v tom nejširším smyslu slova a je známo, že obzvláště dlouhodobý stres a silný antropogenní atak se obvykle nejdříve projeví právě na kořenovém systému, o vývinu a stavu kořenového systému dřevin porostů náhradních dřevin nebyly téměř žádné informace. Náš řešitelský tým se za podpory MZe ČR danou problematikou již několik let zabývá. Každoročně je analyzován vývin a zdravotní stav kořenového systému jedné dřeviny porostů náhradních dřevin. Současně s analýzami kořenového systému je sledováno poškození nadzemní části biotickými a abiotickými činiteli a posuzována celková vitalita porostů. Cílem této práce není hodnotit meliorační účinky jednotlivých druhů použitých dřevin, ale obzvláště na základě vyhodnocení stavu jejich kořenového systému posoudit predispozice pro plnění nejen této funkce v pásmu ohrožení A. Prezentované výsledky jsou výsledkem analýz z porostů náhradních dřevin v Krušných horách. V jiných oblastech ČR, posuzujeme-li vývin kořenového systému, je situace stejná (Jizerské hory) nebo podobná (Orlické hory).

Metody a použitý materiál

Základní metodické postupy

Rhizologie je mladou vědní disciplínou a zatím pro exaktní interpretaci výsledků vyžaduje porovnání s kontrolou (kontrolními porosty). Kontrola se může od analyzovaného porostu lišit pokud možno pouze v jednom parametru (např. imisní zatížení, půdní podmínky, způsob přípravy stanoviště, typ sadby, výchovný zásah apod.), ostatní parametry by měly být u analyzovaného i kontrolního porostu shodné. Při sledování byly proto respektovány tyto zásady.

- Prioritou celého šetření bylo odpovědět na otázku, zda v imisních oblastech (pásmo ohrožení A) dochází ke změnám ve vývinu a zdravotním stavu kořenového systému.

- Všechny analyzované porosty se nachází v poměrně malé oblasti Krušných hor - mezi Jirkovem, Horou Sv. Šebestiána a Horou Sv. Kateřiny.
- Vývin kořenového systému je významně ovlivňován půdními podmínkami. V práci jsou proto uváděny výsledky pouze z analýz na kyselých stanovištích a po dozérových přípravách půdy (v oblasti Krušných hor zaujímají kyselá stanoviště nad „Zelenou hranicí“ více než polovinu celkové výměry a z větší části byla celoplošně připravena dozery).
- V případě, že některá z dřevin má sníženou vitalitu, nebo jiné známky poškození, byly vzájemně na stejném lesním typu 7K3 porovnávány porosty (stromy) poškozené s porosty (stromy) nepoškozenými. V případě, že dřevina vizuálně nejeví známky poškození, byly vzájemně porovnávány porosty v pásmu ohrožení A (LT 7K3) s porosty v pásmu ohrožení C (LT 3K1, 5K1). (Pro další potvrzení výsledků byly vzájemně porovnávány i poškozené a nepoškozené porosty v pásmu ohrožení A s nepoškozenými porosty v pásmu ohrožení C a všechny tyto výsledky byly porovnávány s nepoškozenými porosty v pásmu ohrožení D mimo oblast Krušných hor.) U dřevin, které na kyselých stanovištích nejsou v optimu své ekvalence (olše lepkavá), byly výsledky (obzvláště v oblasti jemných kořenů) porovnávány s výsledky získanými stejnými analýzami na jiných stanovištích v pásmu ohrožení A. Výsledky životnosti jemných kořenů byly vždy navíc porovnávány se stejným parametrem sadebního materiálu (u sadebního materiálu je životnost neovlivněna); ve výsledcích práce jsou uváděny v tom případě, že mezi zdravými a poškozenými porosty v pásmu ohrožení A nebyly v životnosti zjištěny rozdíly.
- U každé dřeviny bylo do šetření zahrnuto minimálně 14 porostů a v každém porostu bylo analyzováno 8 až 30 stromů (kořenových systémů).
- Porosty musely splňovat tyto další podmínky - monokultura, shodná výška nadzemní části (věk analyzovaných porostů je 18 až 26 let), rovnoměrné a shodné zakmenění, rovina nebo mírný svah (do 6 % sklonu).

Použité metody šetření

Architektonika kořenového systému

- Všechny kořenové systémy byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem.
- U každého kořenového systému bylo sledováno a hodnoceno až 42 biometrických parametrů kořenového systému. V této práci jsou uváděny ty nejdůležitější.
- Tvar kořenového systému - v členění povrchový, kúlový, kotevní, všestranně rozvinutý, panohovitý.
- Hloubka prokořenění - kolmá vzdálenost od půdního povrchu po nejhlouběji zasahující část kořenového systému.
- Počet kosterních kořenů - podle typu kořenového systému jde o součet všech kořenů, které zajišťují mechanickou stabilitu stromu (horizontální kosterní kořeny, klasické kotvy, šikmé kotevní kořeny, panohy).
- Deformace kořenového systému do strboulu - jde o nejzávažnější odchylku od přirozené architektiky kořenového systému; vzniká vytvořením spirál a dalším vzájemným proplétáním kořenů. Je inherentní krytokořennému sadebnímu materiálu, ale vzniká i nedbalou výsadbou prostokořenného sadebního materiálu; po výsadbě krytokořenného sadebního materiálu může tuto odchylku vyvolat i stanoviště.

- Index p - je vypočítaná hodnota, která udává, jak velký je kořenový systém k velikosti nadzemní části. Jde o poměr součtu ploch příčných průřezů všech kosterních kořenů (v mm^2) k výšce nadzemní části (v cm). Čím větší je hodnota Indexu p , tím lepší je poměr vývinu kořenového systému k vývinu nadzemní části.
- Délka horizontálních kosterních kořenů - vzdálenost od paty kmene ke špičce horizontálních kosterních kořenů.
- Nerovnoměrné rozložení horizontálních kosterních kořenů - obzvláště u dřevin s povrchovým kořenovým systémem je pro stromy důležité pravidelné rozložení horizontálních kosterních kořenů v kruhové síti. Není-li tato síť rovnoměrně vykryta (kořeny jsou od sebe daleko), hrozí vyvrácení stromu. Za nerovnoměrné rozložení považujeme skutečnost, když maximální úhel mezi dvěma nejvzdálenějšími sousedními kořeny je větší než 90° .

Analýzy jemných kořenů

Jemné kořeny jsou kořeny slabší než 1 mm; mají rozhodující význam v zajišťování živin.

- Biomasa jemných kořenů - hmotnost jemných kořenů po vysušení při 105°C .
- Životnost jemných kořenů - zjišťována vitálním barvením.
- Mykorrhizní infekce - zjišťována kvantitativně chemicky.
- Typ mykorrhizy - zjišťován anatomicky a morfologicky.

Vitalita a zdravotní stav

- Na podélném řezu každým kořenem byl zjišťován výskyt hnilob kořene.
- Na několika příčných řezech každým kmenem byl zjišťován výskyt hnilob kmene.
- Vizually bylo vyhodnocováno poškození kořenového systému a nadzemní části biotickými nebo abiotickými činiteli (u poškození zvěří a prolámání nadzemní části jde pouze o odhad, který byl vysloven po pochůzce porosty v zájmové oblasti).
- Speciálními analýzami (izolace na agarosladovém médiu, kultivace ve vlhkých komůrkách) byla vyhodnocována přítomnost hub na kořenech a kmeni stromu.

Výsledky a jejich zhodnocení (tab. 1)

Olše lepkavá

V době šetření nebyly zjevné žádné výrazné vizuální známky snížené vitality olše. Jediným nedostatkem je časté prolámání nadzemní části větrem a námrazou, obzvláště ve vyšších polohách.

Ve vyšších i nižších polohách (pásmo ohrožení A i C) olše lepkavá vytváří naprosto shodný (až uniformní) všestranně rozvinutý kořenový systém s funkční ektomykorrhizou. Nebyly zjištěny hniloby kořenů ani nadzemní části, nebyla zjištěna přítomnost václavky. Přesto má olše lepkavá na relativně suchých kyselých stanovištích (v pásmu ohrožení A i C) ve svých dvaceti letech sníženou vitalitu. V porovnání se stejně starou olší lepkavou na vodou ovlivněných stanovištích (SLT 7P, 8Q, 4P, 5G), kam olše lepkavá více patří (i na těchto stanovištích byly realizovány komplexní analýzy), má na kyselých stanovištích redukovánou mykorrhizní infekci, ale zejména biomasu a životnost jemných kořenů. Snížení vitality se projevuje i podstatně větším napadením olše na kyselých stanovištích bázlivcem olšovým, pilořítkou a část kořenů je již odumřelých.

Shrnutí - nebyl prokázán přímý vliv imisí na vývin kořenového systému olše lepkavé. V pásmech ohrožení A i C má olše lepkavá výrazně sníženou vitalitu, která je

vyvolána i dlouhodobým užitím olše lepkavé na hranici její ekvalence. Na kyselých stanovištích lze reálně předpokládat další snižování vitality a rychlý a plošný rozpad olšových porostů.

Modřín opadavý (obr. 1)

V době šetření nebyly zjevné žádné vizuální známky snížení vitality modřínu opadavého. Problémem byly - až 100% prolámaní nadzemní části námrazou (poškozené stromy však reagovaly tvorbou dvojáků a trojáků), až 70% poškození (obzvláště mladších porostů) zvěří a časté vychýlení kmenů na bázi. Rozdělení na porosty zdravé a poškozené vzniklo až následně po provedených měřeních. (Analyzovány byly rovněž porosty v pásmu ohrožení C a všechny výsledky jsou naprosto shodné s výsledky zjištěnými v pásmu ohrožení A.)

Rozdílná architektura kořenového systému je jednoznačně vyvolána způsobem založení porostu. Všechny porosty založené prostokořeným sadebním materiálem vytváří panohovitý kořenový systém (porosty zdravé), všechny porosty založené krytokořeným sadebním materiálem vytváří povrchový kořenový systém (porosty poškozené). I když také u porostů založených prostokořeným sadebním materiálem byla zaznamenána tvorba nejzávažnější deformace - strboulu, u porostů založených krytokořeným sadebním materiálem je výskyt strboulu vždy 100 % a jeho tvorbou byly postiženy všechny kořeny kořenového systému; povrchový kořenový systém se vytvořil následně po sadbě pouze díky velké tvorbě adventivních horizontálních kořenů, které ovšem nevykřívají kruhovou plochu rovnoměrně, jsou velmi krátké a kořenový systém je celkově slabší (Index p). Tyto změny v tvorbě kořenového systému se však nijak neprojevily v růstu nadzemní části modřínu. Modřín rychle vytvořil velkou biomasu nadzemní části, která není dobře mechanicky stabilizována v půdě a stromy se proto naklání ve směru převládajících větrů (stromy do výšky 2 m se dají vytrhnout rukou, stromy do výšky 5 m a často i vyšší se dají rukou vyvrátit). Změny v architektuře kořenového systému jsou jedinými změnami, které byly u modřínu v rámci našich šetření zaznamenány. Nebyly zjištěny žádné hniloby kmene nebo kořenů, nebyly zjištěny žádné rozdíly v růstu, mykorrhizní symbióze, životnosti jemných kořenů a napadení václavkou (výrony pryskyřice byly zjištěny asi u 20 % analyzovaných stromů, v některých porostech však byl výskyt václavky stoprocentní).

Shrnutí - nebyl prokázán přímý vliv imisí na vývin kořenového systému nebo vitalitu modřínu opadavého. Všechny stromy založené krytokořeným sadebním materiálem a některé stromy založené málo pečlivou výsadbou prostokořeného sadebního materiálu vytvořily pouze povrchový, slabý, malý a nerovnoměrně rozložený kořenový systém. Tím jsou vytvořeny predispozice pro další mechanickou nestabilitu modřínových porostů (výše uvedené závěry byly vysloveny na podzim 2002; v zimním období 2002/03 došlo v zájmové oblasti k poměrně velkému postižení modřínových porostů vývraty). Slabý kořenový systém (disproporce mezi velikostí nadzemní části a velikostí kořenového systému) mohou být stejně jako u smrku ztepilého výrazným predispozičním faktorem výrazného snížení vitality stromu v dalším období.

Jeřáb ptačí

V době šetření nebyly zjevné žádné vizuální známky snížení vitality jeřábu. Jediným nedostatkem je 100% (i opakované) poškození nadzemní části ohryzem.

V pásmu ohrožení A vytváří jeřáb povrchový kořenový systém s funkční endomykorrhizou, v pásmu ohrožení C kotevní kořenový systém s funkční ektomykorrhizou. I když architektura kořenového systému je rozdílná, životnost i biomasa jemných kořenů je téměř shodná. Jeřáb má obecně velmi plastickou

architektoniku kořenového systému a běžně vytváří funkční ekto- i endomykorrhizu. Povrchový kořenový systém vytváří pod vlivem zvýšené hladiny spodní vody, a to i v relativně krátkém období roku, nebo je-li spodní půdní vrstva pro jeřáb toxická (obě predispozice jsme v pásmu ohrožení A zjistili); o „nevhodnosti“ spodních vrstev pro růst kořenů jeřábu svědčí i výrazné stočení původních kotev do horizontálního směru, a to téměř v jedné rovině.

Stoprocentní poškození kmenů zvěří má za následek téměř 100% výskyt hnilob kmenů (vyvolává pevník a outkovka) a sání štítenky jívové a puklice lískové. Hniloba často zasahuje až 60 % plochy průřezu kmene, což zatím nezpůsobuje výrazné snížení vitality, ale značně snižuje mechanickou pevnost kmene. Hniloby kořenů se vyskytují naprosto sporadicky (vyvolává václavka a lesklokorka), u žádného stromu nebyly zjištěny výrony pryskyřice.

Shrnutí - změna stanovištních podmínek v pásmu ohrožení A vyvolala změnu architektiky a mykorrhizní symbiózy kořenového systému jeřábu ptačího, nedošlo však ke snížení jeho vitality. Vážným problémem je téměř 100% poškození stromů zvěří a z toho vyplývající hniloby kmene. Lze reálně předpokládat, že tyto hniloby budou výrazným predispozičním faktorem pro snížení vitality, mechanické stability a obmýtí jeřábových porostů v dalším období.

Bříza bělokorá (obr. 2a, 2b)

V době šetření byla bříza postižena defoliací nevyrašením. I když defoliací byla postižena velká část porostů v pásmu ohrožení A, poškození nebylo homogenní. V jednom porostu vedle sebe rostly stromy s různým stupněm defoliace. Šetření samostatně vyhodnocovalo stromy s defoliací 0, 20, 50, 80 a 100 %; v tabulce výsledků jsou uváděny hodnoty s defoliací 0 a 50 %.

Bříza v zájmové oblasti vytváří povrchový nebo kotevní kořenový systém (tvorba povrchového kořenového systému je buď vyvolána deformacemi kořenového systému při sadbě, nebo velkou heterogenitou půdy pro růst kořenů břízy), více jsou poškozovány stromy s povrchovým kořenovým systémem. Poškozené stromy mají menší kořenový systém, menší hloubku prokořenění a funkční ektomykorrhiza se mění na částečně parazitickou ektendomykorrhizu. U poškozených stromů je výrazně redukován vývin a životnost jemných kořenů. Všechny poškozené stromy mají velké mrazové kýly, hniloby kořenového systému vyvolané václavkou, hniloby kmene vyvolané václavkou a outkovkou načervenalou a podstatně více trpí žírem hmyzu. Václavkou jsou 100% napadeny i všechny zdravé stromy. Velikost všech uvedených negativních změn je přímo úměrné rozsahu defoliace.

Shrnutí - poškození porostů břízy je ovlivňováno jejich expozicí, klimatickými podmínkami porostu a imisním atakem. V poškozených porostech je velmi málo stromů, které jsou zdravé. Všechny stromy jsou napadeny václavkou. Dalšími predispozičními vlivy jsou častý výskyt povrchového kořenového systému a mrazových kílů. Poškozené stromy mají vždy mrazové kýly, mají ve všech sledovaných parametrech kořenový systém podstatně horší a kořenový systém i nadzemní část jsou napadeny agresivními parazitickými houbami. Lze reálně předpokládat, že chřadnutí břízy bude dále pokračovat.

Smrk pichlavý (obr. 3)

V době šetření měla část stromů v porostech nažloutlé špice jehlic a některé stromy již celé žluté jehlice (každá tato forma snížené vitality byla analyzována zvlášť, v tabulce výsledků jsou uváděny hodnoty zjištěné u stromů se žlutými špicemi jehlic).

Snížení vitality zatím nikde nepostihlo celý porost, vyskytovalo se v nepravidelných skupinách (kolech).

Smrk pichlavý vytváří extrémně povrchový kořenový systém, větší část kořenů se rozprostírá pouze v prvním humusovém horizontu. Poškozené stromy mají větší část kořenových systémů deformovaných do nejzávažnější deformace - strboulu a rovněž i nerovnoměrné rozložení kořenové sítě. Poškozené stromy mají kořenový systém i poněkud menší (hodnota Indexu p). Závažnější změny kořenového systému však byly zjištěny u jemných kořenů. Poškozené stromy mají poněkud nižší mykorrhizní infekci a až o 40 % redukovánú biomasu jemných kořenů. I když poškozené stromy mají cca o 10 % nižší životnost jemných kořenů než stromy zdravé, zdravé i poškozené stromy mají v porovnání s životností jemných kořenů sadebního materiálu.

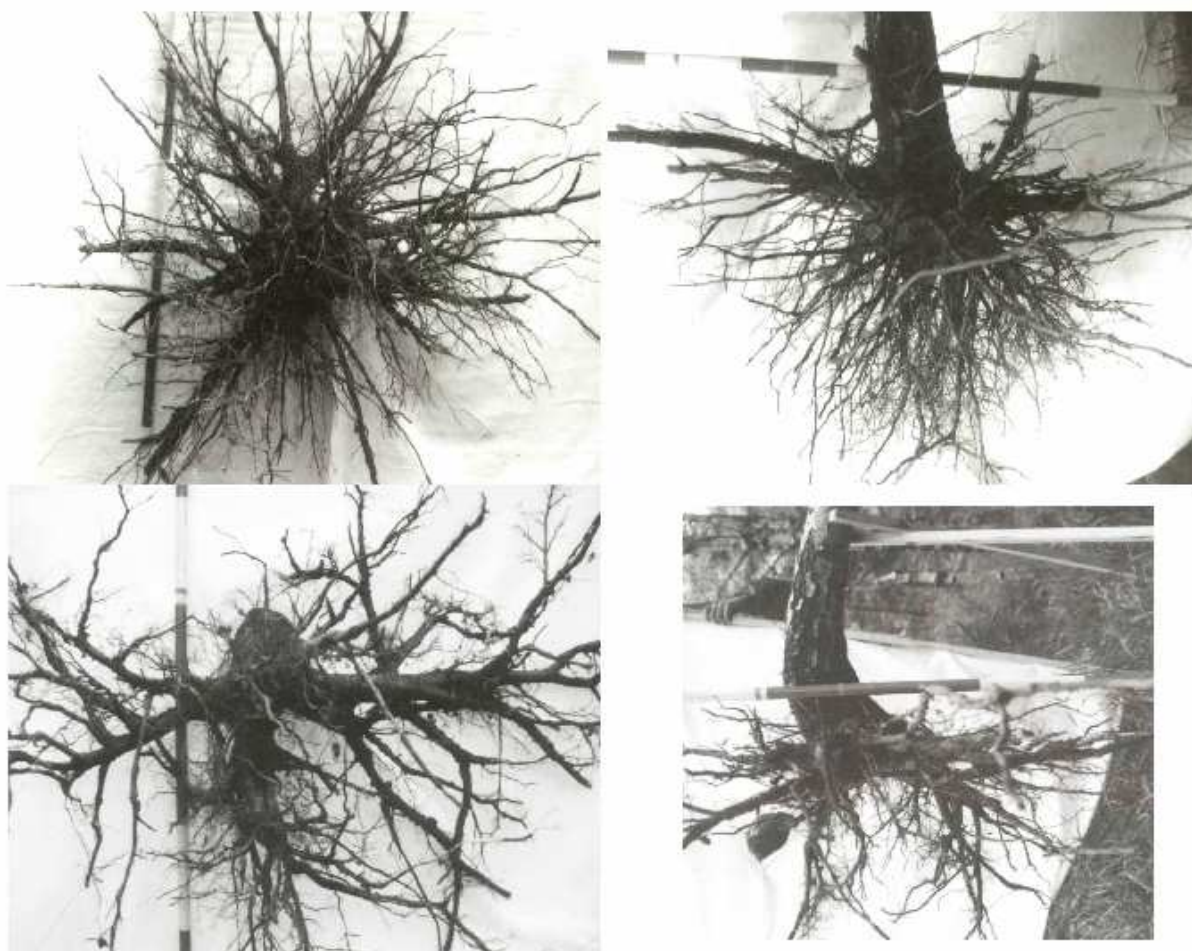
Tab. 1: Vývin kořenového systému a vitalita olše lepkavé, modřínu opadavého, jeřábu ptačího, břízy bělokoré a smrku pichlavého v severovýchodním Krušnohoří

Parametr měření	Olše lepkavá		Modřín opadavý		Jeřáb ptačí		Bříza bělokorá		Smrk pichlavý	
	Pásmo o. A	Pásmo o. C	Zdravé p.o. A	Poškozené p.o. A	Pásmo o. A	Pásmo o. C	Zdravé p.o. A	Poškozené p.o. A	Zdravé p.o. A	Poškozené p.o. A
<i>Tvar kořenového systému</i>	všestran.	všestran.	pa	povrch.	povrch.	kotevní	66 %/ 34 % ³	38 %/ 62 % ³	povrch.	povrch.
Hloubka prokořenění (cm)	43-51	50-61	50-56	28-35	24-30	57-67	43/12 ³	24/10 ³	0-3	0-3
Počet kosterních kořenů (KK)(v ks)	24-31	25-31	16-19	10-16	16-21	25-32	34/22 ³	15/10 ³	10	8
Deformace kořen. systému do strboulu (v % stromů)	0	0	0-100	100	0	0	0/0 ³	0/0 ³	22	57
Délka horizontálních kosterních kořenů (cm)	200	210	220	140	270	260	285	305	až 550	až 430
Nerovnom. rozložení horizont. KK (v % stromů)	0	0	83	86	0	0	41/0 ³	6/8 ³	8	66
Index p	13	14	5.2	2.2	8.2	8.3	9,4/6,0 ³	4,9/4,5 ³	11.6	7.4
Biomasa jemných kořenů (v % Kontroly)	82 ¹	66 ¹	100	105	100	104	100	42	100	63
Životnost jemných kořenů (v % Kontroly)	66 ¹	55 ¹	100/87 ⁴	102/86 ⁴	100	113	100	70	100/39 ⁴	92/35 ⁴
Mykorrhizní infekce (v % Kontroly)	85 ¹	89 ¹	100	102	100	137	100	101	100	91
Typ mykorrhízy	ekto	ekto	ekto	ekto	endo	ekto	ekto	ektendo	ekto	ekto
Hniloby kořen. systému (v % stromů)	0	0	0	0	1	2	16	100	11	41
Odumřelé kořeny bez hniloby (v % stromů)	42/0 ²	50/0 ²	0	0	0	0	0	0	0	0
Poškození kořen. systému hmyzem (v % stromů)	27/7 ²	12/0 ²	0	0	0	0	0	0	27	90
Výrony pryskyřice na kořen. systém (v % stromů)	0	0	16	22	0	0	100	100	100	100
Hniloby nadz. části (v % stromů)	0	0	0	0	100	78	0	100	0	0
Prolámání nadzemní části (v % stromů)	cca 40	0	až 100 %	až 100 %	cca 10	0	cca 10	100	0	0
Poškození nadz. části hmyzem (v % stromů)	100/40 ²	100/10 ²	0	0	100	56	0	100	0	0
Výskyt mrazových kýl (v % stromů)	17	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Poškození zvěří	nevýz.	nevýz.	až 70 %	až 70 %	100%	až 90 %	výz.	výz.	nevýz.	nevýz.

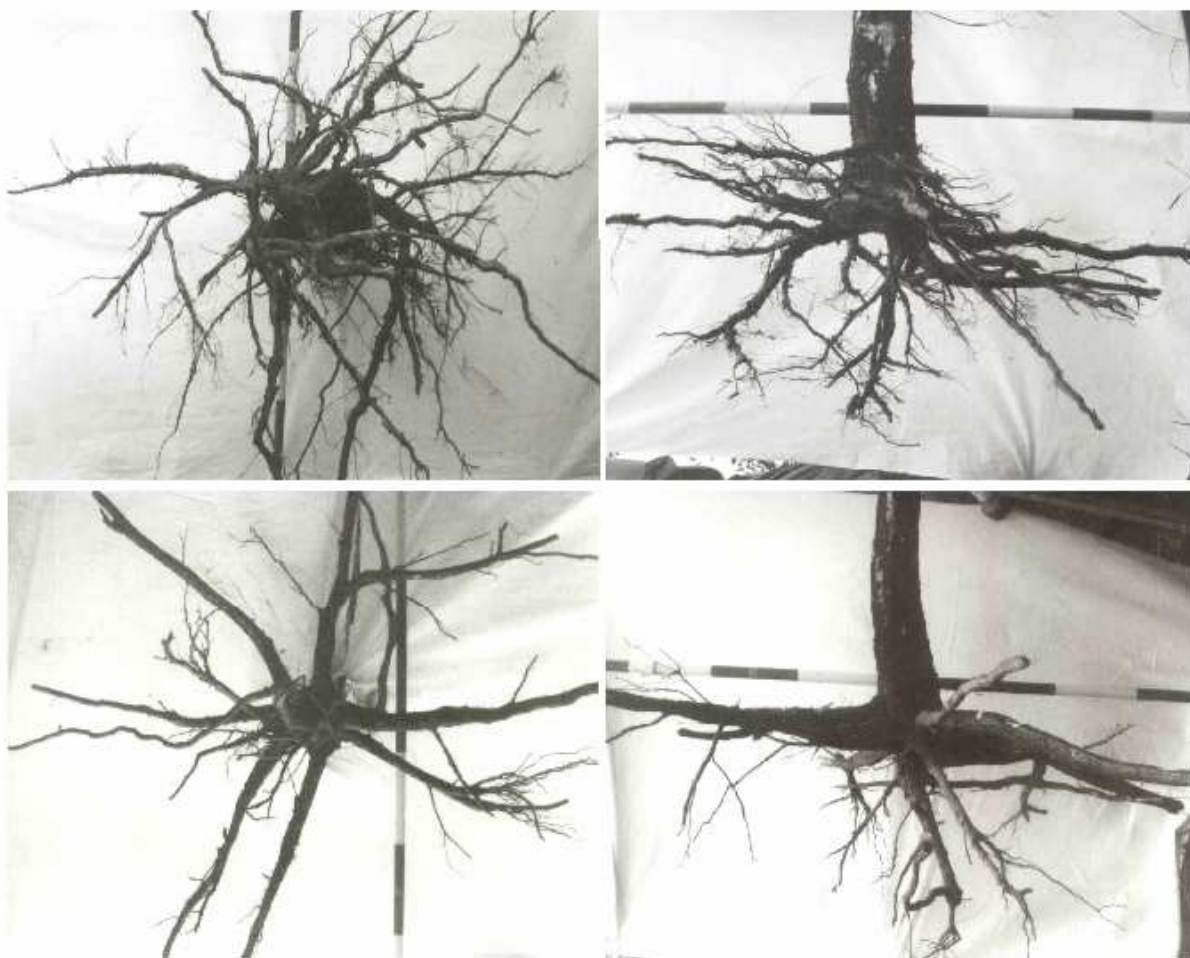
Pozn. ¹ 100 % - hodnoty olše na vodou ovlivněných stanovištích, ² v čitateli hodnoty na kyselých stanovištích, ve jmenovateli hodnoty na vodou ovlivněných stanovištích, ³ v čitateli výskyt nebo hodnoty kotevního kořen. systému, ve jmenovateli výskyt nebo hodnoty povrchového kořen. systému, ⁴ ve jmenovateli % životnosti v porovnání s životností sadebního materiálu



Obr. 1: Modřín opadavý – nahoře architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části 2,5 m, dole architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části 6,0 m.



Obr. 2a: Bříza bělokorá – architektonika kořenového systému stromů o výšce nadzemní části 6,0 m. Nahoře – defoliace 0%, dole – defoliace 20%.



Obr. 2b: Bříza bělokorá – architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části 6,0 m. Nahore – defoliace 50%, dole – defoliace 80%.



Obr. 3: Smrk pichlavý- nahore architektura kořenových systémů stromů o výšce nadzemní části 5,0 m, dole architektura kořenových systémů stromů o výšce nadzemní části 3,0 m. Vlevo (dva obrázky) – stromy zdravé, vpravo stromy poškozené. Životnost až o 60 % nižší (obecně u nepoškozených stromů bývá toto snížení maximálně do 30 %). Všechny zdravé i poškozené stromy mají výrony pryskyřice, což jednoznačně

signalizuje přítomnost václavky. U některých zdravých (11 %) a téměř poloviny poškozených stromů byly zjištěny hniloby kořenů vyvolané václavkou a kořenovníkem. Zajímavým zjištěním je i to, že pouze u zdravých stromů bylo na kořenovém systému zjištěno výrazné sání kořenovými mšicemi.

Shrnutí - smrk pichlavý vytváří extrémně povrchový kořenový systém, všechny stromy jsou napadeny václavkou, přítomen je i kořenovník, u zdravých i poškozených stromů byla zjištěna velmi nízká životnost jemných kořenů. Lze reálně předpokládat, že při jakémkoliv dalším stresu bude poškození pokračovat; nezbytnou podmínkou je, nepřipustit zapojení porostu.

Závěr

Komparací všech dílčích výsledků, získaných při analýzách vývinu a zdravotního stavu kořenového systému smrku pichlavého, břízy bělokoré, jeřábu ptačího, modřínu opadavého a olše lepkavé na kyselých stanovištích po dozérových přípravách v pásmu ohrožení A v Krušných horách, lze vyvodit tyto hlavní závěry.

- I když bříza bělokorá, jeřáb ptačí a modřín opadavý již mají značné problémy a u olše lepkavé a smrku pichlavého jsou predispozice pro vznik vážných problémů v dalším období, musíme konstatovat, že všechny dřeviny splnily a dosud plní funkce dřevin v porostech náhradních dřevin. Při kritickém a objektivním hodnocení je nutné vzít v úvahu situaci, za které tyto porosty byly založeny a úroveň vědomostí, které o růstu a následné vitalitě dřevin v předemných podmínkách v dané době byly.
- I když cílem řešení nebylo hodnotit meliorační účinky užitých dřevin, jsme přesvědčeni o tom, že když tyto dřeviny na daném stanovišti celkem normálně odrůstaly téměř třicet let, po celou tuto dobu měly i meliorační účinek. Nejsme však přesvědčeni o tom, zda byl vždy natolik dostatečný, že již lze plošně přistoupit k výsadbě cílových dřevin.
- I když některé problémy mohly být minimalizovány jinými lesnickými přístupy (jsou vážné pochybnosti o genetickém původu všech založených porostů, místo olše lepkavé mohla být užitá olše šedá, místo břízy bělokoré mohla být užitá bříza pýřitá, větší péče mohla být věnována škodám zvěří, biotechnice výsadby a včasnosti výchovných zásahů), rozhodujícími faktory, které ovlivňovaly a ovlivňují růst dřevin v dané oblasti, jsou stále vliv imisí a abnormální průběh klimatu. Mnohé problémy, např. některé změny architektiky kořenového systému, ale zejména inhibice vývinu jemných kořenů a razantní nástup parazitických hub, by bez spolupůsobení těchto rozhodujících faktorů byly na jiné úrovni. Kořenový systém není spouštěcím, ale výrazným predispozičním a přispívajícím faktorem poškození.

I když všechny dřeviny porostů náhradních dřevin splnily svoji funkci, jejich současný stav není příliš uspokojivý a v dalším období se může dále rychle zhoršovat – modřín se může vyvrátit, smrk pichlavý a bříza bělokorá mohou plošně odumřít pro špatný stav kořenového systému, olše lepkavá může odumřít pro nevhodnost stanoviště a jeřáb bude mít zkrácené obmýtí pro velké hniloby kmene. Již v současné době by proto měli nejen lesníci napřít úsilí k tomu, aby nás opět nepřekvapily a nepostihly velkoplošné holiny. Mnohé porosty náhradních dřevin (nebo jejich části) lze rekonstruovat, jiné je třeba znovu obnovit dřevinami porostů náhradních dřevin, u jiných zatím postačí promyšlené výchovné zásahy. Bude však záležet na rychlosti realizovaných opatření.

Současný stav (r. 2004) smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v imisní oblasti východního Krušnohoří

Oldřich Mauer, Eva Palátová, Alena Rychnovská, Tomáš Pulka

Úvod a cíl práce

Krušné hory patří k nejvíce imisemi postiženým oblastem. V 70. a 80. letech minulého století zde došlo k velkoplošnému chřadnutí a odumírání smrkových monokultur, které z převážné většiny tvořily lesní porosty v tomto pohoří. Odtěžením odumřelých a poškozených porostů vznikla téměř souvislá holina o výměře větší než 35 000 ha, která byla sice s problémy, ale úspěšně zalesněna. V Krušných horách vznikly porosty náhradních dřevin. Převažujícími dřevinami těchto porostů jsou smrk pichlavý, modřín opadavý, bříza bělokorá, olše lepkavá a jeřáb ptačí. Do 90. let nebyl v pásmu ohrožení A téměř vysazován smrk ztepilý; jeho nová záměrná kultivace je uplatňována až od roku 1990.

Cílem práce je analyzovat a vyhodnotit vývin kořenového systému a zdravotní stav mladších i starších porostů smrku ztepilého v imisní oblasti Krušných hor.

Metody a použitý materiál

Základní metodické přístupy

Potěšující skutečností je, že v současné době nevykazují (bez rozdílu věku a pásma ohrožení) porosty smrku ztepilého v předmětné oblasti žádné vnější symptomy chřadnutí nebo poškození. Naopak se jeví, že smrk je v oblasti Krušných hor vitálnější než v jiných oblastech ČR. Nemohl být proto použit základní metodický přístup – vzájemné porovnání kořenového systému zdravých a poškozených stromů. I když má řešitelský tým již dostatek zkušeností a znalostí k tomu, aby mohl vyhodnotit stav kořenového systému ztepilého přímo (bez porovnávání s jinými kořenovými systémy), přesto byla metoda vzájemného porovnávání užita. Její aplikace měla dvojí význam – naprosto exaktně zhodnotit stav kořenového systému v Krušných horách a poznat změny, ke kterým došlo ve stavu kořenového systému za posledních 15 let v oblasti Krušných hor.

Základní metodický přístup – byl vzájemně porovnáván vývin a stav kořenového systému stejně vysokých a na stejném stanovišti rostoucích stromů bez zjevných známek poškození v pásmu ohrožení A, B v oblasti Krušných hor s pásmem ohrožení C v oblastech Českomoravské vysočiny. Toto šetření bylo pojato komplexně.

Dále se řešitelský tým věnoval těmto aspektům:

- Byl vyhodnocen a vzájemně srovnán stav kořenových systémů rostoucích na stanovištích po dozérové přípravě půdy a na stanovištích bez mechanické přípravy stanoviště.
- Byl vyhodnocen a vzájemně srovnán vývin kořenových systémů stromů zdravých a stromů s různým stupněm poškození okusem zvěří.
- Byl vyhodnocen a vzájemně srovnán stav kořenových systémů stejných porostů v letech 1988 a 2004.

Výše uvedená tři šetření byla realizována pouze v oblasti Krušných hor a nebyly při nich vždy užity komplexní analýzy kořenového systému.

Do analýz byly zahrnuty porosty ve stáří 8 až 110 let (charakteristika analyzovaných porostů viz tab. 1). Vzájemně byly (s výjimkou stromů poškozených okusem) porovnávány stejně vysoké stromy. I když při výběru stromů byl respektován i věk, rozhodujícím

kritériem byla délka jejich nadzemní části, neboť ta má při posuzování vývinu a funkčnosti kořenového systému větší význam než stáří stromu. Všechny analyzované porosty se nacházely na kyselých stanovištích. Vzájemně porovnávané porosty měly i stejné zakmenění. K analýzám byly vybírány pouze úrovňové neokrajové stromy.

Analýzy architektiky a zdravotního stavu kořenového systému

Všechny kořenové systémy byly vykopány ručně – archeologickým způsobem. Po jejich očištění a změření byla pořízena fotografická dokumentace. U každého stromu byly měřeny a hodnoceny tyto parametry:

- Celková délka nadzemní části stromu (od půdního povrchu po konec přírůstu roku 2004).
- Tloušťka kmene 10 cm nad půdním povrchem - označováno „tloušťka kořenového krčku“ (u stromů do výšky 2 m) nebo $d_{1,3}$ (u stromů o výšce nad 2 m).
- Počet a tloušťka horizontálních kosterních kořenů (tloušťka horizontálních kosterních kořenů byla u stromů o délce nadzemní části do 300 cm měřena ve vzdálenosti 10 cm od paty kmene, u stromů o délce nadzemní části 300 - 800 cm ve vzdálenosti 20 cm, u stromů o délce nadzemní části 800 a více cm ve vzdálenosti 40 cm od paty kmene).
- Délka horizontálních kosterních kořenů (vzdálenost od paty kmene po špici horizontálního kosterního kořene).
- Počet a tloušťka kotevních kořenů (tloušťka kotevních kořenů byla měřena 3 cm od místa jejich nasazení).
- Maximální úhel mezi dvěma nejvzdálenějšími horizontálními kosterními kořeny (parametr vyhodnocuje pravidelnost rozložení kořenové sítě v kruhové ploše).
- Deformace kořenového systému do nejzávažnější odchylky - strboulu.
- Počet nekosterních kořenů vyrůstajících z báze kmene.
- Hloubka prokořenění kotevními kořeny (kolmá vzdálenost od půdního povrchu po špici nejnižše zasahujícího kotevního kořene).
- Z naměřených hodnot byl vypočítán Index ploch (dále označováno Index p). Index p je počítán jako poměr plochy příčných průřezů všech horizontálních kosterních kořenů a kořenů kotevních v místě měřístě (v mm^2) k výšce stromu (v cm). (Index p posuzuje vztah mezi vývinem kořenového systému a vývinem nadzemní části stromu. Čím je hodnota Indexu p větší, tím větší je i kořenový systém.)
- U všech vyzvednutých kořenových systémů byl vizuálně vyhodnocován výskyt václavky (podle zjištěných výronů pryskyřice).
- Na podélném řezu každým kořenem byl zjišťován výskyt hniloby kořene.
- Na příčných řezech každým kmenem byl zjišťován výskyt hniloby kmene.

Analýzy jemných kořenů

Analyzovány byly kořeny slabší než 1 mm. Jemné kořeny mají rozhodující význam v zajištění příjmu živin. Měření a hodnocení byly tyto parametry:

- Biomasa jemných kořenů. V každém analyzovaném porostu (porostní skupině) bylo pomocí půdní sondy (vzorkovače) o průměru 5 cm vyzvednuto 30 půdních výkrojů. Výkroje byly následně rozděleny podle půdních horizontů a zhomogenizovány. Sledované půdní horizonty – všechny humusové horizonty (označováno Humus) a minerální vrstva 0 až 10 cm pod humusovými horizonty (označováno Minerál). Z homogenátů bylo odebráno 6 rozborových vzorků o sytném objemu 100 ml. Po separaci a ručním dočištění byly jemné kořeny vysušeny a zjištěna jejich hmotnost.

- Odběr a příprava jemných kořenů pro chemické rozborů a zjišťování jejich životnosti, mykorrhizní infekce a typu mykorrhizy. V každém analyzovaném porostu (porostní skupině) bylo odebráno v humusových vrstvách 30 půdních monolitů o rozměrech 20 x 20 cm. Ze všech monolitů byly ručně vybrány jemné kořeny, které byly následně očištěny a zhomogenizovány. Aby nebyla ovlivněna životnost kořenů, musela být celá operace ukončena do 12 hodin od odběru monolitů v porostu. Vzorky byly do laboratoře přepravovány v chladničkách.
- Životnost jemných kořenů. Ke stanovení životnosti byla použita metoda redukce 2,3,5 trifenyltetrazolium chloridu popsaná JOSLINEM a HENDERSONEM (1984). Výsledky získané při zpracování vzorků byly podrobeny korelační analýze a bylo vypočítáno % životnosti.
- Mykorrhizní infekce byla zjišťována kvantitativně chemicky metodami popsanými PLASSARDOVOU et al. (1982) a VIGNONEM et al. (1986) a měřením tloušťky hyfového pláště pod mikroskopem.

Životnost a mykorrhizní infekce jemných kořenů byly hodnoceny nejen u analyzovaných porostů, ale výsledky byly porovnány i se stejnými parametry sadebního materiálu. Pro hodnocení byly použity čtyřleté prostokořenné sazenice 2+2 ze školky umístěné v pásmu ohrožení B (v nadmořské výšce 750 m, přímo ve sledované oblasti). Z mnoha již realizovaných šetření víme, že u nepoškozených porostů je životnost jemných kořenů oproti životnosti jemných kořenů sadebního materiálu maximálně o 30 % nižší.

- Typ mykorrhizy byl vyhodnocován anatomicky po zbarvení houby anilinovou modří v laktofenolu - pod mikroskopem, morfologická stavba mykorrhizy byla vyhodnocována vizuálně – pod stereolupou.

Analýzy jemných kořenů byly realizovány pouze v porostech, v nichž nebyl v posledních letech proveden žádný výchovný zásah (v porostu nebyly žádné nerozložené pařezy).

Obecné metodické poznámky

- Podrobnosti (eventuální odlišnosti) výše uvedených metodických postupů jsou uváděny přímo v jednotlivých subkapitolách zpracování výsledků.
- Hloubka prokořenění kotevními kořeny byla sledována i ve vazbě na prokořeňování jednotlivých půdních horizontů.
- Kořeny a kmeny s hnilobou byly podrobeny speciálním analýzám, jejichž cílem bylo identifikovat příčinu hnilob.
- V tabulkách výsledků jsou uváděny aritmetické průměry jednotlivých parametrů a jejich směrodatné odchylky.

Výsledky a jejich zhodnocení

Architektonika a zdravotní stav kořenového systému. Porovnání Krušné hory – Českomoravská vysočina

Vzájemně byly srovnávány kořenové systémy stejně vysokých stromů z oblasti Krušných hor (pásmo ohrožení A,B) a Českomoravské vysočiny (pásmo ohrožení C). V obou oblastech byly všechny analyzované porosty založeny úrovnovou sadbou bez mechanické přípravy stanoviště; v Krušných horách nebyly do analýz zahrnuty stromy poškozené zvěří (výjimkou je porost č. 50 E 3a). Ve 23 porostech o výšce nadzemní části 150 –2000 cm bylo analyzováno 160 kořenových systémů. Z analýz vyplývají tyto hlavní závěry (tab. 2,3,4, obr. 1):

- Nebyly zjištěny žádné podstatné rozdíly v architektonice kořenového systému mezi porosty v Krušných horách a na Vysočině. Stejně vysoké stromy vytváří v obou

oblastech shodný kotevní kořenový systém, mají přibližně stejnou hloubku prokořenění, stejný počet kosterních kořenů a jejich kořenový systém je stejně mohutný (hodnoty Indexu p). Za závažné považujeme zejména zjištění, že kořenový systém v Krušných horách neprokořeňuje menší hloubku půdy a není retardován ve svém vývinu. V Krušných horách byly do analýz zahrnuty i padesátileté stromy o výšce nadzemní části 1000 až 1200 cm; v oblasti Vysočiny dosahují stejně staré stromy výšek 1800 – 2000 cm. Vzájemným porovnáním padesátiletých stromů bylo zjištěno, že ani jejich kořenové systémy se příliš neliší. Jediný zásadnější rozdíl je v počtu kosterních kořenů, který je u stromů v oblasti Krušných hor podstatně vyšší (nutné zajištění mechanické stability). Padesátileté stromy v obou oblastech prokořeňují půdu do hloubky přes 1 metr.

- Rovněž nebyly zjištěny žádné podstatné rozdíly v délce horizontálních kořenů. V obou oblastech smrk vytváří shodný kruhový, ve svahu eliptický kořenový systém.
- U všech analyzovaných porostů byly v obou oblastech zjištěny až stoprocentní deformace kořenových systémů do strboulu. V Krušných horách, vlivem užití krytokořeného sadebního materiálu, jsou však tyto deformace větší. Jejich negativní účinek je eliminován velkou tvorbou adventivních kořenů; často více než 50 % počtu horizontálních kořenů tvoří kořeny adventivní.
- V oblasti Krušných hor byl zjištěn větší výskyt václavky na kořenovém systému (téměř 100 %) než v oblasti Vysočiny (cca 50 %). Nikde však nebyly zaznamenány hniloby kořenů.
- Ani v oblasti Krušných hor, ani v oblasti Vysočiny nebyly zjištěny hniloby kmene (v Krušných horách však byly analyzovány pouze stromy nepoškozené zvěří).

Biomasa, mykorrhizní infekce, životnost, typ funkční mykorrhizy. Porovnání Krušné hory - Českomoravská vysočina

Vzájemně byly porovnávány kořenové systémy stejně vysokých stromů z oblasti Krušných hor (pásmo ohrožení A,B) a Českomoravské vysočiny (pásmo ohrožení C). Analýzy byly realizovány ve 13 porostech o výšce nadzemní části 300 – 2000 cm. S cílem zjistit, zda nedochází ke změnám u porostů ve vyšším věku, byly do analýz zahrnuty i nejstarší porosty obou oblastí ve věku 79 a 110 let; u těchto porostů nebyla exaktně zjišťována výška nadzemní části. S výjimkou biomasy byly všechny další analýzy realizovány na jemných kořenech z humusových horizontů. Z analýz vyplývají tyto hlavní závěry:

- I když mezi jednotlivými porosty byly zjištěny dílčí rozdíly v biomase, mykorrhizní infekci a životnosti jemných kořenů, z výsledků jednoznačně vyplývá (tab. 5), že ani v jednom ze sledovaných parametrů nejsou porosty v Krušných horách horší než porosty na Vysočině. Spíše lze konstatovat, že obzvláště z hlediska mykorrhizní infekce a životnosti jsou porosty v Krušných horách lepší než na Vysočině.
- Z několika tisíc řezů a následného vyhodnocení anatomické stavby funkční mykorrhizy lze konstatovat, že mezi porosty v oblasti Krušných hor a Vysočiny nebyly zjištěny žádné rozdíly. V obou oblastech je funkčním typem mykorrhizy ektomykorrhiza. Nebyla zjištěna ani ektendomykorrhiza ani pseudomykorrhiza. V obou oblastech se převážně vyskytuje bílá (světlá) ektomykorrhiza, přibližně stejným podílem byla zjištěna i ektomykorrhiza stříbrná a černá. Na Vysočině se vyskytuje i ektomykorrhiza korálková.

Vliv dozérové přípravy na vývin a zdravotní stav kořenového systému

Značná část porostů náhradních dřevin byla v oblasti Krušných hor založena po dozérových přípravách půdy. I když smrk ztepilý nebyl v pásmu ohrožení A vysazován, přesto bylo takto založeno několik porostů, jejichž zdravotní stav a vitalita jsou značně rozdílné. Do analýz byly zařazeny tři porosty:

- 508 C 2c. V mezipruhu žije většina stromů. Porost je výškově nehomogenní. Na části mezipruhu mají stromy výšku přes 3 m a jsou zelené (dále označeno – stromy velké), byť přírůsty mají malé. Na zbylé ploše mezipruhu mají stejně staré stromy výšku do 1,5 m (dále označeno – stromy malé) a vykazují výrazné kareňní jevy.
- 8 B 2b. V mezipruhu žije pouze málo stromů, ale mají zelenou barvu.
- 74 A 2. V celém mezipruhu žijí všechny stromy. Všechny stromy normálně odrůstají a mají i normální zelenou barvu.

Pro exaktnost výsledků byly všechny analyzované porosty po dozérových přípravách porovnávány se stejně vysokými porosty založenými bez dozérové přípravy (kontrolní porosty). Z analýz vyplývají tyto hlavní závěry (tab.6, 7, obr. 2):

- Růst a vitalita smrku ztepilého v porostech založených po dozérových přípravách půdy jsou jednoznačně ovlivněny architektonikou kořenového systému, která je limitována mocností humusových horizontů v mezipruhu.
- V porostu 508 C 2c je v části, kde rostou zelené stromy (stromy velké), mocnost humusových horizontů 10 – 15 cm a každý strom alespoň jedním kořenem prorůstá k valu nebo do valu. V části mezipruhu, kde stromy živoří (stromy malé), je mocnost humusových horizontů 5 – 9 cm. Kořeny živořících stromů se nedostaly do valu a architektonika jejich kořenového systému je limitována deformacemi při sadbě a kvalitou humusových horizontů v okolí. (Výjimečně v této části mezipruhu rostou i relativně zelené 3 m stromy. Tyto stromy zasahují alespoň jedním kořenem k valu – délka těchto horizontálních kosterních kořenů je i přes 8,5 m, což je 3x více než je běžná délka - nebo rostou v místě, kde je větší vrstva humusových horizontů.) Stromy malé mají minimální hodnotu Indexu p, i když podle maximálního úhlu mezi horizontálními kosterními kořeny mají relativně lépe rozloženou kořenovou síť. Zajímavým je i zjištění, že jak stromy velké, tak stromy malé nemají příliš rozdílnou biomasu jemných kořenů a mykorrhizní infekci jemných kořenů, malé stromy však mají výrazně horší životnost jemných kořenů. Zejména shodné parametry biomasy jemných kořenů stromů velkých i stromů malých svědčí o skutečnosti, že stromy velké se jednoznačně spoléhají na výživu z kořenů zasahujících do valu.
- V porostu 8 B 2b přežily a odrůstají pouze stromy, které dosáhly svým kořenovým systémem k valu. Tyto stromy (stejně jako stromy velké v porostu 508 C 2c) směrem od valu kořenovou síť téměř nevytvořily. S výjimkou méně pravidelného rozložení kořenové sítě (max. úhel mezi horizontálními kosterními kořeny) a menší hodnoty Indexu p se kořenový systém přežívajících stromů od kořenového systému kontrolního porostu neliší.
- V porostu 74 A 2, kde se mocnost humusových horizontů blíží mocnosti humusových horizontů rostlé půdy kontrolního porostu, vytvořil smrk ztepilý relativně pravidelně rozloženou kořenovou síť, kde kořeny neprorůstají do valu. Architektonika kořenového systému (s výjimkou horšího rozložení kořenové sítě) se příliš neliší od architektoniky kořenového systému kontrolního porostu. V porovnání s kontrolním porostem nebyly zjištěny ani žádné rozdíly ve sledovaných parametrech jemných kořenů.

Poznámky k architektonice kořenového systému – platí pro všechny analyzované porosty:

- Kořenové systémy stromů rostoucích v mezipruhu se od kontrolních porostů neliší v počtu horizontálních kosterních kořenů, ve výskytu deformací do strboulu a téměř

shodné je napadení jejich kořenových systémů václavkou. Ani u stromů rostoucích v mezipruhu nebyly zjištěny hniloby kořenů nebo kmene.

- Kořenové systémy stromů rostoucích v mezipruhu vytváří vždy pouze povrchový kořenový systém, nemají kotvy (prorůstají pouze humusové horizonty) a rozložení jejich kořenové sítě je vždy horší než u porostů kontrolních.
- Kořeny prorůstající do valu nemusí vždy přímo směřovat k valu již od báze kmene, přímo k valu se stočí až i několik metrů od báze kmene. Do valu vždy neprorůstají na bázi kmene nejsilnější kořeny.

Vliv poškození nadzemní části okusem zvěří na vývin kořenového systému

V oblasti Krušných hor jsou smrkové porosty vážně atakovány zvěří: mladší i starší porosty jsou poškozovány ohryzem a loupáním, často i opakovaně. V některých částech porostů jsou poškozeny všechny stromy. Poškozené kmeny jsou následně napadány pevníkem krvavějícím, který vyvolává vážné hniloby kmene. Naše analýzy (porovnání Krušné hory – Českomoravská vysočina) nezahrnovaly stromy s poškozeným kmenem. Výjimkou je porost 50 E 3a, kde byly k analýzám záměrně vybrány pouze stromy poškozené zvěří. Z výsledků analýz vyplývá (tab. 4), že u poškozených stromů nebyly zjištěny žádné rozdíly v architektice kořenového systému oproti stejně vysokým porostům s nepoškozenými kmeny. Jediným vážným rozdílem je skutečnost, že u stromů s poškozeným kmenem, jako u jediných stromů z celého sledování, byly zjištěny hniloby kořenů vyvolané václavkou, i když ne u všech analyzovaných stromů. Poškození kmene se neprojevilo ani ve sledovaných parametrech jemných kořenů (tab. 5).

V období do zajištění kultur jsou smrkové porosty poškozovány okusem, velmi často opakovaně („hoblování zvěří“). Že okus dlouhodobě retarduje růst nadzemní části smrku lze jednoznačně dokladovat jeho normálním růstem v oplocenkách. Cílem našeho šetření u stromů poškozených okusem bylo zjistit, jak opakovaný okus ovlivňuje architektiku kořenového systému jinak vitálních (zelených) stromů. V jednom porostu byly proto vzájemně porovnávány stejně staré stromy:

- bez poškození (označováno – nepoškozené),
- stromy, které byly opakovaně poškozovány, ale až abnormálním přírůstem terminálního výhonu odrostly vlivu zvěře a jsou stejně vysoké jako stromy bez poškození (označováno – poškozené stupeň 2),
- stromy, které byly opakovaně poškozovány a jsou stále pod vlivem zvěře – tvorba „bonsají“ (označováno – poškozené stupeň 1).

Analýzy byly realizovány ve dvou porostech. Z analýz vyplývají tyto hlavní závěry (tab. 8, obr. 3):

- Ani výrazný a opakovaný okus (hoblování) nemá negativní vliv na vývin a architektiku kořenového systému. Poškozené stromy nejsou výrazně více napadány václavkou a nebyl zjištěn ani výskyt hniloby kořenů a kmene.
- Stromy pod stálým atakem zvěře (poškození stupeň 1) vytváří kotevní kořenový systém, který oproti nepoškozeným stromům má téměř jednu tak velký počet, ale slabších horizontálních kosterních kořenů (jejich kořenový systém není mohutnější - velká hodnota Indexu p - neboť jsou oproti stromům nepoškozeným výškově poloviční).
- Jakmile poškozený strom odroste negativnímu vlivu zvěře (stupeň poškození 2), vytváří naprosto shodný kořenový systém jako stromy nepoškozené.

Tab. 1: Charakteristika analyzovaných porostů.

Oblast šetření	Lesní správa	Revír	Číslo porostu	Pásmo ohrožení	Věk	LT	Nadmožská výška (m)	Poznámka
Krušné hory	Osek	Kálek	49 C 1b	B	10	7K3	780	
Krušné hory	Osek	Kálek	48 A 1a	B	10	7S1	800	porost v oplocence
Krušné hory	Osek	Kálek	34 C 2a	B	16	6K4	740	
Krušné hory	Osek	Kálek	74 A 2	A	20	7K3	780	dozérová příprava
Krušné hory	Osek	Kálek	50 E 3a	B	31	7K3	780	
Krušné hory	Osek	Kálek	20 B 4	B	37	6S5	720	
Krušné hory	Osek	Kálek	19 D 4	B	43	6K4	740	
Krušné hory	Osek	Kálek	51 A 4	B	43	7K3	740	
Krušné hory	Osek	Kálek	35 B 8a	B	78	7K3	740	
Krušné hory	Osek	Zámecký	141 D 5d	B	46	5K1	650	
Krušné hory	Osek	Načetín	10 C 1a	A	13	7K3	820	
Krušné hory	Osek	Načetín	8 b 2b	A	16	7K3	820	dozérová příprava
Krušné hory	Lesy města Chomutova		516 C 1b	A	8	7K3	830	
Krušné hory	Lesy města Chomutova		511 C 1a	A	13	7K3	780	
Krušné hory	Lesy města Chomutova		516 C 2b	A	15	7K3	830	porost v oplocence
Krušné hory	Lesy města Chomutova		508 C 2c	A	16	7K3	780	dozérová příprava
Krušné hory	Lesy města Chomutova		511 C 2a	A	21	7K3	780	
Krušné hory	Lesy města Chomutova		537 A 5	A	46	7K3	780	
Krušné hory	Lesy města Chomutova		516 B 5a	A	55	7K3	820	
Krušné hory	Lesy města Jirkova		257 E 4	B	46	6K1	660	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 G 1b	C	7	5K1	660	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	263 B 1d	C	8	5K1	650	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 G 1a	C	13	5K1	680	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	263 C 2	C	19	5K1	670	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 D 2	C	19	5K2	670	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 G 2	C	22	5K1	670	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 B 2	C	22	5K1	660	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	263 A 3b	C	31	5K1	660	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 H 3a	C	35	5K1	680	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	262 G 6	C	55	5K2	670	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	263 B 11					
Vysočina	Svitavy	Radiměř	b	C	110	5K1	660	
Vysočina	Svitavy	Radiměř	263 B 6b	C	59	5K1	660	

Tab. 2: Porovnání Krušné hory - Vysočina. Biometrické parametry nadzemní části, architektura kořenového systému, hniloby kořenů a kmene - porosty o výšce nadzemní části 132-220 cm a 292-347 cm.

Parametr	Oblast šetření	Krušné hory			Vysočina		Krušné hory	Vysočina
	Číslo porostu	49 C 1b	10 C 1a	516 C 1b	262 G 1b	263 B 1d	511 C 1a	262 B 2
Počet analyz. stromů (ks)		10	10	10	12	10	6	6
Délka nadz. části - průměr (cm)		160±14	211±11	157±16	201±14	180±21	297±19	313±31
- rozpětí (cm)		146-182	191-220	132-180	135-220	159-212	292-318	280-347
Tloušťka kořen. krčku (mm)		43,4±3,4	61,8±5,1	48,2±7,6	37,5±3,0	53,2±7,1	65,3±4,9	33,6±5,5
Horizontální kosterní kořeny - počet (ks)		14,2±3,9	11,8±2,4	10,6±2,9	6,6±1,7	9,2±1,8	9,6±3,5	8,0±1,8
- průměrná tloušťka (mm)		8,2±3,3	12,0±5,7	10,4±4,9	10,0±4,2	11,7±5,8	13,1±6,5	15,4±7,9
- tloušťka nejsilnějšího kořene (mm)		15,2±2,1	23,1±3,2	19,6±4,2	15,8±4,6	20,4±3,1	25,3±5,8	28,4±5,6
Kořenový systém s kotev. kořeny (v % stromů)		100	100	100	0	10	100	50
Kotevní kořeny - počet (ks)		2,0±1,4	2,8±1,1	2,0±0,9	-	3,1±1,2	3,0±2,0	2,0±1,0
- průměrná tloušťka (mm)		5,7±2,3	10,2±4,2	8,8±1,9	-	8,6±2,1	8,2±1,5	9,3±2,1
- tloušťka nejsilnější kotvy (mm)		6,6±2,9	12,6±5,2	9,8±1,4	-	11,7±2,1	9,6±0,5	10,6±2,3
Hloubka prokořenění kotevními kořeny (cm)		26,4±5,3	36,5±14,6	44±5,6	-	37,6±4,8	36,3±6,5	28,6±15
Počet nekosterních kořenů (ks)		16,6±3,4	12,8±4,3	23,6±8,2	5,5±1,6	12,3±3,1	16,0±9,5	5,2±0,4
Index p		5,2±1,1	8,3±1,1	7,6±1,5	3,4±0,7	5,2±1,5	6,7±0,9	5,7±1,2
Maxim. úhel mezi horizont. kořeny (%)		72±20	85±33	80±15	105±51	41±18	76±23	112±34
Deformace koř. systému do strboulu (v % stromů)		100	100	100	100	50	100	100
Výskyt václavky (v % stromů)		50	50	80	0	0	83	50
Hniloby kořenů (v % stromů)		0	0	0	0	0	0	0
Hniloby kmene (v % stromů)		0	0	0	0	0	0	0

Tab. 3: Porovnání Krušné hory - Vysočina. Biometrické parametry nadzemní části, architektonika kořenového systému, hniloby kořenů a kmene – porosty o výšce nadzemní části 271-480 a 462-710 cm.

Parametr	Oblast šetření	Krušné hory			Vysočina		Krušné hory	Vysočina
	Číslo porostu	48 A 1a	34 C 2a	516 C 2b	262 G 2	262 G 1a	511 C 2a	262 D 2
Počet analyz. stromů (ks)		6	6	6	6	6	6	6
Délka nadz. části - průměr (cm)		361±47	344±24	341±67	461±71	432±43	601±65	584±48
- rozpětí (cm)		300-405	315-374	271-453	360-535	390-480	534-710	462-680
Tloušťka kmene (mm)		49±12	44±5	41±9	49±8	49±6	94±7	86±11
Horizontální kosterní kořeny - počet (ks)		14,5±4,2	10,0±2,1	13,7±3,5	7,0±1,8	10,4±3,8	13,6±3,4	16,3±2,7
- průměrná tloušťka (mm)		12,3±6,6	18,0±11,6	14,2±7,1	20,3±10,9	15,7±7,6	29,4±18,1	20,9±10,3
- tloušťka nejsilnějšího kořene (mm)		26,3±5,9	43,1±8,9	29,6±8,7	37,1±8,0	31,2±8,9	64,6±11,4	46,3±10,4
Kořenový systém s kotev. kořeny (v % stromů)		100	100	100	100	100	100	100
Kotevní kořeny - počet (ks)		5,5±1,5	2,5±1,1	4,2±1,4	2,8±1,5	3,3±2,1	2,8±1,7	3,3±2,5
- průměrná tloušťka (mm)		8,9±4,3	17,6±6,8	9,8±4,2	11,9±6,5	11,8±2,8	14,4±5,7	19,1±7,3
- tloušťka nejsilnější kotvy (mm)		12,5±4,7	18,4±7,2	12,6±15,7	16,6±9,5	14,2±3,5	18,5±6,2	22,4±8,9
Hloubka prokořenění kotevními kořeny (cm)		45,6±10,4	41,3±5,2	48,5±12	42,5±13,7	37,3±12,9	36,8±14,1	37,9±8,2
Počet nekosterních kořenů (ks)		20,2±8,3	13,7±9,1	18,7±8,6	6,8±3,3	10,2±6,3	25,8±5,7	6,2±3,6
Index p		9,9±1,0	10,9±1,4	8,5±1,0	6,8±0,9	9,5±1,5	11,2±1,3	11,8±3,2
Maxim. úhel mezi horizont. kořeny (%)		98±52	88±15	76±23	128±51	67±23	60±20	55±26
Deformace koř. systému do strboulu (v % stromů)		100	100	100	100	100	100	50
Výskyt václavky (v % stromů)		83	83	100	33	50	100	16
Hniloby kořenů (v % stromů)		0	0	0	33	0	0	0
Hniloby kmene (v % stromů)		0	0	0	0	0	0	0

Tab. 4: Porovnání Krušné hory - Vysočina. Biometrické parametry nadzemní části, architektura kořenového systému, hniloby kořenů a kmene - porosty o výšce nadzemní části 900-1970 cm.

Parametr	Oblast šetření	Krušné hory				Vysočina				
	Číslo porostu	51 A 4	516 B 5a	537 A 5	50 E 3a	263 C 2	262 H 3a	263 A 3b	263 B 6b	262 G 6
Počet analyz. stromů (ks)		6	6	6	6	6	6	6	6	6
Délka nadz. části - průměr (cm)		1156±63	1043±111	1055±111	1188±58	983±57	904±79	1262±117	1845±72	1945±45
- rozpětí (cm)		1105-1230	960-1205	1000-1110	1175-1270	900-1067	820-1030	1145-1275	1810-1890	1910-1970
Tloušťka kmene (mm)		121±4	127±18	132±7	128±17	107±5	94±6	122±8	194±6	148±6
Horizontální kosterní kořeny - počet (ks)		11,4±2,2	14,7±12,5	19,1±5,1	15,2±4,4	12,6±2,2	12,6±3,2	14,0±1,4	10,0±1,4	15,5±1,7
- průměrná tloušťka (mm)		26,1±15,1	25,7±14,5	32,6±19,4	34,9±18,3	24,4±12,0	25,3±14,9	31,3±15,3	58,2±31,4	35,9±17,7
- tloušťka nejsilnějšího kořene (mm)		56,2±12,3	58,0±12,7	69,0±8,5	71,2±15,1	45,5±11,9	58,1±16,9	56,5±12,3	105,2±14,1	68,5±9,2
Kořenový systém s kotev. kořeny (v % stromů)		100	100	100	100	100	100	100	100	100
Kotevní kořeny - počet (ks)		4,8±2,6	16,7±3,9	12,0±4,2	6,8±1,6	4,6±2,1	4,0±1,6	3,7±2,2	4,0±2,1	7,5±2,1
- průměrná tloušťka (mm)		28,0±15,6	21,4±8,2	20,3±7,8	22,8±8,8	18,6±5,9	20,5±6,9	20,7±4,9	29,1±18,1	33,2±9,8
- tloušťka nejsilnější kotvy (mm)		48,6±16,5	38,7±6,4	34,5±9,2	35,1±14,2	23,8±7,6	26,2±6,2	22,2±6,7	37,5±4,7	45,5±13,4
Hloubka prokořenění kotevními kořeny (cm)		81,2±14,5	102,2±8,4	82,6±9,2	67,4±22,7	49,0±13,4	51,0±17,1	55,4±17,8	107,5±5,5	101,6±14,1
Počet nekosterních kořenů (ks)		13,6±3,3	19,7±3,8	23,0±9,9	23,8±5,6	12,8±5,7	11,0±4,4	12,7±5,8	5,0±1,1	8,5±0,7
Index p		10,9±1,6	16,4±2,2	24,5±1,4	18,3±1,7	9,4±0,7	11,3±0,5	13,8±2,4	20,3±3,3	19,9±2,1
Maxim. úhel mezi horizont. kořeny (%)		82±19	62±22	50±24	74±27	107±60	86±62	47±15	62±10	60±14
Deformace koř. systému do strboulu (v % stromů)		100	100	100	100	100	100	100	0	50
Výskyt václavky (v % stromů)		100	100	100	100	50	33	50	33	50
Hniloby kořenů (v % stromů)		0	0	0	33	0	0	0	0	0
Hniloby kmene (v % stromů)		0	0	0	100	0	0	0	0	0

Tab.5: Porovnání Krušné hory - Vysočina. Biomasa, mykorrhizní infekce a životnost jemných kořenů.

Oblast šetření	Číslo porostu	Délka nadzemní části (cm)	Biomasa (g.100 ml ⁻¹ půdy)			Mykorrhizní infekce		Životnost
			Humus	Minerál	Celkem	mg glukozaminu na 1 g sušiny	v % myk. infekce sadeb. materiálu (sad. mat. 100 %)	v % životnosti sadeb. materiálu (sad. mat. 100 %)
Krušné hory	516 C 2b	341±67	0,185±0,004	0,017±0,001	0,202±0,005	14,645±0,327	101	106
Krušné hory	511 C 2a	601±65	0,290±0,006	0,063±0,001	0,353±0,006	11,449±0,433	79	59
Krušné hory	51 A 4	1156±63	0,643±0,008	0,092±0,003	0,735±0,008	14,572±0,731	100	86
Krušné hory	50 E 3a	1188±58	0,455±0,007	0,092±0,001	0,547±0,007	11,957±0,478	82	110
Krušné hory	20 B 4	cca 1200	0,346±0,004	0,146±0,003	0,493±0,006	15,343±0,789	105	101
Krušné hory	141 D 5d	cca 1400	0,306±0,005	0,065±0,001	0,371±0,005	13,829±0,686	95	77
Krušné hory	35 B 8a	nejz.	0,311±0,003	0,071±0,001	0,382±0,004	15,105±0,601	104	90
Vysočina	262 G 1a	432±43	0,339±0,005	0,041±0,001	0,381±0,005	13,044±0,367	90	58
Vysočina	262 D 2	584±48	0,300±0,004	0,050±0,001	0,350±0,005	12,014±0,500	83	63
Vysočina	263 C 2	983±57	0,187±0,006	0,043±0,001	0,231±0,005	14,742±0,418	101	102
Vysočina	263 A 3b	1262±117	0,531±0,006	0,106±0,003	0,637±0,006	9,882±0,554	68	117
Vysočina	262 G 6	1945±45	0,353±0,006	0,179±0,002	0,533±0,006	10,061±0,163	69	55
Vysočina	263 B 11b	nejz.	0,287±0,005	0,079±0,002	0,367±0,006	13,033±0,471	89	62
Krušné hory	sadební materiál	40	-	-	-	14,556±0,471	100	100

Tab. 6: Valy - Krušné hory. Biometrické parametry nadzemní části, architektura kořenového systému, hniloby kořenů a kmene.

Parametr	Oblast šetření	Krušné hory			Krušné hory		Krušné hory	
	Číslo porostu	511 C 1a ¹	508 C 2c ²	508 C 2c ³	48 A 1a ¹	8 B 2b	511 C 2a ¹	74 A 2
Počet analyz. stromů (ks)		6	6	10	6	6	6	6
Délka nadz. části - průměr (cm)		297±19	344±30	162±18	361±47	405±55	601±65	656±59
- rozpětí (cm)		292-318	323-365	150-175	300-405	314-475	534-710	580-712
Mocnost humusových horizontů (cm)		15-25	1015	5-9	15-25	812	15-25	1220
Tloušťka kmene (mm)		65,3±4,9 ⁴	685,5±12 ⁴	43,0±4,2 ⁴	49±12	55±9	94,0±7,0	92,4±2,8
Horizontální kosterní kořeny - počet (ks)		9,6±3,5	14,1±2,1	9,1±1,4	14,5±4,2	11,1±2,8	13,6±3,4	12,4±2,9
- průměrná tloušťka (mm)		13,1±6,5	14,0±9,6	5,3±1,5	12,3±6,6	22,3±19,8	29,4±18,1	23,0±16,4
- tloušťka nejsilnějšího kořene (mm)		25,3±5,8	37,5±12,2	8,3±1,4	26,3±5,9	43,3±10,5	64,6±11,4	55,1±12,9
Kořenový systém s kotev. kořeny (v % stromů)		100	0	0	100	0	100	0
Kotevní kořeny - počet (ks)		3,0±2,0	-	-	5,5±1,5	-	2,8±1,7	-
- průměrná tloušťka (mm)		8,2±1,5	-	-	8,9±4,3	-	14,4±5,7	-
- tloušťka nejsilnější kotvy (mm)		9,6±0,5	-	-	12,5±4,7	-	18,5±6,2	-
Hloubka prokořenění kotevními kořeny (cm)		36,3±6,5	-	-	45,6±10,4	-	36,8±5,7	-
Počet nekosterních kořenů (ks)		16,0±9,5	17,5±9,2	18,5±7,8	20,2±8,3	7,5±3,2	15,8±5,7	9,2±3,5
Index p		6,7±0,9	5,2±2,3	1,3±0,3	9,9±1,0	12,2±2,5	11,2±1,3	11,6±3,1
Maxim. úhel mezi horizont. kořeny (%)		76±23	175±17	111±27	98±52	145±25	60±20	100±35
Deformace koř. systému do strboulu (v % stromů)		100	100	100	100	100	100	83
Výskyt václavky (v % stromů)		83	100	100	83	100	100	83
Hniloby kořenů (v % stromů)		0	0	0	0	0	0	0
Hniloby kmene (v % stromů)		0	0	0	0	0	0	0

Pozn. 1 - kontrola (stejně vysoké porosty, které nebyly založeny po dozérových přípravách); 2 - stromy velké; 3 - stromy malé; 4 - tloušťka kořenového krčku.

Tab. 7: Valy - Krušné hory, Biomasa, mykorrhizní infekce a životnost jemných kořenů.

Oblast šetření	Porost	Výška nadzemní části (cm)	Obsah prvků v sušině jemných kořenů (mg.g ⁻¹)						Poměr Ca/Al mol/mol	Poměr Mg/Al mol/mol
			N	P	K	Ca	Mg	Al		
Krušné hory	74 A 2 - valy	656±59	9,0	0,9	2,6	16,9	1,1	24,8	0,46	0,05
Krušné hory	511 C 2a	601±65	13,4	1,3	2,8	10,5	1,0	17,0	0,42	0,06
Vysočina	262 D 2	584±48	12,4	1,4	3,1	7,7	0,7	39,1	0,13	0,02

Tab. 8: Poškození porostů okusem - Krušné hory. Biometrické parametry nadzemní části, architektura kořenového systému, hniloby kořenů a kmene.

Parametr	Oblast šetření	Krušné hory			Krušné hory	
	Číslo porostu	511 C 1a			10 C 1a	
	Aktuální stav porostu	Nepoškoz.	Poškozené stup.1	Poškozené stup.2	Nepoškoz.	Poškozené stup.2
Počet analyz. stromů (ks)		6	6	6	10	6
Délka nadz. části - průměr (cm)		297±19	150±9	245±21	211±11	204±31
- rozpětí (cm)		292-318	142-160	235-273	191-220	170-240
Tloušťka kořen. krčku (mm)		65,3±4,9	70,3±11,5	60,6±11,9	61,8±5,1	52,3±4,8
Horizontální kosterní kořeny - počet (ks)		9,6±3,5	17,1±3,2	8,3±2,1	11,8±2,4	9,5±2,5
- průměrná tloušťka (mm)		13,1±6,5	11,7±4,9	15,7±8,7	12,0±5,7	12,6±5,7
- tloušťka nejsilnějšího kořene (mm)		25,3±5,8	20,5±5,3	32,6±7,7	23,1±3,2	21,6±3,0
Kořenový systém s kotev. kořeny (v % stromů)		100	100	100	100	100
Kotevní kořeny - počet (ks)		3,0±2,0	3,6±1,1	1,3±0,6	2,8±1,1	1,5±0,5
- průměrná tloušťka (mm)		8,2±1,5	11,3±5,3	9,2±1,6	10,2±4,2	14,0±8,7
- tloušťka nejsilnější kotvy (mm)		9,6±0,5	14,2±5,3	9,3±2,0	12,6±5,2	13,8±8,1
Hloubka prokořenění kotevními kořeny (cm)		36,3±6,5	42,7±8,5	37,3±6,5	36,5±14,6	29,8±8,9
Počet nekosterních kořenů (ks)		16,0±9,5	23,6±7,0	16,5±2,9	12,8±4,3	12,6±6,7
Index p		6,7±0,9	11,2±1,3	7,2±0,9	8,3±1,1	8,1±0,9
Maxim. úhel mezi horizont. kořeny (%)		76±23	36±15	71±17	85±33	90±39
Deformace koř. systému do strboulu (v % stromů)		100	100	100	100	100
Výskyt václavky (v % stromů)		83	100	100	50	83
Hniloby kořenů (v % stromů)		0	0	0	0	0
Hniloby kmene (v % stromů)		0	0	0	0	0

Tab. 9: Krušné hory - porovnání základních charakteristik jemných kořenů (biomasa, životnost, mykorrhizní infekce) u stejných porostů v letech 1988 a 2004.

Porost	Rok měření	Defoliace v roce měření (%)	Jemné kořeny (v % kontroly) *		
			Biomasa	Životnost	Mykorrhizní infekce
20 B 4	1988	0-10	100	100	100
51 A 4	1988	50	51	55	90
20 B 4	2004	0	100	100	100
51 A 4	2004	0	149	85	95
257 E 4	1988	0-10	100	100	100
19 D 4	1988	50	56	48	124
257 E 4	2004	0	100	100	100
19 D 4	2004	0	128	92	107
141 D 5d	1988	0-10	100	100	100
50 E 3a	1988	50	63	54	141
141 D 5d	2004	0	100	100	100
50 E 3a	2004	0	147	90	115

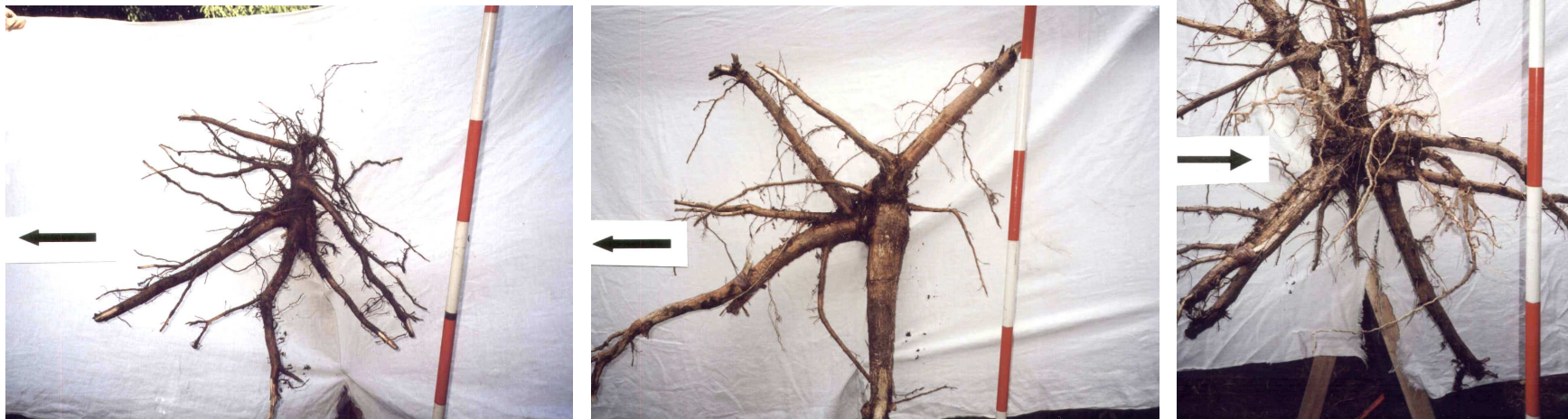
Pozn. * Kontrolou (100%) výsledky měření u porostů, které v roce 1988 měly defoliaci do 10 %.

Tab.10: Krušné hory - vliv přidání organické hmoty ke kořenovému systému při výsadbě. Vysazován SM 2+2, jamková sadba, přidáno 0,5 litru organické hmoty, p.o. A, LT 7K3; hodnoceno 2 roky po sadbě.

Varianta	Ztráty (%)	Výškový přírůst (v % kontroly)	Velikost kořenového systému (v % kontroly)
Kontrola - bez přidání	38	100	100
Rašelina pH 2,2	26	125	107
Rašelina pH 4	12	240	165
Hrabanka	10	260	175



Obr. 1: Smrk ztepilý – architektura kořenového systému a výšce nadzemní části 10,0 m. Nahoře – Krušné hory, dole – Českomoravská vysočina



Obr. 2: Smrk ztepilý – architektura kořenového systému stromů rostoucích v mezpruhu valu. Vlevo – porost č. 508 C 2c (stromy velké), uprostřed – porost č. 8 B 2 b, vpravo – porost č. 74 A 2 (směr šipky ukazuje směr k valu).



Obr. 3: Smrk ztepilý – architektura kořenového systému poškození nadzemní části okusem. Porost č. 511c1a – vlevo kontrola, uprostřed poškození stupeň 2, vpravo poškození stupeň 1.

Porovnání stavu kořenového systému v letech 1988 a 2004

V roce 1988 realizoval řešitelský tým ve stejné oblasti Krušných hor komplexní analýzy kořenového systému smrku ztepilého. Analyzováno bylo 12 porostů a k řešení byly použity podobné metodické postupy dílčích analýz jako v roce 2004. Vzájemně byly porovnány kořenové systémy stromů s defoliací 50 % (stromy poškozené) a kořenové systémy s defoliací do 10 % (kontrola) na stanovištích bez dozérové přípravy. Z těchto analýz vyplynuly tyto závěry:

- Poškození nemá negativní vliv na vývin a zdravotní stav kosterních kořenů, v imisních oblastech není snížena mechanická stabilita stromů.
- Poškození výrazně snižuje biomasu jemných kořenů. V humusových horizontech je biomasa snížena vždy, ve vrstvě 10 cm pod humusovými horizonty je biomasa zmenšena pouze tehdy, když je současně zmenšena biomasa v celém sledovaném profilu minimálně o 40 %.
- Poškození snižuje životnost jemných kořenů, a to obzvláště v humusových horizontech.
- Kyselé depozice stimulují rozvoj mykorrhizních hub.

V roce 2004 řešitelský tým do svého šetření zařadil 6 porostů, které byly analyzovány a vzájemně porovnávány i v roce 1988 (v roce 1988 3 porosty s defoliací do 50 % a 3 porosty s defoliací do 10 % - kontrolní porosty), byť v roce 2004 ani jeden z těchto porostů již nejevil žádné vnější symptomy poškození. Šetření nezahrnovalo analýzy architektiky kořenového systému (ani v roce 1988 nebylo zjištěno její negativní ovlivnění u poškozených stromů a celé šetření v roce 2004 neprokázalo změnu architektiky kořenového systému v oblasti Krušných hor), ale bylo zaměřeno na tu část kořenového systému, která je imisemi nejvíce ovlivněna – na jemné kořeny. Z realizovaného šetření vyplývají tyto hlavní závěry (tab. 9):

- Jestliže byl v roce 1988 u všech poškozených stromů (porostů) zjištěn úbytek biomasy jemných kořenů až o 50 %, v roce 2004 mají tyto stromy biomasu až o 50 % větší než stromy kontrolní.
- Jestliže bylo v roce 1988 u všech poškozených stromů (porostů) zjištěno snížení životnosti až o 50 %, v roce 2004 mají jak porosty poškozené, tak porosty kontrolní životnost téměř shodnou.
- Jestliže byl v roce 1988 u všech poškozených stromů (porostů) zjištěn výrazný nárůst mykorrhizní infekce, v roce 2004 mají jak porosty poškozené, tak porosty kontrolní téměř shodnou mykorrhizní infekci.

Obecné poznámky

Vitalitu stromu ovlivňuje nejenom funkčnost jemných kořenů, ale i velikost celého kořenového systému. Čím je kořenový systém větší, má více dále se větvících kosterních kořenů, má často i více kořenů jemných. Velikost kořenového systému (jeho funkčnost) je velmi často ovlivňována nepřírozenou architektonikou vyvolanou deformacemi. Nejenom studie z Orlických a Jizerských hor za jednu z vážných příčin chřadnutí smrkových porostů identifikují právě deformace kořenového systému. I když deformace mohou být vyvolány řadou faktorů, společným jmenovatelem většiny z nich je významný podíl lidského činitele na tomto stavu (obzvláště užití nevhodného sádebního materiálu a nevhodná biotechnika obnovy). Každý strom (i strom s deformovaným kořenovým systémem) vytváří takový kořenový systém, který zajistí jeho další život (i stromy s výrazně deformovaným kořenovým systémem jsou stejně vitální a mají stejnou výšku nadzemní části jako stromy s přirozenou architektonikou kořenového systému). Kořenový systém se přizpůsobuje daným podmínkám prostředí. Jestliže se tyto podmínky v dalším období změní (nastupující stres), deformovaný kořenový systém (na rozdíl od přirozeně rozvinutého kořenového systému, který je obzvláště u mladších porostů předimenzován – „matka příroda“ vždy s jistým stresem počítá), který i

bez stresu pracoval na horní hranici své výkonnosti (nemá žádnou rezervu), při inhibici svých funkcí nestačí zajistit dostatek vody a živin a strom následně chřadne a odumírá. I v Krušných horách jsme zjistili vážné deformace kořenového systému. V dané oblasti však kořenový systém regeneroval velkou tvorbou adventivních kořenů (více než 50 % nových kořenových větví jsou kořeny adventivní). Tvorba adventivních kořenů mohla být sice indukována utopením rostlin při výsadbě, ale významnými faktory jistě bylo i rychlé překrytí kořenových krčků po výsadbě hustou a velmi vitální buření a ač to zní paradoxně, svůj pozitivní vliv mohl mít i častý okus zvěří.

Nejen v ČR je velmi diskutovanou otázkou: vápnit, či nevápnit porosty v oblasti Krušných hor. Naše studie se danou problematikou přímo nezabývala. Z nepřímých hodnocení – porovnání mezi Krušnými horami a Českomoravskou vysočinou, porovnání mezi roky 1988 a 2004 – nebyl prokázán negativní vliv vápnění (většina hodnocených porostů v Krušných horách byla i opakovaně vápněna). Na danou otázku však může odpovědět pouze exaktní, komplexně pojatá a tomuto aspektu určená studie. Řešitelský tým Ústavu zakládání a pěstění lesů LDF MZLU v Brně je připraven k řešení tohoto problému přispět.

Šetření prokázalo, že oproti roku 1988 došlo v oblasti Krušných hor k regeneraci kořenového systému. Vzniká otázka – co vyvolalo regeneraci kořenového systému, jaký byl vlastně mechanismus poškození smrkových porostů v zájmové oblasti. Z realizovaných rhizologických šetření, z šetření ve vazbě na vývin kořenového systému, lze vyvodit tato vysvětlení:

- Smrk ztepilý byl prioritně poškozován přes nadzemní část. Imisemi vyvolaná defoliace se u obligatorně mykorrhizní dřeviny negativně projevila ve všech vazbách na mykorrhizní symbiózu – tzn. na jemných kořenech. Po odeznění imisního ataku na nadzemní část, kdy stromy mají opět zcela funkční asimilační aparát, se symbiotické mykorrhizní vazby opět dostaly do normálu.
- Jestliže byl smrk ztepilý prioritně poškozován přes půdu a následně přes kořenový systém, což vyvolalo až defoliaci nadzemní části (narušení symbiotických vazeb mykorrhizy), po odeznění imisního ataku se půdní prostředí dostalo do normálu. Ve vazbě na vývin kořenového systému to znamená, že změny půdního prostředí nebyly dlouhodobé a trvalé. Realizovanými postupy šetření však nelze zjistit, zda se jedná o proces přirozený, nebo se zde výrazně projevil vliv všech melioračních opatření v oblasti realizovaných (včetně vápnění).
- Lze velmi reálně předpokládat, že podle míry imisního zatížení se na poškození smrkových porostů podílely oba výše uvedené aspekty.

V 80. letech minulého století byly smrkové porosty v oblasti Krušných hor velmi poškozeny imisemi. V současnosti není žádné vizuální poškození zjevné, smrkové porosty v Krušných horách jsou i vizuálně vitálnější než v jiných částech ČR. Přesto reálně existují dva aspekty, které i v současnosti snižují vitalitu smrkových porostů. Prvním je poškozování porostů zvěří, druhým je dlouhodobá stagnace vysázeného sadebního materiálu a poměrně vysoké ztráty po obnově.

Mladší i starší porosty jsou poškozovány ohryzem a loupáním, což následně vyvolává hniloby kmene. Porosty do zajištění kultur jsou poškozovány okusem. Opakovaný okus je často tak intenzivní, že retarduje růst nadzemní části o více než 10 let – oplocené porosty odrůstají naprosto normálně. Intenzivní a opakovaný okus dlouhodobě udržuje stromy i v zóně negativního působení mrazu, vyvolává ztráty a také poměrně častou tvorbu dvojáků a trojáků.

Imisní oblast Krušných hor patří k nejextrémnějším stanovištím pro obnovu lesa v ČR. Obzvláště zde by měla být respektována stará lesnická pravda, že pro obnovu je třeba použít nejvyšší kvality sadební materiál a vlastní biotechnice obnovy je třeba věnovat největší péči. Skutečnost je však někdy jiná. Řešitelský tým např. v roce 2004 přímo v předmetné oblasti

hodnotil tři dodávky sadebního materiálu (v každé dodávce hodnocen smrk, buk a klen), který byl vysázen na výměře přes 12 ha. Ve smyslu platného legislativního předpisu (ČSN 48 2115) ani u jedné z těchto dodávek nebyla vysázena dřevina, která by alespoň z 50 % splňovala podmínky normy. Nejčastějšími nedostatky byly nepoměr objemu kořenového systému k nadzemní části, nedostatečný podíl jemných kořenů v objemu celého kořenového systému a nedostatečná délka křivých kořenů. Pro výsadbu byl tudíž použit sadební materiál s nekvalitním kořenovým systémem.

Každý standardní postup výsadby vyžaduje přidání organické hmoty ke kořenovému systému vysazovaných rostlin. V oblasti Krušných hor (a nejenom tam) se však často výsadba provádí jinak. Ručně, častěji mechanizovaně, se strhnou humusové horizonty a výsadba se uskutečňuje přímo do minerální půdy, bez jakéhokoliv přidání organické hmoty. Výsledkem jsou ztráty a několikaletý šok po výsadbě. Že právě organická hmota, která stimuluje růst a funkčnost kořenového systému, může úspěšnost obnovy podstatně zlepšit, dokladujeme jedním z ověřování, které jsme v Krušných horách realizovali (tab. 10). Při výsadbě krytokořeného sadebního materiálu jsou nejčastějšími nedostatky nepřekrytí povrchu kořenového balu a někdy až extrémní rozdíl mezi chemickým složením substrátu balu a půdou v místě výsadby. Výsledek je stejný jako při nevhodné výsadbě prostokořeného sadebního materiálu – ztráty a dlouhodobý šok po výsadbě, navíc dochází k další deformaci kořenového systému.

I přes výše uvedená negativa je třeba objektivně konstatovat, že vitalita smrku ztepilého se v posledních letech v Krušných horách výrazně zlepšila. Je dokonce možno říci, že smrk ztepilý je v dané chvíli vitálnější než většina dřevin porostů náhradních dřevin v dané oblasti. Současná kvalita smrkových porostů vede i k tomu, což řešitelský tým nepovažuje za příliš vhodné, že jsou měněny hranice pásem ohrožení. (Např. některé námi analyzované porosty byly v roce 1988 zařazeny do pásma A, nyní jsou v pásmu B.) Řešitelský tým by byl nerad, kdyby výsledky této studie byly prezentovány tak, že na všech stanovištích lze v Krušných horách přistoupit k opětovné plošné výsadbě smrku. Zkušenosti s touto dřevinou, obzvláště při synergickém působení několika stresových faktorů, musí vést k velké obezřetnosti (viz současné regionální plošné poškození smrku v některých oblastech ČR). I v oblasti Krušných hor jsme se na konci vegetačního období 2004 setkali s barevnými změnami asimilačního aparátu této dřeviny. Změny barvy asimilačního aparátu se objevily jen u jedinců, a to vždy pouze na sušším stanovišti; symptomy poškození jsou velmi podobné symptomům poškození smrkových porostů v Jizerských horách. Vyzvednutím kořenových systémů několika takto poškozených stromů jsme zjistili, že jejich kořenový systém je v poměru k výšce nadzemní části velmi malý, což opět odpovídá závěrům zjištěným v Jizerských horách. K obezřetnosti musí zatím vést i ta skutečnost, že u poškozených porostů v roce 1988 je v současné době podstatně zvýšena biomasa jemných kořenů. I když v principu sice může jít o známou a stejnou reakci, jakou je nadměrný růst nadzemní části po poškození zvěří nebo mrazem, faktem je, že v tomto aspektu není zatím kořenový systém smrku v Krušných horách v normálu.

Závěr

Cílem práce bylo analyzovat vývin a zdravotní stav kořenového systému smrku ztepilého v imisní oblasti Krušných hor. Hodnoceny byly zejména tyto parametry - architektonika a velikost kořenového systému, biomasa, mykorrhizní infekce a životnost jemných kořenů, funkční typ mykorrhizy a napadení kořenového systému a nadzemní části stromu biotickými a abiotickými činiteli. Práce řeší tyto aspekty - porovnává vývin kořenového systému porostů v Krušných horách (pásmo ohrožení A, B) s porosty na Českomoravské vysočině (pásmo ohrožení C), hodnotí vývin kořenového systému po dozérových přípravách stanoviště, posuzuje vývin kořenového systému po poškození

nadzemní části okusem a srovnává vývin kořenového systému v letech 1988 a 2004. S výjimkou hodnocení vývinu kořenového systému po dozérových přípravách byly všechny porosty založeny bez mechanické přípravy stanoviště. Všechny analyzované porosty se nachází na kyselých stanovištích. Analyzováno bylo 32 porostů ve věku 8 až 110 let. Komparací všech dílčích analýz lze vyvodit tyto závěry:

- Nebyly zjištěny žádné podstatné rozdíly v architektuře a velikosti kořenového systému, v biomase a životnosti jemných kořenů, v množství mykorrhizní infekce a typu funkční mykorrhizy mezi stejně vysokými stromy v Krušných horách (pásmo ohrožení A,B) a stromy v oblasti Českomoravské vysočiny (pásmo ohrožení C). Jediným zjištěným rozdílem je častější výskyt václavky (téměř 100 %) u stromů v oblasti Krušných hor.
- Po dozérových přípravách v mezipruhu odrůstají relativně dobře pouze ty stromy, u nichž se mocnost humusových horizontů blíží mocnosti humusových horizontů rostlé půdy, nebo když kořenový systém stromu alespoň jedním kořenem zasahuje do valu nebo jeho blízkosti (tyto kořeny zajišťují převážnou část výživy). Kořenový systém stromů v mezipruhu je však vždy pouze povrchový, má nepravidelné rozložení kořenové sítě a prorůstá pouze humusové horizonty.
- Ani výrazné a opakované poškození nadzemní části okusem nemá negativní vliv na vývin kořenového systému. Poškozené stromy mají vždy více, ale slabších kosterních kořenů. V případě, že strom svým terminálním výhonem odroste negativnímu vlivu zvěře, jeho kořenový systém vytváří stejnou architekturu jako stejně vysoké zvěří nepoškozené stromy.
- Vzájemné srovnání vývinu kořenového systému stejně vysokých poškozených stromů (defoliace 50 %) a stromů nepoškozených (defoliace do 10 %) dokladovalo v roce 1988 výraznou inhibici a negativní změny kořenového systému poškozených stromů. Podobnými analýzami realizované srovnání u stejných porostů v roce 2004 (vizuální poškození nebylo nikde zjevné) již nebyly mezi sledovanými porosty zjištěny žádné negativní odchylky ve vývinu kořenového systému.
- Na základě všech realizovaných analýz lze konstatovat – jeví se, že negativní vliv imisí na vývin kořenového systému smrku ztepilého nemusí mít dlouhodobý a trvalý charakter; není ovšem znám podíl realizovaných melioračních opatření.
- Smrk ztepilý je v současné době v Krušných horách vitálnější než v jiných částech ČR a často je i vitálnější než většina dřevin porostů náhradních dřevin. To však neznamená, že by měl být opakovaně plošně kultivován na všechna stanoviště.

Vliv provenience na vývin kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.)

Mauer, O., Palátová, E., Beran, F.

Úvod a cíl práce

Populace dřevin téhož druhu pocházející z různých geografických podmínek se liší ve fyziologických, biochemických a morfologických vlastnostech. Fyziologické rozdíly se projevují v růstu a jeho periodicitě, v sezónním a denním průběhu fotosyntézy, v nárocích na světlo, v odolnosti vůči biotickým a abiotickým činitelům a podmiňují i morfologické znaky – celkový habitus, tvar kmene, délku a barvu jehlic, vlastnosti dřeva a kůry. Při hodnocení provenienčních pokusů je většinou pozornost věnována výškovému a tloušťkovému růstu, fenologii rašení, tvárnosti kmene a odolnosti vůči škůdcům a chorobám. Tyto parametry jsou nejen hospodářsky významné, ale i snadno měřitelné a zjištěitelné. Nedílnou součástí stromu je však i kořenový systém. Jeho studiu byla dosud věnována jen omezená pozornost a kořeny lesních dřevin proto představují nejméně probádané orgány stromů. Jednotlivé druhy dřevin mají geneticky podmíněné typy kořenových systémů, které jsou modifikovány půdním prostředím (vlhkost, mechanické překážky, provzdušnění, teplota, chemické a mikrobiologické půdní poměry) a proto vykazují velkou individuální proměnlivost. Jestliže existují provenienčně podmíněné rozdíly v morfologii nadzemní části stromů, nabízí se otázka, zda se vyskytují rozdíly i na jejich podzemních orgánech. Protože rhizologický výzkum je pracný a časově náročný, není v dostupné literatuře k tomuto tématu k dispozici mnoho informací.

ENGLER (1905 ex KÖSTLER et al. 1968) pozoroval u smrku provenienčně podmíněné rozdíly zakořenění u dvouletých rostlin a zjistil, že kořenové systémy semenáčků vypěstovaných ze semen alpských smrků měly nejen vyšší procento kořenů, ale i absolutně větší kořenový systém než srovnatelné semenáčky z nížinných poloh. Podle autora si tuto vlastnost rostliny udržovaly i při přesazení do poloh nižších. V provenienčním pokusu s 24letými smrků však NÄGELI (1932 ex KÖSTLER et al. 1968) nepotvrdil Englerem zjištěnou převahu kořenových systémů z horských poloh. Kořenové systémy starších smrků z horských poloh byly menší než u stejně starých stromů z nížin. Autor proto varuje před přenášením závěrů získaných na mladém materiálu na materiál starší.

Ze sledování klíčících semen realizovaných VINCENTEM (1941) vyplynulo, že délka hypokotylu včetně radikuly v poměru k délce děloh byla u semen z vysokých poloh vyšší než u semen z poloh nižších. Podle autora už tento poměr poukazuje na dědičně větší podíl kořenů smrku stanovištních ras exponovaných poloh. ASKOY (1965 ex SCHMIDT-VOGT 1977) srovnával sušinu nadzemní části, celkovou délku kořenů a počet kořenů prvního řádu smrků, borovic a modřínů z různých nadmořských výšek od jednoletého semenáčku po tříletou školkovanou sazenici. V žádném z uvedených parametrů nezaznamenal podstatné rozdíly. Pouze procento kořenů bylo u smrků a modřínů z horských poloh (1300 m n. m.) vyšší než u rostlin z nadmořské výšky 600 – 700 m. LEIBUNDGUT (1964 ex KÖSTLER et al. 1968) zjistil u mladých rostlin modřínu rozdílného původu větší rozdíly v hmotnosti sušiny kořenů než v hmotnosti sušiny nadzemní části. Protože růst kořenů je řízen především teplotou půdy, projevil se podle autora u modřínů z horských poloh pozdější počátek růstu kořenů ve srovnání s modřínů z nižších poloh. V provenienčním pokusu s borovicí ve věku 28 let zjistil BIEBELRIETHER (1964) u jednotlivých proveniencí rozdíly v utváření nadzemní části i kořenového systému. U provenience, která se vyznačovala nápadnou přímostí kmene, zaznamenal ve vysokém procentu křivý kořen a zřetelné rozdělení na horizontální a vertikální kořenový systém, přičemž hloubka, ve které se křivý kořen větvil, byla vyšší než

u jiné sledované provenience, jejíž křulové kořeny se větily blízko povrchu půdy. Také v hloubkovém dosahu kořenů se obě provenience lišily.

Někteří autoři se snažili zjistit, zda existuje vztah mezi typem větvení korun smrku a utvářením kořenového systému. MOSKVITIJ (1957 ex SCHMIDT-VOGT 1977) informoval, že jím vybrané smrky na jihu SSSR, které měly koruny hřebenitého typu, měly vytvořen intenzivní a hluboko pronikající kořenový systém. Při srovnání hmotnosti a celkové délky kořenů překračovaly pětinasobně tzv. smrk z údolních poloh. Také podle ŠIŠKOVA (1956 ex SCHMIDT-VOGT 1977) je u smrků s hřebenitým typem větvení kořenový systém jak v horizontálním tak ve vertikálním směru obzvláště dobře vyvinut, zatímco deskovité typy by měly mít podle autora plochý kořenový systém.

Kořenové systémy smrku různých proveniencí ve věku 28 let na dvou stanovištích odlišných provenienčních plochách srovnával ŠIKA (1965). U dvou dobře a dvou špatně rostoucích proveniencí sledoval typ a morfologii kořenových systémů, hloubku prokořenění, vertikální rozložení kořenů v půdě a u vybraných proveniencí orientačně i délku kořenů a počátek jejich růstu. Z analýz vyplynulo, že charakter kořenových systémů na obou plochách byl ovlivněn především půdními podmínkami. Na nepříznivém stanovišti měly všechny sledované provenience stejný typ kořenového systému. Na příznivém stanovišti se norská provenience od ostatních lišila povrchovějším kořenovým systémem. Zjištěné rozdíly ve vertikálním rozložení kořenů byly podle autorů způsobeny půdními faktory.

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že získané poznatky dosud neumožňují formulovat jednoznačné závěry o vlivu provenience na utváření kořenového systému dřevin. Cílem práce je komplexně analyzovat kořenový systém smrků pocházejících z různých nadmořských výšek na dvou stanovištích rozdílných ověřovacích plochách.

Metody a použitý materiál

Základní metodické přístupy

- Ověřování bylo realizováno na dvou standardních provenienčních plochách založených v roce 1988 v České republice.
- Provenienční plocha Křtiny (dále plocha Křtiny) se nachází v nadmořské výšce 540 m, průměrná roční teplota vzduchu je 7,0 °C, průměrné roční srážky jsou 540 mm, plocha je na rovině, na celé ploše je půdní typ modální kambizem, jde o živné stanoviště, plocha byla založena prostokořeným sadebním materiálem.
- Provenienční plocha Ostravice (dále plocha Ostravice) se nachází v nadmořské výšce 820 m, průměrná roční teplota vzduchu je 5,6 °C, průměrné roční srážky jsou 1171 mm, plocha je ve svahu o spádu 20 %, na celé ploše je půdní typ rankrový podzol, jde o kyselé stanoviště, plocha byla založena krytokořeným sadebním materiálem.
- Na obou plochách byly shodně analyzovány provenience č. 34 (původ - nadmořská výška 320 m, živné stanoviště) a č. 45 (původ - nadmořská výška 1100 m, kyselé stanoviště). V obou případech byl reprodukční materiál odebírán z nejkvalitnějších (elitních) **porostů kategorie selektované**. U provenience č. 45 jde o porost autochtonní (zjišťováno na základě historického průzkumu), u provenience č. 34 jde o porost alochtonní.
- Základní metodický přístup - na každé provenienční ploše byly vzájemně a stejnými metodami porovnávány stejně vysoké a nepoškozené stromy (abiotickými nebo biotickými činiteli) obou proveniencí. Do analýz nebyly zahrnuty okrajové stromy čtverce příslušné provenience.
- Analýzy kořenového systému byly realizovány podle metodických postupů Brněnské rhizologické školy (MAUER 1989).

Analýzy architektiky a zdravotního stavu kořenového systému

- Na každé provenienční ploše bylo u každé provenience ručně archeologickým způsobem vyzvednuto a analyzováno 12 kořenových systémů stejně vysokých stromů (na velikost a vývin kořenového systému má délka nadzemní části stromu nesrovnatelně větší vliv než jeho věk nebo tloušťka kmene MAUER, PALÁTOVÁ, RYCHNOVSKÁ, 2004). Před analýzami kořenového systému byly proto všechny stromy na obou provenienčních plochách změřeny (výškové a tloušťkové diference obou proveniencí byly minimální).
- Bližší vysvětlení k metodickým postupům:
 - průměr kmene byl měřen ve výšce 1,3 od půdního povrchu,
 - horizontální kosterní kořeny (v tabulkách výsledků označovány HKK) jsou plagiotropní kořeny rostoucí souběžně s povrchem půdy, které zajišťují mechanickou stabilitu stromu,
 - tvar horizontálních kosterních kořenů je vypočítaný podíl výšky kořene k jeho šířce, tloušťka horizontálních kořenů je průměrem těchto hodnot,
 - s cílem postihnout, jak se parametry horizontálních kosterních kořenů mění v závislosti na jejich délce, bylo měření realizováno u kmene (10 cm od **okraje** kmene) a 60 cm od kmene (60 cm od **okraje** kmene),
 - s cílem postihnout vliv sklonu terénu byla na ploše v Ostravici měření zvláště realizována v 1. půlkruhu (180° kruhové **výseče** nad vrstevnicí) a v 2. půlkruhu (180° kruhové **výseče** pod vrstevnicí),
 - délka horizontálních kořenů je vzdálenost od **okraje** kmene ke špici horizontálního kořene,
 - pravá kotva roste kolmo k povrchu půdy (maximální odchylka od kolmice je 45°),
 - šikmá kotva prorůstá půdu do úhlu 45° od povrchu půdy,
 - tloušťka kotev - byla měřena 5 cm od místa jejich nasazení,
 - počet větvících se kořenů na kotvách - byly počítány všechny kořeny, které vyrůstaly z kotvy,
 - hloubka prokořenění - kolmá vzdálenost od povrchu půdy po špici nejhluběji zasahujícího kořene,
 - maximální úhel mezi horizontálními kosterními kořeny charakterizuje pravidelnost rozložení těchto kořenů v kruhové kořenové síti - je měřen úhel mezi dvěma nejvzdálenějšími kořeny,
 - Index p (v tabulkách výsledků označeno Ip) je vypočítán jako poměr plochy příčných průřezů všech horizontálních kosterních kořenů a kořenů kotevních v místě měřiště (v mm²) k délce stromu (v cm). Index p posuzuje vztah mezi vývinem kořenového systému a vývinem nadzemní části stromu. Čím je hodnota Indexu p větší, tím větší je i kořenový systém stromu.
 - každý horizontální kosterní kořen a kotva byly podélně rozříznuty a byl vizuálně zjišťován výskyt hnilob nebo poškození kořene biotickými činiteli,
 - každý kmen byl v 1 m sekcích podélně rozříznut a byl vizuálně zjišťován výskyt hnilob nebo napadení biotickými činiteli,

Analýzy jemných kořenů

Analýzovány byly kořeny slabší než 1 mm. Jemné kořeny mají rozhodující význam v zajištění příjmu živin a vody. Měřeny a hodnoceny byly tyto parametry:

- Biomasa jemných kořenů. Na obou plochách bylo u každé provenience pomocí půdní sondy (vzorkovače) o průměru 5 cm vyzvednuto 30 půdních výkrojů. Výkroje byly následně rozděleny podle půdních horizontů a zhomogenizovány. Sledovány byly souborně všechny humusové horizonty (označováno Humus) a minerální vrstva 0 až 10

cm pod humusovými horizonty (označováno Minerál). Z homogenátů bylo odebráno 6 rozborových vzorků o sypaném objemu 100 ml. Po separaci jemných kořenů a ručním dočištěním byly zjištěny jejich délky a po vysušení jejich hmotnost.

- Odběr a příprava jemných kořenů pro zjišťování jejich životnosti, mykorhizní infekce a typu mykorhizy. V každém analyzovaném porostu (zvláště u stromů zdravých a stromů poškozených) bylo v humusových horizontech odebráno 5 půdních monolitů o rozměrech 20 x 20 cm. Ze všech monolitů byly ručně vybrány jemné kořeny, které byly následně očištěny a zhomogenizovány. Aby nebyla ovlivněna životnost kořenů, musela být celá operace ukončena do 12 hodin od odběru monolitů v porostu. Vzorky byly do laboratoře přepravovány v chladničkách.
- Životnost jemných kořenů. Ke stanovení životnosti byla použita metoda redukce 2,3,5 trifenylnitrotetrazolium chloridu popsaná JOSLINEM a HENDERSONEM (1984). Výsledky získané při zpracování vzorků byly podrobeny korelační analýze a bylo vypočítáno % životnosti.
- Mykorhizní infekce byla zjišťována kvantitativně chemicky metodami popsanými PLASSARDOVOU et al. (1982) a VIGNONEM et al. (1986) a měřením tloušťky hyfového pláště pod mikroskopem.
- Typ mykorhizy byl vyhodnocován anatomicky po zbarvení houby anilinovou modří v laktofenolu - pod mikroskopem, morfologická stavba mykorhizy byla vyhodnocována vizuálně - pod stereolupou.
- Specifická délka jemných kořenů je poměr jemných kořenů k jejich hmotnosti (mm.g sušiny jemných kořenů⁻¹). Má vztah k příjmu živin, neboť dává nepřímou informaci o ploše povrchu dané hmotnosti kořenů.

Obecné poznámky

- V případě výskytu hnilob nebo poškození kořene a kmene byla speciálními analýzami exaktně zjišťována příčina.
- Všechny získané parametry byly podrobeny statistickému hodnocení (ANOVA). Signifikantní průkaznost rozdílů mezi proveniencemi je v tabulkách výsledků označena graficky. V případě zjištěného rozdílu ($\alpha = 95 \%$) je za vždy uváděným aritmetickým průměrem a směrodatnou odchylkou u proveniencí 45 znaménko +. Stejně označení je v tabulkách výsledků uvedeno i u hodnot, které nebyly podrobeny testování, ale jejich velikost se mezi sledovanými proveniencemi významně liší.
- Autory prezentovaných obrázků jsou autoři studie.

Výsledky a jejich zhodnocení

Pro rychlejší orientaci jsou jednotlivé sledované parametry a znaky v tabulkách výsledků označeny pořadovým číslem. Ve slovním komentáři je na příslušné pořadové číslo poukázáno.

Plocha Křtiny (tab. 1, 2)

- Obě proveniencí mají shodný výškový přírůst (3).
- Obě proveniencí vytvořily shodný a stejně velký (24) kotevní (4) kořenový systém s kruhovým půdorysem (5).
- U obou proveniencí se vytvořil kotevní kořenový systém, který má vždy pravé kotvy (15) a u více než poloviny stromů i kotvy šikmé (16).

- U obou proveniencí je shodná hloubka prokořenění pravými (19) i šikmými (22) kotvami, obě provenience mají shodný počet větvíciích se kořenů na těchto kotvách (19, 22).
- Obě provenience mají shodné rozložení HKK v kruhové síti (23), shodná je i jejich délka (25) a podíl HKK a kotev na hodnotách I_p (24).
- Obě provenience mají shodný tvar HKK (14); u kmene se vytváří horizontální kořeny s eliptickým průřezem, 60 cm od kmene mají již průřez kruhový.
- Obě provenience mají shodný typ větvení HKK (26), zakončení HKK (27) i zakončení kotev (28).
- Obě provenience mají shodnou biomasu jemných kořenů (29), jejich vertikální distribuci (30), specifickou délku (31), mykorhizní infekci (32) a životnost (33).
- Obě provenience vytvořily funkční světlu ektomykorhizu (34) a jejich kořenový systém není napaden žádnými biotickými nebo abiotickými činiteli (35, 36).
- Jedinými signifikantními rozdíly jsou - provenience 45 má u kmene menší počet (8) silnějších HKK (11) (60 cm od kmene již tyto difference nejsou) a větší počet slabších pravých (19) i šikmých kotev (27).

Plocha Ostravice (tab. 1, 2)

- Obě provenience mají shodný výškový přírůst (3).
- Obě provenience vytvořily shodný a stejně velký (24) povrchový (4) kořenový systém s eliptickým půdorysem (5) a excentrickým postavením báze kmene (25).
- U obou proveniencí se vytvořil slabý kotevní kořenový systém, který má pouze šikmé kotvy (16), kotvy pravé nemá (17).
- U obou proveniencí je shodná hloubka prokořenění šikmými kotvami (20 až 22), obě provenience mají i shodný počet větvíciích se kořenů na těchto kotvách (20 až 22).
- Obě provenience mají shodné rozložení HKK v kruhové síti (23), shodná je i jejich délka (25) a podíl HKK a kotev na hodnotách I_p (24).
- Obě provenience mají shodný tvar HKK (12, 13, 14); u kmene se vytváří horizontální kořeny s eliptickým průřezem, 60 cm od kmene mají již průřez kruhový.
- Obě provenience mají shodný typ větvení HKK (26), zakončení HKK (27) a zakončení kotev (28).
- Obě provenience mají shodný počet i tloušťku HKK (6 až 11) a kotev (20 až 22).
- Signifikantní rozdíly byly zjištěny téměř u všech parametrů a znaků jemných kořenů. I když obě provenience mají shodnou vertikální distribuci jemných kořenů (30), provenience č. 34 má menší biomasu (29), specifickou délku (31), mykorhizní infekci (32) a zejména životnost (33) jemných kořenů. I když obě provenience vytvořily shodně funkční ektomykorhizu (ektendo a pseudomykorhizy zjištěny nebyly), provenience č. 34 má dvacetiprocentní výskyt černých ektomykorhiz - mykorhiz s menší funkční aktivitou (34).
- U provenience č. 34 byl zjištěn výskyt václavky - *Armillaria ostoye* (Romagn.) Herink (35), která vyvolala hniloby HKK i kotev u všech analyzovaných stromů (36).

Zhodnocení výsledků

Architektonika kořenového systému smrku je velmi rozdílná. Na vodou ovlivněných stanovištích smrk vytváří velmi plochý povrchový kořenový systém bez kotev (KREUTZER 1961), na běžných stanovištích (kyselá a živná) povrchový kořenový systém s výskytem menšího počtu kotevních kořenů, na sušších stanovištích však smrk může vytvořit silný kotevní kořenový systém s hloubkou prokořenění až 450cm (KÖSTLER et al. 1968). Na rovinách vytváří smrk kořenový systém s kruhovým půdorysem, pravidelným rozložením

horizontálních kořenů v kořenové síti, přičemž délka horizontálních kosterních kořenů je rovnoměrná a přesahuje cca 1,5 - 3x průměr koruny (PUHE 1994). V případě nehomogenity humusových horizontů se však vytváří nepravidelně rozložený kořenový systém s rozdílnou délkou horizontálních kosterních kořenů - které směřují vždy za humusem (při shodné výšce nadzemní části jako v této práci hodnocených stromů jsme zjistili dosah horizontálních kořenů až 8 m (MAUER et al. 2005a). Nepravidelné rozložení kořenové sítě a rozdílnou délkou horizontálních kosterních kořenů však může vyvolat i deformace kořenového systému (MAUER et al. 2005b). Ve svazích smrk vytváří eliptický kotevní kořenový systém s excentrickým postavením báze kmene (po svahu jsou kořeny delší), proti svahu je kořenový systém silnější a kotvy neprorůstají humusovými horizonty, ale do horizontů minerálních (MAUER et al. 2005a). Obvyklým způsobem zakončení horizontálních kosterních kořenů smrku jsou snopky, v případě potřeby zajištění větší mechanické stability i kolenovité kořeny, větší mechanickou stabilitou smrk zajišťuje i tvorbu horizontálních kosterních kořenů eliptického průřezu, výjimečně se tvoří i deskovité kořeny. Jemné kořeny se vyvíjí převážně pouze u humusových a humusem obohacených horizontech, smrk je obligátně ektomykorhizní. Mimo podmínek stanoviště může být kořenový systém smrku ovlivňován změnou klimatu (MAUER, BAGÁR, PALÁTOVÁ 2007 v tisku) imisemi (MAUER 1989) nebo nevhodnými výchovnými postupy.

V dendrologické literatuře se traduje (...), že smrk v nižších polohách vytváří povrchový kořenový systém s malým výskytem kotev, kdežto vysokohorský smrk vytváří mohutný kořenový systém kotevní. V obecném povědomí převládá názor, že tato tvorba kořenového systému je i geneticky fixována. Naše šetření prokázala, že tvorba kořenového systému smrku je prioritně ovlivňována stanovištními podmínkami - téměř naprosto shodná architektura kořenového systému i parametrů a znaků jemných kořenů dvou diametrálně rozdílných proveniencí na dvou podstatně rozdílných stanovištích - genetickou fixací tvorby a vývin kořenového systému jsme neprokázali. (Protože na obou vyhodnocovaných plochách neodpovídají sledované provenience současně platným zásadám přenosu reprodukčního materiálu v České republice, v bezprostřední blízkosti obou provenienčních ploch jsme uskutečnili analýzy architektury kořenového systému stejně vysokých smrků místních proveniencí; jejich architektura byla naprosto shodná jako u obou proveniencí v práci vyhodnocovaných). Výsledky našich šetření však mohou být ovlivněny těmito aspekty:

- U provenience č. 36 bylo použito osivo z alochtonního porostu neznámého původu. Nelze vyloučit, že tento porost byl založen z osiva pocházejícího z vyšších nadmořských výšek (v té době běžně realizován dovoz osiva z Rakouska).
- Jelikož tvorba kořenového systému smrku je spíše periodická (1. etapa po výsadbě, 2. etapa v cca 30 letech, 3. etapa v cca 70 letech - ovlivňováno zejména tvorbou nových adventivních kořenů v závislosti na velikosti nadzemní části stromu), nelze zcela vyloučit další posuny a změny v architektuře kořenového systému sledovaných proveniencí.
- Na ploše ve Křtinách nebyly mezi sledovanými proveniencemi zjištěny rozdíly ve velikosti kořenového systému (velikost hodnot I_p) nebo podílů horizontálních kosterních kořenů a kotev na hodnotě I_p . Vysokohorská provenience č. 45 má však signifikantně menší počet horizontálních kořenů a větší počet kotev (předpoklad tvorby silného kotevního kořenového systému). Tento trend však nebyl zjištěn na ploše v Ostravici.
- Všechny diference zjištěné na jemných kořenech na ploše v Ostravici byly vyvolány napadením kořenového systému nížinné provenience č. 34 václavkou. I když v současné době tato provenience ještě nejeví vizuální známky chřadnutí, lze reálně předpokládat, že se negativní působení této agresivní parazitické houby bude dále prohlubovat. Důvodem jsou zejména predispoziční faktory - přenos reprodukčního materiálu z nadmořské výšky 320 m do nadmořské výšky 820 m a deformace kořenového

systemu vyvolané užitím nevhodného krytokořenného sadebního materiálu. Více než třetina dalších vykopaných kořenových systémů nemohla být do měření zařazena pro nejzávažnější deformace zcela prokazatelně vyvolané biotechnikou sadby. (Podle našich zkušeností se i na jiných provenienčních plochách vyskytují nejzávažnější deformace kořenového systému vyvolané biotechnikou sadby, které již ovlivňují nebo budou ovlivňovat vývin stromů, nejsou při všech hodnocení zohledněny.)

Tab. 1: Charakteristiky biometrických parametrů nadzemní části a architektiky kořenového systému

Parametry a znaky	Plocha Křtiny		Plocha Ostravice	
	provenience 34	provenience 45	provenience 34	provenience 45
1. Délka nadzemní části (cm)	1054,1±31,2	999,6±50,7	907,2±53,9	862,5±31,3
2. Průměr kmene (mm)	111,3±5,1	108,4±6,2	113,0±6,2	106,3±4,3
3. Přírůsty terminálu (cm)				
• 2004	69,3±13,4	62,3±9,3	78,4±12,1	72,5±10,4
• 2005	77,5±9,7	82,3±9,5	79,3±14,1	85,7±12,2
• 2006	85,5±13,8	79,0±9,1	80,6±9,7	78,5±16,3
4. Typ kořenového systému	kotevní	kotevní	povrchový	povrchový
5. Tvar (půdorys) HKK	kruhový	kruhový	eliptický	eliptický
6. Počet HKK (ks) - 1. půlkruh				
• U kmene	-	-	6,0±2,7	6,3±1,2
• 60 cm od kmene	-	-	9,4±2,8	11,0±2,1
7. Počet HKK (ks) - 2. půlkruh				
• U kmene	-	-	4,0±0,7	4,0±1,2
• 60 cm od kmene	-	-	7,0±1,2	5,5±1,5
8. Počet HKK (ks) - celkem				
• U kmene	9,1±2,1	7,5±1,8+	10,0±3,0	10,3±2,4
• 60 cm od kmene	15,7±5,0	13,6±3,1	16,4±2,6	16,5±1,9
9. Tloušťka HKK (mm) - 1. půlkruh				
• U kmene	-	-	51,6±11,9	51,8±6,4
• 60 cm od kmene	-	-	17,2±4,9	15,7±3,7
10. Tloušťka HKK (mm) - 2. půlkruh				
• U kmene	-	-	46,4±10,1	40,8±8,6
• 60 cm od kmene	-	-	17,6±6,5	14,8±6,7
11. Tloušťka HKK (mm) - celkem				
• U kmene	50,1±5,0	56,5±7,7+	48,8±3,7	47,8±5,7
• 60 cm od kmene	21,3±3,0	21,0±2,2	17,4±2,1	15,7±3,7
12. Tvar HKK - 1. půlkruh				
• U kmene	-	-	1,49±0,21	1,53±0,14
• 60 cm od kmene	-	-	1,03±0,04	1,03±0,03
13. Tvar HKK - 2. půlkruh				
• U kmene	-	-	1,52±0,27	1,34±0,15
• 60 cm od kmene	-	-	1,01±0,02	1,02±0,03
14. Tvar HKK - celkem				
• U kmene	1,46±0,09	1,50±0,22	1,50±0,19	1,46±0,12
• 60 cm od kmene	1,05±0,06	1,03±0,04	1,03±0,02	1,03±0,08
15. Zastoupení stromů s pravými kotvami (%)	100	100	0	0
16. Zastoupení stromů s šikmými kotvami (%)	50	67	100	100
17. Kotvy pravé - 1. půlkruh				
• počet (ks)	-	-	0,0±0,0	0,0±0,0
18. Kotvy pravé - 2. půlkruh				
• počet (ks)	-	-	0,0±0,0	0,0±0,0
19. Kotvy pravé - celkem				
• počet (ks)	2,3±0,8	3,5±1,0+	0,0±0,0	0,0±0,0
• tloušťka (mm)	45,5±9,4	30,1±5,4+	0,0±0,0	0,0±0,0
• počet větví se kořenů (ks)	6,5±1,0	5,7±1,0	0,0±0,0	0,0±0,0
• hloubka prokořenění (cm)	78,2±8,2	71,7±7,9	0,0±0,0	0,0±0,0
20. Kotvy šikmé - 1. půlkruh				
• počet (ks)	-	-	2,6±1,1	2,5±0,8
• tloušťka (mm)	-	-	25,6±5,4	24,3±3,5
• počet větví se kořenů (ks)	-	-	4,1±1,2	3,7±0,8
• hloubka prokořenění (cm)	-	-	44,8±6,5	47,7±7,6

Tab. 1: pokračování

Parametry a znaky	Plocha Křtiny		Plocha Ostravice	
	provenience 34	provenience 45	provenience 34	provenience 45
21. Kotvy šikmé - 2. půlkruh				
• počet (ks)	-	-	2,4±0,5	1,7±0,4
• tloušťka (mm)	-	-	23,6±8,1	22,2±4,8
• počet větvících se kořenů (ks)	-	-	4,8±1,9	3,7±0,8
• hloubka prokořenění (cm)	-	-	41,6±6,8	41,3±8,5
22. Kotvy šikmé - celkem				
• počet (ks)	1,3±0,5	2,7±0,9+	5,0±1,0	4,2±0,4
• tloušťka (mm)	32,7±4,1	24,0±6,1+	24,4±5,8	23,5±5,7
• počet větvících se kořenů (ks)	4,3±1,5	5,5±1,3	4,6±1,3	3,7±0,8
• hloubka prokořenění (cm)	42,3±4,1	44,2±6,4	43,4±4,6	45,3±7,4
23. Maximální úhel mezi HKK (stup.)	106,6±29,4	90,0±8,9	56,0±13,4	65,0±24,2
24. Hodnota Ip	24,3±3,4	24,8±2,8	27,3±2,8	27,2±2,2
• podíl všech HKK na Ip (%)	83,2	86,3	88,7	90,9
• podíl všech kotev na Ip (%)	16,8	13,7	11,3	9,1
• podíl HKK 2. půlkruh na Ip (%)	-	-	56,2	65,1
• podíl HKK 1. půlkruh na Ip (%)	-	-	32,5	25,8
25. Maximální délka HKK (cm)	214±47	224±38	-	-
• 1. půlkruh	-	-	172±19	157±24
• 2. půlkruh	-	-	357±38	321±41
26. Větvění HKK	monopodiální	monopodiální	monopodiální	monopodiální
27. Zakončení HKK	snopky	snopky	-	-
• 1. půlkruh	-	-	snopky, koleno	snopky, koleno
• 2. půlkruh	-	-	snopky	snopky
28. Zakončení kotev	štetka	štetka	štetka	štetka

Tab. 2: Charakteristiky jemných kořenů, mykorhiza, hniloby kořenů

Parametry a znaky	Plocha Křtiny		Plocha Ostravice	
	provenience 34	provenience 45	provenience 34	provenience 45
29. Biomasa jemných kořenů (g.100 ml ⁻¹)				
• Humus	0,357±0,006	0,352±0,005	0,445±0,027	0,516±0,026+
• Minerál	0,104±0,004	0,097±0,007	0,189±0,009	0,216±0,010+
• Celkem	0,461±0,017	0,449±0,016	0,634±0,030	0,732±0,033+
30. Vertikální distribuce biomasy jemných kořenů (%)				
• Humus	77,3	78,5	70,1	70,5
• Minerál	22,7	21,5	29,9	29,5
• Celkem	100,0	100,0	100,0	100,0
31. Specifická délka jemných kořenů	11,2±1,6	10,4±0,9	9,2±0,6	11,0±0,7+
32. Mykorhizní infekce jemných kořenů (μg.mg ⁻¹)	9,1±0,3	8,7±0,3	8,4±0,4	10,3±0,3+
33. Životnost jemných kořenů (%) ⁺	100	90	38	82+
34. Typ mykorhizy	ekto	ekto	ekto	ekto
• podíl černých mykorhiz (%)	0	0	20	0+
35. Výskyt václavky (v % stromů)	0	0	100	0+
36. Hniloby kořenů				
• % stromů s hnilobami	0	0	100	0+
• HKK s hnilobami (ks)	0	0	3,1±0,9	0,0±0,0+
• kotvy s hnilobami (ks)	0	0	1,2±0,2	0,0±0,0+

Pozn.: ⁺100 % = životnosti jemných kořenů u provenience 34 ve Křtinách

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda původ reprodukčního materiálu má vliv na vývin kořenového systému smrku ztepilého. Ověřování bylo realizováno na dvou provenienčních plochách založených v roce 1988 v České republice. Provenienční plocha Křtiny se nachází v nadmořské výšce 540 m, průměrná roční teplota vzduchu 7,0 °C, průměrné roční srážky 540 mm, rovina, živné stanoviště, modální kambizem. Provenienční plocha Ostravice se nachází v nadmořské výšce 820 m, průměrná roční teplota vzduchu 5,6 °C, průměrné roční srážky 1171 mm, svah, kyselé stanoviště, rankerový kryptopodzol. Experimenty byly realizovány u proveniencí č. 34 (původ - nadmořská výška 320 m, živné stanoviště) a č. 45 (původ - nadmořská výška 1100 m, kyselé stanoviště). Na obou plochách bylo u každé provenience archeologickým způsobem vyzvednuto a analyzováno 12 kořenových systémů průměrných stromů. Bylo sledováno 36 parametrů a znaků architektiky a zdravotního stavu kosterních kořenů, biomasa, mykorhizní infekce, životnost a specifická délka jemných kořenů (kořenů slabších než 1 mm) a typ funkční mykorhizy.

Z výsledků šetření vyplývá, že vývin kořenového systému není ovlivněn původem, ale jednoznačně stanovištěm. Ve Křtinách i v Ostravici obě provenience vytvořily až uniformní, stejně velké kořenové systémy. Ve Křtinách výrazný kotevní kořenový systém s kruhovým půdorysem, hloubka prokořenění 80 cm, v Ostravici eliptický spíše povrchový kořenový systém, hloubka prokořenění 45 cm. Na obou plochách měly obě provenience i shodné typy zakončení horizontálních kořenů a kotev.

Na ploše ve Křtinách nebyly zjištěny žádné rozdíly v hodnocených parametrech a znacích jemných kořenů. Na ploše v Ostravici byly s výjimkou vertikální distribuce jemných kořenů ve všech dalších hodnocených parametrech a znacích zjištěny signifikantní rozdíly v neprospěch provenience č. 34. Příčinou je stoprocentní napadení kořenových systémů této provenience václavkou (*Armillaria ostoye.*), které je vyvoláno nevhodným přenosem reprodukčního materiálu a užitím nevhodného krytokořeného sadebního materiálu.

Seznam použité literatury

BIEBELRIETHER, H.: Unterschiedliche Wurzelbildung bei Kiefern verschiedener Provenienz. Forstwiss. Cbl., 83, 1964, 5/6, 129 – 192

MAUER, O., 1989: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karsten). Doktorská disertační práce, LF VŠZ Brno, 322 s.

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E., 1992: Vliv různých způsobů a typů sadby na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.). Lesnictví - Forestry, 8, s. 193 – 203.

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E., RYCHNOVSKÁ, A., PULKA, T. 2005: Současný stav (r. 2004) smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v imisní oblasti východního Krušnohoří. In: Sborník z konference Obnova lesních porostů v imisní oblasti východního Krušnohoří Hora sv. Šebestiána 2.6.2005, MZLU v Brně, 19 – 45.

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E., KUDLÁČEK, L., DRÁPELA, O., 2005b: Deformace kořenového systému – vznik a možnosti eliminace. In: In: Sborník z konference Obnova lesních porostů v imisní oblasti východního Krušnohoří Hora sv. Šebestiána 2.6.2005, MZLU v Brně, 61- 67.

SCHMIDT-VOGT, H.: Die Fichte. Band 1 Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 1977, 647 s.

ŠIKA, A. 1966: Výzkum kořenového systému smrku na provenienčních plochách v Beskydách. Práce VÚLHM, svazek 33, s.101 - 126

VINCENT, G.: Kurzer Beitrag zur Unterscheidung der Kiefern- und Fichtenrassen. Forstwiss. Cbl., 63, 1941, s. 260 – 279

Vzájemné vztahy kořenových systémů jeřábu, buku a smrku ve smíšeném horském lese

Oldřich Mauer, Eva Palátová

Úvod

Prioritním úkolem kořenového systému je zabezpečit mechanickou stabilitu stromu a za pomoci jemných kořenů (kořeny slabší než 1 mm) zajistit příjem vody a výživu stromu. Jednotlivé druhy dřevin mají geneticky podmíněný typ kořenového systému, který může být, pod vlivem vnějších podmínek, více či méně modifikován. To platí i pro buk, smrk a jeřáb, které tvoří hlavní dřeviny přípravného a přechodného lesa v horských oblastech.

Za předpokladu nerušeného růstu v půdě vytváří buk typický srdčitý kořenový systém, který je tvořen nepravidelně probíhajícími kosterními a jemnými kořeny. K jeho větvení dochází brzy, takže celá plocha pod korunou je prokořeněná. Extrémní hustota silných a jemných kořenů je charakteristickým znakem kořenového systému tohoto druhu (Göttsche, 1972; Rothe, 1997). Horizontální kořeny neprorůstají podstatně za obvod koruny. Na rozdíl od smrku a borovice, které své postranní kořeny vysílají daleko za obvod koruny, tvoří buk kompaktní kořenový systém (Drexhage, Lüpke, 1995; Polomski, Kuhn, 1998). Kořeny se vzájemně prorůstají a obzvláště v blízkosti pařezu je prokořenění husté a intenzivní (Köstler et al. 1968). Podle těchto autorů lze počítat buk k vysloveně intenzivně kořenícím druhům. Vytváří silné postranní kořeny, často s kořenovými náběhy, které se ale rychle větví ve slabší svazky, takže u starých buků už 60 – 100 cm od pařezu nejsou žádné silné kořeny. Podobné platí pro vertikálně směřující kořeny, které jsou již od místa jejich původu slabé nebo se brzy větví. V hloubce 50 cm jsou za normálních podmínek jenom výjimečně silnější vertikální kořeny.

Na rozdíl od buku vytváří smrk v normálních hlubokých a propustných půdách (bez horizontů chudých na kyslík) typický kotevní kořenový systém, se zřetelně odlišenými horizontálními a vertikálními kořeny. Horizontální kořeny zasahují daleko za oblast koruny a teprve tam se intenzivně větví. Prostor pod korunou bývá málo obsazen jemnými kořeny (Polomski, Kuhn, 1998). V propustných půdách rostou horizontální kořeny ve stejné rovině a mohou dosáhnout hloubky 30 – 50 cm (Kalinin, 1983 ex Polomski, Kuhn, 1998) a jejich dosah přesahuje korunu 1,5 – 3x (Puhe, 1994). Morfologická variabilita kořenového systému smrku je značná. Hloubka prokořenění kolísá od 7 cm na vlhkých půdách po 450 cm na sprašových půdách.

O utváření kořenového systému jeřábu je nesrovnatelně méně informací. Pokud se, zejména v dendrologické literatuře, vyskytují, jde o obecný popis, bez přihlédnutí k ekologickým podmínkám, v nichž se kořenový systém vyvíjel, což může být i jedním z důvodů jeho velmi kontroverzních charakteristik. Některé zdroje popisují kořenový systém jeřábu jako typicky kotevní (Mayer, 1977; Namvar, Spethmann, 1985; Aas, 1997; Mößmer, Ammer, 1994), jiné zdroje spíše jako povrchový (Chmelař, 1983), nebo plochý či mělký (Kapper, 1952; Svoboda, 1957), což dávají autoři do souvislosti s jeho vegetativním rozmnožováním. Svrchní půdu prokořeňuje jeřáb intenzivně (Namvar, Spethmann, 1985), přičemž dosah horizontálních kořenů může být 5 až 6 m od báze kmene (Svoboda, 1957; Válek, 1977).

Za přirozených podmínek jsou tyto druhově specifické typy kořenových systémů v důsledku stanovištních (obzvláště půdních) podmínek modifikovány. Kořenové systémy se zřetelně přizpůsobují a formy i možnosti přizpůsobení jsou dle Kreutzera (1961) druhově specifické.

Buk patří mezi dřeviny, jejichž kořenový systém reaguje na změny stanoviště mimořádně silně. Zatímco hluboko provzdušněné půdy umožňují hluboký vertikální vývoj kořenů, koření buk na těžkých a především málo provzdušněných půdách vyloženě plošně (Köstler et al. 1968). Kořeny buku reagují velmi citlivě na nedostatek kyslíku nebo na mechanické překážky v půdě. Fyziologicky mělké půdy umožňují buku vytvářet jen plochý talířovitý kořenový systém.

Smrk vytváří na glejích a pseudoglejích v celém areálu rozšíření a na sutiích montánního a submontánního stupně vysloveně plochý kořenový systém (Polomski, Kuhn, 1998). Talířovité mělké kořenové systémy jsou dle Köstlera et al. (1968) pro smrk typické, přičemž kotvy (vertikální kořeny) ve vyšším věku odumírají.

Studie kořenových systémů jeřábu na pseudoglejích prokázaly, že na tomto typu půd koření mělce (Mayer, 1977; Namvar, Spethmann, 1985) a dosahují do hloubky cca 60 cm (Kreutzer, 1961). Uvedený autor považuje jeřáb za dřevinu, která je ohrožována nedostatkem kyslíku a zamokřením.

Většina archeologických studií, zaměřených na posouzení architektiky kořenového systému jednotlivých dřevin, byla realizován u soliterně rostoucích stromů nebo v nesmíšených porostech. O rozložení kořenových systémů jednotlivých druhů v půdním prostoru a jejich vzájemném ovlivňování je informací méně. Dílčí poznatky o distribuci kořenů buku a smrku ve smíšeném porostu publikoval Rothe (1997) a někteří další, jím citovaní, autoři. O distribuci kořenů jeřábů však poznatky chybí. Cílem práce bylo zjistit, jak obsazují dřeviny přípravného a přechodného horského lesa půdní prostor a posoudit jejich vzájemné vztahy.

Materiál a metody

Materiál

S cílem získat informace o rozložení kořenových systémů dřevin přechodného horského lesa a posoudit vzájemné vztahy mezi sledovanými dřevinami v půdním prostoru, byly v roce 1999 v oblasti LS Ostravice analyzovány kořenové systémy smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.), buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia* L.) ve věku 20 až 60 let. K analýzám byly zvoleny přibližně stejně staré a vedle sebe rostoucí stromy uvedených druhů dřevin. Stromy byly od sebe vzdáleny maximálně 2 m. Byla hodnocena skupina cca šedesátiletých stromů smrk – jeřáb – buk, cca čtyřicetiletých stromů jeřáb – buk – smrk (pořadí vedle sebe rostoucích dřevin) a tyto analýzy byly doplněny kombinacemi cca dvacetiletých stromů jeřáb – smrk, jeřáb – buk a buk – smrk. Skupina šedesátiletých dřevin se nacházela v porostu 260E, ostatní analýzy byly realizovány v porostu 548D. Oba porosty spolu bezprostředně sousedí.

Charakteristika porostů

Porost 260E se nachází ve svahu (nadmořská výška 1 120 m, sklon 30°), půdním typem je kambizem typická mezotrofní, mírně oglejená. Humusové horizonty zasahují do hloubky cca 29 cm, v hloubce 110 cm je nepropustné skalnaté podloží.

Porost 548D se nachází ve svahu (nadm. výška 1100 m, sklon 30°), půdním typem je typický podzol, který místy přechází do kryptopodzolu typického oglejeného. Humusové horizonty zasahují do hloubky cca 20 cm, v hloubce cca 120 cm je neprostupné skalnaté podloží (horizonty jsou nepravidelné mocnosti a jsou na nich patrné přesuny v důsledku splachu).

Metody

Hodnocení kořenových systémů šedesátiletých stromů

Architektonika kořenového systému šedesátiletých stromů byla hodnocena nedestruktivně pomocí půdního georadaru. Princip použité metody spočívá v tom, že vysílač umístěný na půdním povrchu vysílá do země elektromagnetické vlny, které jsou, po odrazu od tělesa v zemi, zpětně přijímány. Tím je zachycen a s pomocí dalšího přístrojového vybavení i vykreslen řez půdního profilu. Zachyceny a vykresleny mohou být nejen předměty, ale i půdní vrstvy. Vlastní geofyzikální měření bylo provedeno georadarovým systémem Pulse EKKO 1000 firmy Sensora and Software, které při použití stíněných antén o frekvenci 450 MHz umožnilo detekovat kořeny silnější než cca 1 cm do hloubky 2,5 m. Geofyzikální měření i interpretace výsledků byly realizovány v součinnosti a firmou Geofyzika, a.s. Brno. Měření se uskutečnilo v síti profilů vzdálených od sebe 25 cm, vedených ve dvou navzájem kolmých směrech (po spádnici a po vrstevnici). Vzdálenost měřených bodů (krok měření) byla na všech profilech 5 cm.

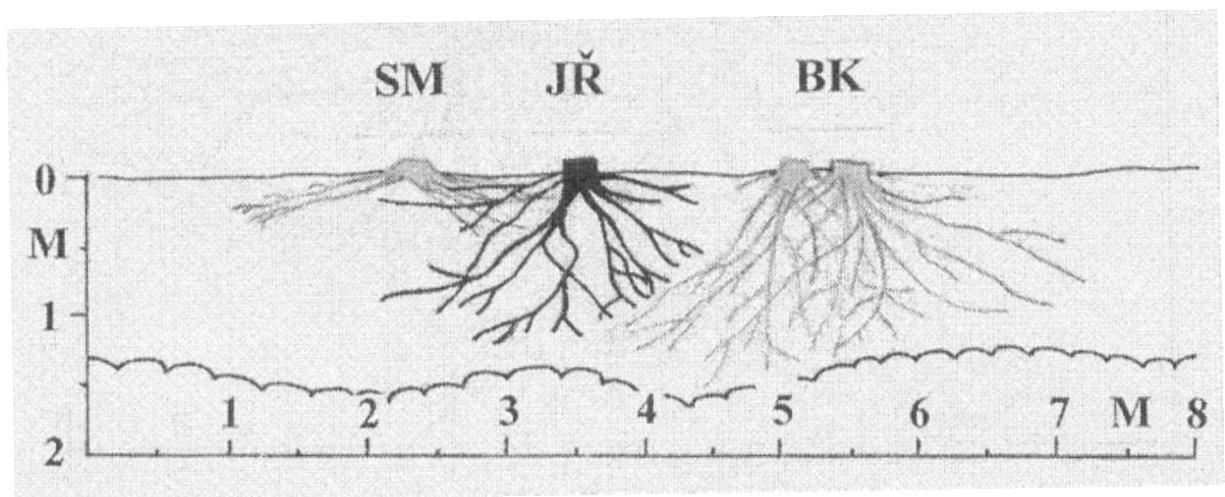
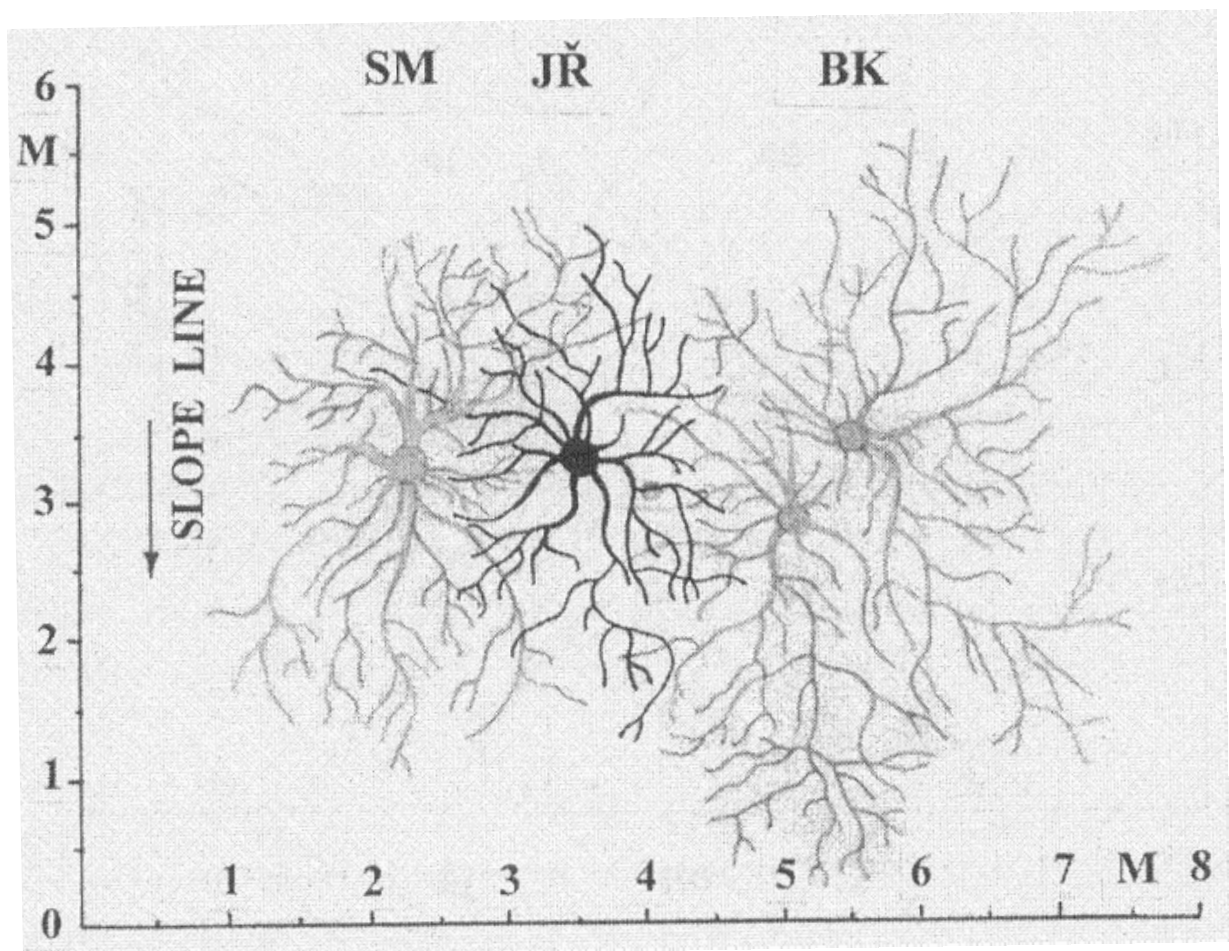
Hodnocení kořenových systémů mladších stromů

U mladších dřevin byly kořenové systémy vyzvedávány ručně - archeologickým způsobem. Při vyzvedávání byly postupně odstraňovány půdní horizonty a zaznamenávána jejich mocnost. Horizontální i vertikální kořeny byly uvolňovány a sledovány do tloušťky 1 cm. Průběžně byly pořizovány nákresy a fotodokumentace.

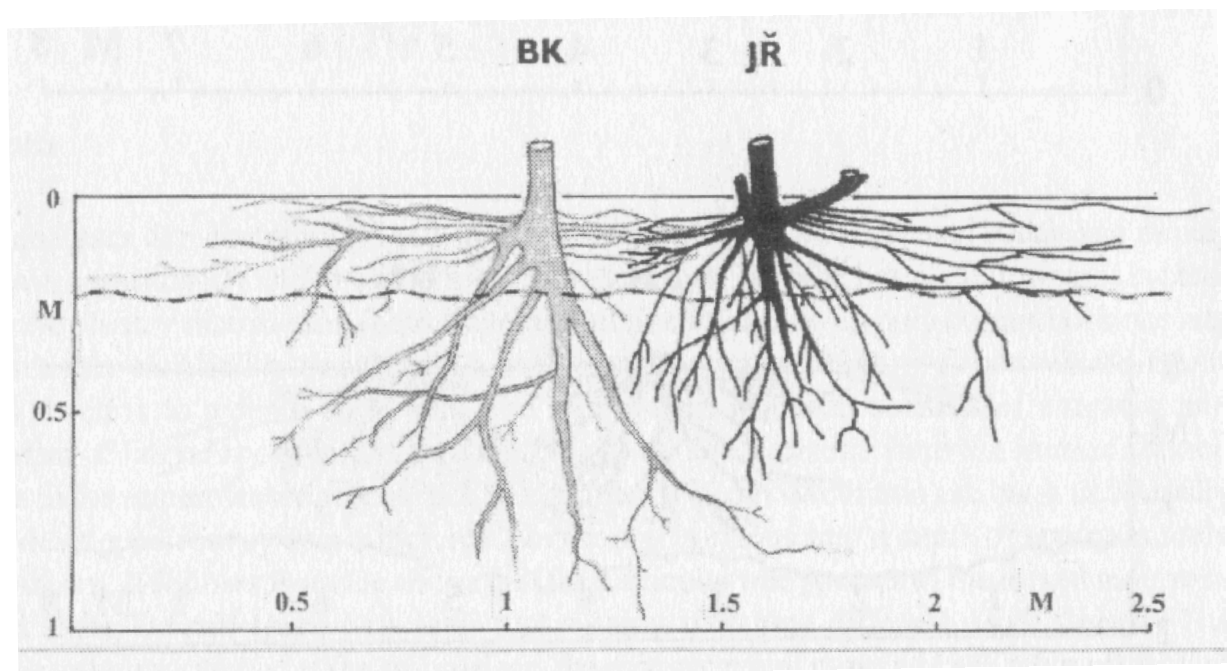
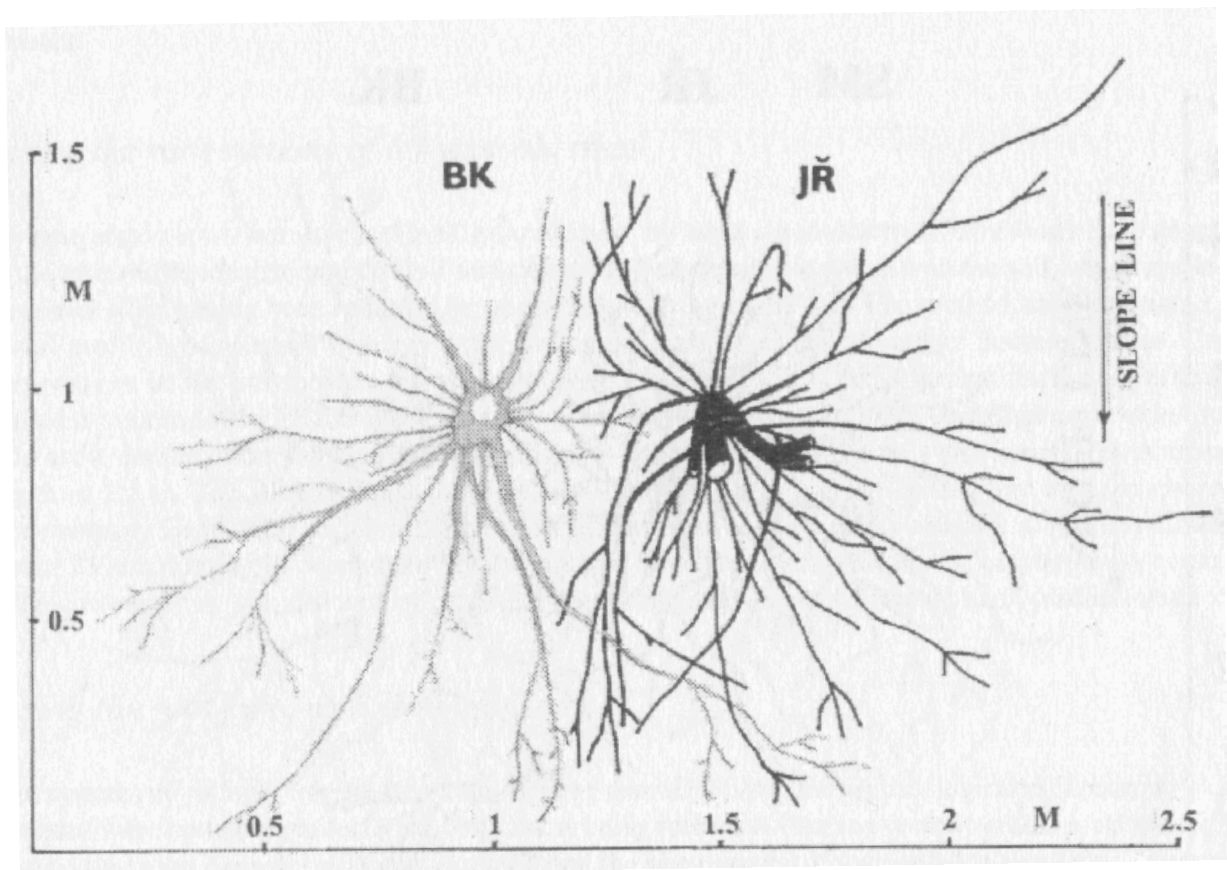
Výsledky

Analýzy prokázaly (obr. 1 až 4), že se kořenové systémy smrku, buku a jeřábu na sledované lokalitě významně liší. Smrk má plošně rozložený mělký kořenový systém (kosterní i jemné kořeny obsazují pouze humusové horizonty a horizont obohacený), s minimálním množstvím kotevních kořenů, které zasahují nejvýše do hloubky 40 cm. Kořenový systém buku je tvořen kúlovým kořenem a systémem bočních kořenů. Prokořeňuje všechny půdní horizonty od humusového až k neprostupnému skalnatému podloží do hloubky 120 cm. Jeřáb má všestranně rozvinutý kořenový systém a prokořeňuje půdní horizonty až do hloubky cca 60 - 100 cm. Jednotlivé druhy dřevin smíšeného horského lesa se tedy vzájemně dělí o půdní prostor a jejich kořenové systémy zaujímají různá hloubková patra. Smrkové kořeny jsou uloženy při povrchu, jeřáb obsazuje půdní prostor do hloubky 100 cm. Nejhlubší úroveň zaujímá kořenový systém buku. Hloubka prokořenění, dosažená sledovanými druhy dřevin, se u dvacetiletých a šedesátiletých stromů podstatně neliší.

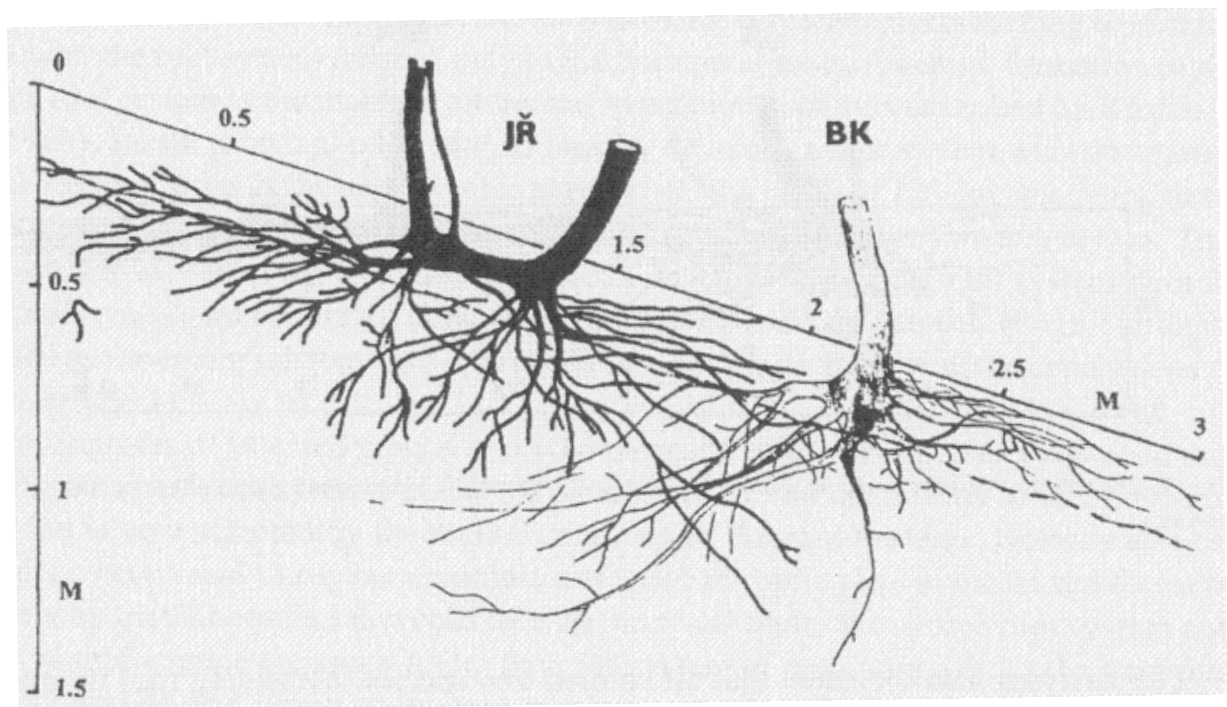
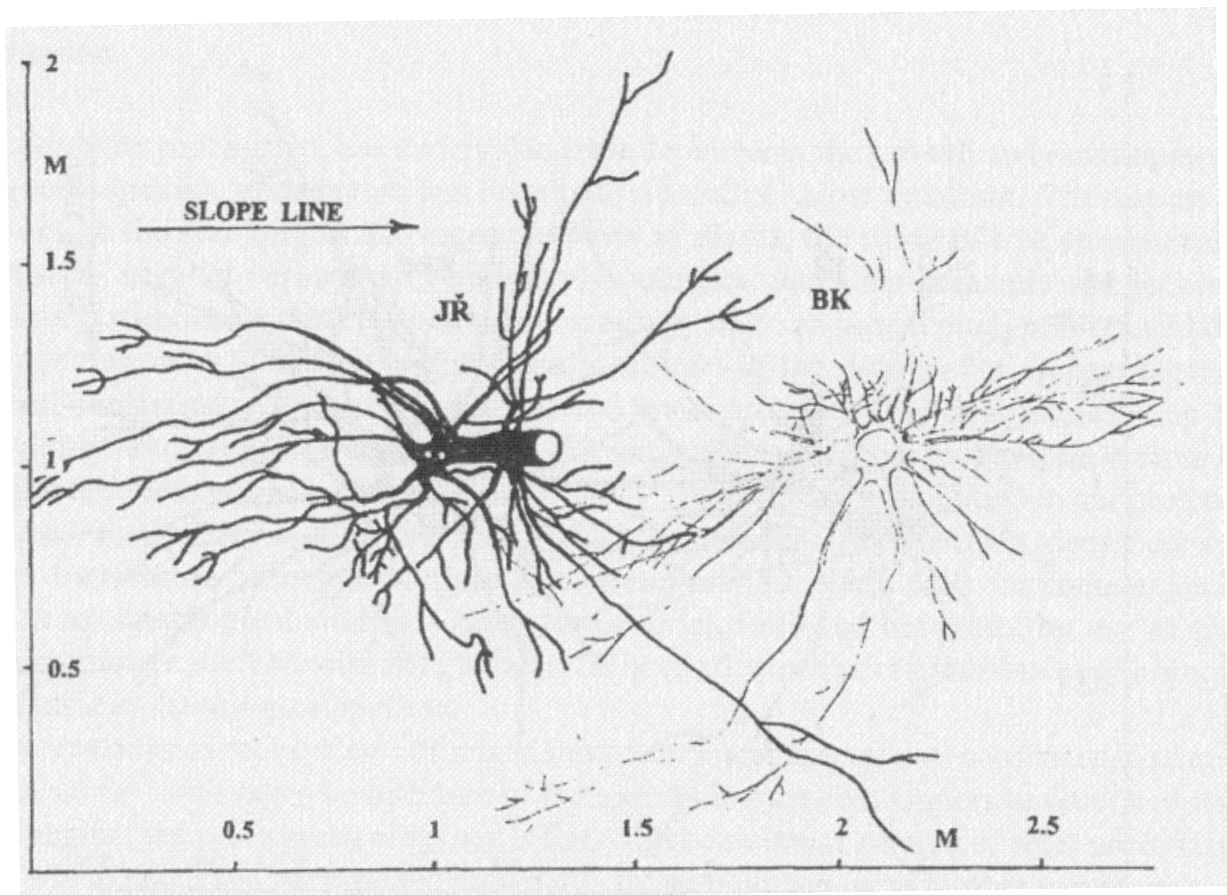
Z analýz vyplynulo, že všechny sledované dřeviny prokořeňují intenzivně humusové horizonty a horizont obohacený. Pokud rostou vedle sebe stromy jeřábu a smrku nebo stromy smrku a buku, jejich kořeny se vyskytují ve stejném prostoru (rostou vedle sebe a snášejí se). I když dochází k vzájemnému prorůstání kořenových systémů těchto skupin dřevin, větší počet kořenových větví a obzvláště jemných kořenů jednotlivých dřevin se nachází v místech, kde ke vzájemnému prorůstání nedošlo. Sousedí-li však blízko sebe stromy buku a jeřábu, jejich kořeny do stejných prostor nikdy nepronikají (nesnáší se, nerostou vedle sebe). V tomto případě obsazuje kořenový systém buku prostor pod kořenovým systémem jeřábu. To má za



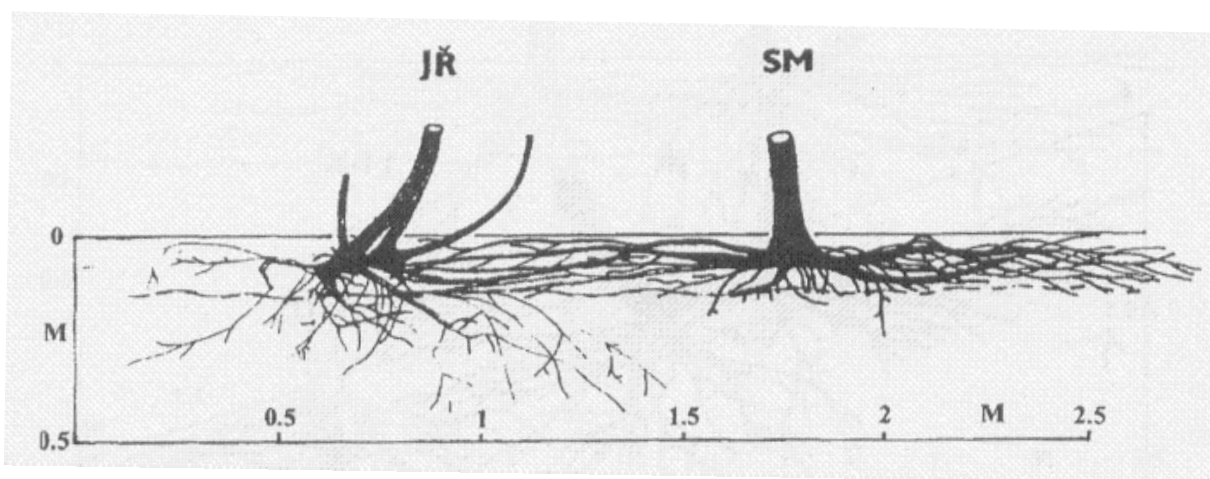
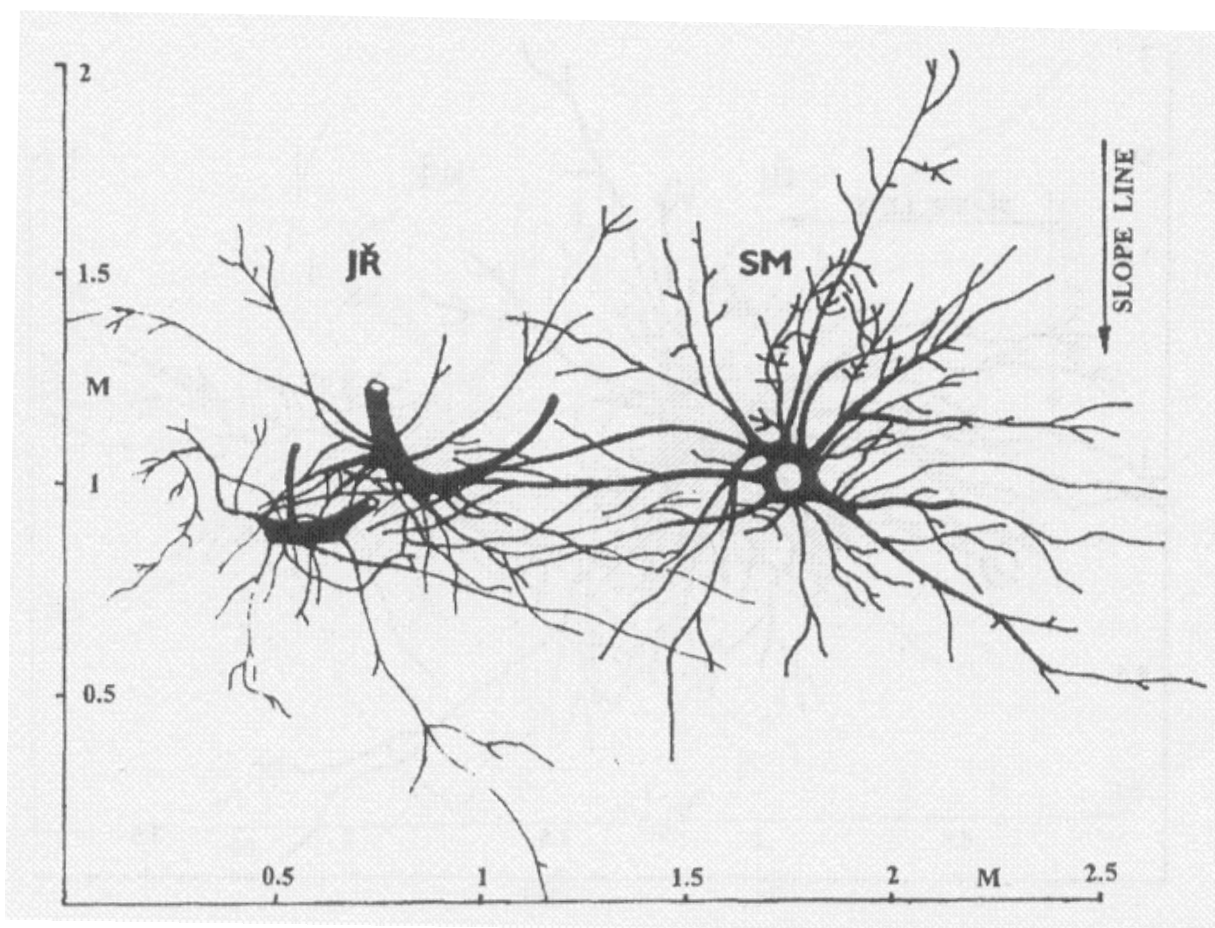
Obr. 1: Rozložení kořenových systémů, porost 260E, věk 60 let (SM – smrk ztepilý, JŘ – jeřáb ptačí, BK – buk lesní; na řezu jde pouze o kořeny ve vzdálenosti do cca 50 cm od báze kmene)



Obr. 2: Rozložení kořenových systémů, porost 548D, věk 20 let (BK – buk lesní, JŘ – jeřáb ptačí)



Obr. 3: Rozložení kořenových systémů, porost 548 D, věk 20 let (JŘ – jeřáb ptačí, BK – buk lesní)



Obr. 4: Rozložení kořenových systémů, porost 548D, věk 20 let (JŘ – jeřáb ptačí, SM – smrk ztepilý)

následek nesymetrie v rozložení kořenů jeřábu a buku v půdním prostoru, nebo jejich deformaci. Takové rozložení kořenového systému jeřábu a buku bylo zjištěno i v případě, že buk a jeřáb rostly jako skupina osamoceně a měly tudíž možnost zaujímat velký prostor vně, kde žádná větší kořenová konkurence nebyla.

Z analýz rovněž vyplynulo, že všechny sledované dřeviny intenzivně prokořeňují humusové horizonty a horizont obohacený. Smrk má všechny své jemné kořeny pouze v těchto organických horizontech, obzvláště mladší buky mají v těchto horizontech podstatnou část svých jemných kořenů, zatímco jeřáb bez rozdílu věku má významnou část svých jemných kořenů i v horizontech minerálních.

Diskuse

I když má kořenový systém nezastupitelnou funkci v růstu a vývoji dřevin, jeho výzkumu je věnována dosud poměrně malá pozornost. Příčinou tohoto stavu je, že studium kořenových systémů dřevin je, na rozdíl od sledování nadzemní části, velmi pracné, metodicky i časově náročné a dosud chybí vhodné přístrojové vybavení. Proto se pro většinu rhizologických analýz, zaměřených na sledování architektiky kořenového systému, používá destruktivní archeologická metoda, tzn. vykopávání a postupné odkrývání jednotlivých větví až celého kořenového systému. Alternativu k tomu způsobu hodnocení architektiky kořenových systémů představuje nedestruktivní metoda měření georadarem, kterou jsme aplikovali v našem sledování. Pro správnou interpretaci výsledků pořízených georadarem, tedy pro přesnou identifikaci rozložení kořenové sítě konkrétního stromu, jsou nezbytné zkušenosti z rhizologických studií. Závěry, které vyplynuly z použití nedestruktivní metody georadaru, v plném rozsahu potvrdily výsledky získané klasickou archeologickou metodou.

Analýzy kořenových systémů dřevin smíšeného horského lesa potvrdily odlišnosti v architektice kořenových systémů jednotlivých druhů. Kořenový systém smrku v podmínkách dané oblasti je plochý, s minimálním množstvím krátkých kotevních kořenů dosahujících maximálně do hloubky 40 cm, přesto, že se neprostupné podloží nachází v hloubce cca 120 cm. Příčinou jsou půdní podmínky - typický podzol, přecházející místy v kryptopodzol typický oglejený. Také Polomski, Kuhn (1998) popsali, že vertikální kořeny smrku jsou ve vlhkých půdách velmi krátké a větvené, nebo chybí zcela a kořenový systém je redukován jen na kořeny horizontální. Obdobné utváření kořenového systému smrku v montánním stupni popsali Köstler et al (1968). Buk vytváří ve sledované lokalitě kořenový systém s křivým kořenem, který zasahuje až k neprostupnému podloží v hloubce 120 cm, a bočními kořeny, které v horizontálním směru nepřesahují průmět koruny. To souhlasí s konstatováním, že buk vytváří kompaktní kořenový systém a jeho horizontální kořeny neprorůstají daleko za obvod koruny (Drexhage, Lüpke, 1995). Hloubkový dosah kořenů jeřábu (60 - 100 cm) odpovídá závěrům Kreuzera (1961).

Analýzy vybraných skupin dřevin smíšeného horského lesa prokázaly, že utváření kořenových systémů je modifikováno nejen podmínkami půdního prostředí, ale je ovlivňováno i jejich vzájemnými vztahy. Smrk ztepilý, buk lesní a jeřáb ptačí se ve smíšeném lese dělí o půdní prostor, a to tak, že jeřáb obsazuje prostor pod kořenovým systémem smrku a buk obsazuje prostor pod kořenovým systémem jeřábu. Rostou-li vedle sebe smrk a buk, buk obsazuje prostor pod kořenovým systémem smrku. Toto uspořádání vyplývá z charakteru kořenových systémů a možností hloubkového dosahu kořenů jednotlivých dřevin. Humusový a obohacený horizont je obsazen kořeny všech sledovaných druhů. Přitom kořeny smrku a jeřábu a kořeny smrku a buku se i zčásti prorůstají, zatímco kořeny buku a jeřábu do stejných prostor nikdy nepronikají. Také Rothe (1997) ve smíšeném smrko-bukovém porostu

zjistil, že kořeny obou druhů se ve vrstvě do 30 cm překrývají. Ve srovnání s čistým bukovým porostem jsou však ve smíšeném porostu kořeny buku uloženy hlouběji.

Příčinou zjištěného uspořádání kořenových systémů sledovaných dřevin mohou být, podle našeho názoru, alelopatické nebo konkurenční vztahy.

O případném alelopatickém působení jednotlivých sledovaných druhů nebyly v literatuře nalezeny informace, s výjimkou údajů o inhibičním vlivu látek z malvic jeřábu na klíčení semen (Datta, Sinha Roy, 1974). Pouze Wittkopf (1995 ex Rothe 1997) považuje za jednu z možných příčin přesunu kořenů buku do hlubších vrstev pod kořenový systém smrku ve smíšeném smrko-bukovém porostu vylučování alelopatických látek kořeny smrku. Naopak, Polomski, Kuhn (1998) uvádějí, že kořeny buku se v humusovém horizontu velmi intenzivně větví (vytváří extrémně hustou síť) a představují silnou konkurenci pro jedince stejného i jiných druhů. Autoři považují proto buk v kořenové oblasti za zjevně nesnášenlivý druh. Namvar, Spethmann (1985) hodnotí jeřáb jako dřevinu dobře snášenlivou vzhledem k ostatním druhům dřevin, a to jak v korunové, tak i kořenové části.

Jinou příčinou zjištěného uspořádání kořenů v půdním profilu může být rozdílná časová dynamika růstu kořenů. Götsche (1972) zjistil u buku značnou závislost rozvoje jemných kořenů na ročním období. Podle uvedeného autora růst jemných kořenů dosahuje maxima na konci května a počátku června. To souhlasí s dobou maximálního růstu kořenů jeřábu (rovněž konec května a červen), kterou zjistil Witt (1987), zatímco ke kulminaci růstu kořenů smrku dochází po malém zvýšení v květnu především v letním období (konec srpna a počátek září), podle Leibundguta et al. (1963) až do poloviny října. Podle Witta (1987) se v období zvýšeného růstu kořenů zvyšuje i příjem živin. Z šetření Nebeho a Opfermanna (1998), kteří srovnávali výsledky listových analýz asimilačních orgánů jeřábu a buku na velkém počtu stanovišť, vyplývá, že obsah K, Ca a Mg v listech jeřábu je dvojnásobně vyšší než v listech buku. O vysokém obsahu bazických kationtů vápníku a hořčíku v listech jeřábu informoval i Hillebrand (1995). Rozdílná dynamika růstu kořenů a příjmu živin by mohla být jedním z faktorů ovlivňujících distribuci kořenů jednotlivých druhů v půdním prostoru v našich šetřeních. Nemůžeme však vyloučit, že kromě kompetice o živiny se může jednat také o přímé vztahy realizované přes kořenové exudáty, rozdílnou účinnost mykorrhiz a svoji roli může sehrát i rozdílná funkce jednotlivých kořenů v rámci kořenové sítě (kořeny zajišťující živiny, kořeny zajišťující vodu).

I když v práci předložené výsledky byly získány pouze na jednom stanovišti, lze formulovat některá doporučení, která mohou osvětlit a minimalizovat stres (přirozený i antropogenní) předmětných dřevin v praktické lesnické činnosti.

- Změna půdních podmínek bude mít největší vliv na smrk, poté obzvláště v čisté monokultuře na buk a relativně nejvíce bude odolávat jeřáb (na změnu půdních podmínek nejdříve reagují jemné kořeny).
- Na mělkých půdách bude výsadba buku a jeřábu stresována (dřeviny se nemohou podělit o půdní prostor vzájemným prorůstáním nebo podrůstáním kořenů).
- Není vhodné realizovat dlouhodobé podsadby buku do plně zakmeněných jeřábových porostů (dřeviny si vzájemně konkurují a může dojít minimálně k výrazné změně architektiky kořenového systému buku).

Závěr

Z analýzy architektiky kořenových systémů vedle sebe rostoucích dvaceti až šedesátiletých stromů buku lesního, smrku ztepilého a jeřábu ptačího v horském lese lze vyvodit tyto závěry:

- Dřeviny ve dvaceti letech dosahují téměř stejné hloubky prokořenění jako dřeviny šedesátileté. Smrk obsazuje pouze humusové horizonty a horizont obohacený a vytváří

minimální množství kotev, které zasahují do hloubky maximálně 40 cm. Buk prokořeňuje půdní horizonty až k nepropustnému skalnatému podloží v hloubce 120 cm. Jeřáb prokořeňuje půdní horizonty do hloubky cca 60 až 100 cm.

- Jeřáb a smrk, stejně tak jako smrk a buk, prokořeňují stejný prostor humusových horizontů a obohaceného horizontu (snášejí se, rostou vedle sebe). Kořeny buku a jeřábu však do stejných prostor nikdy nepronikají, byť tato skutečnost znamená častou deformaci jejich kořenů (nesnáší se, nerostou vedle sebe).
- Jeřáb proniká a obsazuje prostor pod kořenovým systémem smrku, buk proniká a obsazuje prostor pod kořenovým systémem jeřábu. Sousedí-li smrk a buk, buk obsazuje prostor pod kořenovým systémem smrku.
- Vzájemné podrůstání kořenových systémů (vyplňování půdního prostoru jednou dřevinou pod dřevinou druhou) vyvolává nesymetrii rozložení kořenů jeřábu a buku v půdním profilu. K obsazování prostoru pod kořenovým systémem dochází i v tom případě, že stromy (např. buk a jeřáb) rostou jako skupina osamoceně (soliterně) a mají tudíž možnost obsazovat velký prostor vně, kde žádná větší kořenová konkurence není.
- I když dochází k vzájemnému prorůstání kořenových systémů (jeřáb-smrk, buk-smrk), větší počet kořenových větví a obzvláště jemných kořenů jednotlivých dřevin se nachází v místech, kde ke vzájemnému prorůstání nedošlo.

Lze tedy konstatovat, že smrk ztepilý, buk lesní a jeřáb ptačí se ve smíšeném lese dělí o půdní prostor. Pouze vztah mezi jeřábem a bukem můžeme považovat za vztah antagonistický.

Seznam použité literatury

Aas, G., 1997: Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) Dendrologische Anmerkungen zu einer forstlich wenig beachteten Baumart. Allg. Forstz., 52, s. 520 – 521.

Datta, S.C., Sinha Roy, S. P., 1974: Allelopathy and inhibitors. Sci. and Cult., 40, s. 47 – 59.

Drexhage, M., Lüpke, B., 1995: Sproß- und Wurzeluntersuchungen im Rahmen eines EU-Projekts – Projektbeschreibung und erste Ergebnisse. In: Tagung der Sektion Waldbau, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten vom 4. – 6. 10. 1995 in Göttingen, NFW Göttingen 1995, s. 25 – 33.

Göttsche, D., 1972: Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen und Fichtenbestandes im Solling. Mitt. Bundesforsch.anst. Forst u. Holzwirtsch., 88, 102 s.

Hillebrand, K., 1995: Untersuchungen zu Wachstum und Ökologie älterer Vogelbeere-Fichtengruppen in Hochlagen. In: Tagung der Sektion Waldbau, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten vom 4. – 6. 10. 1995 in Göttingen, NFW Göttingen, s. 69 – 76.

Chmelař, J., 1983: Dendrologie s ekologií lesních dřevin. 3. část – Méně významné domácí a cizí listnáče. SPN Praha, 179 s.

Kapper, P., 1952: Rjabina obyknovennaja ili gorkaja. Les. Choz., 5, s. 37 – 38.

Köstler, J. N., Brückner, E., Biebelrhietter, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Veralag Paul Parey Hamburg und Berlin, 282 s.

Kreutzer, L., 1961: Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. Forstwiss. Cbl., 80, s. 356 – 392.

Leibundgut, H., Dafis, s., Richard, f., 1963: Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. Schweiz. Z. Forstwes., 114, s. 621 – 645.

- Mayer, H., 1977: Waldbau. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York, 483 pp.
- Mößmer, E., M., Ammer, U., 1994: Pioniereigenschaften von Gehölzen in Schneegleitgefährdeten Schutzwaldlagen im montanen und Subalpinen Bereich der Bayerischen Kalkalpen. Forstl. Forschungsber. München, No. 140, 120 s.
- Namvar, K., Spethmann, W., 1985: Die Baumarten der Gattung Sorbus: Vogelbeere, Mehlbeere, Elsbeere und Speierling. Allg. Forstz., 36, s. 937 – 943.
- Nebe, W., Opfermann, M., 1998: Zur Ernährung der Eberesche (*Sorbus aucuparia* L) im Vergleich zur Buche (*Fagus sylvatica* L.) Forst u. Holz, 53, s. 48 – 50.
- Polomski, J., Kuhn, N., 1998: Wurzelsysteme. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 290 s.
- Puhe, J., 1994: Die Wurzelentwicklung der Fichte (*Picea abies* L. Karst.) bei unterschiedlichen chemischen Bodenbedingungen. Berichte d. Forschungszentrum Waldökosystem, Reihe A, Band 108, 128 s.
- Rothe, A., 1997: Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Högelwald. Forstl. Forschungsber. München, No. 163, 213 s.
- Svoboda, P., 1937: Z biologie jeřábu. Lesnická práce, 16, s. 337 – 357
- Svoboda, P., 1957: Lesní dřeviny a jejich porosty. Část III, SZN Praha, 457 s.
- Válek, Z., 1967: Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. SZN Praha, 203 s.
- Witt, H.H., 1987: Bedarfsorientierte Düngung bei Containerpflanzen. Versuche bestätigen die Übereinstimmung von Wurzelwachstum und Nährstoffentzug. Dtsch. Baumsch., 39, s. 211 – 214.

K některým aspektům vývinu kořenového systému lesních dřevin (cenotické postavení stromu, výchovné zásahy, zemědělské půdy)

Oldřich Mauer

I když je kořenový systém základem stromu, zajišťuje všechny jeho základní funkce, o jejich vývinu (architektonice) máme málo informací. Často ani nevíme, jak vypadá kořenový systém dvou vedle sebe stojících stromů, nebo jak reaguje kořenový systém na výchovný zásah. Cílem příspěvku proto je přispět k objasnění, jaký je vývin kořenového systému v závislosti na cenotické postavení stromu, po výchovném zásahu a jak se vyvíjí kořenový systém po výsadbě na zemědělských půdách.

Detailnější upřesnění metodických postupů bude uvedeno přímo u jednotlivých ověřování. Všem ověřování je však společné. V každém aspektu ověřování bylo vždy analyzováno minimálně 6 stromů. Všechny kořenové systémy byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem. I když u každého vyzvednutého kořenového systému byla zjišťována celá řada parametrů, v tabulkách výsledků jsou uvedeny čtyři rozhodující.

- I_p celého systému (v tabulkách výsledků označeno I_p) – je hodnota vypočítaná a udává vztah mezi velikostí kořenového systému a nadzemní částí stromu. Konkrétně jde o podíl ploch příčných průřezů všech kosterních kořenů (horizontálních kosterních kořenů i všech kotev) v mm^2 k délce nadzemní části stromu v cm. Čím je hodnota I_p větší, tím větší má strom k dané délce nadzemní části kořenový systém.
- Hloubka prokořenění – je kolmá vzdálenost od povrchu půdy po nejhluběji zasahující část kořenového systému.
- Biomasa jemných kořenů. Jemné kořeny jsou kořeny o tloušťce do 2 mm (zajišťující převážnou část výživy a vody). Byly zjišťovány pouze při analýzách kořenového systému na zemědělských půdách. V každém porostu bylo pomocí půdního vzorkovače odebráno 30 půdních výkrojů do hloubky 30 cm, které byly v laboratoři homogenizovány, z homogenátu odebráno 6 rozborových vzorků, ve kterých po ruční separaci jemných kořenů a jejich vysušení byla zjišťována jejich biomasa (v g na 100 ml půdy).
- Hniloby kořenového systému – každý kořen byl podélně rozříznut a byl zjišťován výskyt hnilob.

Všechny analýzy byly realizovány na rovinách, jestliže v textu není uvedeno jinak, analyzované porosty měly věk 50 let. Pro všechny analýzy byly vybírány pouze porosty, které nejevily žádné známky poškození nebo ztráty vitality, všechny porosty měly zakmenění 1,0. Pro přehlednost jsou všechny výsledky uvedeny v procentech ke kontrole.

Vliv cenotického postavení stromu na vývin kořenového systému

Zvlášť byly analyzovány stromy rostoucí na hlubokých půdách (nepropustná vrstva pro kořeny byla v hloubce 110 cm) a na mělkých půdách (nepropustná vrstva pro kořeny byla v hloubce 40 cm). Analyzovány byly stromy na kambizemích, SLT 4S. Analyzovány byly vedle sebe stojící stromy různého cenotického postavení (nadúrovňové stromy – převyšovaly úrovňové stromy cca o 3 m, podúrovňové stromy – jejich vrchol byl cca 3 m pod úrovňovými stromy, kontrolou byly stromy úrovňové).

Z výsledků ověřování lze vyvodit tyto závěry (tab. 1a, 1b):

- Na hlubokých půdách mají nadúrovňové stromy v 30 až 40 % větší hodnotu I_p a o 30 až 50 % větší hloubku prokořenění než stromy úrovňové. Stromy podúrovňové mají oba sledované parametry o 50 % menší než stromy úrovňové.

- Na mělkých půdách mají u BO, SM a BK všechny sledované stromy stejnou hloubku prokořenění – dosahují na pro kořeny neprostupnou vrstvu, DBZ proniká i do této vrstvy. Nadúrovňové stromy mají až 2x větší hodnotu I_p než stromy úrovňové (obzvláště v kategorii horizontálních kosterních kořenů), stromy podúrovňové mají cca o 50-60 hodnotu I_p menší než stromy úrovňové.

Vývin kořenového systému stejně vysokých úrovňových, ale rozdílně tlustých stromů

Analyzovány byly stromy na hlubokých kambizemních půdách (nepropustná vrstva pro kořeny byla v hloubce 90 cm), SLT 4S, 4K, u DBL na fluvizemi, SLT 1L. Stromy byly stejně vysoké, rozdíly v tloušťce (v $d_{1,3}$) byly 20 až 30 %. Kontrolou byly stromy tlusté.

Z výsledků ověřování vyplývá (tab. 2), že úrovňové slabší stromy mají stejnou hloubku prokořenění jako stromy tlusté, od tlustých se však liší menší hodnotou I_p (cca o 20 % a to obzvláště v kategorii horizontálních kosterních kořenů).

Vývin kořenového systému stejně vysokých a tlustých stromů na okraji a uvnitř porostu

Analyzovány byly stromy rostoucí na hlubokých půdách – ve stejných porostech, kde byl sledován vliv cenotického postavení stromu (viz tab. 1a). Kontrolou byly stromy rostoucí uvnitř porostu.

Výsledky jednoznačně dokladují (tab. 3), že okrajové stromy mají o 50 % větší hloubku prokořenění a více jak dvakrát větší hodnotu I_p . V porovnání s tab. 1a vyplývá, že oproti nadúrovňových stromů uvnitř porostu mají okrajové stromy stejnou hloubku prokořenění, ale podstatně větší hodnotu I_p (I_p nadúrovňově cca 140 %, I_p okrajových stromů přes 210 %).

Vliv výchovných zásahů na vývin kořenového systému

Analyzovány byly smrkové porosty (kambiem, HS 43) a bukové porosty (kambiem, HS 45) ve věku 15, 35 a 50 let. V porostech byl proveden slabý výchovný zásah (odstraněno 20 % porostní zásoby) a silný výchovný zásah (odstraněno 50 % porostní zásoby), část porostu byla bez zásahu. Všechny analýzy kořenového systému byly realizovány 5 let po zásahu. Kontrolou jsou porosty bez zásahu.

Z výsledků vyplývají tyto závěry (tab. 4):

- Buk i smrk reagovaly na výchovné zásahy shodně.
- Čím je porost mladší, tím větší je odezva výchovného zásahu na vývin kořenového systému, padesátileté porosty téměř nereagují ani na silný výchovný zásah.
- Čím je zásah silnější, tím větší je odezva kořenového systému.
- Chceme-li vypěstovat strom se silným kořenovým systémem, je třeba realizovat silné výchovné zásahy v co nejmladším věku. Slabý výchovný zásah ve třiceti letech již vývin kořenového systému zásadně neovlivňuje.

Vývin kořenového systému po zalesňování zemědělských půd

Za posledních sto let proběhly tři velké vlny zalesňování zemědělských půd. Kvalita těchto porostů však někdy nebyla a není dobrá. Na zemědělských půdách vznikly netvárné porosty výrazně poškozené hnilobami, porosty mechanicky velmi labilní s výrazně zkráceným obmýtím (často nepřežijí polovinu svého obmýtí). Důvod – zemědělské půdy byly zalesňovány stejně jako okolní lesní porosty. V závislosti na intenzitě zemědělského obhospodařování však dochází k přeměně ekosystému zemědělské půdy na půdu lesní za 20 až 50 let po zalesnění.

Tab. 1a: Vliv cenotického postavení stromu na vývin kořenového systému na hlubokých půdách (výsledky jsou uvedeny v procentech - 100 % úroveň)

Dřevina	Nadúroveň		Úroveň		Podúroveň	
	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění
DBZ	138	127	100	100	55	76
BO	127	148	100	100	68	47
SM	145	153	100	100	47	51
BK	142	137	100	100	46	46

Tab. 1b: Vliv cenotického postavení stromu na vývin kořenového systému na mělkých půdách (výsledky jsou uvedeny v procentech - 100 % úroveň)

Dřevina	Nadúroveň		Úroveň		Podúroveň	
	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění
DBZ	178	160	100	100+	63	193
BO	192	100	100	100	65	100
SM	220	100	100	100	46	100
BK	191	100	100	100	51	100

+oproti BO, SM, BK je hodnota 147

Tab. 2: Vývin kořenového systému stejně vysokých, úrovnňových, rozdílně tlustých stromů (rozdíly v tloušťce $d_{1,3}$ 20 až 30 %, výsledky jsou uvedeny v procentech - 100 % tlusté)

Dřevina	Tlusté		Slabé	
	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění
DBL	100	100	81	95
BO	100	100	78	106
SM	100	100	75	98
BK	100	100	83	97
DG	100	100	83	102

Tab. 3: Vývin kořenového systému stejně vysokých a stejně tlustých stromů na okraji a uvnitř porostu (výsledky jsou uvedeny v procentech - 100 % uvnitř porostu)

Dřevina	Okraj porostu		Uvnitř porostu	
	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění
BK	240	157	100	100
SM	210	143	100	100

Tab. 4: Vliv výchovných zásahů na vývin kořenového systému (výsledky jsou uvedeny v procentech pět let po zásahu - 100 % bez zásahu)

Dřevina a její věk	Bez zásahu		Slabý zásah		Silný zásah	
	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění	Ip	Hloubka prokořenění
BK 15	100	100	141	137	240	164
35	100	100	126	117	162	132
60	100	100	105	104	108	108
SM 12	100	100	138	126	221	144
30	100	100	121	109	175	142
50	100	100	111	101	115	102

Tab. 5: Vývin kořenového systému na zemědělských půdách (některé výsledky jsou uvedeny v procentech - 100% lesní porosty; v čitateli lesní porost, ve jmenovateli zemědělská půda)

Dřevina	Ip	Hloubka prokořenění (cm)	Biomasa jemných kořenů	Hniloby kořn. systémů (v % stromů)	Deformace kořen. systémů (v % stromů)
BK	100/61	97/41	100/57	0/0	0/100
SM	100/73	62/35	100/68	30/100	0/0
DG	100/76	113/102	100/73	0/30	0/0
BO	100/56	106/38	100/55	X.70	0/70

Analyzován byl vývin kořenového systému lesních porostů na orných zemědělských půdách 12 až 15 let po zalesnění. Kontrolou byly stejně staré porosty obnovené na lesních půdách. Z analýz vyplynuly tyto závěry:

- Stromy na zemědělských půdách mají o 30 až 40 % menší hodnotu Ip.
- Pouze douglaska pronikla svým kořenovým systémem do ztuhlé podorniční vrstvy, ostatní dřeviny do podorniční vrstvy nepronikají. V porovnání s lesní půdou prokořeňují pouze třetinu půdního profilu, u borovice a buku byly zjištěny vážné deformace do L.
- Stromy na zemědělských půdách mají o 30 až 50 % menší biomasu jemných kořenů.
- Všechny smrky a většina borovic má na zemědělských půdách hniloby kořenového systému.

Výše uvedené výsledky podporují tendenci závěrů z celé řady dalších analýz kořenového systému realizovaných na zemědělských půdách (různé druhy dřevin, rozdílné stáří). S výjimkou olše, dubu a douglasky všechny ostatní dřeviny vytváří povrchový (často deformovaný kořenový systém – lze omezit výrazným prokypřením podorniční vrstvy před sadbou minimálně do hloubky 80 cm), vzhledem k velké trofnosti zemědělských půd je kořenový systém až o 50 % menší (jak hodnoty Ip, tak biomasa jemných kořenů), jehličnaté dřeviny (s výjimkou DG) jsou výrazně napadány parazitickými houbami (100 % napadení je u smrku – václavka, červená hniloba – a to již po pěti letech po výsadbě).

Chemické a mechanické možnosti ovlivnění tvorby kořenového systému lesních dřevin

Anna Bártová, Oldřich Mauer

Úvod a cíl práce

Technologie pěstování sadebního materiálu v lesních školkách významným způsobem ovlivňuje tvorbu kořenového systému lesních dřevin. Ovlivněná je nejen celková architektonika kořenového systému, ale i místo nasazení a počet vytvořených kořenů, tzn. že je ovlivňována nejen mechanická stabilita stromů, ale i fyziologická funkčnost kořenového systému. Snížená stabilita a fyziologická kvalita sadebního materiálu je dána zejména ireversibilními deformacemi kořenového systému.

Laická i odborná veřejnost se shoduje v názoru, že deformacím kořenového systému je třeba předcházet, výzkumně i provozně proto byla použita celá řada metod, které měly deformace kořenového systému vyloučit nebo alespoň minimalizovat. Je však třeba konstatovat, že žádný z použitých způsobů nepřinesl zcela uspokojivé výsledky.

Perspektivní metodou se jeví eliminace vlivu kořenových deformací, která je možná pomocí aplikace růstových látek stimulační povahy. Tyto látky vyvolávají zakládání a růst nových kořenů, které by postupně mohly převzít funkce původně deformovaných kořenů.

Mezi experimentálně ověřované látky stimulační povahy patří gibereliny a auxiny. Exogenní aplikací giberelinů GA3 a GA4/7 máčením kořenového systému se zabýval Heidmann (1982). Dalšími zahraničními autory zkoumajícími vliv růstových látek, tentokrát synteticky připravených auxinů (auxinoidů), jsou Selby a Seaby (1982), Simpson (1986), Baser, Garrett, Mitchel (1987), Cappiello a Kling (1987), Mauer, Palátová (1989), Scagel a Lindeman (2001). Tito autoři sledovali nejčastěji vliv NAA (kyseliny α -naftyloctové), IBA (kyseliny β -indol γ -másečné) a IAA (kyseliny indol γ -octové). Výsledky prokázaly, že auxinoidy mají vliv na tvorbu laterálních kořenů zkoumaných dřevin, ovšem velikost tohoto vlivu je odvislá od druhu a koncentrace použitého auxinoidu, vývojové fáze rostliny v době aplikace a doby vystavení vlivu auxinoidů, která může být druhově specifická.

Vedle toho Appleton (1995), a po něm celá řada dále zmiňovaných autorů, označuje za dvě nejúspěšnější strategie pro zamezení tvorby deformací kořenových systémů krytokořeného sadebního materiálu metodu chemického a vzdušného stříhu.

Princip vzdušného stříhu spočívá v tom, že jsou rostliny v perforovaných obalech pěstovány na vzduchových polštářích (speciálních konstrukcích umožňujících proudění vzduchu pod a mezi rostlinami). V případě, že se kořeny takto pěstovaných rostlin dostanou perforací ven z obalu do volného prostoru, kde proudí vzduch, tyto kořeny zasychají. To iniciuje růst kořenů vyšších řádů v obalu a vytváří se tak bohatý kompaktní kořenový systém s velkým množstvím jemných kořenů (Vaca, 2001). South, Shelton a Enebak (2001) k tomu ještě dodávají, že vlivem vzdušného stříhu dochází v místě zasychání kořenů ke tvorbě kalusu, ze kterého po výsadbě vyrůstají nové kořeny nebo kalusové špičky, a tak je podle těchto autorů pozitivní vliv vzdušného stříhu na množství kořenů více patrný až po výsadbě.

Provozně i výzkumně byly zkoušeny různé modifikace metody vzdušného stříhu, a to metoda spodního vzdušného stříhu, kdy je perforováno pouze dno, metoda bočního vzdušného stříhu, kdy jsou perforovány pouze stěny obalů a kombinace obou způsobů vzdušného stříhu.

Vliv spodního a bočního stříhu vzduchem na kvalitu kořenových systémů dřevin testovali Appleton (1989), Marler a Willis (1996), McCreary a Lippitt (1997), Mohit a kolektiv (1999), Rune (2003).

Ze závěru jejich prací vyplývá, že technologie bočního a spodního stříhu vzduchem omezuje vznik deformací bočních a hlavních kořenů, podporuje tvorbu bočních kořenů vyšších řádů a tvorbu jemných kořenů, které jsou potom lépe rozloženy uvnitř celého balu. Autoři Gingras a Richard (1999), zabývající se srovnáním kombinovaného vzdušného stříhu a chemického stříhu, navíc kromě těchto obecných závěrů doporučují technologii vzdušného stříhu jako výhodnější pro větší sadební materiál, zatímco technologii chemického stříhu označují za perspektivní pro menší sadební materiál. "

Metoda chemického stříhu spočívá v aplikaci růstových inhibitorů, jež jsou nanášeny na vnitřní stěny obalů určených pro pěstování krytokořenného sadebního materiálu. Mezi nejznámější látky patří inhibitory růstu na bázi těžkých kovů, zejména mědi. Působení měďnatých sloučenin na vývoj kořenového systému popsali Struve a kolektiv (1994) následovně. Když kořeny přijdou do styku s povrchem ošetřeným inhibitorem, začnou kumulovat vyšší množství této látky, což má za následek mírnou toxicitu, která vyvolává zastavení růstu kořenů. Měď u většiny dřevin nezpůsobuje odumírání kořenových špiček, a proto může být normální růst obnoven již několik dní po výsadbě.

Nejpoužívanější sloučeninou chemického ovlivňování tvorby kořenového systému je uhličitán měďnatý. Této chemické látky, jako prostředku k eliminaci kořenových deformací, ve svých experimentech použili Barnett, McGilavray (1974), Burdett (1978), McDonald, Tinus, Reid (1980, 1984), Mauer (1981, 1987), Dumroese (2000), Pardos, Montero (2001).

Z dostupné literatury vyplývá, že většina autorů hodnotí vliv chemických látek, a zvláště potom vliv mědi, na kořenový systém jako pozitivní.

Cílem práce proto bylo zjistit vliv stříhu vzduchem, chemického stříhu a chemického ovlivnění tvorby kořenů růstovými látkami na kořenový systém buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.).

Metody a použitý materiál

Vzdušný a chemický stříh

Sadební materiál buku lesního byl pěstován ve čtyřech různých typech sadbovačů, které byly označeny jako varianty SS, P, Cu a D. V jednotlivých variantách se jednalo o sadbovače shodných tvarů a rozměrů V-150 a V-150 SS firmy BCC. Sadbovače se lišily pouze technologickými řešeními pro zamezení vzniku deformací kořenových systémů.

Varianta SS – byl použit sadbovač V-150 SS, který má vnitřní žebra, perforace dna a perforované boční stěny, takže při pěstování na vzduchovém polštáři dochází nejen ke spodnímu vzdušnému stříhu, ale i k bočnímu vzdušnému stříhu.

Varianta P – byl použit sadbovač V-150 firmy BCC, který je na vnitřních stěnách opatřen žebry a dále má perforované dno, takže při pěstování na vzduchovém polštáři dochází ke spodnímu vzdušnému stříhu.

Varianta Cu – na všechny vnitřní stěny plnostěnného sadbovače V-150 se dnem (sadbovač V-150 standardně dno nemá, pro účely tohoto ověřování jsme dno vytvořili nalepením hladkého plastu) byl nanesen uhličitán měďnatý, aby tak došlo chemickému ovlivnění tvorby kořenového systému. Před vlastní aplikací byl uhličitán měďnatý rozpuštěn ve venkovní latexové barvě v poměru 200g CaCO₃ na 1 litr barvy.

Varianta D – plnostěnný sadbovač V-150 se dnem (úprava stejná jako u varianty Cu) a vnitřními žebry, který simuloval technologický postup pěstování sadebního materiálu v obalech zcela neprostupných pro kořeny.

Všechny výše popsané typy sadbovačů byly osety na jaře, hodnocení proběhlo po prvním vegetačním období.

Chemické ovlivnění růstovými látkami

Vliv růstových látek na sadební materiál lesních dřevin byl zjišťován při exogenní aplikaci, které bylo dosaženo zálivkou na síje na jedné straně, a máčením kořenového systému na straně druhé.

Vliv zálivky auxinoidů na kořenový systém byl studován u semenáčků borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). V rámci experimentu byla na jaře vyseta borovice do sadbovačů naplněných pro výraznější vliv auxinoidů rašelinným substrátem, který byl získán mísením sfágnové rašeliny a Cerreritu v dávce 1,5 kg hnojiva na 1 m³ rašeliny. Po výsevu byly síje zalévány auxinoidy NAA a IBA. Oba auxinoidy byly na síje aplikovány zálivkou s vydatností 9,5 litrů roztoku účinné látky na m² rašelinného substrátu patnáctý, třicátý a šedesátý den po výsevu. Růstová látka IBA byla aplikována v koncentracích 1.10⁻⁴ M – nejnižší (označení - varianta C), 1.10⁻³ M – prostřední (varianta B) a 2,5.10⁻³ M – nejvyšší (varianta A). Auxinoid NAA byl aplikován v koncentracích 1.10⁻⁵ M – nejnižší (označení – varianta C), 1.10⁻⁴ M – prostřední (varianta B) a 1.10⁻³ M – nejvyšší (varianta A). Na podzim roku 2003 byl sadební materiál vyzvednut a hodnocen.

K exogenní aplikaci auxinoidů máčením byly použity jednoleté semenáčky buku lesního (*Fagus sylvatica* L.). Kořenové systémy těchto rostlin byly na jaře řezem zkráceny o 1/3 délky křídlového kořene zkráceny a potom po dobu jedné, dvou a pěti hodin máčeny v roztoku auxinoidu IBA s koncentrací 1.10⁻³ M a auxinoidu NAA s koncentrací 1.10⁻⁴ M. Po expozici byly semenáčky přesazeny do obalů naplněných rašelinným substrátem stejného složení jako u aplikace auxinoidů zálivkou. Kontrolním rostlinám byl pouze zkrácen kořenový systém a tyto rostliny byly přesazeny. Na podzim byl sadební materiál vyzvednut a hodnocen.

Při hodnocení sadebního materiálu byly měřeny charakteristiky: mortalita, výška nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, hmotnost sušiny nadzemní části, hmotnost sušiny kořenového systému a u vzdušného a chemického stříhu byly navíc popsány případné deformace křídlového kořene a bočních kořenů. Po naměření charakteristik byly soubory dat statisticky hodnoceny vícerozměrnou analýzou rozptylu (MANOVA) pomocí programu Statistika 6.0 Cz při hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Výsledky a jejich zhodnocení

Chemický a vzdušný stříh

Při okulárním zhodnocení nadzemních částí testovaných rostlin bylo patrné, že žádná varianta nevyvolávala kareční jevy a ani u jedné z variant nedošlo ke snížení vitality nebo k úhynu rostlin. Z tabulky 1 jednoznačně vyplývá, že typ sadbovače se spodním a bočním vzdušným stříhem (varianta SS) v porovnání s ostatními typy sadbovačů statisticky průkazně pozitivně ovlivňuje vzrůst nadzemní části. Velikosti měřených charakteristik nadzemní části jsou u variant Cu, D a P téměř shodné a signifikantně nižší než u varianty SS.

Z hlediska absolutního vyjádření množství jemných kořenů pomocí objemu a sušiny je z tabulky 1 patrné, že nejvyšší hodnoty vykazuje varianta D, tj. simulace technologického postupu pěstování sadebního materiálu ve zcela pro kořeny neprostupných obalech. Vysoké hodnoty jsou zřejmě ovlivněny tím, že u této varianty došlo k nejzávažnějším deformacím kořenového systému a největší množství jemných kořenů bylo, díky vyšší koncentraci auxinu v těchto ohybech, lokalizováno právě na vytvořených spirálách a smyčkách. Vytvořené

deformace však ovlivnily také objem a sušinu hrubých kořenů a kořene křulového. To znamená, že konečnou představu o množství jemných kořenů vhodně doplňuje charakteristika relativního porovnání, tj. podílu objemu jemných kořenů v objemu celého kořenového systému. Z této charakteristiky je patrné, že rozdíly mezi variantami sadbovačů ošetřených mědí (varianta Cu), sadbovačů se spodním stříhem vzduchu (varianta P) a sadbovačů se dnem (varianta D) není statisticky významný rozdíl. Naopak statisticky významně nižší je podíl jemných kořenů v objemu celého kořenového systému u sadbovačů se spodním a bočním stříhem vzduchu (varianta SS).

Tab. 1: Vliv různých typů sadbovačů na výšku, objem a sušinu nadzemní části (NČ) a kořenového systému (KS) sadebního materiálu buku lesního. (V tabulce je vždy udáván aritmetický průměr a směrodatná odchylka, v případě procent je 100% počet kusů testovaného sadebního materiálu v každé variantě).

Měřené charakteristiky	Varianta			
	Cu	D	SS	P
Výška NČ (cm)	19,7 ± 5,3	19,7 ± 4,4	22,7 ± 5,0	19,0 ± 5,4
Objem NČ (ml)	1,3 ± 0,6	1,5 ± 0,6	2,0 ± 0,8	1,6 ± 0,8
Sušina NČ (g)	0,71 ± 0,32	0,80 ± 0,32	1,07 ± 0,44	0,77 ± 0,37
Poměr objemu KS k objemu NČ	3,8	3,9	2,5	3,3
Objem JK (ml)	2,4 ± 0,9	3,1 ± 1,4	2,1 ± 0,9	2,4 ± 1,0
Sušina JK (g)	0,28 ± 0,12	0,45 ± 0,17	0,29 ± 0,11	0,36 ± 0,14
Podíl objemu JK v objemu celého KS (%)	49,6 ± 8,9	52,1 ± 10,6	43,0 ± 9,9	46,7 ± 10,4
Podíl deformací bočních kořenů (%) v jednotlivých variantách	15,4	68,3	1,4	40,9
Podíl deformací křulového kořene (%) v jednotlivých variantách	38,5	73	2,9	4,5

Jak vyplývá z tabulky 1, jsou boční vzdušný stříh (varianta SS) i inhibice růstu bočních kořenů mědí (varianta Cu) podstatně účinnější v zamezení vzniku deformací bočních kořenů než varianty P a D. Z tabulky 1 je také zřejmé, že neúčinnější technologické řešení k zamezení deformací křulového kořene je spodní stříh vzduchem, tedy užití sadbovačů s perforovaným dnem. Z výsledků je také patrné, že měď působí i jako inhibitor růstu křulového kořene, ale jenom po určitou dobu, potom křulový kořen vliv inhibitoru překonává.

Závěr

Na základě informací z literatury a ze získaných výsledků jsme dospěli k těmto poznatkům:

- Technologie vzdušného stříhu nestimuluje tvorbu jemných kořenů, ale účinně působí jako prvek pro zamezení deformací bočních i kůlových kořenů.
- Mědi - jako inhibitoru růstu kořenů - lze s výhodou použít pro omezení růstu bočních kořenů, její vliv však zatím nebyl jednoznačně prokázán na inhibici růstu silného kůlového kořene.
- Vodivá schopnost žebër v sadbovačích BCC V-150, jako technologické řešení zamezující deformacím bočních kořenů, není pro buk dostatečná – žebra jsou mělká (účinnost výšky žebra je v korelaci s množstvím a tloušťkou vytvořených bočních kořenů).
- Srovnáním vlivu sadbovače V-150 SS, (s vnitřními žebry a perforacemi dna a stěn - varianta SS), sadbovače V-150 (s vnitřními žebry a perforovaným dnem - varianta P), plnostěnného sadbovače V –150 se dnem (s naneseným uhličitanem měďnatým - varianta Cu) a pro kořeny zcela neprostupného plnostěnného sadbovače V-150 se dnem (varianta D) na architekturu kořenového systému a na parametry nadzemní části je jednoznačné, že z hlediska sledovaných parametrů je nejvýhodnější varianta SS, která působí minimální deformace bočních a kůlových kořenů a stimuluje růst nadzemní části. Z těchto porovnání je také patrné, že jednoznačně nejhorší variantou je použití pro kořeny zcela neprostupných plnostěnných sadbovačů se dnem (varianta D), které způsobují závažné deformace bočních i kůlových kořenů.

Chemické ovlivnění růstovými látkami

Zálivka auxinoidy na sje borovice lesní

Tab. 2: Vliv použitého auxinoidu (jeho koncentrace/A-největší, B-prostřední, C-nejnižší/ a počet dní aplikace od výsevu) na mortalitu, charakteristiky nadzemní části (NČ) a kořenového systému (KS) jednoletých semenáčků borovice lesní.

Den aplikace	Růstová látka	Koncentrace	Mortalita (%)	Výška NČ (%)	Kořenový krček (%)	Sušina NČ (%)	Sušina KS (%)
Kontrola			12	100	100	100	100
15	NAA	A	100*				
15	NAA	B	67*	77*	129*	77*	68*
15	NAA	C	21*	97	113*	105	98
15	IBA	A	68*	80*	124*	106*	74*
15	IBA	B	27*	87*	115*	98	91*
15	IBA	C	10	89*	99	88*	108*
30	NAA	A	92*	52*	154*	68*	68*
30	NAA	B	39*	80*	117*	73*	82*
30	NAA	C	6	96	104	85*	82*
30	IBA	A	11	89*	134*	98	97
30	IBA	B	10	92*	114*	89*	84*
30	IBA	C	6	88*	103	90*	106
60	NAA	A	17	68*	124*	47*	45*
60	NAA	B	13	83*	91*	68*	74*
60	NAA	C	7	98	98	92*	108*
60	IBA	A	7	86*	102	78*	96
60	IBA	B	8	88*	103	81*	96
60	IBA	C	7	84*	100	71*	104

Pozn. U mortality je 100 % celkový počet hodnocených jedinců. U ostatních charakteristik se jedná o relativní porovnání a 100 % je vždy hodnota dosažená kontrolou. Hvězdička (*) vyjadřuje statisticky signifikantní rozdíl ke kontrole.

Závěr

Vyhodnocení experimentu s exogenní aplikací růstových látek zálivkou na sje borovice lesní je možné shrnout do následujících bodů:

- V počtu vytvořených laterálních (adventivních) kořenů a pravděpodobnosti jejich tvorby je více účinnější NAA než IBA.
- Aplikace NAA více snižovala sušinu kořenového systému zkoumaných rostlin než aplikace IBA.
- Nejsilnější a střední koncentrace IBA ($2,5 \cdot 10^{-3}$ M a $1 \cdot 10^{-3}$ M) aplikované patnáctý den po výsevu měly negativní vliv na průběžnost nadzemní části, při pozdějších aplikacích se tento jev vytratil, negativní vliv NAA na neprůběžnost nadzemní části nebyl pozorován.
- Nejsilnější a střední koncentrace NAA ($1 \cdot 10^{-3}$ M a $1 \cdot 10^{-4}$ M) aplikované patnáctý a třicátý den po výsevu měli negativní vliv na mortalitu rostlin, u IBA byla vysoká mortalita pozorována pouze u nejsilnější a střední koncentrace ($2,5 \cdot 10^{-3}$ M a $1 \cdot 10^{-3}$ M).

3 M) aplikované patnáctý den po výsevu.

- Aplikace obou růstových látek nejsilnějších a prostředních koncentrací (IBA – 2,5.10-3 M, 1.10-3 M, NAA – 1.10-3 M, 1.10-4 M) patnáctý a třicátý den po výsevu měly vliv na zvětšení tloušťky kořenového krčku, přičemž NAA působila na zvětšení tloušťky kořenového krčku více než IBA.

Po zhodnocení provozních ztrát vlivu auxinoidů na nadzemní část a kořenový systém se jeví, že provozně uplatnitelná růstová látka zvyšující počet laterálních kořenů borových semenáčků je růstová látka IBA v koncentracích 2,5.10-3 M a 1.10-3 M aplikovaná třicátý den od výsevu. Tyto aplikace stimulovaly růst laterálních kořenů, zvyšovaly množství sušiny kořenového systému, nezpůsobovaly křivost nadzemní části a nezvyšovaly mortalitu semenáčků a současně zvyšovaly tloušťku kořenového krčku. U ostatních variant experimentu (jiná růstová látka, jiná koncentrace, jiné datum aplikace) buď nebyl prokázán pozitivní vliv na tvorbu laterálních (adventivních) kořenů, nebo tento vliv prokázán byl, ale současně s tím byla prokázána i vysoká mortalita semenáčků nebo neprůběžnost nadzemní části, což jsou jevy provozně nepřijatelné.

Máčení kořenových systémů bukových semenáčků v roztocích auxinoidů

Tab. 3: Vliv druhu růstové látky a doby expozice na mortalitu, charakteristiky nadzemní části (NČ) a kořenového systému (KS) bukových semenáčků.

Expozice (hod)	Růstová látka	Mortalita (%)	Přírůst NČ (%)	Kořenový krček (%)	Sušina NČ (%)	Sušina KS (%)
Kontrola		36	100	100	100	100
1	NAA	29*	106	106	113*	131*
2	NAA	27*	119*	106	129*	133*
5	NAA	54*	103	105	111*	111*
1	IBA	14*	147*	124*	146*	165*
2	IBA	33	135*	119*	131*	147*
5	IBA	30	144*	120*	170*	160*

Pozn. U mortality je 100 % celkový počet hodnocených jedinců. U ostatních charakteristik se jedná o relativní porovnání a 100 % je vždy hodnota dosažená kontrolou. Hvězdička (*) vyjadřuje statisticky signifikantní rozdíly ke kontrole.

Závěr

Vyhodnocení experimentu s exogenní aplikací růstových látek máčením kořenového systému buku lesního lze shrnout do následujících závěrů.

- V počtu vytvořených laterálních (adventivních) kořenů a pravděpodobnosti jejich tvorby a tím celkové velikosti kořenového systému je více účinnější IBA než NAA.
- Krátkodobé máčení jednu až dvě hodiny v růstové látce IBA zvyšuje ujímavost sadebního materiálu a současně dlouhodobé máčení nemá negativní vliv na mortalitu jedinců.
- Růstová látka IBA při všech dobách expozice zvyšovala přírůst nadzemní části oproti kontrole.
- Žádná z použitých růstových látek nevyvolávala kareční jevy a nezpůsobovala křivý růst letorostů.
- Máčení kořenových systémů v růstové látce NAA nevyvolalo signifikantní zvýšení tloušťky kořenového krčku, naproti tomu máčení v růstové látce IBA ve všech

expozičních vyvolalo signifikantní zvýšení tloušťky kořenového krčku.

- Po zhodnocení provozních ztrát, vlivu auxinoidů na nadzemní část a kořenový systém se jeví, že provozně uplatnitelná růstová látka zvyšující množství sušiny kořenového systému, tloušťku kořenového krčku a přírůst nadzemní části je jednohodinová expozice bukových semenáčků v růstové látce IBA o koncentraci roztoku 1.10-3 M.

Seznam použité literatury

- Bachelard, E. P., Stowen, B. B.: Journal of Biological Science, č. 16, 1963, s. 751.
- Burdett, A. N.: Control of root morphogenesis for improved mechanical stability in container-grown lodgepole pine. (Usměrňování morfogeneze kořenů za účelem zlepšení mechanické stability borovice pokroucené /*Pinus contorta* Doug L./ pěstované v obalech) Canadian Journal of Forest Results, č. 8, 1978, s. 483-486.
- Cappiello, P. E., Kling, G. J.: Increasing root regeneration and shoot growth in two oak species with spray applications of IBA. HortScience, 22, 1987, č. 4, s. 663.
- Dumroese, R. K.: Changes in interior Douglas-fir root development in containers after copper and auxin treatments. Western Journal of Applied Forestry, 15, č. 4, 2000, s.213-216
- Dunn, G. M.; Huth, J. R.; Lewty, M.J.: Coating nursery containers with cooper carbonate improves root morphology of five native Austrialian tree species used in agroforesry systems. Agroforestry Systems, 37, 1997, č. 2, s. 143-155.
- Mauer, O., Palátová, E.: Minimalizace mechanomorfóz kořenového systému krytokořenného sadebního materiálu smrku ztepilého (*Picea abies* / L./ Karsten) aplikací růstových látek. Acta universitatis agriculturae, 58, 1989, č. 1-4, s. 25-45.
- Mauer, O.: Chemické ovlivňování tvorby kořenového systému obaleného sadebního materiálu. Lesnictví, 33, 1987, č. 2, s.121-136.
- Mauer, O.: K ovlivnění tvorby kořenového systému obalených semenáčků a sazenic lesních dřevin chemickou cestou. Acta Universitatis Agriculturae (Brno) – Series C (Facultas silviculturae), 50, 1981, č. 1-4, s.3-9.
- McDonald, S. E., Tinus, R. W., Reid, C. P. P., Grossnikle, S. C.: Effect of CuCO₃ container wall treatment and mycorrhizae fungi inoculation of growing medium on Pine seedling growth and root development. J. Environ. Hort. 2, 1984, č. 1, s. 5-8.
- McDonald, S. E., Tinus, R. W., Reid, C. P. P.: Root Morfology Control in Forest Tree seedling Containerrrs /Regulace morfologie kořenů obalených semenáčků lesních dřevin/ Proceeding of Intermountain Nurseryman's Association. Combinated Meeting August 12-14, 1980, Boise, Idaho. General Technival Report Range Experiment Station, s. 40-45.
- Pardos, M., Pardos, J. A., Montero, G.: Growth responses of chemically root-pruned cork oak seedlings in the nursery. Journal of Environmental Horticulture, 19, 2001, č. 2, s. 69-72.
- Percival, G., Gerritsen, J.: The influence of plant growth regulators on root and shoot growth of containerized trees following root remova L. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73, 1998, č. 3, s. 353-359.
- Scagel, C. F., Lindeman, R. G.: Modifikation of root IAA concentrations, tree growth, amd survival by applicaation of plant growth regulating subsatnces to container- grown conifers. New Foreats, 21, 2001, č. 2, s. 159-186.
- Selby, C., Seaby, D. A.: The effect of auxins on *Pinus contorta* seedllings root development. Forestry, 55, 1982, č. 2, s. 125-135.
- Simpson, D. G.: Auxin stimulated lateral root formation of container-grown interiér Douglas-fir seedlings. Can. J. For. Res., 16, 1986, č. 5, s. 1135-1139.
- Struve D. K., Blazich F. A.: Comparison of three methods of auxin application on rooting of eastern white pine stem cuttings. Forest Science, 28, 1982, č. 2, s. 337-344.
- Wightman, F., Thiman, K. V.: Physio L. Plant., 49, 1980, s. 13-20.
- Zach, J.: Statistické metody. Skriptum VŠZ Brno, 1990, 218 s.

Vliv zkracování kořenového systému buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a dubu zimního (*Quercus petraea* L.) na výskyt hnilob kořenového systému

Oldřich Mauer, Petra Mauerová

Úvod a cíl práce

Při pěstování sadebního materiálu je uměním vypěstovat objemově velký, nedeformovaný a koncentrovaný kořenový systém. Platná norma kvality sadebního materiálu (ČSN 482115 Sadební materiál lesních dřevin) proto exaktně určuje kvalitu kořenového systému ve 4 parametrech – poměr objemu kořenového systému k objemu nadzemní části, podíl jemných kořenů k objemu celého kořenového systému, povolené odchylky od přirozené architektiky a délka křivého kořene (panoh) nebo délka horizontálních kosterních kořenů. Často se však stává, že dodávaný sadební materiál nespĺňuje normu v délce křivého kořene (nebo panoh) u dřevin s křivým, srdčítým a všestranně rozvinutým kořenovým systémem nebo v délce horizontálních kosterních kořenů u dřevin s povrchovým kořenovým systémem. Při výsadbě to potom znamená buď kořenový systém deformovat, nebo zkrátit na přijatelnou velikost. I když obecně je deformace kořenového systému podstatně horší než jeho zkrácení, ani zkrácení kořenového systému (jeho mechanická příprava řezem) přes některá pozitiva (regenerace a tvorba nových kořenů v místě řezu) nemusí být vždy pozitivní. Nevhodně realizované zkrácení může vyvolat hniloby kořenového systému. Cílem práce proto bylo zhodnotit výskyt hnilob kořenového systému u buku lesního a dubu zimního v závislosti na kvalitě řezu, tloušťce zkracovaných kořenů, manipulaci s rostlinami po řezu a vlhkostí půdy po výsadbě.

Metody a použitý materiál

Testovanými rostlinami byly dvouleté (2+0) a tříleté (3+0) prostokořenné semenáčky buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a dubu zimního (*Quercus petraea* L.). Mechanická úprava (řez) křivého kořene byla uskutečněna ihned po jejich vyzvednutí z půdy lesní školky. Po zkrácení kořenového systému byly rostliny buď ihned vysázeny, nebo byly před sadbou 7 dnů ve svazcích založeny pod porostem. Výsadba obou dřevin byla realizována v nadmořské výšce 430 m, na SLT 3B a při výsadbě a po dobu 14 dnů po výsadbě byla vlhkost půdy cca 40 % (v tabulkách výsledků označeno Sucho), 60 % (v tabulkách výsledků označeno Normál) a 80 % (v tabulkách výsledků označeno Mokro).

Zkrácení křivého kořene bylo realizováno v tloušťkách kořene do 6,0 mm, 6,1 až 10,0 mm a 10,1 až 15,0 mm. Při všech tloušťkách byl řez veden kolmo, nebo šikmo (v úhlu cca 30 stupňů) na osu kořene. Řezy byly buď hladké (řezáno nůzkami s kruhovým ostrím), nebo otřepené (kořeny přeseknuty rýčem).

Všechny úpravy kořenového systému i následná výsadba rostlin byly uskutečněny v jarním období (rostliny nerašily) a na podzim (rostliny měly ukončený růst nadzemní části, nadzemní část byla zdřevnatělá a všechny listy byly odstraněny). V každé variantě ověřování bylo sledováno 100 rostlin, jejich výsadba byla uskutečněna sazečem (šterbinová sadba).

Po jednom vegetačním období po výsadbě a následné zimě byly rostliny vyzvednuty. U každé rostliny bylo ostrým nožem podélně rozříznuto místo zkrácení křivého kořene a vizuálně zjišťován výskyt hnilob. Rovněž bylo zjišťováno, zda se v místě řezu vyskytují nové kořeny.

Výsledky

Z šetření vyplynulo, že hniloby kořenového systému ovlivňují všechny sledované faktory – tloušťka zkracovaného kořene, umístění a kvalita řezu, manipulace i stav půdy po výsadbě. Ve slovním komentáři jsou popsány pouze hlavní tendence, bližší hodnoty je nutno vyčíst z tabulek výsledků – tab. 1, 2. (Absolutně největší zjištěné procento hnilob vyjadřuje procento výskytu hnilob daného parametru za spolupůsobení všech dalších sledovaných faktorů.)

- Buk (BK) je hnilobami více poškozen než dub (DB). Absolutně největší zjištěné procento hnilob u BK 57 %, DB 33 %, přičemž podíl jednotlivých sledovaných faktorů na výskytu hnilob je u obou dřevin obdobný.
- Čím je kořen upravovaných rostlin tlustší, tím větší je výskyt hnilob. Absolutně největší procento zjištěných hnilob u kořenů do tloušťky 6,0 mm u BK 15 %, DB 3 %, u kořenů o tloušťce 6,1 až 10,0 mm u BK 36 %, DB 25 % a u kořenů o tloušťce nad 10,1 mm u BK 57 %, DB 33 %.
- U šikmých řezů je větší procento hnilob než u řezů kolmých. Absolutně největší zjištěné procento hnilob kolmých řezů u BK 42 %, DB 16 %, šikmých řezů u BK 57 %, DB 33 %.
- U otřepených řezů je větší procento hnilob než u řezů hladkých. Absolutně největší zjištěné procento hnilob otřepených řezů u BK 57 %, DB 33 %, hladkých řezů u BK 26 %, DB 7 %.
- Jsou-li rostliny po zkrácení kořenového systému ihned vysázeny, mají menší výskyt hnilob než po jejich založení před výsadbou. Absolutně největší zjištěné procento hnilob ihned vysázených rostlin u BK 39 %, DB 17 %, rostlin založených před výsadbou u BK 57 %, DB 33 %.
- Zkracování kořenového systému v jarním období vyvolává menší výskyt hnilob než stejná úprava realizovaná na podzim. Absolutně největší zjištěné procento hnilob při jarní úpravě u BK 48 %, DB 20 %, při podzimní úpravě u BK 57 %, DB 33 %.
- Výskyt hnilob je ovlivňován i stavem (vlhkostí) půdy po výsadbě. U BK byl zjištěn největší výskyt hnilob po výsadbě do mokré půdy (absolutně největší zjištěné procento 57 %), menší při výsadbě do půdy s normální vlhkostí (absolutně největší zjištěné procento 38 %) a nejmenší po výsadbě do suché půdy (absolutně největší zjištěné procento 16 %). U DB je výskyt hnilob po výsadbě do mokré i suché půdy přibližně stejný (absolutně největší zjištěné procento po výsadbě do mokré půdy 33 %, po výsadbě do vlhké půdy 27 %), po výsadbě do normální půdy je výskyt hnilob poněkud menší (absolutně největší zjištěné procento 16 %).

Vyhodnotíme-li podíl jednotlivých sledovaných faktorů na výskytu hnilob, lze konstatovat:

- Největší vliv má kvalita řezu, řezy hladké mají menší výskyt hnilob než řezy otřepené. (Např. u DB, byl-li řez hladký, žádný z dalších faktorů nevyvolal téměř žádné hniloby kořenů.)
- Dalším rozhodujícím faktorem je tloušťka zkracovaného kořene; čím je kořen tlustší, tím větší je výskyt hnilob. (U řezů do tloušťky kořene 6 mm u obou dřevin žádný z dalších faktorů nevyvolal téměř žádné hniloby.) Hladké řezy tlustších kořenů však vyvolávají menší výskyt hnilob než otřepené řezy kořenů slabších.
- Hniloby dále ovlivňuje (jejich výskyt dále umocňuje) manipulace s rostlinami po řezu a stav půdy po výsadbě. Po založení je výskyt hnilob u obou dřevin až o 100 % větší než po jejich okamžité výsadbě. U BK je výskyt hnilob po výsadbě do dlouhodobě mokré půdy i o 300 % větší než do půdy suché, u DB má dlouhodobě suchá i vlhká půda stejný negativní vliv – zvyšují výskyt hnilob i o 100 %.

Tab. 1: Buk lesní - hniloby kořenů (v % rostlin⁺) po zkrácení kořenového systému

Řez	Umístění řezu	Manipulace po řezu	Stav půdy po výsadbě	Tloušťka kořene v místě řezu (v mm) a doba úpravy					
				do 6,0 mm		6,1 až 10,0 mm		10,1 až 15,0 mm	
				Jaro	Podzim	Jaro	Podzim	Jaro	Podzim
Hladký	Kolmo	Výsadba	Sucho						
			Normál						
			Mokro			2	2	4	5
		Založení	Sucho						
			Normál					3	5
			Mokro		4	7	9	8	13
	Šikmo	Výsadba	Sucho						
			Normál					3	12
			Mokro			10	16	9	19
		Založení	Sucho					4	6
			Normál		2	3	6	7	14
			Mokro		5	16	22	25	26
Otřepený	Kolmo	Výsadba	Sucho					5	11
			Normál					4	12
			Mokro		5	3	9	14	19
		Založení	Sucho					8	13
			Normál			4	9	17	23
			Mokro	3	8	21	25	35	42
	Šikmo	Výsadba	Sucho			1	6	5	14
			Normál			1	5	21	29
			Mokro	5	8	9	14	29	39
		Založení	Sucho			4	9	7	16
			Normál			15	23	33	38
			Mokro	9	15	29	36	48	57

Pozn.: ⁺prázdná okénka v tabulce - 0 %

Tab. 2: Dub zimní - hniloby kořenů (v % rostlin⁺) po zkrácení kořenového systému

Řez	Umístění řezu	Manipulace po řezu	Stav půdy po výsadbě	Tloušťka kořene v místě řezu (v mm) a doba úpravy					
				do 6,0 mm		6,1 až 10,0 mm		10,1 až 15,0 mm	
				Jaro	Podzim	Jaro	Podzim	Jaro	Podzim
Hladký	Kolmo	Výsadba	Sucho						
			Normál						
			Mokro						
		Založení	Sucho						
			Normál						
			Mokro						
	Šikmo	Výsadba	Sucho						
			Normál						
			Mokro						
		Založení	Sucho				3	1	7
			Normál						
			Mokro				5	1	7
Otřepený	Kolmo	Výsadba	Sucho			1	5	2	6
			Normál						
			Mokro			2	6	5	8
		Založení	Sucho		3	3	5	6	8
			Normál					2	5
			Mokro		2	4	12	8	16
	Šikmo	Výsadba	Sucho			5	10	9	13
			Normál			1	4	3	10
			Mokro			4	12	13	17
		Založení	Sucho	2	3	6	16	16	27
			Normál			2	14	10	16
			Mokro	2	3	7	25	20	33

Pozn.: ⁺ prázdná okénka v tabulce - 0 %

- Výrazný vliv na výskyt hnilob má i doba úpravy kořenového systému. Zkracování kořenového systému na podzim vyvolává až o 50 % větší výskyt hnilob než stejná úprava uskutečněná v jarním období.
- Za závažné považujeme i zjištění, že u rostlin, u nichž se vyskytovaly hniloby kořenů, nedošlo v místě řezu k žádné tvorbě nových kořenů.

Závěr

Z realizovaného šetření lze vyvodit závěry, které mají platnost nejen pro úpravu kořenového systému sadebního materiálu před vlastní výsadbou, ale i pro vyzvedávání a úpravu kořenového systému sadebního materiálu před jejich prodejem, pro podřezání kořenového systému a pro školkování sazenic a poloodrostků v lesních školkách.

- Je-li úprava kořenového systému nutná, realizovat ji v jarním období. (Jde o období nejintenzivnějšího růstu kořenů, kdy rostlina rychle zaceluje mechanické rány a vylučováním látek fenologické povahy zabraňuje i vniku patogenů do rány.)
- Řezná rána musí být co nejmenší, hladká a vedená pokud možno kolmo na osu kořene. (Čím je rána menší, tím menší je vstupní brána pro infekci. Otřepaný a pomačkaný řez vyvolávají úmrtí kambiálních buněk, jejichž aktivní činnost je nutná nejen z hlediska regenerace nových kořenů, ale i zacelení řezné rány.) Hladkost řezu má větší vliv než tloušťka upravovaného kořene.
- Minimalizovat dobu vystavení řezné rány působení atmosférických činitelů. (Obnaženou ránou rostlina rychle ztrácí vodu a rychlé zasýchání rány vyvolává úmrtí kambiálních buněk.)
- Po umístění rostliny s mechanicky upraveným kořenovým systémem do půdy respektovat ekovalenci dané dřeviny (např. BK nesnáší zamokření, DB snese kratší sucho i mokro) a minimalizovat podmínky pro rozvoj houbových patogenů (zejména vysokou vlhkostí půdy).
- Z realizovaného šetření vyplývá, že pouze za určitých podmínek lze bez větších problémů uskutečnit mechanickou úpravu kořenového systému sadebního materiálu dubu a buku před jejich výsadbou do porostu. Při striktním plnění podmínek platné normy kvality sadebního materiálu, by se však žádná úprava realizovat neměla, neboť odpovídající velikost kořenového systému by měla být zajištěna již při jejich pěstování v lesní školce. Problémem však je, že tato norma umožňuje mechanickou úpravu kořenového systému sadebního materiálu po jeho vyzvednutí před prodejem v lesní školce, což je úprava horší než úprava před výsadbou v porostu.
- Realizovaná šetření byla uskutečněna u listnatých dřevin, na konci druhé periody růstu kořenů, které je méně intenzivní než začátek druhé periody růstu kořenového systému jehličnanů. Z toho vyplývá, že zejména mechanická úprava kořenového systému smrku ztepilého bude v pozdně letním období méně problematická než na podzim realizovaná úprava listnáčů.
- Lesnickou empirií i exaktními výsledky autorů práce (v práci nepublikováno) je prokázáno, že douglaska tisolistá, jedle obrovská a lípy nesnáší jakoukoliv mechanickou úpravu kořenového systému před sadbou, lípy jsou navíc obzvláště citlivé na zkracování kořenů silnějších než 6 mm. Velká úprava kořenového systému rovněž znamená odstranění většího množství nejdůležitější části kořenového systému – jemných kořenů. Proto rostliny s mechanicky upraveným kořenovým systémem hůře odrůstají než rostliny se stejně velkým kořenovým systémem bez jeho mechanické úpravy.

Kořenový systém ve spádovém okraji při obnovách dubu letního (*Quercus robur* L.)

Oldřich Mauer, Eva Palátová, Tomáš Mikita

Úvod a cíl práce

Je známou skutečností a lesnickou praxí mnohokrát prověřeno, že při umělé i přirozené obnově obnovované rostliny v bezprostřední blízkosti okraje (stěny) mýtního porostu mají velké ztráty po výsadbě a je výrazně inhibován jejich výškový růst. S narůstající vzdáleností od okraje mýtního porostu všechny tyto negativní vlivy postupně slábnou a v jisté vzdálenosti již mají obnovované rostliny normální růst. Obnovovaný porost má potom při svém okraji růst sedlové střechy, ve kterém je jeho kvalita velmi malá – nazýváno „spádový okraj“ nebo i „okrajový efekt“. Velikost spádového okraje může být značná – např. při výměře 0,50 ha obnovované holiny může činit i více než 50 % výměry této obnovované plochy. I když je lesnickou veřejností tento jev převážně vysvětlován nedostatkem světla u stěny mýtního porostu, skutečností je, že takto často reagují obnovované rostliny vyžadující světlo i stín a že se tento jev objevuje na všech světových stranách (expozicích) obnovovaného porostu.

Jelikož růst každého stromu je výrazně ovlivňován vývinem jeho kořenového systému, hlavním cílem práce bylo zjistit, jak se vyvíjí kořenový systém obnovovaných rostlin v zóně spádového okraje a jaká je vzájemná vazba mezi kořenovým systémem obnovovaných rostlin a kořenovým systémem mýtních okrajových stromů. Doplňujícími šetřeními bylo sledování vlhkosti půdy a sumy sluneční radiace v zóně spádového okraje.

Metody a použitý materiál

- Všechny analýzy byly realizovány na lužních stanovištích (fluvizem, nezaplavované oblasti, lesní typ 1L1) v mýtních porostech dubu letního (dále označováno porost) (věk porostů, 100 let, zastoupení dub 85 %, jasan 15 %, zakmenění 1,0, výška stromů 28 m).
- Všechny obnovované porosty (dále označováno holiny) měly výměru 0,80 až 1,00 ha, měly tvar čtverce s orientací os S-J, V-Z. Na LZ LČR Židlochovice byly analyzovány holiny 7 let po výsadbě (dále označováno lokalita Lanžhot) a 2 roky po síji (dále označováno lokalita Židlochovice), na LZ LČR Šternberk byly analyzovány holiny 10 let po sadbě (dále označováno lokalita Litovel). Všechny obnovované porosty sadbou byly zalesněny na jaře dvouletými prostokořennými sazenicemi. Komplexní analýzy byly realizovány pouze na lokalitě Lanžhot. Pro velkou pracnost byly na lokalitách Litovel a Židlochovice realizovány pouze některé analýzy, které měly potvrdit či vyvrátit závěry získané na lokalitě Lanžhot, lokalita Židlochovice měla dát i odpověď, zda shodně reagují rostliny založené sadbou a síjí.
- Analýzy byly realizovány v různých místech holin a porostů. Expozice okraje holiny vůči světovým stranám (sever, jich, východ, západ) je uvedena přímo v tabulkách výsledků. Místo měření je v tabulkách výsledků označeno kódem: P – porost (měřeno 10 m od okraje mýtního porostu), A – okraj holiny, B – polovina průmětu korun mýtního porostu zasahujících do holiny, 1 – okraj průmětu korun mýtního porostu zasahujících do holiny, 2 – 3 m od okraje průmětů korun, 3 – 7 m od okraje průmětů korun. Místa měření byla zvolena proto, že největší vliv okrajového efektu se

projevuje na okraji holiny, dále pozvolna klesá a cca 3 m za průmětem korun okrajových stromů porostů odumírá. Délka průmětu korun byla 8 až 12 m.

- Na každém měřeném místě byly k analýzám kořenového systému vybrány průměrné stromy. Biometrické parametry nadzemní části byly měřeny u 100 ks rostlin, ztráty byly zjišťovány ve dvou řadách v místě měření (délka sledované řady 40 m).
- Všechny kořenové systémy byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem.
- Délka nadzemní části – vzdálenost od půdního povrchu po konec terminálního výhonu.
- Tloušťka kořenového krčku – tloušťka kmene ve vzdálenosti 10 cm nad půdním povrchem.
- Typ kořenového systému. Byly zjištěny tři typy kořenového systému. Kulový – z báze stromu vyrůstá radix jurineae, panohovitý – v místě kůlu vyrůstá několik pozitivně rostoucích panoh a povrchový – kořenový systém nemá kůl ani panohy, ale z báze kmene vyrůstá větší množství horizontálních kořenů a někdy i několik slabých pozitivně geotropicky rostoucích kotev.
- Deformace kořenového systému. Byla zjištěna pouze deformace typu L – pozitivně geotropicky rostoucí kořeny se stačí do horizontálního směru růstu (souběžně s povrchem půdy).
- Počet a tloušťka horizontálních kosterních kořenů. Tloušťka byla měřena 10 cm od místa kmene. Za horizontální kořeny byly vzaty i plagiotropně rostoucí kořeny na panohách nebo kůlu.
- Počet a tloušťka panoh. Tloušťka byla měřena 5 cm od místa jejich nasazení.
- Tloušťka kůlů – byla měřena 5 cm od místa jejich nasazení.
- Hloubka prokořenění – kolmá vzdálenost od povrchu půdy po nejhlouběji zasahující část kořenového systému.
- Každý kořen byl podélně rozříznut a následně zjišťován výskyt hub a napadení biotickými činiteli.
- I_p všech kořenů – je hodnota vypočítaná a udává vztah mezi velikostí celého kořenového systému k délce nadzemní části rostliny. Jde o poměr ploch příčných průřezů všech kořenů ($v \text{ mm}^2$) v místě měřiče k délce stromů v cm. Udává kolik mm^2 průřezem kořenů připadá na 1 cm délky stromu.
- I_p horizontálních kosterních kořenů – je hodnota vypočítaná, počítá se stejně jako I_p celého kořenového systému. Do výpočtu jsou však zahrnuty pouze horizontální kosterní kořeny.
- Prokořenění půdy. V každém měřeném místě byly vykopány tři půdní sondy o délce 1,5 cm a hloubce 1,2 m. V každé sondě byl zjišťován počet a tloušťka kořenů o tloušťce 2,1 až 12,0 mm, a to ve vrstvách 0 až 39,9 cm, 40,0 až 79,9 cm a 80,0 až 100 cm (šířka hodnocené vrstvy byla vždy 100 cm). V každé půdní sondě byly pomocí rozhrnovače o průměru 5 cm odebrány 10 půdních monolitů ve vrstvách 30 až 40 cm a 70 až 80 cm. Tyto byly v laboratoři homogenizovány a z homogenátu odebráno 6 rozborových vzorků o objemu 100 ml půdy. Vzorky byly rozplaveny a ručně z nich vybrány jemné kořeny (kořeny slabší než 2 mm). Po jejich vysušení do konstantní hmotnosti byla zjišťována jejich hodnota.
- Vlhkost půdy. K měření byly použity měřicí aparatury zn. Vidin. Měřicí sondy byly umístěny vertikálně, tzn., že byla měřena vlhkost půdy v hloubce 15 až 40 cm.
- Globální radiace.
- Použité statistické metody. V tabulkách výsledků jsou uváděny aritmetické průměry a příslušné směrodatné odchylky. Průkaznost rozdílů mezi sledovanými aritmetickými průměry byla testována t testem na hladině významnosti $\alpha - 95 \%$.

Výsledky

Z realizovaných analýz vyplynula celá řada faktických číselných údajů, které jsou prezentovány v tabulkách a grafech výsledků. Vzhledem k tomu, že cílem hodnocení je zjistit, jak se mění sledované parametry v závislosti na vzdálenosti od porostu do středu holiny a jak tyto parametry ovlivňují světové strany, statistické hodnocení a stručný slovní komentář výsledků budou prezentovány takto:

- Jaký je trend a statistická průkaznost výsledků v závislosti na vzdálenost od porostu do středu holiny na každé světové straně. Při statistickém hodnocení je sledována průkaznost výsledků mezi sousedními místy měření. Průkaznost výsledků je označena graficky před aritmetickým průměrem.
- Jaký je trend a statistická průkaznost výsledků ve stejném místě měření mezi světovými stranami. Při statistickém hodnocení byla vždy vybrána největší zjištěná hodnota (v tabulkách výsledků je označena K) a všechny ostatní hodnoty jsou k této hodnotě testovány. Průkaznost výsledků je označena – m graficky za směrodatnou odchylkou (+ rozdíl signifikantní, – rozdíl nesignifikantní).

Biometrické parametry nadzemní části, architektonika kořenového systému, ztráty (tab. 1, 2)

- Z realizovaných šetření jednoznačně vyplývá, že na každé světové straně od okraje holiny (místo měření A) až po část holiny, kde stromy nejeví známky stagnace (místo měření B) (téměř vždy statisticky průkazné) narůstají tyto sledované parametry – délka nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, počet a tloušťka horizontálních kosterních kořenů, počet a tloušťka panoh a hloubka prokořenění. Rozdíly velikosti těchto parametrů mezi jednotlivými světovými stranami jsou statisticky neprůkazné. Tyto závěry platí pro všechny sledované lokality (Lanžhot, Litovel, Židlochovice), tzn., že platí pro stromy obnovované sadbou i sítí.
- Od místa měření A po místo měření 3 výrazně klesají ztráty.
- Na převážně většině míst měření a sledovaných expozicích vytvořily duby na lokalitách Lanžhot a Litovel panohovitý kořenový systém, výjimečně na těchto lokalitách vytvořily i kořenový systém povrchový a to vždy v místech měření A a B. Duby obnovené sítí v místě měření A vytvořily pouze povrchový kořenový systém, na dalších místech měření kulový a panohovitý kořenový systém.
- Na všech sledovaných lokalitách a světových stranách téměř všechny stromy v místě měření A a 1 měly deformaci kořenového systému do L, v místech měření 2 a 3 se již deformace kořenového systému nevyskytovaly.
- Na lokalitách Lanžhot a Litovel na všech světových stranách s narůstající vzdáleností od okraje holiny do jejího středu narůstá velikost I_p všech kořenů i I_p horizontálních kosterních kořenů. S výjimkou rozdílů mezi místy měření 1 a 2 jsou rozdíly signifikantní. Rozdíly mezi světovými stranami nejsou statisticky průkazné. Obdobný trend byl zjištěn i u dubů okrajových sítí (lokalita Židlochovice) s tím rozdílem, že rozdíl mezi místy měření od místa B do středu holiny jsou nesignifikantní.
- Při žádné analýze kořenového systému nebyly zjištěny hniloby kořenů nebo napadení kořenového systému biotickými činiteli.

Prokořenění půdy (tab. 3)

- Prokořenění půdy kořeny o tloušťce 2,1 až 10,0 mm ve vrstvách 0,0 – 39,9 cm a 40,0 až 79,9 (sledováno pouze na lokalitě Lanžhot). Bez ohledu na světové strany je v obou sledovaných vrstvách na kraji průmětu koruny (místo měření 1) počet kořenů

signifikantně větší než v porostu (místo měření P) obzvláště velký rozdíl je ve vrstvě 40,0 až 79,9 cm. V místě měření 2 se počty oproti místu měření P vyrovnávají a v místě měření 3 jsou podstatně a signifikantně menší. Rozdíly v průměrných tloušťkách těchto kořenů jsou oproti jejich počtu podstatně menší a v některých případech i statisticky nevýznamné. Oproti místu měření P v místě měření 1 bylo zaznamenáno prokořenění i ve vrstvě 80 až 100 cm.

- Biomasa jemných kořenů. Na všech sledovaných lokalitách a na všech světových stranách ve vrstvě 30 – 40 cm na okraji holiny (místo měření A) výrazně narůstá biomasa jemných oproti místu měření P, v místě měření 1 již rozdíly oproti místu P nejsou většinou signifikantní a v místě měření 3 je biomasa těchto kořenů oproti místu P minimální. Ještě závažnější rozdíly byly zjištěny ve vrstvě 70 – 80 cm. Na všech sledovaných lokalitách a všech jejich světových stranách bylo oproti porostu (místo měření P) v místech měření A a 1 zjištěno signifikantní zvýšení jemných kořenů. V místě měření 3 je oproti místu měření P biomasa jemných kořenů signifikantně menší.

Vlhkost půdy (graf 1 až 4)

I když byly zaznamenány jisté menší rozdíly průběhu vlhkosti půdy v průběhu sledovaného období, všem sledovaným světovým stranám je společné. Největší vlhkost půdy byla zaznamenána v místě měření P, poněkud menší vlhkost půdy byla zaznamenána v místě měření 3 a nejmenší vlhkost půdy byla zaznamenána v místě měření 1. Na všech světových stranách klesá dlouhodobě v místě měření 1 vlhkost půdy pod 20 %.

Globální sluneční radiace (tab. 4)

Výsledky globální sluneční radiace vyšly podle předpokladů schématu. Přibližně stejná radiace byla v místech měření 1 a 3 zaznamenána na jižní a východní expozici, až o 20 % menší byla ve stejných měřístích radiace na expozici západ a nejmenší radiace (až o 80 % menší) byla zaznamenána na expozici sever.

Diskuse

Z výsledků šetření vyplynulo, že nejhůře odrůstají stromky na samém okraji holiny v bezprostřední blízkosti porostu. Se vzrůstající vzdáleností od okraje porostu negativní účinky slábnou a cca 7 m od průmětu koruny porostu zcela odumírají. Konkrétně lze konstatovat, že od okraje porostu zejména klesají ztráty, zvětšují se délka nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, velikost kořenového systému a hloubka prokořenění kosterními kořeny.

Při rozboru, který z parametrů nadzemní části a kořenového systému je oproti normálu růstu této dřeviny nejvíce odlišný, je naprosto nutné konstatovat, že jsou to hloubka prokořenění a tvar kořenového systému. V normálních podmínkách dub vytváří poměrně hluboký panohovitý (výjimečně kúlový) kořenový systém, s menším podílem horizontálních kořenů, bez deformací kořenového systému. Při našich šetřeních však dub vytvářel kořenový systém mělký s velkým podílem deformací L (a to i u stromků ze sje). Je tudíž zřejmé, že prorůstání kořenového systému do větších hloubek bránil nějaký faktor. Z šetření vyplývá, že tímto faktorem je nedostatek vody.

Ze sledování vlhkosti půdy vyplynulo, že podstatou část vegetačního období klesá vlhkost půdy pod 20 %, což je pro dub letní téměř stav mortální. Pokles vlhkosti půdy není prioritně (nebo zcela) vyvolán sluneční radiací, ale výrazně zvětšeným prokořeněním půdy jemnými kořeny, a to ve vrstvě 30 až 40 cm, ale obzvláště ve vrstvě 70 – 80 cm. Na okraji holiny (místo měření A) oproti porostu (místo měření P) narůstá biomasa jemných kořenů ve vrstvě 30 – 40 cca 2x, ve vrstvě 70 – 80 cm až 12x. Na průmětu koruny (místo měření 1) je

biomasa jemných kořenů ve vrstvě 30 – 40 cm stejná jako v porostu (místo měření P), ve vrstvě 70 – 80 cm je až 10x větší. Nedostatek vody vyvolává nejen menší hloubku prokořenění, ale i naprosto radikální změnu vývinu kořenového systému – jeho stočení do L. Lze tudíž vyvodit, že kořenový systém je zcela odkázán nikoliv na spodní vodu, ale na vodu srážkovou.

Všechny tyto změny byly zjištěny na všech světových stranách a jsou vyvolány zvýšením až radikálním zvětšením prokořenění mýtních porostů dubu na odtěženou stranu. Jelikož dub letní prokořeňuje prostor cca 2 až 4 m za průmět koruny, lze se v praxi dobře orientovat právě podle průmětu korun. Rozložení kořenového systému mýtních stromů však nemusí být vždy rovnoměrné, proto se i stává, že v některé části okraje holiny dobře odrůstá výsadba i pod průmětem koruny nebo v místech, kde mýtní dub v okraji chybí.

Co je příčinou toho, že mýtní dub výrazně prokořeňuje na odtěženou stranu. Lze se domnívat, že je to nedostatek vody. Po odtěžení na obnažené části stromu (holině) klesá vlhkost půdy, která je potom nedostatečná pro zdárný vývoj stromu. Nelze však vyloučit ani rychlou snahu stromu pro zajištění své mechanické stability.

Obdobné a často ještě silnější účinky mají solitéry dubu letního. Negativní účinky se projevují na všechny světové strany (což opět potvrzuje, že nejde o negativní vliv slunce, neboť u solitéru nelze hovořit o nedostatku sluneční radiace). Mauer a XY () zjistili výrazné zvětšení prokořenění jemnými kořeny až do hloubky 120 cm po celém průmětu koruny a kritický nedostatek vody ve svrchních půdních vrstvách. Nepřímým šetřením však prokázali negativní vliv kořenových exudátů výstavku na růst dubu pod jeho korunou.

Že nejde o vliv sluneční radiace a výkyv počasí a tudíž o výkyvy vlhkosti půdy prokazuje skutečnost, že časem negativní účinek okrajového efektu neodeznívá, ale přetrvává a sílí.

Že jde o vliv negativního faktoru v hloubce cca 40 cm svědčí i tyto skutečnosti. Řešitelskému kolektivu není známo (a vykopal desítky kořenového systému dubu letního), že by tato dřevina v mladém věku vytvářela jiný než křivý, nebo panohovitý kořenový systém s výrazným a rychlým pozitivně geotropickým směrem růstu. Nejpozději při výšce cca 5 m musí dub dosáhnout spodní hladiny spodní vody. Ani dostupné literární údaje neuvádějí jiný typ kořenového systému dubu letního. Lesnická praxe v pásech okrajového efektu dubu letního vysazuje jasan, který zde poměrně dobře odrůstá. Jasan zde vytváří povrchový kořenový systém.

Závěr

Práce analyzuje biometrické parametry růstu nadzemní části, ztráty, architektoniku kořenového systému a prokořenění půdního profilu ve spádovém okraji obnovovaných porostů dubu letního na lužních stanovištích v závislosti na expozici obnovované holiny vůči světovým stranám a na vzdálenosti od okraje mýtního porostu. Doplňujícím šetřením bylo zjišťování vlhkosti půdy a míry radiace na stejných místech měření. Z realizovaných šetření lze vyvodit tyto hlavní závěry:

- Negativní vliv spádového okraje je vždy největší na okraji obnovované holiny, dále do středu holiny slábne a končí cca 7 m za průmětem koruny mýtních stromů zasahujících do holiny, a to bez ohledu na světové strany. Od okraje mýtního porostu do středu holiny klesají ztráty, zvětšují se délka nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, velikost kořenového systému a hloubka prokořenění kosterními kořeny.
- Od okraje holiny pod celou plochou průmětu korun zasahujících do holiny bez ohledu na světové strany výrazně narůstá prokořenění půdy kořeny o tloušťce 2,1 až 10,0 m, ale zejména prokořenění jemnými kořeny. V těchto místech i dub ze sje vytváří velmi mělký kořenový systém s deformacemi do L.

- I když byly zjištěny změny v míře sluneční radiace, na všech světových stranách klesá vlhkost půdy pod průměty korun zasahujících do holiny pod 20 %.
- Příčinou tvorby spádového okraje je velké prokořenění půdy okrajovými mýtními stromy, které vyvolává kritický nedostatek vody pod jejich průměty.

Tab. 1: Lanžhot, Litovel - sadba - architektura kořenového systému, biotechnické parametry nadzemní části, ztráty

Lokalita expozice místo	Počet analyz. stromů (ks)	Délka nadzemní části (cm)	Tloušťka kořenového krčku (mm)	Ztráty %	Typ kořen. systému	Deformace kořen. systému		Horizontální kosterní kořeny celkem		
						(v počtu stromů)		počet (ks)	tloušťka (mm)	
						bez	L			
Lanžhot sever	A	10	39,8/6,1-	10,1/1,6-	65	Pan	0	10	5,4/1,6K	2,67/0,75K
	1	5	+157,7/14,5-	+22,4/4,2-	21	Pan	1	4	+10,8/2,7-	+4,82/1,36-
	2	5	+205,6/15,3-	-26,8/5,4-	12	Pan	5	0	-12,6/1,1-	-5,61/1,47
	3	5	+277,4/16,3-	+38,1/0,6+	7	Pan	5	0	-13,5/0,6-	-6,54/2,14-
Lanžhot jih	A	10	40,8±5,8-	10,8/1,7K	71	Pan	1	9	5,5/1,7-	2,57/1,10-
	1	5	+167,4±11,1-	+26,4/2,5-	24	Pan	3	2	+10,4/1,1-	+5,76/2,08K
	2	5	+207,2±34,2K	-27,0/6,2-	13	Pan	5	0	-13,3/1,2K	-5,72/1,55K
	3	5	+281,0±39,7-	+48,8/5,3K	6	Pan	5	0	-14,6/1,1-	+7,72/1,55-
Lanžhot východ	A	10	43,2/6,4-	9,9/1,0-	64	Pan	0	10	4,7/1,0-	2,10/0,82-
	1	5	+182,0/12,5K	+27,6/2,9K	23	Pan	3	2	+11,4/2,4-	+4,98/1,48-
	2	5	-199,1/11,9-	-27,8/2,1K	15	Pan	5	0	-12,0/1,5K	-4,88/1,45-
	3	5	+268,0/9,1-	+40,6/4,8-	7	Pan	5	0	-14,8/2,2-	+7,48/3,31K
Lanžot západ	A	10	45,2/6,6K	9,7/1,1-	68	Povrch.	2	8	4,1/1,8-	2,12/0,50-
	1	5	+129,6/11,1+	+19,6/1,3+	27	Pan	1	4	+8,0/0,7-	+3,80/0,91-
	2	5	+176,6/15,5-	-23,0/1,8-	17	Pan	4	1	+10,1/1,1-	-4,20/2,01-
	3	5	+289,0/18,1K	+37,3/0,6+	10	Pan	5	0	+13,7/0,6-	+6,91/2,81-
Litovel sever	1	6	259,2/20,7	30,3/2,8-	25	Pan	3	3	10,3/1,5-	8,45/1,37-
Litovel jih	1	6	260,6/44,4-	35,0/9,9-	28	Pan	3	3	13,2/2,3-	5,97/2,13-
Litovel východ	1	6	286,0/15,9-	33,0/5,6-	19	Pan	0	6	15,3/4,13K	5,98/2,52-
Litovel západ	A	6	75,6/5,2	16,2/0,5	79	Povrch.	1	5	5,7/1,2	5,26/1,13
	1	6	+287,2/34,3K	+37,0/6,2K	21	Povrch.	2	4	+8,7/3,2+	-6,22/2,27K
	2	6	+383,5/22,4	+46,2/2,6	13	Pan	6	0	+22,0/2,9	+8,18/3,28
	3	6	+429,2/40,9	-45,6/5,8	5	Pan	6	0	+27,2/4,6	-7,15/2,49

Tab. 1: pokračování

Lokalita expozice místo		Panohy		Hloubka prokořenění (cm)		Ip všech kořenů	Ip horizontál. kosterních kořenů
		počet (ks)	tloušťka (mm)	průměrná	maximální		
Lanžhot sever	A			19,7/6,1-	25,8±5,8-	1,14/0,47-	0,42/0,18K
	1		13,9/3,3	+39,6/5,2K	+42,6±2,7-	+3,65/0,48-	+1,64/0,36-
	2		13,9/3,4	+53,2/5,2-	+58,4±5,1-	-3,48/0,41K	-1,62/0,51K
	3		15,9/3,9	+79,6/10,6-	+82,2±11,4-	+4,22/0,51-	+2,22/0,29+
Lanžhot jih	A			24,2/5,8-	27,2/5,6-	1,28/0,42K	0,36/0,17-
	1		11,7/1,9	+39,4/9,5-	+39,8/8,6-	+3,34/0,84-	+2,04/0,57K
	2		14,1/2,2	+55,0/4,4K	+57,3/4,5-	-3,41/0,35-	-1,58/0,47-
	3		17,0/4,3	+71,2/9,2+	+75,6/12,8-	+5,44/0,97	+2,82/0,34-
Lanžhot východ	A			23,9/4,9-	28,1/6,4-	1,19/0,41-	0,42/0,17-
	1		14,6/3,6	+40,2/5,8-	+44,2/2,1K	+3,85/0,54K	+1,58/0,35-
	2		13,3/4,3	+53,1/4,4-	+55,4/2,7-	-3,13/0,51-	-1,47/0,35-
	3		17,7/4,6	+72,4/11,2-	+79,6/6,2-	+5,89/0,89K	+3,22/0,51K
Lanžot západ	A			24,7/5,2K	29,4/6,1K	1,23/0,38-	0,38/0,13-
	1		10,9/3,8	+39,5/7,9-	+42,0/7,0-	+2,84/1,11-	+1,55/0,19-
	2		13,5/3,1	+50,6/5,2-	+62,2/7,3K	-2,80/0,53-	-1,22/0,25-
	3		16,0/4,6	+93,5±10,2K	+107,4/12,6K	+4,15/0,44+	+2,13/0,28+
Litovel sever	1		12,1/3,4K	56,8/10,6-	61,7±8,9-	2,02/0,36+	1,19/0,38+
Litovel jih	1		10,3/2,2-	55,4±9,2-	60,6/10,5-	2,64/0,65-	1,64/0,55-
Litovel východ	1		11,9/3,8-	59,8/12,4K	68,2/104K	3,05/0,78K	2,00/0,96-
Litovel západ	A		-	22,7/0,9	22,7/0,9	2,02/0,92	2,02/0,92
	1		-	+47,5/2,1-	+57,5/8,1-	-2,66/0,49-	-2,66/0,49K
	2		13,7/3,6	+64,6/9,2	+69,7/6,6	+4,19/0,78	-2,76/0,93
	3		-16,4/2,8	+108,9/10,3	+109,2/11,5	-4,41/0,96	-2,98/0,86

Tab. 2: Židlochovice - síje - architektura kořenového systému, biometrické parametry nadzemní části, ztráty - expozice západ (hodnoceno 2 roky po podzimní síji)

Parametry	Místo analýz a typ kořenového systému							
	A		B		1		3	
	Kůlový	Panohovitý	Kůlový	Panohovitý	Kůlový	Panohovitý	Kůlový	Panohovitý
Délka NČ (cm)	-	9,7±4,5	18,6±1,5	20,0±3,2	+50,6±3,7	+52,0±7,8	+81,7±2,3	+78,7±9,9
Tloušťka KK (mm)	-	3,8±1,2	5,6±0,57	-5,0±1,1	+8,4±1,1	+8,7±1,5	+11,7±1,4	+10,5±1,3
Ztráty (%)		88		46		18		5
Typ KS (v počtu stromů)	0	10	3	7	5	3	6	4
Deformace KS (v počtu stromů)								
- Bez		1	1	2	1	0	6	4
- L	-	9	2	5	4	3	0	0
- Strboul		0	0	0	0	0	0	0
Počet HKK (ks)	-	7,6±4,2	9,6±2,5	-10,0±1,5	+16,2±2,5	+15,3±1,5	+28,1±2,7	+30,3±2,8
Tloušťka HKK (mm)	-	0,81±0,47	2,24±0,51	+2,56±1,02	-2,90±1,50	-3,30±1,79	-2,75±0,96	-3,01±1,41
Počet panoh (ks)	-	2,4±0,5	-	-2,4±0,6	-	-2,9±0,7	-	-2,5±0,6
Tloušťka panoh (mm)	-	1,5±1,1	-	+3,6±0,6	-	+6,6±2,1	-	-6,8±1,4
Tloušťka kůlu (mm)	-	-	5,3±0,6	-	+8,4±0,5	-	+12,0±1,41	-
Hloubka prokořenění (cm)	-	11,2±4,3	18,1±6,9	-16,7±7,1	-19,2±8,8	-16,3±6,5	+55,9±5,7	+53,7±4,2
Ip všech kořenů	-	1,962±0,842	3,545±1,304	+5,500±1,320	-3,791±2,056	-6,141±1,687	-3,638±0,616	-5,516±0,653
Ip HKK	-	1,962±0,842	2,899±1,250	+3,797±1,064	-3,319±1,511	-3,806±0,322	-3,022±0,611	-4,092±0,438

Tab. 3: Lanžhot, Litovel, Židlochovice - prokořenění pudy

Lokalita expoze místo	Prokořenění pudy kořeny o tloušťce 2,1 až 10,0 mm						Biomasa jemných kořenů (g.100 ml pudy ⁻¹)		
	0,0 - 39,9 cm		40,0 - 79,9 cm		80,0 - 100 cm		30 - 40 cm	70 - 80 cm	
	počet (ks)	tloušťka (mm)	počet (ks)	tloušťka (mm)	počet (ks)	tloušťka (mm)			
Lanžhot porost	P	18,7/2,3	6,9/2,9	8,2/1,2	3,8/1,2	-	-	0,0250/0,0024	0,0041/0,0004
Lanžhot sever	A							+0,0373/0,0042K	+0,0510/0,0056-
	1	+26,2/3,9-	-5,9/3,1-	+24,7/2,7K	+5,1/2,7-	9,3/1,6-	6,1/2,8K	-0,0217/0,0012-	+0,0409/0,0029-
	2	+22,8/2,5K	-4,5/2,1-	-12,9/2,1K	-5,8/3,7K	-	-	+0,0039/0,0006-	+0,0002/0,0001+
	3	+6,2/1,1K	+4,2/0,4K	+4,7/0,7K	-3,4/0,9+	-	-	nezjišťováno	
Lanžhot jih	A							+0,0411/0,0028-	+0,0580/0,0037K
	1	+29,2/2,4-	-8,1/3,4-	+10,6/2,7-	+6,2/2,1K	6,1/1,3+	5,0/1,1-	-0,0246/0,0022K	+0,0412/0,0042K
	2	+13,8/1,9+	-6,6/2,2K	-7,8/1,9+	-5,4/1,7-	-	-	+0,0042/0,0011-	+0,0002/0,0001+
	3	+4,9/0,7-	-4,0/1,1-	+2,2/0,3+	-3,7/1,1+	-	-	nezjišťováno	
Lanžhot východ	A							+0,0403/0,0040-	+0,0512/0,0064-
	1	+29,3/2,2-	-7,6/3,3-	+12,7/2,1-	+6,1/2,2-	6,6/0,8+	4,6/1,2+	-0,0220/0,0016-	+0,0368/0,0024-
	2	-15,6/2,2+	-5,7/1,9-	-8,7/1,1+	-5,4/1,6-	-	-	+0,0047/0,0017K	+0,0007/0,0001K
	3	+7,1/0,8-	+3,8/0,8-	+3,3/0,9-	-4,3/0,5-	-	-	nezjišťováno	
Lanžhot západ	A							+0,0382/0,0037-	+0,0490/0,0062-
	1	+29,5/2,0K	-8,8/3,2K	+18,9/1,2+	+6,2/2,2-	10,7/1,1K	4,9/0,7+	+0,0151/0,0012+	+0,0319/0,0019+
	2	-20,3/1,5-	-4,9/2,4-	-10,8/1,7-	-4,9/1,9-	-	-	+0,0019/0,0002+	+0,0005/0,0001-
	3	+5,3/0,5-	+3,0/1,2-	+1,3/0,5+	-5,3/0,6K	-	-	nezjišťováno	
Litovel porost	P			nezjišťováno				0,0250/0,0023	0,0141/0,0024
Litovel západ	A			nezjišťováno				+0,0420/0,0029	+0,0572/0,0031
	1			nezjišťováno				+0,0327/0,0012	+0,0373/0,0018
Židlochovice porost	P			nezjišťováno				0,0238/0,0034	0,0130±0,0011
Židlochovice západ	A			nezjišťováno				+0,0407/0,0039	+0,0523/0,0039
	1			nezjišťováno				-0,0220/0,0016	+0,0368/0,0024

Tab. 4: Lanžhot - globální radiace za období březen – červen

Lokalita expozice místo		Radiace (WH.m ⁻²)	% z maxima
Lanžhot sever	P	523 583	100,0
	1	70 770	13,5
	3	114 480	21,8
Lanžhot jih	P	523 583	100,0
	1	255 719	48,8
	3	397 913	75,8
Lanžhot východ	P	523 583	100,0
	1	185 777	35,5
	3	375 129	71,6
Lanžhot západ	P	523 583	100,0
	1	127 326	24,3
	3	302 821	57,8

Odezva kořenového systému na stres v uměle založených smrkových porostech

Oldřich Mauer, Eva Palátová

Úvod

Lesní dřeviny se vyvíjejí v neustálé interakci s vnějším prostředím a v průběhu života jsou vystavovány přirozeným stresům jako např. vysokým či nízkým teplotám, přebytku vody nebo naopak suchu, kompetici o světlo, živiny a vodu apod. Při umělé obnově mohou být navíc negativně ovlivněny stresovými faktory antropogenního původu, mezi které můžeme zařadit nesprávné postupy při pěstování sadebního materiálu a manipulaci s ním nebo špatně provedenou výsadbu, včetně výsadby do nevhodného prostředí. Ve stádiu kultur i porostů mohou jejich růst ovlivňovat další stresové faktory, zejména polutanty v atmosféře, které působí přímo na asimilační orgány dřevin nebo po depozici na půdu vyvolávají změny půdního prostředí a ovlivňují dřeviny nepřímo, přes kořenový systém. Smrk ztepilý, který se stal po záměrně vyvolané změně druhové skladby hlavní dřevinou lesů střední Evropy, patří mezi dřeviny, které jsou od počátku zakládání monokultur postihovány zejména větrnými a hmyzími kalamitami a v posledních desetiletích dochází i k jejich velkoplošnému chřadnutí a úhynu. Přes intenzivní výzkumnou činnost nebyly příčiny tohoto jevu jednoznačně vysvětleny a žádná z formulovaných hypotéz nebyla zcela verifikována.

Metody a použitý materiál

Reakce kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) na použití fyziologicky oslabeného a morfologicky nekvalitního sadebního materiálu, na nevhodnou výsadbu a na uměle vyvolané stesy byla sledována v nádobových pokusech a in situ v provozně založených kulturách a mladších porostech.

Pozornost byla věnována architektonice kořenového systému (kosterním kořenům, zajišťujícím mechanickou stabilitu stromu), tvorbě adventivních kořenů (kořenů vytvářejících se v průběhu růstu stromu na podzemních stoncích) a zejména jemným kořenům (kořenům slabším než 1 mm), které mají rozhodující význam při zajištění výživy stromu.

Metodické postupy sledování kořenového systému

- Architektonika kořenového systému byla hodnocena po ručním archeologickém vyzvednutí celých kořenových systémů. V každém analyzovaném porostu bylo vyzvednuto minimálně 6 kořenových systémů.
- Jemné kořeny byly v nádobových pokusech a kulturách získávány vyzvednutím celého kořenového systému rostliny (minimálně 15 rostlin) a následnou ruční separací. V mladších porostech byly odebírány pomocí půdních sond o průměru 5 cm (minimálně 30 půdních výkrojů). Výkroje byly podle půdních horizontů zhomogenizovány a jemné kořeny separovány ze vzorků známého objemu.
- Biomasa jemných kořenů byla zjišťována vážením po vysušení do konstantní

hmotnosti.

- Délka jemných kořenů byla vyhodnocována pomocí analýzy obrazu, počet kořenových špiček a index větvení byl vyhodnocován *ručně*.
- Mykorrhizní infekce byla hodnocena metodou kvantitativního stanovení glukozaminu (VIGNON et al. 1986) po kyselé hydrolýze chitinu (PLASSARDOVÁ et al. 1982).
- Životnost jemných kořenů byla zjišťována metodou redukce 2,3,5 trifenylnitrotetrazoliumchloridu (JOSLIN a HENDERSON 1984).
- Funkčnost jemných kořenů byla vyhodnocována pomocí absorpce značeného fosforu (LANGLOIS a FORTIN 1984).
- Objemy kořenového systému a jeho částí byly zjišťovány xylometricky.
- Savá síla kořenového systému byla vyhodnocována standardními postupy.
- Většina změn kořenového systému byla sledována v závislosti na půdních horizontech - humusové horizonty, humusem obohacený minerální horizont a minerální horizonty do hloubky 30 cm půdního profilu. Není-li v tabulkách uvedeno jinak, biomasa a délka jemných kořenů jsou uváděny pro celý sledovaný profil, ostatní parametry jemných kořenů pro humusové horizonty.
- Další parametry, včetně parametrů nadzemní části, byly analyzovány standardními postupy.

Stručný popis jednotlivých ověřování je uveden v záhlaví příslušných tabulek výsledků. Většina výsledků je uvedena v relativním porovnání k příslušné kontrole - hodnoty získané u kontroly = 100 %, hodnoty jednotlivých variant jsou procentickým propočtem k základu kontroly. Znaménko plus znamená nárůst, znaménko mínus znamená pokles (příklad: +48 prezentuje, že měřená hodnota je oproti kontrole o 48 % větší).

Výsledky a jejich zhodnocení

Odezva kořenového systému smrku ztepilého na výsadbu stresovaného sadebního materiálu je uvedena v tab. 1 až 3, na nevhodně uskutečněnou techniku výsadby a výsadby do nevhodných stanovištních podmínek v tab. 4 až 6 a na některé antropogenní i přirozené vlivy v tab. 7 až 9. Jak již bylo zdůrazněno, cílem příspěvku není zjistit příčiny chřadnutí uměle založených smrkových monokultur, ale dokladovat reakci kořenového systému této významné dřeviny na stres. Komparací dílčích výsledků uskutečněných analýz lze vyvodit tyto trendy:

- Zdárné odrůstání kultur a porostů je limitováno rychlým a dobrým obnovením růstu kořenového systému užitého sadebního materiálu. Kořenový systém musí být zcela funkční nejen po stránce fyziologické, ale jeho vývin musí respektovat i přirozenou architekturu.
- Výsadbou stresovaného sadebního materiálu nebo jeho uplatněním na nevhodných stanovištích jsou vytvořeny predispozice (se zvyšuje pravděpodobnost problematického vývoje porostů pro problematický vývoj porostů v případě působení dalších stresů).
- S výjimkou naprosto jednoznačných silných ataků na nadzemní část, vedoucích k defoliaci (mráz, jednorázová vysoká koncentrace imisí apod.), je po stresu nejdříve a nejvíce ovlivňován vývin kořenového systému, a to i v případech, že stres zpočátku růst nadzemní části neovlivňuje nebo v některých případech dokonce stimuluje.
- I když po vyvolání stresu je reakce nadzemní části minimální nebo pomalá, v kořenovém systému probíhají výrazné a rychlé morfologické i fyziologické změny, krátkodobě i naprosto nečekané.

- Smrk ztepilý má velkou schopnost tvořit adventivní kořeny. Proto v případě působení mnohých stresů vytváří nejen nové větve kořenového systému, ale může vytvořit i zcela nový kořenový systém, často v těch půdních horizontech, kde je vliv stresu relativně nejmenší. Významná je i schopnost změny vertikální distribuce jemných kořenů v rámci rhizosféry.
- Smrk ztepilý je obligátně ektomykorrhizní dřevinou. V případě negativního ovlivňování jemných kořenů, tzn. že je zmenšena jejich biomasa, u zbylých jemných kořenů může být krátkodobě zvýšena jejich fyziologická aktivita.
- Je-li stres pouze jeden, smrk ztepilý se s ním většinou vyrovná nebo mu odolává relativně velmi dlouho. Souběžné působení více stresových faktorů může vyvolat i mortalitu.
- Vlivu stresů odolávají starší, na podmínky stanoviště adaptované porosty více, než kultury po výsadbě.
- Průběh poškozování kořenového systému - po stresu výrazný šok, poté zlepšování (obě fáze mají oproti reakci nadzemní části často rychlejší průběh), třetí fází je postupné poškozování až k mortalitě. Průběh může být urychlen dalším stresem. Při výrazném poškození nadzemní části (defoliaci) je průběh, jako u všech obligátně mykorrhizních dřevin, jednofázový - mortalita.

Závěr

I přes výrazné chřadnutí a poškozování zůstane smrk ztepilý jednou z nejdůležitějších dřevin střední Evropy. Na základě zjištěné reakce kořenového systému této dřeviny na stres lze doporučit:

- Se smrkem ztepilým je třeba zacházet jako s významnou klimaxovou dřevinou, a to i přesto, že odolává stresům více než dřeviny jiné.
- Před jeho užitím je žádoucí v zájmové oblasti identifikovat možný stres (stanoviště, klima, imise, parazitické houby, a pod.) a obzvláště v případě možného výskytu souběžných stresů jeho uplatnění minimalizovat.
- Smrk ztepilý neuplatňovat na okrajích jeho ekovalence a přísně respektovat jeho původ.
- Při obnově používat kvalitní sadební materiál vypěstovaný na podmínky konkrétní holiny (polystandardní sadební materiál) a celou obnovu uskutečnit tak, aby již kultura a mladé porosty nebyly významně stresovány.

I když bude často nutná úprava fyzikálních a chemických parametrů stanoviště, všechny tyto změny dělat postupně a kontinuálně. Náhlá a výrazná změna chemizmu půdy může často kořenový systém negativně ovlivnit více, než když k úpravě prostředí nedojde.

Tab. 1: Vývin kořenového systému smrku ztepilého po výsadbě fyziologicky oslabeného sadebního materiálu. (Fyziologické oslabení bylo navozeno ztrátou vody v pletivech. Část rostlin byla po výsadbě stresována dalším čtyřtýdenním přísuškem. Kontrolou byl sadební materiál s optimálním obsahem vody v pletivech bez přísušku. V čitateli zlomku jsou výsledky bez přísušku, ve jmenovateli zlomku výsledky s přísuškem.)

Ztráta vody v pletivech (v % hmotnosti celé rostliny)	3 měsíce po výsadbě			12 měsíců po výsadbě		
	Mortalita (%)	Přírůst nadzem. části	Objem jemných kořenů	Mortalita (%)	Přírůst nadzem. části	Objem jemných kořenů
10	12/42	- 3/-68	- 32/-53	17/64	0/-41	+ 3/-46
20	45/73	- 57/-86	- 68/-77	55/100	- 37/-	- 41/-
30	61/100	- 84/-	- 89/-	100/-	-/-	-/-

Tab. 2: Vývin kořenového systému smrku ztepilého po výsadbě sadebního materiálu s nevhodným poměrem objemu kořenového systému k objemu nadzemní části. (Pro výsadbu byl použit sadební materiál s neupraveným kořenovým systémem - v tabulce označeno Neupravovaný - a sadební materiál s upraveným kořenovým systémem - v tabulce označeno Upravovaný, tzn., že kořenový systém byl na příslušný objem zkrácen při výsadbě. Kontrolou byl neupravovaný kořenový systém s poměrem objemů 1 : 2. Po výsadbě byl uměle navozen třítydenní přísušek. Výsledky po 12 měsících ověřování.)

Poměr objemu kořenového systému k nadzemní části	Mortalita (%)		Přírůst nadzemní části		Biomasa jemných kořenů	
	Neupravovaný	Upravovaný	Neupravovaný	Upravovaný	Neupravovaný	Upravovaný
1 : 2	8	5	Kontr.	0	Kontr.	+ 21
1 : 3	17	34	- 31	- 27	- 33	0
1 : 4	32	52	- 64	- 79	- 51	- 71

Tab. 3: Vývin kořenového systému smrku ztepilého po výsadbě sadebního materiálu s deformovaným kořenovým systémem. (Vysazován byl krytokořený sadební materiál s výrazně deformovaným kořenovým systémem. Část rostlin byla při výsadbě umístěna hluboko do půdy - v tabulce označeno Deformovaná utopená, část rostlin byla vysázena po úroveň kořenového krčku - v tabulce označeno Deformovaná úrovňová. Kontrolou byla úrovňová výsadba nedeformovaných prostokořených sazenic.)

Roky po výsadbě	Počet horizontálních kosterních kořenů (v kusech/z toho adventivní kořeny v %)			Deformace kořenového systému (v % rostlin)			Přírůst nadzemní části	
	Deformovaná utopená	Deformovaná úrovňová	Kontrola	Deformovaná utopená	Deformovaná úrovňová	Kontrola	Deformovaná utopená	Deformovaná úrovňová
	2	1,2/100	0	4,7/0	100	100	0	+ 40
6	3,2/100	0	6,8/21	100	100	0	+ 10	- 3
8	5,5/100	1,2/0	6,4/23	67	100	0	0	- 6
16	7,4/100	1,8/12	5,8/18	0	100	0	+ 3	- 35

Tab. 4: Vývin kořenového systému smrku ztepilého v závislosti na rozdílném množství organické hmoty při úrovňové jamkové výsadbě. (Na extrémní kalamitní lokalitě byla uskutečněna výsadba trojím způsobem: byly zcela strženy humusové horizonty a rostlina byla umístěna pouze do minerální půdy - v tabulce označeno Minerál; minerální horizonty byly promíseny v celém profilu prokopané jamky - v tabulce označeno Prokopaná jamka; při výsadbě bylo přímo ke kořenovému systému dodáno 0,5 l organické hmoty - v tabulce označeno Organická hmota. Kontrolou byla výsadba do minerální půdy - Minerál. Výsledky po 12 měřících ověřování.)

Výsadba	Mortalita (%)	Přírůst nadzemní části	Objem jemných kořenů
Minerál	33	Kontr.	Kontr.
Prokopaná jamka	18	+ 79	+ 63
Organická hmota	5	+ 238	+ 171

Tab. 5: Vývin kořenového systému smrku ztepilého v závislosti na vhodném původu osiva. (Sadební materiál byl vypěstován z osiva pocházejícího z rozdílných nadmořských výšek a byl vysázen na lokalitu v nadmořské výšce 750 m. Kontrolou byl sadební materiál vypěstovaný z osiva z nadmořské výšky 750 m. Výsledky po 3 letech ověřování.)

Původ osiva (nadmořská výška)	Mortalita (%)	Přírůst nadzemní části	Objem celého kořenového systému	Objem jemných kořenů
250	27	+ 28	- 18	- 46
550	8	+ 7	- 19	- 26
750	5	Kontr.	Kontr.	Kontr.
1000	5	- 17	- 13	+ 24

Tab. 6: Vývin kořenového systému smrku ztepilého po výsadbě na rozdílná stanoviště. (Sadební materiál původem z nadmořské výšky 540 m byl v nadmořských 510 až 580 m vysázen na rozdílná stanoviště. Kontrolou byl sadební materiál na kyselém stanovišti. Výsledky po 3 letech ověřování.)

Stanoviště	Mortalita (%)	Výška nadzemní části	Objem celého kořenového systému	Objem jemných kořenů
Kyselé	7	Kontr.	Kontr.	Kontr.
Živné	6	+ 57	+ 32	- 23
Ovlivněné vodou	11	+ 22	+ 14	+ 12
Extremní	42	- 56	- 47	- 69

Tab. 7: Vývin kořenového systému kultur smrku ztepilého pod vlivem kyselých imisí. (Nádobový pokus. Sadební materiál byl umístěn v imisní oblasti kyselých depozic - Krušné hory a v oblasti imisemi relativně nezasážené - ŠLP ML Křtiny. Na obou těchto lokalitách byl sadební materiál vysázen do kontaminované půdy z Krušných hor a do nekontaminované půdy ze ŠLP ML Křtiny. Kontrolou byly na každém stanovišti rostliny v nekontaminované půdě ze ŠLP ML Křtiny. Výsledky po třech letech ověřování.)

Parametr	Výsadba v kontaminované oblasti		Výsadba v nekontaminované oblasti	
	Nekontaminovaná půda	Kontaminovaná půda	Nekontaminovaná půda	Kontaminovaná půda
Mortalita (v%)	0	24	0	0
Přírůst nadzemní části	Kontr.	- 3	Kontr.	- 45
Biomasa jemných kořenů	Kontr.	- 52	Kontr.	- 16
Mykorrhizní infekce	Kontr.	- 13	Kontr.	- 2
Délka jemných kořenů	Kontr.	- 29	Kontr.	+ 38
Celkový počet kořenových špiček	Kontr.	- 53	Kontr.	+ 21
Index větvení	Kontr.	- 34	Kontr.	- 15
Biomasa celého kořenového systému	Kontr.	- 55	Kontr.	- 34

Tab. 8: Vývin kořenového systému smrku ztepilého po defoliaci. (Na rostliny dva roky po výsadbě byla v počátku měsíce května jednorázově aplikována kyselá závlaha - pH 2,1, která vyvolala 70 % defoliace. Kontrolou byly rostliny bez zásahu.)

Parametr	2 měsíce po zásahu	12 měsíců po zásahu
Mortalita (%)	0	79
Přírůst nadzemní části	- 57	- 85
Biomasa jemných kořenů	- 26	- 53
Životnost jemných kořenů	- 4	- 47

Tab. 9: Vývin kořenového systému smrku ztepilého pod vlivem zvýšených depozic dusíku a stresu suchem. (Nádobový pokus - rostliny byly vysázeny do 10 l plastových nádob a umístěny do speciálních přístřešků, které eliminovaly atmosferické srážky. Porost - ve dvanáctiletém porostu byly vybudovány speciální přístřešky, které z 60 % eliminovaly atmosferické srážky. V Nádobovém pokusu i v Porostu byly čtyři varianty ověřování: Dusík - v průběhu každého roku ověřování bylo dodáno 100 kg čistého dusíku na 1 ha plochy ve formě síranu amonného, Sucho - rostlinám bylo dodáno pouze 40 % objemu atmosferických srážek, Dusík + Sucho - současně byl navozen stres depozicemi dusíku a suchem, Kontrola - rostlinám byl dodán celý objem atmosferických srážek a stres dusíkem nebyl navozen. Výsledky Nádobových pokusů po třech letech, Porostu po čtyřech letech ověřování.)

Parametr	Dusík		Dusík + Sucho		Sucho	
	Nádobový pokus	Porost	Nádobový pokus	Porost	Nádobový pokus	Porost
Mortalita (%)	10	0	45	0	58	0
Přírůst nadzemní části	+ 44	+ 3	- 45	- 12	- 59	- 29
Tloušťka kmene	+ 12	+ 10	- 25	- 4	- 34	- 12
Délka jehlic	- 11	+ 14	- 21	- 28	- 34	- 34
Biomasa jemných kořenů	- 52	- 16	- 63	- 53	- 63	- 54
Změna vertikální distribuce jemných kořenů	ano	ano	ne	ano	ano	ano
Mykorrhizní infekce	- 26	- 10	- 22	+ 6	- 21	+ 16
Délka jemných kořenů	- 70	+ 6	- 79	- 71	- 78	- 77
Funkčnost jemných kořenů	- 20	+ 3	- 39	- 37	- 46	- 60
Životnost jemných kořenů	0	- 3	- 43	- 42	- 57	- 49
Savá síla kořenového systému	- 4	nejz.	- 67	nejz.	- 38	nejz.
Index větvení	+ 18	- 10	+ 33	- 13	+ 12	0
Objem celého kořenového systému	+ 97	nejz.	- 64	nejz.	- 82	nejz.
Počet adventivních kořenů	nejz.	- 6	nejz.	+ 60	nejz.	+ 59

Tab. 9: pokračování Změny v průběhu sledovaných let

Parametr	Dusík				Dusík + Sucho				Sucho			
	Rok sledování				Rok sledování				Rok sledování			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
Mortalita (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Přírůst nadzemní části	+ 21	+ 34	+ 21	+ 3	0	- 27	- 12	- 12	- 9	- 50	- 34	- 29
Biomasa jemných kořenů	+ 6	- 10	- 16	- 16	- 11	- 25	- 71	- 53	- 43	- 46	- 62	- 54
Životnost jemných kořenů	- 48	- 15	+ 8	- 3	- 34	- 52	- 58	- 42	- 37	- 42	- 46	- 49

	Nádobový pokus								
	Dusík			Dusík + Sucho			Sucho		
	Rok sledování			Rok sledování			Rok sledování		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Mortalita (%)	0	5	10	10	17	45	18	29	58
Přírůst nadzemní části	- 3	+ 5	+ 44	- 42	- 68	- 45	- 38	- 70	- 59
Biomasa jemných kořenů	- 34	- 59	- 52	- 25	- 51	- 63	- 26	- 31	- 63
Životnost jemných kořenů	- 12	+ 8	0	- 29	- 41	- 43	- 39	- 50	- 57

Tab. 10: Vývin kořenového systému smrku ztepilého pod vlivem kyselých depozic. (Nádobový pokus - rostliny byly vysázeny do 10 l plastových nádob a umístěny do speciálních přístřešků, které eliminovaly atmosferické srážky. V Nádobovém pokusu byly čtyři varianty ověřování: Kyselá závlaha - rostlinám byla dodávána voda o kyselosti 2,6 pH v celém objemu atmosferických srážek, Kyselá závlaha + Sucho - rostlinám byla dodávána voda o kyselosti 2,6 pH v polovičním objemu atmosferických srážek, Síra - rostlinám byla dodávána pitná voda v celém objemu atmosferických srážek a každoročně byla na povrch půdy aplikována prášková síra v množství 300 kg na 1 ha, Kontrola - rostlinám byla dodávána pitná voda v celém objemu atmosferických srážek, síra nebyla aplikována. Ve dvanáctiletém Porostu byly dvě varianty ověřování: Síra - na povrch půdy byla každoročně aplikována prášková síra v množství 300 kg na 1 ha, Kontrola - část porostu bez zásahu. Výsledky po třech letech ověřování.)

Parametr	Nádobový pokus			Porost
	Kyselá závlaha + Sucho	Kyselá závlaha	Síra	Síra
Mortalita (%)	75	21	8	0
Přírůst nadzemní části	- 52	- 18	- 39	- 33
Tloušťka kmene	- 37	- 18	- 1	- 5
Délka jehlic	- 41	- 3	- 2	- 4
Biomasa jemných kořenů	- 38	- 58	- 17	- 41
Změna vertikální distribuce jemných kořenů	ano	ano	ano	ano
Mykorrhizní infekce	- 30	+ 3	+ 1	+ 10
Délka jemných kořenů	- 58	- 64	- 20	- 33
Životnost jemných kořenů	- 67	0	- 27	- 24
Index větvení	- 33	+ 7	+ 11	- 2
Biomasa celého kořenového systému	- 71	- 52	- 12	nezj.

Tab. 10: pokračování Změny v průběhu sledovaných let

Parametr	Porost			Nádobový pokus		
	Síra			Kyselá závlaha + Sucho		
	Rok sledování			Rok sledování		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Mortalita (%)	0	0	0	3	27	75
Přírůst nadzemní části	- 15	- 20	- 33	- 11	- 28	- 52
Biomasa jemných kořenů	- 27	- 43	- 41	- 56	- 42	- 38
Životnost jemných kořenů	0	- 21	- 24	- 12	- 36	- 67

	Nádobový pokus					
	Kyselá závlaha			Síra		
	Rok sledování			Rok sledování		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Mortalita (%)	0	7	21	0	2	8
Přírůst nadzemní části	+ 3	- 5	- 18	- 3	13	- 39
Biomasa jemných kořenů	- 42	- 55	- 58	- 29	- 43	- 17
Životnost jemných kořenů	- 28	- 32	0	- 5	- 41	- 27

Kořenový systém a chřadnutí smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.)

Oldřich Mauer, Eva Palátová

Úvod a cíl práce

Monokultury smrku ztepilého, který se stal hlavní dřevinou druhové skladby lesů střední Evropy, byly od počátku jejich zakládání postihovány zejména větrnými a hmyzími kalamitami a v posledních desetiletích dochází i k jejich velkoplošnému chřadnutí a úhynu. Lesnická a obecně biologická literatura obsahuje značné množství dílčích informací, ale i řadu komplexnějších děl věnovaných problematice smrku. Tyto práce se zaměřují především na sledování růstu nadzemní části. Údaje o kořenovém systému jsou sporadické, často zcela chybí, a to i přesto, že kořenový systém má v růstu a vývoji dřevin nezastupitelnou úlohu. Uvedená skutečnost má dvě příčiny. Dokud nedocházelo k odumírání smrkových porostů, což je v podstatě záležitostí posledních čtyřiceti let, byla pozornost zaměřena na pěstební techniky (pro širší výzkum kořenového systému nebyl praktický důvod). Druhou příčinou je fakt, že výzkum kořenového systému je na rozdíl od sledování nadzemní části velmi pracný.

Rhizologie je mladou vědní disciplínou a přes její značný rozvoj v posledních letech je nutno konstatovat, že metody sledování, optimální metodické přístupy i postupy se stále ještě hledají. Přesto již byla publikována celá řada dílčích výsledků popisujících změny architektiky kořenového systému smrku po nesprávném způsobu výsadby nebo po výsadbě na nevhodné stanoviště, změny biomasy a vertikální distribuce jemných kořenů, změny v životnosti a funkčnosti jemných kořenů, změny mykorhizy, ale i změny zdravotního stavu kořenového systému dřevin v důsledku působení stresových faktorů. Většina dosud publikovaných výsledků popisujících změny kořenového systému smrku naznačuje, že mohou být využity nejen při indikaci změn probíhajících v ekosystému, ale mohou znamenat i zásadní změny pro provozní lesnickou praxi.

Přes intenzivní výzkumnou činnost nebyly příčiny velkoplošného chřadnutí a odumírání smrku ztepilého koncem minulého století exaktně vysvětleny. Po změně emisní situace se však stav smrkových porostů výrazně zlepšil a lze tudíž usuzovat, že hlavní příčinou byly imise. V současné době však dochází k dalšímu chřadnutí a odumírání smrku, které je výrazně regionální a má odlišné symptomy i průběh poškození. Postiženy jsou porosty v téměř všech lesních vegetačních stupních a na nejrůznějších stanovištích, přičemž plošně je současné poškození větší, než bylo poškození imisemi v minulém století.

Cílem práce proto bylo posoudit vazbu mezi vývinem a zdravotním stavem kořenového systému smrku ztepilého a jeho současným chřadnutím a odumíráním.

Metody a použitý materiál

- Analyzovány byly chřadnoucí porosty smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v těchto regionech České republiky: Krušné hory, Jizerské hory, Orlické hory, Krkonoše, Jeseníky, Českomoravská vrchovina, Dražanská vrchovina, Beskydy.
- Ve všech oblastech byly analyzovány postižené porosty všech věkových tříd (od kultur až do věku 90 let), porosty založené uměle i vzniklé přirozeně.
- Vždy byly vzájemně srovnány vedle sebe stojící a stejně vysoké stromy zdravé a chřadnoucí. K analýzám byly vždy vybírány neokrajové, úrovňové a zvěří nepoškozené

stromy. V každé analyzované věkové třídě bylo hodnoceno 6 až 30 stromů zdravých a stejný počet stromů chřadnoucích (celkem bylo hodnoceno 116 porostů a analyzováno 1400 stromů).

- Všechny kořenové systémy byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem. Po očištění bylo na každém kořenovém systému měřeno až 36 parametrů a současně byly sledovány parametry a znaky nadzemní části stromu. Vizualně a následně i speciálními analýzami bylo hodnoceno poškození kořenů a nadzemní části biotickými a abiotickými činiteli.
- U každého zdravého a chřadnoucího stromu byly vyzvednuty a separovány jemné kořeny (kořeny slabší než 1 mm, které zajišťují převážnou část výživy příjmem vody) a následně sledovány tyto parametry – biomasa (zjišťována hmotnost jemných kořenů po vysušení při 85 °C), životnost (zjišťována vitálním barvením), mykorhizní infekce (zjišťována kvantitativně chemicky) a typ mykorhizy (zjišťován na základě anatomické stavby mykorhizy pod mikroskopem).
- Současně byl v každém regionu analyzován průběh počasí od roku 1960 až do doby analýz, které probíhaly v letech 2006 až 2009, emisní situace a realizovány chemické analýzy půdy (podle půdních horizontů) a asimilačního aparátu.
- Z celé řady zjišťovaných parametrů jsou v práci uvedeny ty nejdůležitější.
 - Poslední dva přírůsty terminálního výhonu (označeny 1., 2.).
 - Procento stromů s hnilobami kořenů a báze kmene, která byla vyvolána vždy václavkou (*Armillaria* sp.).
 - Procento stromů s václavkou na kořenech a bázi kmene (posuzováno podle výronů pryskyřice a syrrocia).
 - Index p (označen I_p) – jde o vypočítanou hodnotu, která udává, jaká je velikost kořenového systému stromu vzhledem k jeho nadzemní části. Byla vypočítána jako podíl ploch příčných průřezů všech kosterních kořenů v mm^2 k výšce stromů v cm. Čím je hodnota I_p větší, tím větší kořenový systém strom má. Vzhledem k tomu, že se na kořenových systémech nacházely kořeny s hnilobou, kořeny napadené václavkou a kořeny zcela zdravé, byl I_p počítán jako I_p celkový (do hodnocení byly zahrnuty všechny kořeny kořenového systému), I_p funkční (do hodnocení nebyly zahrnuty kořeny s hnilobou, I_p zdravých kořenů (do hodnocení nebyly zahrnuty kořeny s hnilobou a kořeny napadené václavkou). Tímto způsobem byla hodnocena reálná funkčnost kořenů.
 - Hloubka prokořenění (kolmá vzdálenost od povrchu půdy po špiče kořenů), a to v členění na hloubku prokořenění celkovou (do hodnocení byly zahrnuty všechny kořeny) a hloubku prokořenění zdravými kořeny (do hodnocení nebyly zahrnuty kořeny s hnilobou a kořeny napadené václavkou).
 - Výskyt strboulu – nejzávažnější deformace kořenového systému, která vyvolává nepřírozenou architekturu kořenového systému, inhibuje vývin kořenového systému a je výrazným predispozičním faktorem pro napadení kořenového systému parazitickými houbami.
 - Biomasa, životnost a mykorhizní infekce jemných kořenů a typ funkční mykorhizy (u chřadnoucích stromů se může standardní funkční ektomykorhiza změnit na částečně parazitickou ektendomykorhizu nebo zcela parazitickou pseudomykorhizu).
- V práci jsou pro každý sledovaný region uváděny výsledky pouze dvou porostních situací. Výsledky a jejich tendence však platí pro všechny analyzované porosty v každém regionu.
- I když byly analyzovány porosty v různých částech České republiky, na základě zjištěných symptomů poškození a analýz kořenových systémů lze chřadnoucí porosty zařadit do tří skupin – v práci označené Ekotop 1, 2, 3. Všechny chřadnoucí stromy vykazovaly 40-60% změnu asimilačního aparátu. Vzhledem k tomu, že chřadnutím jsou

postiženy porosty založené uměle i vzniklé přirozenou obnovou, v práci jsou uvedeny výsledky analýz kořenových systémů stejně vysokých zdravých stromů z umělé i přirozené obnovy. Cílem této analýzy bylo zjistit, jaké predispozice k chřadnutí mají tyto porosty na základě vývinu jejich kořenového systému. Metodické postupy analýz byly shodné jako u analýz chřadnoucích a zdravých porostů.

- Chřadnouce porosty jsou často napadány kůrovcem. V práci jsou uvedeny výsledky analýz kořenových systémů stejně vysokých stromů napadených kůrovci a vedle stojících stromů nenapadených. Analýzy byly realizovány po napadení lýkožroutem lesklým (*Pityogenes chalcographus* LINNÉ) a lýkožroutem smrkovým (*Ips typographus* LINNÉ) a byly k nim užity stejné metodické postupy jako u analýz chřadnoucích a zdravých porostů.

Výsledky a jejich zhodnocení

Chřadnutí porostů smrku ztepilého – ekotop 1

- Shodné symptomy poškození a výsledky analýz kořenových systémů byly zjištěny v Krušných horách a v Orlických horách.

Symptomy chřadnutí a charakteristika ekotopu

- Žloutnutí asimilačního aparátu, které může rychle přejít v rezivění, úplnou defoliaci a úhyn stromu (obr. 1), ale může i zmizet a projevit se znovu za několik let – podle průběhu počasí (ve vlhkých létech a při normálních zimách poškození mizí).
- Postiženy jsou stromy všech věkových tříd, ale největší rozsah úhynu je od stádia kultur do věku cca 20 let.
- Chřadnutí je plošné na osluněných kyselých a chudých stanovištích.
- Nebyla zjištěna deficiencie ve výživě, nebyly zjištěny kritické hodnoty žádného z parametrů půdních analýz.
- Výrazné oteplení, prodloužení vegetační doby, nedostatek vody ve vegetačním období a výrazné výkyvy počasí v zimě.

Výsledky (tab. 1, obr. 1, 2)

- U chřadnoucích stromů nebylo zjištěno snížení přírůstků terminálního výhonu.
- U chřadnoucích stromů bylo zjištěno vysoké procento stromů s hnilobami kořenů, téměř stoprocentní výskyt stromů s václavkou na kořenech a více než 50% výskyt václavky na bázi stromu.
- U všech poškozených stromů byla zjištěna výrazně menší hodnota I_p celkového (nedosahuje 50 % hodnot porostů zdravých), velikost kořenového systému se dále zmenšuje hnilobami kořenů a vyřazováním kořenů s václavkou (I_p zdravých kořenů nedosahuje u poškozených stromů třetiny stejného parametru stromů zdravých).
- Nebyly zjištěny rozdíly v hloubce prokořenění mezi zdravými a poškozenými stromy, hloubka prokořenění je ale velmi malá.
- U většiny zdravých a všech chřadnoucích stromů byl zjištěn výskyt strboulu.
- U chřadnoucích stromů bylo zjištěno snížení biomasy a životnosti jemných kořenů. Mykorhizní infekce u chřadnoucích stromů nebyla negativně ovlivněna, v některých případech byla i stimulována.
- Výrazným predispozičním faktorem chřadnutí je malý kořenový systém (hodnoty I_p celkový), vyvolaný jeho deformací do strboulu a velmi malá hloubka prokořenění, vyvolaná deformací do strboulu a neprostupností půdních horizontů pro kořeny. Spouštěcím faktorem je nedostatek vody ve vegetačním období nebo výrazné výkyvy počasí v zimním období. Pouze stromy s větším kořenovým systémem jsou schopny výrazné změně počasí odolávat. Postupné oslabování stromu vyvolává nástup václavky, která hnilobami dále zmenšuje velikost kořenového systému. Poškozené stromy (není-li

změna počasí tak výrazná, že vyvolá mortalitu) reagují tím, že energii soustředí do výškového přírůstu, přičemž tloušťkový přírůst je inhibován.

Chřadnutí porostu smrku ztepilého – ekotop 2

- Shodné symptomy poškození a výsledky analýz kořenového systému byly zjištěny na Českomoravské vrchovině a v Krkonoších.

Symptomy chřadnutí a charakteristika ekotopu

- Trvalé žloutnutí až rezivění asimilačního aparátu s postupnou defoliací (obr. 4).
- Stromy odumírají pomalu (i několik let), postiženy jsou stromy všech věkových tříd.
- Chřadnutí se vyskytuje na výrazně ohraničeném území, pouze na kyselých a chudých stanovištích.
- Byla zjištěna výrazná acidifikace půdy, až kritický obsah Al v půdě a kritická deficiencie Mg ve výživě.
- Výrazné oteplení, prodloužení vegetační doby, nedostatek vody ve vegetačním období

Výsledky (tab. 2, obr. 5, 6)

- U chřadnoucích stromů bylo zjištěno signifikantní snížení přírůstu terminálního výhonu.
- U zdravých ani u chřadnoucích stromů nebyly zjištěny hniloby kořenů nebo báze kmene.
- U všech poškozených stromů byla zjištěna výrazně menší hodnota I_p celkového (u většiny porostů nedosahuje 50 % hodnot porostů zdravých), velikost kořenového systému se dále zmenšuje vyřazováním kořenů s václavkou z funkce (I_p zdravých kořenů nedosahuje u většiny poškozených stromů třetiny stejného parametru stromů zdravých).
- Nebyly zjištěny zásadní rozdíly v hloubce prokořenění mezi zdravými a poškozenými stromy.
- Téměř u všech stromů poškozených byl zjištěn výskyt strboulu.
- U poškozených stromů bylo zjištěno zmenšení biomasy a životnosti jemných kořenů a rovněž byla zjištěna částečně parazitická ektendomykorhiza. Mykorhizní infekce byla u poškozených stromů stimulována.
- Výrazným predispozičním faktorem chřadnutí je malý kořenový systém (hodnoty I_p celkový), vyvolaný jeho deformací do strboulu. Spouštěcím faktorem je nedostatek vody ve vegetačním období, který dále prohlubuje acidifikace půdy a disproporce ve výživě hořčíkem. Postupné oslabování stromu vyvolává nástup václavky.

Chřadnutí porostů smrku ztepilého – ekotop 3

- Shodné symptomy poškození a výsledky analýz kořenového systému byly zjištěny na Českomoravské vrchovině a v Jeseníkách.

Symptomy chřadnutí a charakteristika ekotopu

- Žloutnutí asimilačního aparátu, které rychle přechází v rezivění, defoliaci a úhyn stromu (vše může proběhnout velmi rychle – za několik měsíců (obr. 5).
- Postiženy jsou porosty všech věkových tříd, ale největší rozsah poškození je v porostech od věku 20 let.
- Chřadnutí je plošné na živných stanovištích 2. až 5. lesního vegetačního stupně.
- Nebyla zjištěna deficiencie ve výživě, nebyly zjištěny kritické hodnoty žádného z parametrů půdních analýz.
- Výrazné oteplení, prodloužení vegetační doby, nedostatek vody ve vegetačním období (srážková voda nestačí pokrýt evapotranspiraci smrku).

Výsledky (tab. 3, obr. 6, 7)

- U chřadnoucích stromů nebylo zjištěno snížení přírůstu terminálního výhonu.

- U všech chřadnoucích stromů byly zjištěny rozsáhlé hniloby kotevních kořenů a značný výskyt hnilob na horizontálních kořenech. Vysoký podíl hnilob kotevních i horizontálních kořenů byl zjištěn i u stromů zdravých. U zdravých i poškozených stromů byl zjištěn více než 50% výskyt hnilob na bázi kmene. Všechny hniloby vyvolala václavka.
- U všech poškozených stromů byla zjištěna výrazně menší hodnota I_p celkového, velikost kořenového systému se dále zmenšuje hnilobami kořenů (I_p funkční nedosahuje u poškozených stromů často ani poloviny stejného parametru stromů zdravých). Výrazně malý je I_p zdravých kořenů (u poškozených stromů nepřesahuje hodnota 1,0) (tzn., že téměř všechny kořeny jsou napadeny václavkou).
- Nebyly zjištěny rozdíly v celkové hloubce prokořenění, zejména u poškozených stromů se však snižuje hloubka prokořenění funkčními kořeny.
- U všech stromů poškozených a velké části stromů zdravých byla zjištěna deformace do strboulu.
- U poškozených stromů bylo zjištěno snížení biomasy jemných kořenů, ale ve většině případů i signifikantní nárůst životnosti a mykorhizní infekce jemných kořenů. Typ funkční mykorhizy nebyl poškozením stromu ovlivněn.
- Výraznými predispozičními faktory chřadnutí jsou malý kořenový systém (vyvoláno živným stanovištěm) a deformace kořenového systému do strboulu (vyvolaného nepečlivou sadbou). Oba tyto parametry spolu s výraznou nedostatkem vody umožňují až agresivní nástup václavky, která hnilobou postupně vyřazuje z funkce jednotlivé kořeny; většinou nejdříve napadá kotevní kořeny. Strom sice reaguje zvýšenou aktivitou jemných kořenů, ale po překročení jisté hranice (zmenšení podílu funkčních kořenů) rychle odumírá.

Vývin zdravých kořenových systémů smrku ztepilého z přirozené a umělé obnovy (tab. 4)

- Analýzy chřadnoucích smrků na různých ekotopech prokázaly, že chřadnou a odumírají stromy z umělé i přirozené obnovy, v mladších porostech více stromy z přirozené obnovy než z obnovy umělé. Důvodem je vždy menší kořenový systém stromů z přirozené obnovy než z obnovy umělé.
- Vzájemným porovnáváním stejně vysokých, zdravých a na shodném stanovišti rostoucích stromů z přirozené obnovy (počet stromů nebyl uměle redukován) a umělé obnovy sadbou bylo zjištěno (tab. 4), že i když stromy z obou způsobů obnov normálně odrůstají, stromy z přirozené obnovy mají až poloviční velikost kořenového systému a cca o 30 % menší biomasu jemných kořenů. Předností stromů z přirozené obnovy je, že jejich hloubka prokořenění je větší než u stromů z obnovy umělé a nevyskytuje se u nich deformace kořenového systému do strboulu (častá je ovšem deformace do písmene L). Vzhledem k malému kořenovému systému však mají stromy z přirozené obnovy větší predispozice k eventuálnímu chřadnutí než stromy z obnovy umělé.

Vývin kořenového systému smrku ztepilého ve vazbě na jeho napadení kůrovci

- Chřadnoucí (oslabené) porosty smrku jsou často napadány kůrovci. Jejich kalamitní rozšíření často dokončí zkázu smrkových porostů. Cílem našeho šetření bylo zjistit, v jaké porostní situaci – ve vazbě na vývin kořenového systému – kůrovec napadá jednotlivý

Tab. 1: Ekotop 1 - Krušné hory – LT 7M3, 6 M3 (900 m n.m., p. o. C), Orlické hory – LT 7Z1, (1 100 m n.m., vysoké depozice N, p. o. A)

Parametr	Krušné hory				Orlické hory			
	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.
Délka nadz. části (cm)	814	752	2008	1905	231	236	503	499
Přírůsty terminálu (cm) 1.	47	39	42	32	29	24	56	65
2.	47	38	32	23	27	25	56	57
% stromů s hnilobami kořenů	0	39	0	100	0	33	0	67
% stromů s hnilobami báze	0	0	0	0	0	0	0	0
% stromů s václavkou na kořenech	66	100	100	100	16	85	14	100
% stromů s václavkou na bázi	0	66	0	50	0	0	0	67
Ip celkový	17,9	7,7	33,9	14,2	4,6	1,9	19,9	7,2
Ip funkční	17,9	6,4	33,9	9,7	4,6	1,5	19,9	4,7
Ip zdravých kořenů	16,9	5,7	24,1	7,3	4,2	0,8	16,6	3,3
Hloubka prokořenění celková (cm)	38	15	41	18	17	18	18	17
Hloubka prokořenění zdravých kořenů (cm)	28	15	27	18	17	18	18	17
Výskyt strboulu (v % stromů)	100	100	100	100	100	100	89	100
Biomasa jem. kořenů*	100	82	100	88	100	74	100	71
Životnost jem. kořenů*	100	86	100	77	100	46	100	78
Mykorhizní infekce*	100	117	100	124	100	98	100	102
Typ mykorhizy	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.

Pozn.: * v % kontroly, kontrolou (100 %) stromy zdravé

Tab. 2: Ekotop 2 - Českomoravská vrchovina – LT 6K6 (780 m n.m., p. o. C), Krkonoše – LT 6K1 (800 m n.m., p. o. C)

Parametr	Českomoravská vrch.				Krkonoše			
	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.
Délka nadz. části (cm)	205	162	2281	2048	629	585	2530	2436
Přírůsty terminálu (cm) 1.	21	5	57	36	51	31	43	32
2.	28	8	49	33	47	22	40	19
% stromů s hnilobami kořenů	0	0	0	0	0	0	0	0
% stromů s hnilobami báze	0	0	0	0	0	0	0	0
% stromů s václavkou na kořenech	0	0	17	100	100	100	100	100
% stromů s václavkou na bázi	0	33	0	17	0	50	0	67
Ip celkový	6,8	4,1	39,2	15,2	13,0	5,1	68,5	31,2
Ip funkční	6,8	4,1	39,2	15,2	13,0	5,1	68,5	31,2
Ip zdravých kořenů	6,8	4,1	35,4	10,3	8,2	2,4	30,4	12,1
Hloubka prokořenění celková (cm)	33	38	157	114	43	43	95	91
Hloubka prokořenění zdravých kořenů (cm)	33	38	150	87	43	39	81	79
Výskyt strboulu (v % stromů)	0	50	0	100	100	100	50	100
Biomasa jem. kořenů*	100	55	100	65	100	77	100	58
Životnost jem. kořenů*	100	73	100	78	100	64	100	87
Mykorhizní infekce*	100	122	100	118	100	112	100	126
Typ mykorhizy*	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.	ekto.	ekten.

Pozn.: * v % kontroly, kontrolou (100 %) stromy zdravé

Tab. 3: Ekotop 3 - Českomoravská vrchovina – LT 4B1 (500 m n.m., p. o. C), Jeseníky – SLT, 4B (500 m n.m., p. o. C)

Parametr	Českomoravská vrch.				Jeseníky			
	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.	Zdr.	Poš.
Délka nadz. části (cm)	335	395	2522	2652	997	913	2108	2094
Přírůsty terminálu (cm) 1.	31	55	28	44	45	20	40	56
2.	41	42	44	52	40	24	51	58
% stromů s hnilobami horizontálních kořenů	67	83	0	100	50	33	17	87
% stromů s hnilobami kotev	100	100	50	100	67	100	67	100
Hniloby báze kmene (v % stromů)	50	100	50	100	75	50	50	75
Ip celkový	5,1	2,4	20,4	14,7	11,4	5,5	23,7	17,7
Ip funkční	4,9	1,1	18,9	6,1	7,3	2,9	15,5	8,1
Ip zdravých kořenů	2,3	0,0	7,3	0,9	4,8	0,7	6,5	0,9
Hloubka prokořenění celková (cm)	32	29	187	189	47	51	61	64
Hloubka prokořenění funkční (cm)	32	13	127	85	39	38	57	43
Výskyt strboulu (v % stromů)	33	100	50	100	67	100	100	100
Biomasa jem. kořenů*	100	43	100	57	100	64	100	68
Životnost jem. kořenů*	100	56	100	137	100	111	100	117
Mykorhizní infekce*	100	125	100	122	100	107	100	132
Typ mykorhizy*	ekto.	ekto.	ekto.	ekto.	ekto.	ekto.	ekto.	ekto.

Pozn.: * v % kontroly, kontrolou (100 %) stromy zdravé

Tab. 4: Vývin zdravých kořenových systémů smrku ztepilého z přirozené a umělé obnovy (SLT 6K, 700 m n. m., p. o. C)

Parametr	Obnova		Obnova	
	Umělá	Přirozená	Umělá	Přirozená
Délka nadz. části (cm)	229	205	360	337
Přírůsty terminálu (cm) 1.	27	21	47	40
2.	32	28	48	27
% stromů s hnilobami kořenů	0	0	0	0
% stromů s hnilobami báze	0	0	0	0
% stromů s václavkou na kořenech	0	0	0	0
% stromů s václavkou na bázi	0	0	0	0
Ip celkový	9,3	6,8	12,7	5,7
Hloubka prokořenění celková (cm)	16	33	25	46
Výskyt strboulu (v % stromů)	50	0	50	0
Biomasa jem. kořenů*	100	77	100	61

Pozn.: * v % kontroly, kontrolou (100 %) stromy z umělé obnovy

Tab. 5: Poškození chalkografem (SLT 3S, 420 m n. m., p. o. D)

Parametr	Strom napadený	Vedlejší nenapadené stromy		
		1.	2.	3.
Délka nadz. části (cm)	210	202	226	217
Hniloby kořenů	ano	ne	ne	ne
Výskyt václavky	ano	ano	ano	ano
Výskyt strboulu	ano	ano	ano	ano
Hloubka prokořenění (cm)	15	28	31	30
Index p celkový	2,2	8,2	9,7	8,0
Index p funkční	1,1	8,2	9,7	8,0

Tab. 6: Poškození typografem – LT 5K1 (570 m n. m., p. o. C)

Parametr	Strom napadený	Vedlejší nenapadené stromy				
		1.	2.	3.	4.	5.
Délka nadz. části (cm)	2211	2190	2080	2140	2370	2245
Hniloby kořenů	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Výskyt václavky	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Výskyt strboulu	ano	ano	ano	ano	ano	ne
Hloubka prokořenění (cm)	94	87	57	112	137	129
Index p celkový	8,5	9,8	9,7	21,6	24,2	19,8
Index p funkční	6,6	7,1	7,2	17,8	24,2	19,8



Obr. 1: Orlické hory – vedle sebe stojí zdravé a odumřelé stromy



Obr. 2: Orlické hory – architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části cca 230 cm, vlevo stromy zdravé, vpravo poškozené



Obr. 3: Jizerské hory – architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části cca 2000 cm, vlevo strom zdravý, vpravo poškozený



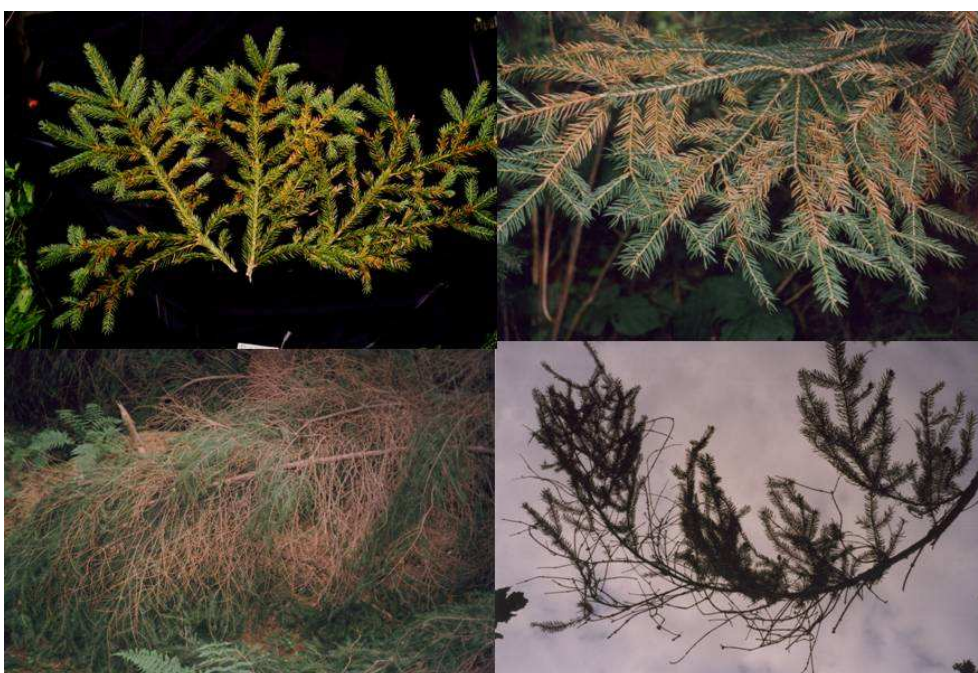
Obr. 4: Krkonoše – symptomy chřadnutí poškozených stromů



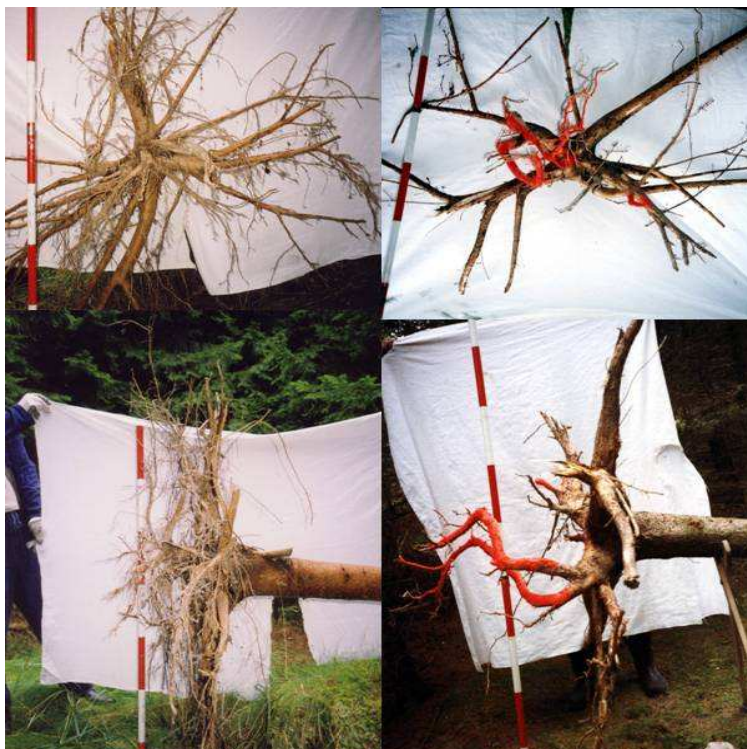
Obr. 5: Českomoravská vrchovina – architektura kořenového systému stromů o výšce nadzemní části cca 1200 cm, vlevo strom zdravý, vpravo poškozený



Obr. 6: Krkonoše – architektura kořenového systému stromů o nadzemní části cca 2500 cm, vlevo strom zdravý, vpravo poškozený



Obr. 7: Českomoravská vrchovina – symptomy chřadnutí poškozených stromů



Obr. 8: Jeseníky – architektura kořenového systému stromů o nadzemní části cca 900 cm, vlevo strom zdravý, vpravo poškozený (červenou barvou označeny kořeny s hnilobou)



Obr. 9: Českomoravská vrchovina – architektura kořenového systému stromů o nadzemní části cca 2500 cm, vlevo strom zdravý, vpravo poškozený (kořeny s hnilobou u zdravého stromu označeny červenou barvou, u poškozeného stromu jsou zelenou barvou označeny kořeny zdravé)

strom v prvních fázích napadení porostu. Ověřování bylo realizováno tak, že shodným analýzám kořenového systému byl podroben strom napadený a vedle stojící stejně vysoké stromy nenapadené.

- Z šetření vyplynulo, že chalkograf napadá jednotlivé stromy s oslabeným kořenovým systémem (tab. 5), typograf napadá skupinu stromů s oslabenými kořenovými systémy (tab. 6). Vizually (podle růstu nadzemní části) však oslabení stromu není zjevné.

Závěry

- Z poměrně rozsáhlých analýz vývinu a zdravotního stavu kořenového systému chřadnoucích a zdravých stromů smrku ztepilého v různých částech České republiky vyplynulo:
 - ve všech sledovaných oblastech je predispozičním faktorem chřadnutí změna průběhu počasí v posledních letech,
 - všechny chřadnoucí smrky mají malý kořenový systém, který je často dále oslabován napadením václavkou.
- Vlastní příčiny chřadnutí jsou tři:
 - velmi malý a výrazně povrchový kořenový systém (vyvoláno deformací při výsadbě nebo stratigrafií půdních horizontů),
 - výrazná acidifikace půdy vyvolává negativní změny ve výživě – zejména hořčíkem,
 - na živných stanovištích v nižších lesních vegetačních stupních dochází k agresivnímu nástupu václavky.
- Z dalších dílčích šetření vyplynulo, že i napadení kůrovci má vazbu na negativní změny kořenového systému a stromy z přirozeného zmlazení mají větší predispozice k chřadnutí než stromy z umělé obnovy sadbou (stromy z přirozené obnovy mají menší kořenový systém než stejně vysoké stromy ze sadby).
- Možná lesnická řešení:
 - Vitalitu stromů smrku může zajistit pouze jeho velký kořenový systém. Tzn. nepřipustit žádné deformace kořenového systému při sadbě (řešitelský tým v posledních šesti letech analyzoval kořenový systém 5 800 stromů, u 4 900 z nich zjistil nejzávažnější deformaci do strboulu; kontrola rozložení kořenového systému do přirozené architektiky při výsadbě by se proto měla stát jedním z kritérií zajištění kultury (porostu). Radikální výchovné zásahy od prvních pěstebních opatření (pěstovat smrky jako solitéry s krycí dřevinou ve výrazné podúrovni), platí i pro přirozené zmlazení.
 - Na živných stanovištích do 5. lesního vegetačního stupně včetně zatím vyloučit smrk z obnovních cílů.
 - V oblastech výrazné acidifikace půdy buď realizovat celoplošné hnojení, nebo změnit druhovou skladbu.

Vliv sucha a zvýšených depozic dusíku na odrůstání borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.)

Eva Palátová, Oldřich Mauer

Úvod a cíl práce

Příčiny velkoplošného poškozování lesů, které se začalo projevovat od 70. let v Evropě, se přes intenzivní práci mnoha výzkumných týmů nepodařilo jednoznačně vysvětlit. Od poloviny osmdesátých let jsou za jednu z možných příčin poškozování lesních porostů považovány také depozice dusíku, jehož emise v důsledku intenzivního zemědělství i nárůstu průmyslové výroby a automobilové dopravy značně stoupají.

Pro lesy střední a severní Evropy představují vstupy dusíku důležitý stanovištní faktor. Ještě před několika lety byl dusík většinou deficitním prvkem, limitujícím výrazně růst a produkci dřevin. Přibližně od 60. let minulého století dochází průběžně ke zvyšování produkce zejména smrkových a borových porostů, které je dáváno do souvislosti právě s rostoucími depozicemi sloučenin dusíku (KENNEL 1994; KREUTZER 1994 a další).

Zlepšená výživa dusíkem vede na stanovištích s přirozeně nízkou zásobou tohoto prvku ke zvýšení biomasy a plochy jehlic a tím i ke zvýšenému asimilačnímu výkonu. Z některých experimentů vyplynulo, že existuje korelace mezi růstem a obsahem N v jehlicích. Podle matematického modelu, formulovaného HOFMANNEM et al. (1990), dosahují borové porosty maximálního přírůstu při obsahu dusíku v jehlicích 1,8–2,3 %, přičemž kulminace přírůstu nastává při obsahu 2,1 % N. Podle BERGMANNA (1983) obsah dusíku v jednoletých jehlicích borovice v rozmezí 1,4–1,7 % signalizuje dostatečné zásobení tímto prvkem. Současné analýzy prokazují na některých lokalitách v zahraničí obsahy N > 2 %, které jsou již považovány za toxické a vyvolávají hnědnutí a odumírání jehlic (JALKANEN 1990, HEINS DORF 1991). Další zvyšování obsahu N v rostlině vede ke snižování přírůstu a způsobuje proědávání porostů.

Vysoké koncentrace dusíku působí i na kořenové systémy dřevin, přičemž nejvýrazněji jsou postiženy jemné kořeny (kořeny slabší než 1 mm). Negativní vztah mezi zásobou dusíku v půdě a biomasou jemných kořenů popsali ALEXANDER a FAIRLEY (1983), VOGT et al. (1990), RITTER (1990) a další. Změněné půdní podmínky mohou působit i změnu zastoupení frakce živých a mrtvých kořenů (PERSSON et al. 1995) nebo vyvolat změnu rozmístění jemných kořenů v půdním profilu (RASPE 1992).

V souvislosti s vyššími vstupy dusíku je často popisováno narušení mykorhizy. Podle WALLANDERA et al. (1990) hnojení dusíkem ovlivňuje především vegetativní mycelium, ale množství mykorhiz na kořenech se výrazně nemění. Mykorhizní houby jsou ovlivňovány rozdílně amonnou a nitrátovou formou dusíku. TERMOSHUIZEN et al. (1988) jsou toho názoru, že tvorba mykorhizy borovice je více ovlivňována amonnou formou dusíku než formou nitrátovou.

O dusíku je známo, že ovlivňuje alokaci uhlíku v rostlinách, a to tak, že podporuje především růst nadzemní části, ale současně ve vyšších koncentracích negativně působí na kořenové systémy. Disproporce mezi rozvojem nadzemní části a kořenového systému by mohla mít za následek zvýšenou citlivost dřevin k suchu.

Zásobení vodou patří mezi hlavní faktory kontrolující růst a vitalitu dřevin. Nejvyšší potřebu vody mají stromy na jaře v době rašení a během vlastní růstové fáze v měsících květen až srpen (LEIBUNDGUT 1983). Podzim je obdobím vytváření zásob a sucho v tomto

období se projevuje teprve v následujícím roce, kdy jsou zásoby využívány k rašení (TURNER 1985).

Stres z nedostatku vody působí negativně na růst a prodlužování buněk, tvorbu buněčných stěn, syntézu bílkovin a vyvolává snížení hladiny enzymů. Prostřednictvím turgoru inhibuje vodní stres otevírání stomat a tím i transpiraci a asimilaci CO₂. Nedostatek vody ovlivňuje rovněž růstové regulátory, a to zejména kyselinu abscisovou, jejíž koncentrace výrazně narůstá a je provázen akumulací volných aminokyselin, zejména prolinu (GUSTKE a LÜTTSCHWAGER 1990).

Komplex uvedených fyziologických změn se projevuje obvykle sníženým růstem. Snížení výškového přírůstu v experimentálních podmínkách pod vlivem simulovaného sucha bylo dokumentováno především u smrku (BEIER et al. 1995; NILSSON a WIKLUND 1992; MAUER a PALÁTOVÁ 1996), ale bylo zjištěno i u borovice jako důsledek klimaticky suchých roků (KRAUSS 1965). DILS a DAY (1952 ex LYR et al. 1967) zjistili, že i několikátý denní letní suché periody mohou vést k průkaznému ovlivnění výškového přírůstu, který může být snížen o 30–70 %. Za kritický považují LYR et al. (1967) stav, když po sobě následuje několik suchých roků.

Nedostatkem vody mohou být postiženy i kořenové systémy dřevin. Podle FEILA et al. (1988) sucho způsobuje vyšší míru dormance kořenů a redukuje jejich prodlužování. Působení stresových faktorů může ovlivňovat také funkčnost jemných kořenů, tj. jejich schopnost přijímat živiny. Sucho ovlivňuje také mykorhizu. Podle KOZLOWSKEHO (1971b) vodní deficit omezuje tvorbu nových kořenů, které by mohly být kolonizovány mykorhizními houbami, zatímco houby primárně neovlivňuje.

Zvýšené depozice dusíku i stres suchem jsou faktory, které se mohou v bližší nebo vzdálenější budoucnosti v podmínkách naší republiky reálně uplatnit. Proto jsme založili experimenty, jejichž cílem bylo přispět k objasnění vlivu zvýšených depozic dusíku a stresu suchem, včetně souběžného působení obou stresů na vývoj borovice lesní, se zvláštním důrazem na reakci kořenového systému této dřeviny.

Materiál a metody

Vliv zvýšených depozic dusíku a stresu suchem byl sledován na borovici lesní (*Pinus sylvestris* L.) ve dvou experimentálních řadách, a to v Nádobovém pokusu, který byl zaměřen na sledování reakcí rostlin bezprostředně po výsadbě a Porostu *in situ*, kde byly sledovány reakce mladšího, 12letého borového porostu. Podrobnější popis založení experimentálních řad je uveden v tab. 1.

Na nadzemní části byly běžnými postupy sledovány výškový a tloušťkový přírůst, délka a barva jehlic, defoliace, byl hodnocen habitus stromů (tvar kmene, počet větví posledního přeslenu a počet pupenů v terminální rozetě), byla analyzována sušina jehlic (N, P, K, Ca, Mg, S, Al, B), vypočteny poměry prvků v sušině jehlic a vyhodnocovány ztráty.

Na kořenových systémech byly sledovány jemné kořeny (kořeny o průměru menším než 1 mm) a zjišťována jejich biomasa a vertikální distribuce, délka, specifická délka, index

Tab. 1: Schéma založení experimentů

Experimentální řada	Nádobový pokus	Porost <i>in situ</i>
Doba hodnocení	4 roky	2 roky
Způsob založení	<p>Semenáčky BO 2+0 vysázené do 10 l plastových obalů, naplněných zeminou ze smíšeného porostu.</p> <p>Nádoby byly umístěny v přístřešcích, konstruovaných tak, aby eliminovaly průnik atmosférických srážek, ale umožňovaly proudění vzduchu a neovlivňovaly podstatně hydrotermální režim prostoru nadzemní části. Přístřešky se nacházely v nadmořské výšce 220 m n. m.</p>	<p>Porost 336A1, věk 12 let, HS 223, lesní typ 2S3, expozice SZ.</p> <p>Redukce srážek ve variantách se suchem byla zajištěna pomocí konstrukcí, na kterých byly upevněny rámy, potažené transparentní kaširovanou fólií. Fólie byla ve výškách 120 až 20 cm nad půdním povrchem. Srážková voda byla odváděna mimo plochu.</p>
Varianty		
Kontrola	Průběžná závlaha 2x týdně, celkové množství dodané vody 500 mm.rok ⁻¹ .	Přirozené množství srážek. (1.rok - 637 mm, 2.rok - 713 mm)
Sucho	Průběžná závlaha 1x za 2 týdny, celkové množství dodané vody odpovídalo 40 % Kontroly.	Redukce srážek na 40 % Kontroly.
Dusík	Závlaha stejná jako v Kontrole + 100 kg N.ha ⁻¹ .rok ⁻¹ ve formě (NH ₄) ₂ SO ₄ . Aplikace ve 3 dílčích dávkách vždy v první polovině vegetačního období.	Přirozené množství srážek + 100 kg N.ha ⁻¹ .rok ⁻¹ ve formě (NH ₄) ₂ SO ₄ . Aplikace ve 3 dílčích dávkách vždy v první polovině vegetačního období.
Dusík + Sucho	Závlaha stejná jako ve var. Sucho + 100 kg N.ha ⁻¹ .rok ⁻¹ ve formě (NH ₄) ₂ SO ₄ . Aplikace ve 3 dílčích dávkách vždy na počátku vegetačního období.	Redukce srážek na 40 % Kontroly + 100 kg N.ha ⁻¹ .rok ⁻¹ ve formě (NH ₄) ₂ SO ₄ . Aplikace ve 3 dílčích dávkách vždy na počátku vegetačního období.

větvení, mykorhizní infekce jemných kořenů kvantitativním stanovením glukozaminu po kyselé hydrolyze chitinu (PLASSARD et al. 1982; VIGNON et al. 1986), životnost jemných kořenů na základě redukce 2,3,5 trifenylnitrotetrazoliumchloridu (JOSLIN a HENDERSON 1984) a funkčnost jemných kořenů příjmem značeného fosforu (LANGLOIS a FORTIN 1984). Jemné kořeny byly odebírány metodou půdních výkrojů a kořeny z nich separovány podle MAUERA a PALÁTOVÉ (1996).

Výsledky a diskuse

Na působení simulovaných stresových faktorů reagovaly borovice řadou změn na nadzemní části a kořenových systémech. V naprosté většině případů byl trend reakcí v obou experimentálních řadách shodný a lišil se pouze v intenzitě projevu, což mohlo být způsobeno rozdílnou dobou působení simulovaných stresů (čtyři roky v Nádobovém pokusu a dva roky v experimentální řadě Porost) a patrně i vyšší mírou stresu v Nádobovém pokusu.

Výškový přírůst byl v obou experimentálních řadách negativně ovlivněn všemi navozenými stresi, přičemž sucho působilo jako silnější stresový faktor než depozice dusíku (tab. 2). Zatímco v Nádobovém pokusu se průkazná redukce projevila hned v prvním roce sledování a s dobou působení se prohlubovala (pokles v 1. roce o 10 %, ve 4. roce o 63 %), v experimentální řadě Porost se projevila až s roční prodlevou (pokles o 40 %). Důvodem byla patrně větší míra stresu v Nádobovém pokusu. Depozice dusíku zprvu výškový přírůst průkazně neovlivnila, ale od třetího roku v Nádobovém pokusu a od druhého roku v Porostu se projevil již jejich negativní vliv. V posledním roce sledování měly rostliny ve variantě Dusík Nádobového pokusu o 20 % a rostliny v Porostu o 14 % nižší výškový přírůst nadzemní části než odpovídající kontrolní rostliny. Nejvíce a nejrychleji reagovaly borovice v obou experimentálních řadách na souběžný stres (var. Dusík+Sucho), který v posledním roce sledování již snížil výškový přírůst v Nádobovém pokusu na pouhých 14 % a v Porostu na 73 % Kontroly.

Zatímco reakce rostlin v přírůstu nadzemní části byla velmi výrazná, na tloušťkový přírůst měly simulované stresi menší vliv (tab. 2). Průkazné snížení bylo zaznamenáno v Nádobovém pokusu v obou variantách s navozeným suchem. Sucho samotné snížilo po 4 letech působení tloušťkový růst na 78 %, souběžný stres na 70 % Kontroly. Depozice dusíku měly v Nádobovém pokusu na tloušťkový přírůst rostlin trvale pozitivní vliv. V experimentální řadě Porost se projevila reakce na stresi až druhým rokem a to průkazně pouze ve variantě Sucho, kde se snížila výčetní tloušťka o 12 %. Souběžný stres (var. Dusík+Sucho) se v této experimentální řadě neprojevil nepříznivě.

V průběhu sledování jsme zaznamenali pouze v experimentální řadě Nádobový pokus anomálie v habitu stromů. Ve variantě Sucho se od druhého roku působení snižoval počet větví v přeslenu a v posledním roce sledování dosáhl 52 % Kontroly. Počet pupenů v terminální rozetě se v této variantě snižoval od 2. roku působení (80 %) postupně až na 47 % Kontroly v posledním roce sledování. Souběžný stres měl největší vliv a snížil počet větví v přeslenu po 4 letech působení na 35 % a počet pupenů v terminální rozetě na pouhých 23 % Kontroly. Ve variantě Dusík se počet pupenů nezměnil, pupeny však byly větší než v Kontrole. Kromě uvedených morfologických abnormit se vyskytly v Nádobovém pokusu i odchylky od normálního tvaru kmene. Nejdříve, počínaje 2. rokem, se vyskytly křivé kmene ve variantě Sucho. Na konci sledování zde bylo zjištěno 96 % křivých kmenů, přičemž v 18 % byla křivost vyvolána náhradou terminálu, u zbytku rostlin byly kmene křivé bez zjevné příčiny. Ve variantě Dusík+Sucho zůstalo na konci sledování jen 9 % rovných kmenů; 73 % kmenů bylo křivých bez zjevné příčiny a 18 % v důsledku náhrady terminálu. Ve variantě

Dusík se projevily negativní odchylky až 4. rokem působení stresů a 89 % rostlin zde mělo kmen křivý bez zjevné příčiny.

Rovněž délka a barva jehlic se pod vlivem stresových faktorů měnily. Ve variantách s navozeným suchem měly rostliny v obou experimentálních řadách kratší jehlice již od prvního roku působení. V Nádobovém pokusu měly rostliny v této variantě na konci sledování jehlice o 15 % kratší, v Porostu o 8 % kratší než odpovídající kontrolní rostliny.

Tab. 2: Reakce vybraných parametrů nadzemní části na působení stresových faktorů. Výsledky jsou udány v relativních hodnotách (% Kontroly) s výjimkou ztrát, které jsou vyjádřeny v % stromů

Experimentální řada		Nádobový pokus				Porost	
		Rok sledování				Rok sledování	
Parametr	Varianta	1.	2.	3.	4.	1.	2.
Výškový přírůst	Kontrola	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Sucho	89,7	73,3	42,7	37,5	104,7	60,4
	Dusík	98,4	100,7	73,8	79,6	94,2	85,6
	Dusík+Sucho	87,6	68,4	35,3	13,9	100,0	73,4
Tloušťkový růst	Kontrola	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Sucho	105,1	87,6	83,1	78,1	109,7	88,6
	Dusík	88,6	108,0	113,4	109,0	101,8	94,6
	Dusík +Sucho	96,9	90,3	85,9	69,7	107,4	101,8
Délka jehlic	Kontrola	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Sucho	76,4	82,5	84,7	84,9	88,1	91,5
	Dusík	105,2	125,8	148,5	143,9	112,9	135,8
	Dusík+Sucho	82,6	81,6	112,2	66,3	116,9	104,1
Ztráty	Kontrola	0	0	0	0	0	0
	Sucho	0	2	2	4	0	0
	Dusík	0	0	0	7	0	0
	Dusík+Sucho	0	2	2	75	0	0

Depozice dusíku délku jehlic v obou experimentálních řadách trvale stimulovaly. Reakce na souběžný stres byla v obou řadách odlišná. Zatímco v Nádobovém pokusu souběžný stres ovlivnil délku jehlic negativně (na konci sledování na 66 % Kontroly), v Porostu měly rostliny v této variantě jehlice průkazně delší (o 17 % v prvním a o 4 % ve

druhém roce) než v Kontrole. Tento rozdíl mohl být způsoben jednak větší mírou stresu v Nádobovém pokusu, ale současně i nižším zásobením dusíkem v experimentální řadě Porost, o čemž svědčí rozdílné hodnoty obsahu tohoto prvku v jehlicích posledního ročníku v obou experimentálních řadách. Jehlice z varianty Dusík měly v obou experimentálních řadách sytě zelenou barvu a jehlice z variant se suchem (var. Sucho a var. Dusík+Sucho) měly světlejší odstín než jehlice kontrolních rostlin. Ve variantách se simulovaným suchem v Nádobovém pokusu jsme zaznamenali postupný opad jehlic 3. a 2. ročníku, zatímco kontrolní rostliny měly úplné tři ročníky jehlic.

Pod vlivem stresových faktorů se hromadily v jehlicích volné aminokyseliny. Ve všech variantách obou experimentálních řad se vyskytovaly kyselina γ -aminomáselná a alanin. V Nádobovém pokusu byl detekován ve všech variantách s navozenými stresy navíc arginin a ve variantách se simulovanou depozicí dusíku (var. Dusík, var. Dusík + Sucho) i ornithin. V experimentální řadě Porost byl arginin, aminokyselina považovaná za indikátor stresu dusíkem, zaznamenán pouze ve variantě Dusík+ Sucho.

V průběhu experimentu došlo ke změnám v obsahu základních biogenních prvků v sušině jehlic posledního ročníku. Obsah dusíku se v Nádobovém pokusu postupně zvyšoval a do konce sledování dosáhl ve var. Dusík 1,98 %, ve var. Dusík+Sucho 2,19 %. Obdobný trend byl zaznamenán i v experimentální řadě Porost, kde v obou variantách s dodáním dusíku došlo ke zvýšení jeho obsahu v jehlicích, i když nárůst nebyl tak markantní (1,45 % resp. 1,58 % oproti Kontrole s 1,21 % N).

Jemné kořeny (tj. kořeny o průměru menším než 1 mm) představují dynamickou složku kořenového systému, která velmi rychle reaguje na změnu podmínek. Na simulované stresové faktory reagovaly borovice v obou experimentálních řadách od prvního roku působení a to velmi výrazně. Celková biomasa jemných kořenů se v Nádobovém pokusu po čtyřech letech působení snížila ve var. Sucho na 53 % Kontroly, v Porostu nebyla reakce tak významná, patrně vzhledem ke kratší době působení stresových faktorů (tab. 3). Depozice dusíku měly na jemné kořeny v obou experimentálních řadách rovněž negativní vliv. Nejsilněji působil souběžný stres, který snížil biomasu jemných kořenů v Nádobovém pokusu po čtyřech letech působení o 70 %, v Porostu po dvou letech o 31 %.

Kromě sníženého množství jemných kořenů jsme v průběhu sledování zaznamenali i rozdíly v jejich rozmístění v půdním profilu, tzn. rozdíl ve vertikální distribuci. Ve var. Sucho obou experimentálních řad docházelo k postupnému přesunu jemných kořenů do svrchní vrstvy půdy.

Pro příjem vody a živin má nezastupitelné postavení mykorhiza. Při jejím hodnocení jsme analýzám podrobili jemné kořeny ze všech sledovaných půdních vrstev. Ve vrstvě 0-10 cm v Nádobovém pokusu a vrstvě Humus v Porostu byla reakce nejvýraznější. Mykorhizní infekce byla u rostlin po výsadbě, tedy v Nádobovém pokusu, ovlivněna všemi stresy negativně (tab. 3). Sucho působilo jako silnější stresový faktor a snížilo po 4 letech působení mykorhizní infekci na polovinu hodnoty Kontroly, dusík pouze o 20 %. Nejvýraznější vliv měl souběžný stres, který snížil po třech letech působení mykorhizní infekci na 26 % kontroly. V Porostu, po počáteční pozitivní reakci, došlo rovněž ke snížení mykorhizní infekce, které však, patrně vzhledem ke krátké době působení, bylo u všech stresů přibližně stejné a dosud ne podstatné.

Analýzy životnosti jemných kořenů prokázaly, že zatímco v Nádobovém pokusu sucho životnost jemných kořenů snižovalo již od prvního roku působení, v Porostu se projevilo negativní vliv sucha na životnost až od druhého roku. V obou experimentálních řadách depozice dusíku ovlivňovaly životnost jemných kořenů pozitivně.

Funkčnost jemných kořenů, hodnocená na základě absorpce značeného fosforu, byla v obou experimentálních řadách ovlivněna podobně jako jejich životnost (tab. 3). Sucho, působící jako samostatný stresový faktor nebo souběžně s depozicemi dusíku snížilo podstatně funkčnost jemných kořenů. Depozice dusíku v obou experimentálních řadách funkčnost kořenů zpočátku snižovaly, ale 3. rokem v Nádobovém pokusu a 2. rokem v Porostu došlo k náhlému zvýšení příjmu značeného fosforu. V následujícím roce se v Nádobovém pokusu funkčnost opět snížila, i když ne pod úroveň kontroly. Protože sledování bylo ukončeno, nelze jednoznačně říci, zda se jednalo o odchylku nebo trend.

Tab. 3: Reakce jemných kořenů na působení stresových faktorů v průběhu sledování
Výsledky jsou udány v relativních hodnotách (% Kontroly)

Experimentální řada		Nádobový pokus				Porost	
		Rok sledování				Rok sledování	
Parametr	Varianta	1.	2.	3.	4.	1.	2.
Biomasa jemných kořenů (celkem)	Kontrola	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Sucho	104,3	52,4	39,8	53,5	87,5	87,9
	Dusík	52,5	62,8	56,8	79,9	82,6	86,7
	Dusík+Sucho	91,5	39,4	32,9	nejz.	91,3	68,9
Mykorhizní infekce (vrstva 0-10 cm)	Kontrola	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Sucho	41,5	78,1	56,0	51,4	118,1	88,7
	Dusík	36,2	80,8	67,7	81,5	89,7	93,2
	Dusík+Sucho	27,4	41,2	26,1	nejz.	108,3	90,5
Funkčnost jemných kořenů	Kontrola	100,0	100,0	100,	100,0	100,0	100,0
	Sucho	47,5	43,6	57,1	58,2	68,1	44,1
	Dusík	64,8	64,4	160,8	115,8	66,6	141,0
	Dusík+Sucho	40,6	45,8	67,3	nejz.	68,3	72,2

Jednorázové šetření na konci sledování Nádobového pokusu prokázalo, že jednotlivé stresové faktory ovlivňovaly rozdílně nadzemní část a kořenový systém. Depozice dusíku zvýšily objem nadzemní části o 21 %, sucho samotné i při souběžném působení s depozicemi dusíku objem nadzemní části snižovalo. Objem kořenového systému se snížil průkazně působením všech stresů. Sucho redukovalo objem kořenového systému více (o 73 %) než samotné depozice dusíku (pokles o 30 % oproti Kontrole). Souběžný stres vyvolal největší redukci objemu kořenového systému (o 81 %).

Závěr

Výsledky získané po 4 letech působení stresu suchem, zvýšenými depozicemi dusíku a souběžného působení obou stresových faktorů v Nádobovém pokusu a po 2 letech působení stresů na borovici lesní (*Pinus sylvestris* L.) v experimentální řadě Porost, lze shrnout do těchto závěrů:

1. Reakce nadzemní části:

- Sucho snížilo výškový i tloušťkový přírůst, redukovalo délku jehlic, vyvolalo defoliaci, změnu barvy a hromadění volných aminokyselin v jehlicích.
- Rostliny z Nádobového pokusu reagovaly na sucho i snížením počtu pupenů v terminální rozetě, snížením počtu větví v přeslenu a změnami poměrů základních biogenních prvků v sušině jehlic.
- Depozice dusíku stimulovaly tloušťkový a redukovaly výškový přírůst, vyvolaly nárůst délky jehlic a jejich sytě zelené zbarvení, hromadění volných aminokyselin a změny poměrů základních biogenních prvků v sušině jehlic.
- Na rostlinách z Nádobového pokusu byly zjištěny i tvarové abnormality (poléhavý růst) a byl negativně ovlivněn poměr objemů nadzemní části a kořenového systému.
- Souběžný stres vyvolal snížení výškového přírůstu, redukci délky jehlic v Nádobovém pokusu a nárůst délky jehlic v experimentální řadě Porost, změny v poměrech základních biogenních prvků a hromadění volných aminokyselin v sušině jehlic.
- Rostliny z Nádobového pokusu reagovaly na souběžný stres i snížením počtu pupenů v terminální rozetě, počtu větví v přeslenu a abnormalitami tvaru kmene.

2. Reakce kořenového systému

- Sucho vyvolalo snížení biomasy jemných kořenů a současně jejich posun do svrchních půdních vrstev, podstatně snížilo funkčnost, životnost a mykorhizní infekci jemných kořenů.
- Simulované depozice dusíku vyvolaly snížení biomasy jemných kořenů, zvýšení životnosti a pokles mykorhizní infekce jemných kořenů. Funkčnost jemných kořenů byla zpočátku ovlivněna negativně, od třetího roku v Nádobovém pokusu a ve druhém roce v řadě Porost pozitivně.
- Souběžný stres vyvolal výrazné (a největší) snížení biomasy, funkčnosti a mykorhizní infekce jemných kořenů.

3. Jemné kořeny reagovaly na simulované stresy již od prvního roku působení a byly více ovlivněny než nadzemní část.

4. Rostliny po výsadbě byly více a rychleji negativně ovlivněny než stabilnější dvanáctiletý porost.

5. Sucho působilo ve sledovaném období jako silnější stresový faktor než samotné depozice dusíku.

6. Souběžné působení stresových faktorů mělo nejsilnější vliv a po třech letech působení v Nádobovém pokusu vyvolalo úhyn 75 % rostlin.

7. Negativní působení sledovaných stresů nemá vždy vzhledem k době jejich působení narůstající tendenci. V dílčích analýzách bylo zjištěno, že po negativním ovlivnění dochází k jisté regeneraci, která může mít krátkodobé trvání.

8. Pokud se v dalších experimentech potvrdí citlivá negativní reakce borovice na všechny sledované stresy, ale především na souběžný stres, nebude možné její výsadbu na lokality ohrožené suchem a zvýšenými depozicemi dusíku doporučit.

Seznam použité literatury

- ALEXANDER, I.J., FAIRLEY, R.I.: Effects of fertilization on populations of fine roots and mycorrhizas in spruce humus. *Plant and Soil*, 71, 1983, s. 49-53
- BEIER, C., GUNDERSEN, K., RASMUSSEN, L.: Experimental manipulation of water and nutrient input to a Norway spruce plantation at Klosterhede, Denmark. II. Effect of tree growth and nutrition. *Plant and Soil*, 168-169, 1995, s. 613-622
- BERGMANN, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1983, 614 s.
- FEIL, W., KOTTKE, I., OBERWINKLER, F.: The effect of drought on mycorrhizal production and very fine root system development of Norway spruce under natural and experimental conditions. *Plant and Soil*, 108, 1992, č. 2, s. 221 - 231
- GUSTKE, B., LÜTTSCHWAGER, D.: Parameter des physiologischen Zustands der Kiefer (*Pinus silvestris* L.) bei unterschiedlicher Immissionsbelastung - eine Fallstudie. *Beiträge für Forstwirtschaft* 24, 1990, č. 2, s. 89 - 93
- HEINSDORF, M.: Einfluß der Emission N-haltiger Abprodukte auf Ernährungszustand und Mykorrhizaentwicklung von benachbarten Kiefernstangenhölzern. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 25, 1991, č. 2, s. 62 - 65
- HOFMANN, G., HEINSDORF, D., KRAUß, H. H.: Wirkung atmogener Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 24, 1990, č. 2, s. 59 - 73
- JALKANEN, R.: Nitrogen fertilization as a cause of dieback of Scots pine at Paltamo, northern Finland. *Aquilo, Ser. Botanica*, 1990, No. 29, s. 25 - 31
- JOSLIN, J.D., HENDERSON, G. S.: The determination of percentages of living tissue in woody fine root samples using triphenyltetrazolium chloride. *Forest Science*, 30, 1984, č. 4, s. 965 - 970
- KENNEL, M.: Stoffeinträge in Waldgebiete Bayerns. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 49, 1994, č. 2, s. 69 - 72
- KOZLOWSKI, T.T.: Growth and development of trees. Vol. II Cambial growth, root growth and reproductive growth. Academic Press New York and London, 1971, 514 s.
- KRAUSS, H.H.: Auswirkung mehrmaliger jährlicher Düngung auf Ernährung und Wachstum einer Kiefern-Vollumbruchkultur. In: Internationales Symposium "Aktuelle Probleme der Kiefernwirtschaft", 28. September bis 3. Oktober 1964 in Eberswalde, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, 1965, s. 661 - 668
- KREUTZER, K.: Folgerungen aus der Höglwald - Forschung. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 49, 1994, č. 14, s. 769 - 774
- LANGLOIS, C.G., FORTIN, J. A.: Seasonal variation in the uptake of ^{32}P / phosphate ions by excised ectomycorrhizae and lateral roots of *Abies balsamea*. *Canadian Journal of Forestry Research*, 14, 1984, s. 412 - 415
- LEIBUNDGUT, H.: *Der Wald*. Frauenfeld, 1983, 212 s.
- LYR, H., POLSTER, H., FIEDLER, H.J.: *Gehölzphysiologie*. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1967, 444 s.

- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: Vliv zvýšených depozic dusíku a stresu suchem na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.). Závěrečná zpráva grantového projektu GA ČR č. 501/93/0794, 1996, 173 s.
- NILSSON, L.O., WIKLUND, K.: Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden - the role of air pollutants. *Plant and Soil*, 147, 1992, s. 251-265
- PERSSON, H., FIRCKS, Y., MAJDI, H., NILSSON, L.O.: Root distribution in Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) stand subjected to drought and ammonium-sulphate application. *Plant and Soil*, 168-169, 1995, s. 161-165
- PLASSARD, C.S., MOUSAIN, D.G., SALSAC, L.E.: Estimation of mycelial growth of basidiomycetes by means of chitin determination. *Phytochemistry*, 21, 1982, s. 345 - 348
- RASPE, S.: Biomasse und Mineralstoffgehalte der Wurzeln von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) des Schwarzwaldes und Veränderungen nach Düngung. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 29, Freiburg im Breisgau 1992, 197 s.
- RITTER, G.: Zur Wirkung von Stickstoffeinträgen auf Feinwurzelsystem und Mykorrhizabildung in Kiefernbeständen. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 24, 1990, č. 3, s. 100- 104
- TERMORSHUIZEN, A. J., SCHAFFERS, A. P., KET, P. C., STEGE, E. A. : The significance of nitrogen pollution on the mycorrhizas of *Pinus sylvestris*. In: *Air Pollution Research Report 12 "Ectomycorrhiza and Acid Rain"*, Proceedings of the Workshop on Ectomycorrhiza/Expert Meeting, December 10 - 11, 1987, Berg en Dal, The Netherlands. Bilthoven 1988, s. 133 - 139
- TURNER, H.: *Trockenheit fördert das Waldsterben*. Presserohstoff EAFV, 1985
- VIGNON, C., PLASSARD, C.S., MOUSAIN, D.G., SALSAC, L. E.: Assay of fungal chitin and estimation of mycorrhizal infection. *Physiologie végétale*, 24, 1986, s. 201 - 207
- VOGT, K.A., VOGT, D.J., GOWER, S.T., GRIER, C.C: Carbon and nitrogen interactions for forest ecosystems. In: Persson, H. (ed. *Above and Below Ground Interactions in Forest Trees in Acidified Soils*. CEC Air Pollution Research, Report No. 32, 1990, s. 203-235
- WALLANDER, H., PERSSON, H., AHLSTRÖM, K.: Effects of nitrogen fertilization on fungal biomass in ectomycorrhizal roots and surrounding soil. In: *Air Pollution Research Report 32 "Above and Below-Ground Interactions in Forest Trees in Acidified Soils"*, Proceedings of a workshop jointly organised by the Commission of the European Communities and Swedish University of Agricultural Sciences in Simlångsdalen, Sweden, 21 - 23 May 1990. Uppsala 1990, s. 99 - 102

Synergické působení acidity půdy a sucha na zdravotní stav smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v 6. lesním vegetačním stupni

Oldřich Mauer, Eva Palátová, Pavel Hobza

Cíl práce

Chřadnutí a odumírání porostů smrku ztepilého se nezastavilo ani po změně emisní situace. Nyní jde o chřadnutí regionální, většinou na výrazně ohraničeném území, přičemž symptomy i průběh chřadnutí jsou často v každém regionu jiné (HRUŠKA, CIENCIALA 2001; MAUER et al. 2004; SLODIČÁK et al. 2005; LOMSKÝ 2006). Cílem práce bylo vyhodnotit vývin a zdravotní stav kořenového systému (většina negativních změn se nejdříve a často i nejvíce projeví na této části stromu) a spolu s dalšími parametry růstu a stanoviště identifikovat příčiny chřadnutí na velmi kyselých stanovištích v 6. lvs v oblasti Českomoravské vrchoviny na majetku Dr. Kinského.

Metody a použitý materiál

- Všechny analyzované porosty (ve věku 5 až 68 let) se nachází na lesním typu 6K6 (nadm. výška 750 až 780 m, pásmo ohrožení C), jde o velmi kyselá stanoviště (pH/KCl 2,7), přičemž acidita půdy se na krátkých vzdálenostech rychle mění (až o 0,5 pH). Chřadnutí se projevuje v posledních sedmi letech, vizuální projev je výrazný, nevznikají však klasické souše. Vnější projevem je žloutnutí jehlic, které se po delší době (až 3 roky) mění ve světle rezivé a postupně dochází k defoliaci.
- Chřadnou stromy všech věkových tříd i nálet. V jednom porostu vedle sebe rostou stromy zdravé a s různým stupněm poškození.
- Základní cíl šetření - v jednom porostu (na stejném stanovišti) vzájemně porovnat vývin a zdravotní stav kořenového systému stejně vysokých zdravých a poškozených stromů (změna barvy asimilačního aparátu 40-60 %).
- V každé porostní situaci (stromy zdravé - stromy poškozené) bylo ručně vykopáno a dále analyzováno minimálně 12 stromů.
- K analýzám byly užity metody Brněnské rhizologické školy (MAUER 1989), sledovány byly tyto parametry - celková výška, tloušťka kmene, velikost přírůstků, počet a tloušťka horizontálních kosterních kořenů (v tabulkách výsledků označeny HKK), počet a tloušťka a kotevních kořenů, poškození kořenového systému i nadzemní části biotickými nebo abiotickými činiteli, rozložení kořenové sítě a její deformace, biomasa, životnost a mykorhizní infekce jemných kořenů, funkční typ mykorhizy.
- Byly realizovány chemické rozbory půdy a asimilačního aparátu.
- Pro danou oblast byl zpracován „Vývoj klimatických podmínek v okolí Velkého Meziříčí v letech 1961 – 2004“ (BAGÁR 2006).
- V tabulkách výsledků jsou analyzované porosty označeny kódem: první znak (písmeno) udává způsob založení porostu (N - nálet, S - sadba), druhý znak (číslo) udává délku nadz. části analyzovaného stromu v metrech, třetí znak (písmeno) udává stupeň poškození (Z - zdravý, P - poškozený).
- V případě, že byly analyzovány stromy z náletu, byly současně analyzovány i stejně vysoké a zdravé stromy založené sadbou. Pro další kontrolu byl do analýz zahrnut i jeden

zdravý a stejně vysoký porost mimo oblast poškození (SLT 6K6, pH KCl půdy 3,4) - porost má označení S-6-Z-K.

- Vzhledem k rozsahu příspěvku jsou mnohé parametry kořenového systému (počet kořenů a jejich tloušťka) uváděny v integrované hodnotě Indexu ploch (v tabulkách označováno I_p), Index ploch byl vypočítán jako poměr ploch příčných průřezů všech horizontálních a kotevních kořenů v stejném místě měřiče (v mm^2) k délce kmene (cm). Index posuzuje vztah mezi vývinem kořenového systému a vývinem nadzemní části stromu. Čím je hodnota Indexu větší, tím větší je kořenový systém.

Výsledky a jejich zhodnocení

- U poškozených stromů z náletu do výšky nadzemní části 3 m došlo k výraznému snížení přírůstu terminálu, u stejně vysokých zdravých stromů ze sadby nebylo výrazné snížení přírůstu terminálu zaznamenáno. K menšímu snížení přírůstu došlo u všech poškozených analyzovaných stromů. Podstatně více než výškový přírůst byl u všech analyzovaných poškozených stromů negativně ovlivněn přírůst tloušťkový (tab. 1).
- U stromů do výšky nadzemní části 3 m se výrony pryskyřice vyskytovaly pouze u stromů poškozených, a to pouze na bázi kmene (čím byly stromy starší, tím byl výskyt pryskyřice častější). U starších poškozených stromů se výrony pryskyřice vyskytovaly na kořenech i bázi kmene, čím byly stromy starší, tím byl výskyt výronu častější. Výrony pryskyřice na kořenech byly zaznamenány i u starších stromů zdravých (tab. 1).
- U žádného analyzovaného stromu nebyla zjištěna hniloba kořenů, báze kmene nebo kmene (tab. 1).
- U všech poškozených stromů z náletu do výšky nadzemní části 3 m bylo zjištěno nepříjemné rozložení kořenové sítě, nevhodné rozložení kořenové sítě bylo zjištěno u zdravých stromů z náletu do výšky nadzemní části 2 m (tab. 1).
- Až 50% výskyt strboulu (bez negativní vazby na rozložení kořenové sítě) byl zjištěn u mladších porostů ze sadby s výškou nadzemní části do 3 m (tab. 1).
- Všechny analyzované poškozené stromy vytvořily slabší kořenový systém než stromy zdravé; difference jsou patrné v úbytku horizontálních kosterních kořenů a menším úbytku kotev, i když podíl kotev na celkové hodnotě I_p narůstá (tab.2). Dané difference nejsou vyvolány ani tak rozdílným počtem kořenů, jako rozdíly v jejich tloušťkách.
- Nebyly zjištěny podstatné rozdíly v hloubce prokořenění mezi stromy zdravými a stromy poškozenými; jediným výrazným rozdílem je menší hloubka prokořenění u zdravých stromů ze sadby o výšce nadzemní části 2 a 3 m oproti zdravým i poškozeným stromům z náletu stejných výšek (tab.2).
- U všech poškozených stromů byl zjištěn úbytek biomasy jemných kořenů v rozmezí 35 až 45 % (tab. 3).
- V porovnání s kontrolou (stromy zdravé) bylo u poškozených stromů zjištěno snížení životnosti jemných kořenů v průměru o 30 %. Při porovnání s životností jemných kořenů sadebního materiálu jsou výsledky výrazně odlišné. U všech poškozených stromů se životnost jemných kořenů pohybuje na úrovni 40 % životnosti jemných kořenů sadebního materiálu, u stromů zdravých na úrovni 50 % životnosti jemných kořenů sadebního materiálu (tab. 3). (Hranice mortality jemných kořenů stromu je 30 % životnosti jemných kořenů sadebního materiálu). Kontrolní porost mimo oblast poškození má stejné parametry kořenového systému podstatně lepší než zdravý porost v oblasti poškození.
- Nebyly zjištěny podstatné rozdíly v mykorrhizní infekci mezi zdravými a poškozenými stromy (tab. 3).

– U všech poškozených stromů byla zjištěna částečně parazitická ektendomykorhiza, u zdravých stromů je funkční mykorhizou světlá ektomykorhiza (tab. 3).

Tab. 1: Biometrické parametry nadzemní části, výrony pryskyřice (napadení václavkou), hniloby, maximální úhel mezi horizontálními kosterními kořeny, výskyt strboulu

Označení porostu	Výška nadz. části (cm)	d _{1,3} (mm)	Přírůst (cm)		Výskyt pryskyřice (v % stromů) Kořeny/Báze	Hniloby (v % stromů) koř./báze/kmen	Maximální úhel mezi HKK (stupně)	Výskyt strboulu (v % (stromů))
			2005	2004				
N-1-Z	67±8	14,8±0,8	nezj.	nezj.	0/0	0/0/0	98±29	0
N-1-P	69±8	10,4±0,5	nezj.	nezj.	0/0	0/0/0	192±32	0
N-2-Z	205±26	46,1±2,0	21,0±6,7	28,7±12,5	0/0	0/0/0	186±66	0
N-2-P	162±14	30,0±2,1	5,1±3,2	8,2±5,3	0/33	0/0/0	205±23	0
S-2-Z	229±17	47,7±4,5	27,6±6,8	32,4±9,6	0/0	0/0/0	83±9	50
N-3-Z	337±26	61,2±4,0	40,3±14,1	27,8±14,4	0/0	0/0/0	80±34	0
N-3-P	284±23	40,3±3,5	13,0±3,6	8,0±5,0	0/50	0/0/0	126±40	0
S-3-Z	360±42	48,2±3,9	47,7±20,9	48,2±10,4	0/0	0/0/0	77±36	50
S-6-Z	605±70	96,5±5,6	56,1±18,3	65,0±34,4	33/0	0/0/0	85±24	0
S-6-P	647±85	80,6±6,2	41,3±23,3	59,3±15,3	17/33	0/0/0	60±16	0
S-6-Z-K	670±81	101±7,4	59,2±17,6	67,2±26,8	17/0	0/0/0	52±14	0
S-20-Z	2283±279	251,2±36,2	36,0±4,3	51,0±9,8	17/0	0/0/0	58±14	0
S-20-P	2048±180	244,5±23,7	33,2±11,5	43,5±8,2	100/17	0/0/0	47±17	0

Tab. 2: Hodnoty Indexu p celého kořenového systému a jeho částí, hloubka prokořenění

Označení porostu	Index p			Hloubka prokořenění kořenového systému (cm)	
	Ip HKK + kotev (celého KS)	Ip HKK	% podíl kotev na Ip	Průměrná	Maximální
N-1-Z	6,13±1,42	6,13±1,42	0,0±0,0	5,4±1,2	11,4±1,8
N-1-P	1,61±0,43	1,24±0,33	22,8±5,4	6,4±1,3	17,4±1,4
N-2-Z	6,83±1,21	3,83±0,94	44,6±7,0	13,7±4,5	33,0±9,2
N-2-P	4,15±1,62	0,57±0,18	85,8±10,1	27,5±5,6	38,7±3,3
S-2-Z	5,63±1,24	5,63±1,24	0,0±0,0	15,6±2,5	15,6±2,5
N-3-Z	12,71±1,63	12,30±2,11	3,6±4,5	22,7±6,4	46,3±42,3
N-3-P	5,16±1,65	3,73±0,68	25,3±6,5	26,7±4,9	51,7±7,6
S-3-Z	5,70±1,72	4,96±1,33	10,9±8,7	14,0±3,2	24,8±14,3
S-6-Z	24,35±5,39	19,16±5,30	21,9±5,7	36,0±5,4	82,2±18,4
S-6-P	9,26±0,56	4,50±0,86	51,2±8,3	49,0±6,9	76,2±13,6
S-6-Z-K	18,57±4,18	10,76±3,12	42,0±6,3	41,3±7,7	79,8±19,6
S-20-Z	39,20±7,16	24,12±6,45	38,5±9,8	90,8±22,8	137,7±14,1
S-20-P	15,22±3,02	6,82±1,76	55,5±6,8	65,7±7,8	114,7±15,6

Tab. 3: Jemné kořeny - biomasa, životnost, mykorhizní infekce, typ mykorhizy

Označení porostu	Biomasa		Životnost ¹ %	Mykorhizní infekce		Typ mykorhizy
	g.100 ml ⁻¹	%		μg.1mg ⁻¹	%	
N-3-Z	0,182±0,006	100	100/53	8,84±0,47	100	ekto
N-3-P	0,101±0,003	55	73/30	10,86±0,28	122	ektendo
S-3-Z	0,174±0,006	95	105/55	7,78±0,34	88	ekto
S-6-Z	0,333±0,009	100	100/52	13,53±0,23	100	ekto
S-6-P	0,194±0,012	58	69/35	13,30±0,38	98	ektendo
S-6-Z-K	0,319±0,003	95	155/81	15,45±0,35	114	ekto
S-20-Z	0,333±0,009	100	100/58	9,47±0,30	100	ekto
S-20-P	0,194±0,012	65	78/45	11,19±0,49	118	ektendo

Pozn.: ¹v čitateli zlomku hodnoty ke kontrole - porost zdravý, v jmenovateli zlomku hodnoty k sadebního materiálu

- V předmětných regionech je nejen lesnictví pod vlivem klimatických výkyvů a změn. Z analýz realizovaných Bagárem (BAGÁR 2006) vyplývá, že zde od roku 1960 postupně došlo k těmto změnám:
 - průměrné roční teploty postupně narůstaly a oproti roku 1961 vzrostly o 1,2 °C,
 - průměrné teploty vzduchu v období duben až září postupně narůstaly a oproti roku 1961 vzrostly o 1,3 °C (největší nárůst teplot v červenci a srpnu),
 - délka ročního slunečního svitu narostla ve vyrovnané řadě o 210 hod.,
 - dny nástupu průměrných teplot vzduchu 0 °C se postupně o 18 dnů zkrátily a jejich ukončení o 7 dnů prodloužilo,
 - vyrovnané roční srážkové úhrny jsou o 37 mm nižší, srážkové úhrny jsou v posledních letech výrazně ovlivněny přívalovými dešti, výrazně narůstá (zejména v měsících květen až srpen) počet dnů beze srážek,
 - roční Langův koeficient prudce klesal (rozdíl 17,8),
 - z ročních srážkových úhrnů vyplývá (v porovnání s průměrnými hodnotami evapotranspirace pro smrk v dané oblasti), že množství srážek je na samé hranici pro zdárné odrůstání smrkových porostů.
- Na negativní změny chemických vlastností půdy v daném regionu spolu s námi poukázali i HROMÁDKO (2006) a NOVOTNÝ, ŠRÁMEK (2005). Všechny analýzy konstatují velmi vysokou aciditu půdy a nedostatek přístupných živin, což vede k poruchám ve výživě, obzvláště hořčíku, ale i fosforu a zinku.
- Otázkou je, proč k poškození došlo až v posledních letech, a to v poměrně ostře ohraničené oblasti vyšších poloh, když v nižších polohách nejsou symptomy poškození zjevné. Základní rozdíl je v geologickém podkladu a pedologických charakteristikách půdních typů; v nižších polohách se vyskytuje kryptopodzol, ve vyšších polohách extrémně kyselý podzol (podle našich zjištění je pH/KCl humusových horizontů nižších poloh 3,2 až 3,4, vyšších poloh 2,7 až 2,9). Extrémní kyselost je však na daném území záležitostí dlouhodobou až přirozenou a sama o sobě nemohla být příčinou poškození porostů. Spouštěcím faktorem, který vyvolává chronické poškození, je změna klimatických charakteristik - „sucho“. Mimo nerovnováhy ve výživě vyvolané aciditou prostředí, sucho přístupnost živin dále snížilo. Negativní vliv sucha je o to výraznější, že jemné kořeny rostou v hrabance. Synergické působení obou těchto stresorů se projevilo v tak velkém snížení biomasy a životnosti jemných kořenů a tím i vitality stromu, že u obligatorně ektomykorhizního smrku došlo i k vytvoření částečně parazitické ektendomykorhizy.

Závěry

Komparací všech realizovaných analýz lze vyvodit tyto závěry:

- smrk se nachází v 6. lesním vegetačním stupni na velmi kyselém stanovišti (pH/KCl 2,7), které vyvolává deficienci některých prvků ve výživě,
- predispozičním faktorem poškození je i malý kořenový systém stromů, nedochází ke změně hloubky prokořenění půdních horizontů,
- spouštěcím faktorem poškození, který zejména dále prohlubuje nerovnováhu ve výživě, je sucho,
- i když je kořenový systém kolonizován václavkou, nedochází k hnilobám,
- stanovištní podmínky negativně a postupně ovlivňují kořenový systém jako celek; inhibují vývin a tloušťkový růst kořenů, jemné kořeny ustupují do nejsvrchnějších humusových horizontů, mají menší biomasu, životnost na hranici mortality a funkční ektomykorhiza se mění na částečně parazitickou ektendomykorhizu,
- podpůrným lesnickým řešením dané situace jsou takové způsoby zakládání porostů a jejich výchovy, které povedou k tvorbě velkých kořenových systémů; principiálním řešením je uměle navozená změna chemických parametrů půdy.

Literatura:

BAGÁR R., 2006: Vývoj klimatických podmínek v okolí Velkého Meziříčí v letech 1961 – 2004. Rukopis, 18 s. + 65 příloh.

HROMÁDKO, L., 2006: Karenční změny na asimilačním aparátu smrkových porostů v 6. lvs Žďárských vrchů. Bakalářská práce, LDF MZLU v Brně: 40 s.

HRUŠKA, J., CIENCIALA, E., (eds.) 2001: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor současného lesnictví. MŽP Praha: 159

LOMSKÝ, B., 2006: Zdravotní stav a výživa smrkových porostů 10 let po zimě 1995/1996. In: Slodičák, M., Novák, J. (eds.) Sborník z konference Lesnický výzkum v Krušných horách, Teplice 20.04.2006, VÚLHM VS Opočno: 181 – 195

MAUER, O., 1989: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karsten). Doktorská disertační práce, LF VŠZ Brno: 322

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E., RYCHNOVSKÁ, A., 2004: Kořenový systém a chřadnutí smrku ztepilého. In: Sborník referátů z konference „Kořenový systém – základ stromu“, 25.08.2004 Křtiny, MZLU v Brně: 64-74

NOVOTNÝ, R., ŠRÁMEK, V., 2005: Odborný posudek “Ke stavu lesních půd a stavu výživy smrkových porostů na majetku MVDr. Radoslava Kinského”. VÚLHM Praha: 8

SLODIČÁK, M. A KOLEKTIV., 2005: Lesnické hospodaření v Jizerských horách. Edice grantové služby LČR, číslo 02: 232

Vývin nadzemní části a kořenového systému dubu letního (*Quercus robur* L.) po celoplošných mechanických přípravách stanoviště orbou a frézováním a po obnově sítí a sadbou

Oldřich Mauer, Jiří Libus, Eva Palátová, Alena Rychnovská, Petra Mauzerová

Úvod

Jedním z největších problémů obnovy lesa na lužních stanovištích je eliminace nepříznivého vlivu buřeně. Buřeň odebírá vodu a živiny a u dubu letního, výrazně světlomilné dřeviny, působí zejména omezováním přístupu světla, jehož nedostatek může velmi rychle vyvolat až úhyn vysázených rostlin (Lüpke, 1998; Houšková, 2004; Kühne a Bartsch, 2005). Buřeň na lužních stanovištích vysázené rostliny i několikanásobně přerůstá. Eliminace negativního vlivu buřeně až po výsadbě (ožínání, aplikace herbicidů) je organizačně náročná, musí se často opakovat a je i ekonomicky nákladná (Stejskal, 2001). Na lužních stanovištích v oblasti jižní Moravy se již desítky let užívá mechanická příprava stanoviště celoplošnou orbou před vlastní obnovou (Vybíral, 2001). Operace až na dva roky omezuje růst buřeně a výrazně přispívá k zjednodušení vlastní obnovy, protože umožňuje její mechanizaci. Dlouhodobě se na celoplošně zoraných plochách používalo i polaření, což je současné pěstování zemědělských plodin v meziřadách lesních dřevin. V posledních sedmi letech byla orba nahrazena jiným celoplošným mechanickým zásahem - celoplošným frézováním, které se od orby liší tím, že se při něm těžební zbytky drtí a různým způsobem zapracovávají do půdního profilu. I když při běžném vizuálním hodnocení nejsou zjevné žádné rozdíly v odrůstání kultur a porostů založených bez mechanické přípravy a po celoplošných mechanických přípravách stanoviště, v posledním období se stále více ozývají hlasy (bez exaktního doložení jejich tvrzení), že celoplošné mechanické přípravy negativně ovlivňují růst dubu, zejména jeho kořenového systému.

Nejvhodnějším způsobem obnovy dubu letního by byla jeho obnova přirozená. Dlouhodobě nedostatečná fruktifikace (Kotrla 1999, 2000; Vacek a kol. 2000) však způsobila, že zcela převažovala a převažuje obnova umělá, a to obnova sadbou. Opět bez dokladování jsou prezentovány názory, že obnova sadbou negativně ovlivňuje vývin kořenového systému dubu letního, což je, spolu s mechanickou přípravou stanoviště, i příčinou jeho chřadnutí v regionu.

Cílem práce je exaktně a komplexně analyzovat vývin nadzemní části a kořenového systému dubu letního na stanovištích po celoplošných mechanických přípravách orbou a frézováním, po polaření a bez mechanické přípravy a na stejných stanovištích komplexně analyzovat vývin kořenového systému dubu letního ze sadby a sítě. Dalším cílem práce je odpovědět na otázku, zda je v předemných parametrech ovlivňován vývin dubu velikostí holiny.

Metody a použitý materiál

Základní metodické přístupy

- Všechna šetření byla uskutečněna na území LČR LZ Židlochovice, polesí Soutok a Tvrdonice na plošně velmi rozšířeném lesním typu 1L9.

- Obnova po celoplošné mechanické přípravě orbou. Po vytěžení porostu byly odstraněny těžební zbytky, odstraněny pařezy (trháním) a realizována celoplošná podzimní orba do hloubky cca 40 cm. Na jaře příštího roku byla plocha obnovena.
- Polaření. Po výsadbě (síji) dubu byly v meziřadách kultivovány zemědělské plodiny. Užívány byly pouze okopaniny, nejčastěji brambory, řepa, kukuřice, výjimečně slunečnice. Polařilo se maximálně tři roky. Podle předem dohodnutých postupů byl při obdělávání zemědělských plodin současně ošetřován i obnovovaný dub.
- Obnova po celoplošné mechanické přípravě frézováním. Těžební zbytky nebyly odstraňovány, ale drceny na frakce o velikosti 1 až 4 cm. Frézovány byly i pařezy odtěžených stromů. Povrchové frézování - nadrcené těžební zbytky byly zapraveny do půdy maximálně do hloubky 5 cm, hloubkové frézování - nadrcené těžební zbytky byly zapraveny do hloubky cca 40 cm. Obnova byla uskutečněna minimálně 4 měsíce po frézování.
- Velikost holiny. Podle současné legislativy lze na lužních stanovištích vytvořit holinu do výměry 2 ha, podle legislativy platné do roku 1995 byly povoleny na lužních stanovištích holiny do výměry 5 ha. V práci jsou analyzovány obě maximální velikosti holiny, ale i holiny větší než 5 ha, které vznikly dotěžováním zbytků porostů.
- Při zjišťování vlivu mechanické přípravy orbou a polařením měly analyzované porosty věk 17 až 22 let a výměru od 0,90 do 8,64 ha. Při zjišťování vlivu mechanické přípravy frézováním měly analyzované porosty věk 6 let (jde o nejstarší porosty založené daným způsobem obnovy) a výměra holiny nepřesáhla 2 ha. Při zjišťování vlivu síje a sadby byly analyzovány porosty různého věku (vytvoření časové řady).
- Při řešení všech cílů práce byly použity shodné metodické postupy analýz nadzemní části i kořenového systému.
- Průkaznost měřených parametrů byla statisticky testována. Při mechanických přípravách stanoviště byly Kontrolou kultury a porosty založené bez mechanické přípravy stanoviště, při zjišťování vlivu síje a sadby byly Kontrolou kultury a porosty založené síjí. Výsledky testování jsou v tabulkách výsledků označeny graficky. V případě zjištěných statisticky významných rozdílů je u příslušné hodnoty (je uváděn aritmetický průměr a směrodatná odchylka) znaménko +.

Analýzy nadzemní části

- Všechny analyzované kultury nebo porosty měly shodné zakmenění.
- V každé porostní situaci (velikost holiny, bez mechanické přípravy, celoplošná orba, povrchové frézování, hloubkové frézování) byly měřeny dvě kultury nebo porosty a bylo hodnoceno minimálně 100 stromů.
- Délka nadzemní části. Měřena délka kmene od půdního povrchu po špici terminálního výhonu.
- Tloušťka kmene. Měřena tloušťka kmene ve výšce 1,3 m od půdního povrchu.
- Výška nasazení koruny. Měřena vzdálenost od půdního povrchu po první větve se zeleným listím.
- Šířka koruny. Měřeno v nejširším místě koruny.
- Symetrie koruny. S - symetrická, M - mírně jednostranná, V - výrazně jednostranná.
- Tvar koruny. E - elipsoidní, K - kulovitá, P - polokulovitá, O - ostatní (vlajkovitá, nepravidelná).
- Tvar kmene. J - průběžný kmen, D - jeden dvoják, DD - dva dvojáky, ND - více než dva dvojáky na kmeni, V - vícečetný kmen.
- Šikmost kmene. Charakterizuje vychýlení kmene na jeho patě. Měřen úhel mezi svislicí procházející patou kmene a přímkou proloženou kmenem.

- Zvlnění kmene. Charakterizuje průběžnost růstu vlastního kmene. 0 - nezvlněný, přímý, 1 - zvlnění do 1 tloušťky kmene, 2 - zvlnění do 2 tlouštěk kmene, 3 - zvlnění do 3 tlouštěk kmene, 4 - zvlnění větší než tři tloušťky kmene.
- Poškození kmene. N - kmen nepoškozen. Z - poškození kmene zvěří (ohryz, loupání), H - poškození kmene hmyzem (Buprestidae, Cerambycidae), S - poškození suchem, J - jiné poškození (nejčastěji při ošetřování kultur a výchovných zásazích).

Analýzy kořenového systému

- Při zjišťování vlivu mechanické přípravy stanoviště orbou a polařením na vývin kořenového systému nebyly pro velkou pracnost analyzovány všechny porostní situace, ale pouze situace rozhodující - Kontrola (bez mechanické přípravy) na holině o výměře 1,86 ha, celoplošná orba na holině o výměře 8,64 ha, polaření na holině o výměře 4,54 ha. Těmito analýzami lze prokazatelně zjistit vliv velikosti holiny i realizované mechanické přípravy. V každé situaci bylo vždy analyzováno 6 stromů.
- Při zjišťování vlivu mechanické přípravy stanoviště frézováním byly analyzovány porostní situace bez mechanické přípravy (Kontrola), povrchové frézování a hloubkové frézování - vždy do výměry 2,00 ha. V každé porostní situaci bylo analyzováno 12 stromů.
- Počet analyzovaných stromů při zjišťování vlivu síje a sadby je uveden v tabulkách výsledků.
- Kořenové systémy všech analyzovaných stromů byly vyzvednuty ručně archeologickým způsobem. K jejich hodnocení byly užity metodické postupy Brněnské rhizologické školy (Mauer 1989). Do analýz byly v každé porostní situaci vybírány neokrajové a nepoškozené stromy s průběžným kmenem a shodnou délkou nadzemní části.
- Bližší vysvětlení k některým metodickým postupům. Při hodnocení horizontálních kořenů byl zjišťován jak jejich celkový počet, tak i počet v jednotlivých půdních vrstvách. Počet větvení panoh udává kolikrát se panohy v průběhu svého růstu v závislosti na hloubce prokořenění dále dělily. Průběžnost panoh charakterizuje jejich přímý nebo zvlněný růst; 1 - zvlnění do jedné tloušťky panohy, 2 - zvlnění do dvou tlouštěk, 3 - zvlnění více než dvě tloušťky. Index p (v tabulkách výsledků označován i I_p) je vypočítaná hodnota, která charakterizuje vztah mezi velikostí kořenového systému a nadzemní částí; jde o poměr součtu ploch příčných průřezů všech kosterních kořenů v mm^2 k výšce stromu v cm (čím je hodnota Indexu p větší, tím má strom větší kořenový systém).

Výsledky a jejich zhodnocení

Vliv celoplošné přípravy orbou a polařením, vliv velikosti holiny (tab. 1, 2)

- V žádném ze sledovaných parametrů a znaků nadzemní části jsme nezjistili signifikantní rozdíly mezi stromy rostoucími na stanovištích bez přípravy půdy, po celoplošné orbě nebo polaření. Rovněž jsme nezjistili žádné signifikantní rozdíly ve vlivu velikosti holiny na sledované parametry. Několik málo rozdílů není vyvoláno způsobem přípravy stanoviště, ale výchovou těchto porostů (symetrie koruny, zvlnění kmene) nebo jejich ochrannou (poškození zvěří).

Tab 1a: Vývin nadzemní části dubu letního po celoplošné orbě a polaření

Příprava stanoviště	Velikost holiny (ha)	Věk porostu (roky)	Délka nadzem. části (m)	Tloušťka kmene v d _{1,3} (cm)	Výška nasazení koruny (m)	Šířka koruny (m)	Symetrie koruny (v % stromů)			Tvar koruny (v % stromů)			
							S	M	V	E	K	P	O
							Bez přípravy (Kontr.)	1,86	18	10,4±0,9	9,0±2,4	6,6±0,5	3,4±0,7
Bez přípravy (Kontr.)	2,00	22	10,5±0,9	9,6±2,4	6,7±0,4	3,2±0,6	48	25	27	25	23	35	17
Bez přípravy (Kontr.)	5,25	18	10,2±1,2	9,0±2,7	6,0±0,9	3,2±0,7	60	20	20	42	24	13	21
Bez přípravy (Kontr.)	3,72	20	10,2±1,3	8,1±2,7	6,5±0,7	3,2±0,7	58	12	30	40	24	16	20
Celoplošná orba	1,89	20	10,6±1,2	10,0±3,1	6,4±0,4	3,5±0,7	47	27	28	24	29	28	19
Celoplošná orba	0,90	21	10,4±1,1	9,8±2,9	6,4±0,6	3,4±0,7	40	20	40	23	20	28	29
Celoplošná orba	6,30	19	10,9±1,4	10,7±2,2	6,9±0,8	3,6±0,6	52	20	28	18	38	33	11
Celoplošná orba	8,64	18	9,6±1,5	8,3±3,1	6,3±1,0	2,9±0,9	59	26	15	36	24	18	22
Polaření	2,07	19	10,2±1,4	8,4±2,9	6,3±0,8	3,0±0,9	43	28	29	19	38	24	19
Polaření	6,27	18	10,2±1,4	9,3±2,7	6,4±0,8	3,3±0,9	60	24	16	39	22	17	22
Polaření	4,54	18	9,9±1,1	8,0±2,2	6,1±0,5	2,8±0,7	58	21	21	36	21	34	9

Tab. 1b: pokračování

Příprava stanoviště	Velikost holiny (ha)	Tvar kmene (v % stromů)					Šikmost kmene (v % stromů)				Zvlnění kmene (v % stromů)					Poškození kmene (v % stromů)			
		J	D	DD	ND	V	0°	do 10°	do 20°	nad 20°	0	1	2	3	4	N	Z	H	J
Bez přípravy (Kontr.)	1,86	46	34	14	2	4	33	58	8	1	25	26	31	7	11	96	3	1	0
Bez přípravy (Kontr.)	3,00	53	29	6	6	6	40	42	17	1	13	29	19	13	26	15	13	2	0
Bez přípravy (Kontr.)	5,25	65	25	3	4	3	43	40	14	3	20	32	24	10	14	82	17	0	1
Bez přípravy (Kontr.)	3,72	57	34	5	3	1	46	41	11	2	23	34	26	8	9	96	4	0	0
Celoplošná orba	1,89	53	23	5	6	3	25	60	12	3	9	21	32	16	22	96	1	0	3
Celoplošná orba	0,90	45	31	11	9	4	31	45	17	7	17	19	27	13	24	98	1	0	1
Celoplošná orba	6,30	47	33	10	7	3	48	39	12	1	13	22	31	15	19	91	7	0	2
Celoplošná orba	8,64	74	20	1	3	2	45	40	12	3	26	24	24	10	16	88	11	0	1
Polaření	2,07	50	31	10	6	3	26	53	19	2	15	17	25	16	31	93	1	0	6
Polaření	6,27	65	18	6	7	4	40	35	12	13	17	39	22	11	11	93	5	0	2
Polaření	4,54	38	36	16	8	2	31	48	21	0	13	20	36	18	13	96	1	0	3

Tab. 2: Vývin kořenového systému dubu letního po celoplošné orbě a polaření

Parametry a znaky	Bez přípravy (Kontr.)	Celoplošná orba	Polaření
Velikost holiny (ha)	1,86	8,64	4,54
Délka nadzemní části (cm)	1096±32	1133±68	1110±20
Tloušťka kmene	90,6±11,0	97,3±3,2	94,0±12,2
Typ kořenového systému (v % stromů)			
- kúlový	100	100	100
- panohovitý	0	0	0
Počet panoh v polovině jejich délky (ks)	2,8±0,6	3,6±0,6	3,0±1,5
Délka panoh - hloubka prokořenění (cm)			
- průměrná délka	131,3±17,0	126,0±24,0	123,7±8,9
- maximální délka	134,3±20,5	143,7±25,4	137,0±12,9
Tloušťka panoh v polovině jejich délky (mm)	31,3±13,0	28,3±11,1	25,1±12,9
Počet horizontálních kořenů (ks)			
- 1. vrstva	16,3±1,5	17,7±3,5	11,3±3,5
- 2. vrstva	7,0±2,6	7,7±1,5	13,3±2,1
- 3. vrstva	5,0±2,0	7,7±1,2	7,0±3,5
- celkem	28,3±5,0	33,1±3,5	31,6±4,2
Tloušťka horizontálních kořenů (mm)			
- 1. vrstva	17,5±8,6	18,3±8,5	12,9±13,2
- 2. vrstva	14,1±5,6	12,5±3,6	12,1±6,1
- 3. vrstva	7,6±2,5	8,8±2,7	5,8±2,4
- celkem	14,9±8,0	14,7±7,7	14,5±11,1
Délka HKK (cm)	158±68	175±59	181±64
Maximální úhel mezi HKK (stupně)	25±13	23±6	27±6
Výskyt kotev na HKK (v % stromů)	100	100	100
- počet kotev (ks)	9,3±0,6	9,3±1,2	12,7±1,5
- tloušťka kotev (mm)	12,6±5,6	10,9±4,0	9,4±2,3
- hloubka prokořenění kotvami (cm)	67,0±25,5	51,0±15,6	64,7±11,5
Počet větvení panoh (ks)	2,7±0,6	2,3±0,5	2,0±0,0
Průběžnost panoh	1,6±0,8	2,0±1,0	1,7±1,2
Index p - celkem	10,1±3,3	10,1±1,9	9,8±3,2
- % podíl HKK na hodnotě Ip	57,6±6,1	65,1±7,2	69,0±5,6
- % podíl panoh na hodnotě Ip	30,8±9,2	26,0±5,6	23,1±4,4
- % podíl kotev na hodnotě Ip	11,6±4,4	8,9±2,5	7,8±2,4
Biomasa jemných kořenů (g.100 ml půdy ⁻¹)	0,045±0,002	0,047±0,004	0,047±0,003
Typ mykorhizy	ekto	ekto	ekto
Hniloby kořenů (v % stromů)	0	0	0
Napadení kořenů biotickými činiteli (v % stromů)	0	0	0

- V žádném ze sledovaných parametrů a znaků kořenového systému jsme nezjistili signifikantní rozdíly mezi stromy rostoucími na stanovištích bez přípravy půdy, po celoplošné orbě nebo polaření. Rovněž jsme nezjistili žádné signifikantní rozdíly v hodnocených parametrech u stromů rostoucích na holinách různé velikosti. Ve všech sledovaných situacích vytváří dub na bázi kmene deskovité horizontální kořeny, jejichž průřez se velmi rychle (do vzdálenosti 50 cm) mění na kruhový. Také zakončení horizontálních kořenů je shodné - kolena, snopky. Všechny stromy vytvořily ektomykorhizní stejně velký panohovitý kořenový systém, se shodnou architektonikou i hloubkou prokořenění. Stejná je i reakce v růstu horizontálních kořenů v závislosti na hloubce jejich prokořenění (1. vrstva hloubka 5 až 30 cm, 2. vrstva hloubka 35 až 50 cm, 3. vrstva hloubka 70 až 90 cm). Pokud vyrůstají horizontální kořeny mimo tyto zóny, v dalším růstu se do nich stácejí.
- V žádném ze sledovaných parametrů nadzemní části nebo kořenového systému jsme nezjistili signifikantní rozdíly mezi stromy rostoucími na dvou nebo pětihektarových a větších holinách.
- Zhodnocení - mechanická příprava stanoviště celoplošnou orbou nebo polaření, stejně tak velikost holiny, nemají negativní ani pozitivní vliv na růst nadzemní části a kořenového systému dubu letního. Eventuální odchylky v růstu jsou vyvolány výchovnými zásahy.

Vliv celoplošné přípravy frézováním (tab. 3, 4)

- V žádném ze sledovaných parametrů a znaků nadzemní části a kořenového systému jsme nezjistili signifikantní rozdíly mezi stromy rostoucími na stanovištích bez přípravy půdy a po povrchovém frézování.
- Hloubkové frézování nemá žádný vliv na růst nadzemní části, ovlivňuje však tvorbu kořenového systému. Po hloubkovém frézování strom vytváří stejný panohovitý kořenový systém se stejnou hloubkou prokořenění. Rozdílná je však tvorba horizontálních kořenů. Stromy po hloubkovém frézování vytváří více horizontálních kořenů, jejich tloušťka je však poloviční. To způsobuje, že kořenový systém je oproti kontrole menší (menší hodnota Indexu p). Rozdíly jsou zejména v půdních horizontech zpracovaných frézováním.
- Zhodnocení - povrchové frézování nemá negativní ani pozitivní vliv na růst nadzemní části a kořenového systému dubu letního. Hloubkové frézování neovlivňuje růst nadzemní části, ale ve věku analyzovaných kultur negativně ovlivňuje vývin kořenového systému. V rozfrézovaných půdních horizontech se teprve nyní začínají vytvářet horizontální kořeny. Jejich počet je velký a lze reálně předpokládat, že během několika let se stromy počtem i tloušťkou horizontálních kořenů vyrovnají stromům rostoucím na stanovištích bez přípravy půdy (v rozfrézované vrstvě se již nevyskytuje žádná nerozložená dřevní hmota). Inhibice tvorby a růstu horizontálních kořenů je vyvolána nevhodnými fyzikálními a hydrickými vlastnostmi rozfrézované vrstvy; ty vyvolávají i větší ztráty po obnově. Proto se i hloubkové frézování v předmětném regionu již nepoužívá.

Vliv síje a sadby (tab. 5)

- Obecně tradovaný názor, že dub vytváří pouze typický kulový kořenový systém neplatí. Dub ze síje i sadby vytváří panohovitý kořenový systém s výrazně pozitivně geotropickým směrem růstu panoh. Výskyt kulového kořene je častější (ne stoprocentní) pouze v prvních fázích vývoje stromů, později je výjimkou.
- Stromy ze sadby i síje vytváří kořenový systém se stejným počtem panoh, shodná je i hloubka jejich prokořenění. Rostliny se rychle snaží dosáhnout hladiny spodní vody, k čemuž dochází při jejich výšce cca 4 m. Nové výsadby nebudou trpět nedostatkem vody

Tab. 3a: Vývin nadzemní části dubu letního po povrchovém a hloubkovém frézování

Příprava stanoviště	Velikost holiny (ha)	Věk porostu (roky)	Délka nadzem. části (cm)	Tloušťka kmene $d_{1,3}$ (mm)	Výška nasazení koruny (cm)	Šířka koruny (cm)	Symetrie koruny (v % stromů)			Tvar koruny (v % stromů)			
							S	M	V	E	K	P	O
Bez přípravy (Kontr.)	2,00	5	177,4±26,2	28,2±3,4	72,7±14,8	86,3±22,3	64	23	13	50	26	10	14
Povrchové f.	1,97	4	150,0±18,0	25,0±2,7	47,4±14,2	61,9±11,3	50	30	20	43	25	13	19
Povrchové f.	1,40	4	160,3±24,9	25,2±4,8	52,6±19,2	81,8±24,4	53	21	26	46	17	11	26
Hloubkové f.	0,48	4	157,2±46,6	24,6±7,4	50,0±23,7	90,5±38,5	51	25	24	41	29	8	22
Hloubkové f.	2,00	4	163,0±27,4	25,6±3,8	48,0±8,8	93,5±22,6	57	22	21	49	25	7	19

Tab 3b: pokračování

Příprava stanoviště	Velikost holiny (ha)	Počet větví (ks)	Tloušťka nejdelší větve (cm)	Délka nejdelší větve (cm)	Tvar kmene (v % stromů)					Šikmost kmene (v % stromů)				Poškození kmene (v % stromů)			
					J	D	DD	ND	V	0°	do 10°	do 20°	nad 20°	N	Z	S	J
Bez přípravy (Kontr.)	2,00	18,7±4,1	6,8±1,8	54,2±15,5	49	30	9	10	2	55	37	5	3	65	3	12	20
Povrchové f.	1,97	16,8±2,4	6,2±1,2	48,0±7,7	43	25	13	9	10	55	39	6	0	39	1	30	30
Povrchové f.	0,85	18,5±4,1	7,4±1,8	60,1±11,9	46	17	11	12	14	36	43	21	0	33	3	27	27
Hloubkové f.	0,48	16,2±5,8	8,4±2,3	58,6±21,7	41	29	8	8	14	32	45	17	6	22	12	27	19
Hloubkové f.	2,00	17,4±3,4	7,3±1,9	58,2±17,1	49	25	7	7	12	54	37	10	0	39	1	25	35

Tab. 4: Vývin kořenového systému dubu letního po povrchovém a hloubkovém frézování

Parametry a znaky	Bez přípravy (Kontr.)	Povrchové frézování	Hloubkové frézování
Velikost holiny (ha)	2,00	0,85	2,00
Délka nadzemní části (cm)	179±4	171±8	161±9
Tloušťka kmene (mm)	25,6±1,7	22,5±2,7	20,1±1,5
Typ kořenového systému (v % stromů)			
- kůlový	17	0	17
- panohovitý	83	100	83
Počet panoh (v polovině délky) (ks)	2,6±0,5	2,2±0,4	2,7±0,5
Délka kůlu - panoh (hloubka prokořenění) (cm)			
- průměrná délka	78,6±12,2	84,1±4,4	85,8±7,1
- maximální délka	85,7±10,1	85,5±4,3	87,6±7,9
Tloušťka kůlu - panoh (mm)	12,4±5,0	10,9±3,0	9,4±3,8
Počet horizontálních kořenů (ks)			
- po 1. větvení panoh	7,1±3,5	7,5±3,7	14,3±2,7+
- na kůlu - panohách	9,9±4,0	10,2±3,8	8,1±2,5
- celkem	17,0±2,9	17,7±2,0	22,4±4,8+
Tloušťka horizontálních kořenů (mm)			
- po 1. větvení panoh	5,5±2,7	5,2±3,6	2,7±1,7+
- na kůlu - panohách	3,5±1,4	3,3±1,9	2,4±0,7
- celkem	4,6±2,5	4,1±2,9	2,6±1,5+
Délka horizontálních kořenů	94±36	105±41	43±21
Maximální úhel mezi HKK (stupně)	42±17	51±11	40±11
Výskyt kotev na HKK (v % stromů)	17	17	17
- počet kotev (ks)	1,0±0,0	2,0±0,0	2,0±0,0
- tloušťka kotev (mm)	8,0±0,0	7,0±1,4	7,5±0,7
- hloubka prokořenění kotvami (cm)	37,8±0,0	35,0±5,6	35,5±12,0
Počet větvení kůlu - panoh (ks)	1,7±0,9	1,5±0,8	2,0±0,6
Hloubka prvního větvení (cm)	16,5±1,1	14,2±3,1	16,7±1,8
Průběžnost kůlu - panoh	2,8±0,4	3,0±0,0	3,0±0,0
Index p - celkem	4,28±1,04	3,65±0,86	2,58±0,76+
- % podíl HKK na hodnotě Ip	51,7±9,8	53,7±9,7	39,5±9,5+
- % podíl kůlu - kotev na hodnotě Ip	47,6±10,4	44,5±11,5	64,5±13,2+
- % podíl kotev na hodnotě Ip	0,7±2,1	1,8±5,3	2,0±5,1
Biomasa jemných kořenů (g.100 ml ⁻¹)	0,027±0,004	0,026±0,002	0,017±0,002+
Typ mykorhizy	ekto	ekto	ekto
Hniloby kořenů (v % stromů)	0	0	0
Napadení kořenů biotickými činiteli (v % stromů)	0	0	0

Tab. 5: Vývin kořenového systému dubu letního ze síše a sadby

Způsob obnovy	Počet analyz. stromů (ks)	Délka nadzem. části (cm)	Tloušťka kmene $d_{1,3}$ (mm)	Tvar kořenového systému analyz. stromů (ks)		Počet panoh v polovině délky ¹⁾ (ks)	Délka panoh - kůlu (hloubka prokořenění) (cm)	Hloubka prvního nasazení panoh ¹⁾ (min. a max.) (cm)	Počet větvení panoh ¹⁾ (ks)	Ip ²⁾ (%)
				Kulový	Panohovitý					
Síše	21	73	-	11	10	2,7	31	11 až 24	1,0	100
Sadba	20	69	-	3	17	2,8	35	13 až 18	1,0	95
Síše	18	216	31	3	15	2,8	94	11 až 25	1,5	100
Sadba	17	200	30	0	17	3,6	98	15 až 19	1,7	102
Síše	11	290	44	0	11	3,7	112	13 až 33	1,9	100
Sadba	6	300	55	1	5	3,8	114	15 až 18	2,1	104
Síše	9	450	67	1	8	2,9	169	10 až 55	2,1	100
Sadba	6	510	75	0	6	3,0	172	14 až 19	2,3	95
Síše	6	1090	91	0	6	2,8	184	18 až 36	2,7	100
Sadba	6	1110	94	0	6	3,0	187	14 až 24	2,0	108

Pozn.: ¹⁾ - pouze u stromů s panohovitým kořenovým systémem

²⁾ 100 % - hodnota Ip u síše

po jejím poklesu vyvolaným regulací vodních toků (starší stromy již na pokles hladiny spodní vody nejsou schopny rychle reagovat).

- Stromy ze sadby i síše vytváří stejně velký kořenový systém (hodnoty Indexu p).
- Zhodnocení - nebyly zjištěny žádné rozdíly v architektonice kořenového systému dubu letního ze síše a sadby, které by hovořily v neprospěch sadby. Závěry platí i pro vývin kořenového systému z přirozeného zmlazení, neboť biologicky jsou přirozená obnova a síše shodná. Doplnujícím šetřením bylo zjištěno, že zvýšená hustota sīj (síše přehoustlé) nemá vliv na architektoniku kořenového systému a hloubku prokořenění, inhibuje však vývin horizontálních kořenů.

Závěr

Z realizovaných šetření lze vyvodit tyto hlavní závěry.

- Po celoplošných přípravách půdy orbou, polaření i po celoplošném povrchovém frézování půdy stromy vytváří stejnou nadzemní část a stejný kořenový systém jako při obnovách bez mechanické přípravy - mechanická příprava stanoviště orbou, polařením nebo povrchovým frézováním nemá negativní ani pozitivní vliv na růst dubu letního.
- Hloubkové celoplošné frézování sice neovlivňuje růst nadzemní části, ale negativně ovlivňuje tvorbu kořenového systému. Nemění se typ kořenového systému ani hloubka prokořenění, ale v důsledku absence silnějších horizontálních kořenů v rozfrézované vrstvě je kořenový systém slabší a má i méně jemných kořenů.
- Na holinách o výměře do dvou hektarů i na holinách větších než pět hektarů stromy vytváří stejnou nadzemní část a stejný kořenový systém - maximální velikost legislativou povolené holiny nemá žádný vliv (negativní, pozitivní) na růst dubu letního.
- Stromy vzniklé ze síše a sadby vytváří shodný kořenový systém.
- Obecně lze konstatovat, že dub letní vždy vytváří ektomykorhizní panohovitý kořenový systém s výrazně geotropickým růstem panoh (výskyt křivého kořene je častější pouze v raných vývojových fázích stromu, v dalším vývoji je výjimkou). Dub letní se snaží rychle svým kořenovým systémem dosáhnout spodní vody, k čemuž dochází při jeho výšce cca 4 m. Zcela shodně se vyvíjí nadzemní část i kořenový systém dubu letního na lesních typech 1L9 i 1L1 (v práci nepublikováno).

Použitá literatura

Houšková, K., 2004: Možnosti přirozené obnovy dubu v lužních lesích České republiky. In: Sborník z konference Peňáz, J., Martinek, J.: (eds.) Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století. Křtiny 14. – 19. 9. 2004, UZPL LDF MZLU v Brně: 1 – 12.

Kotrla, P., 1999: Semenná úroda 1998 – 1999. Lesu zdar, zvláštní vydání Genetika, 3: 4.

Kotrla, P., 2000: Semenná úroda 1999 – 2000. Lesu zdar, zvláštní vydání Genetika, 6: 11.

Kühne, Ch., Bartsch, N., 2005: Samenproduction und Entwicklung von Naturverjüngungspflanzen der Stieleiche (*Quercus robur* L.) in Auenwäldern am Oberrhein. Forstarchiv, 76: 16 – 22.

Lüpke, B.V., 1998: Sylvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixer species. Forest Ecology and Management, 106: 19 – 26.

Mauer O., 1989: Vliv antropogenní činnosti na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karsten). Doktorská disertační práce, LF VŠZ Brno: 322.

Stejskal, J., 2001: Návrh systému lesnického hospodaření v obnovních blocích – obora Soutok – LZ Židlochovice. Práce ke zkoušce způsobilosti odborného lesního hospodáře. LZ LČR Židlochovice, 2001: 74.

Vacek, S. a kol., 2000: Structure, development and management of floodplain forests in the reserve Dubno. In: Kulhavý, J., Hrib, M., Klimo, E.: Proceedings of the International Conference Management of Floodplain Forests in Southern Moravia. Lesy České republiky, s. p., Židlochovice, 2000: 123 – 132.

Vybíral, J., 2001: Pěstování dubových porostů na lesním závodě Židlochovice. In: Sborník ze semináře „Dub dřevina budoucnosti. Hradec Králové, 9. října 2001, ČLS Praha 2001: 20 – 33.

Poškození kořenů u mělce kořenících dřevin (smrku ztepilého, *Picea abies* (L.)Karst.) vlivem pojezdu těžkých těžebních a přibližovacích mechanismů v lesních porostech

Jan Čermák, Naděžda Nadezhdina, Jindřich Neruda, Alois Prax, Radomír Ulrich, Valerij Nadezhdin, Jan Gašpárek, Eduard Pokorný

Úvod

V průběhu výchovy lesních porostů ve všech fázích jejich vývoje jsou ve vzestupné míře používány progresivní těžební technologie používající moderní mechanizaci, jmenovitě harvestory a forwardery. Tyto mechanismy významně zvyšují produktivitu a bezpečnost práce. Většina z těchto mechanismů je však značně těžká, během jejich pojezdu na nezpevněných půdách dochází k jejich nepříznivým strukturálním změnám. Podle publikovaných výsledků (Becker 1999) tyto změny způsobují ztráty na produkci ve výši přes 17 %. Lze očekávat i poškození stromů sousedících s přibližovacími liniemi. Existuje přímá úměrnost mezi intenzitou poškození kořenů a frekvencí pojezdů po přibližovacích liniích, váze mechanismů, specifickém tlaku pneumatik na půdu, vlastnostmi půdy, počasím a dalšími vlivy (McMahon, 1995).

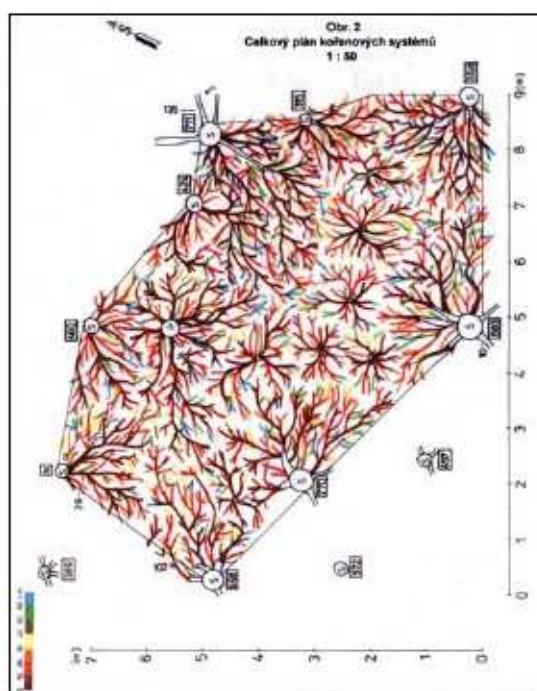
Dosud bylo možné stanovit vliv pojezdu těžkých mechanismů na základní životní procesy stromů jen na základě dlouhodobých (10-15 let) pozorování tloušťkového přírůstu stromů. To znejistovalo výsledky, protože během dané doby se mohly na přírůstu současně odrážet vlivy celé řady dalších faktorů (změny klimatu, napadení hmyzem či houbami apod.). Současná přístrojová technika však dovoluje zjistit reakce stromů okamžitě, a to např. podle změny absorpčních schopností kořenu (do jaké míry se změní tok vody z absorpčních kořenů skeletovými kořeny do kmene a v kmeni samém po pojezdu mechanismu). Technika bezeškodného odkryvu kořenů pak dovoluje postihnout plošné mechanické poškození xylemu i krycích pletiv. Oba tyto přístupy tak umožňují kvantifikovat poškození na úrovni celých stromů (podle podílu jejich poškozených a nepoškozených částí), určit do jaké hloubky pod povrchem se projevuje a specifikovat mechanismus jeho působení. Tyto podklady pak mají sloužit jako podklad výběru technických opatření, které by uvedená poškození minimalizovala.

Materiál a metodika

Pokusné lokality se nalézaly na Školním lesním podniku Medelovy univerzity v Brně. Prvá z nich byla v arboretu Křtiny na illimerizované hnědé půdě, humusová forma mull moder (lesní typ: *Querceto-fagetum illimeresum trophicum*), druhá se nacházela v porostu 289 C3Y cca 5 km východně od Jedovnice na typické oglejené půdě, humusová forma moder (lesní typ: *Abietum piceosum paludosum mesotropicum*), třetí a čtvrtá byly vybrány v polesí Habrůvka u Vranova. Šlo o dvě pokusné plochy nacházející se na lesním typu svěží dubová bučina biková s ostřicí chlupatou na plošinách (3S7): (1) “U Mraveniště”, porost č. 17 C3, borové hospodářství živných stanovišť středních poloh, a (2) “U Krmelce”, porost č. 20 C3b jedlové hospodářství živných stanovišť středních poloh.

Jako vzorníky byly sledovny vzrostlé stromy smrku ztepilého (*Picea abies* (L.)Karst.) v tloušťkovém rozmezí 10-40cm a věku 40-120 let. Základní fyzikální parametry půdy na vybraných pokusných plochách byly stanoveny před začátkem přístrojových měření (Neruda et al. 2004).

Poloha jednotlivých kořenů vzhledem ke stopě pojezdu traktorů (jako podklad pro správnou instalaci čidel transpiračního proudu) byla určena na základě prostorových snímků půdního profilu pokusné plochy pulsním georadarem (PULSE EKKO 1000 fy Sensors and Software Kanada) pracovníky Střediska geofyziky Brno (Ing. J. Hruška). Radar byl aplikován na předem vytyčené síti profilů s krokem 0.25 m vedených ve dvou navzájem kolmých směrech. Celkem bylo na lokalitách “U Mraveniště” a “U Krmelce” změřeno 363 a 322 m profilů, což představuje 7340 a 6528 georadarových bodů. Použití stíněných antén a frekvence 900 MHz umožnilo dosáhnout přesnosti cca 2 cm v určení polohy a hloubky (do 1.5 m) s možností detekce kořenů silnějších než 1.1 cm. Poloha jednotlivých stromů a distribuce jejich kořenů je znázorněna na příkladě lokality “U Krmelce” (Obr. 1).



Obr. 1: Příklad horizontální distribuce skeletových kořenů smrku na pokusné zjištěná pomocí georadaru.

Transpirační proud byl měřen v kmenech a jednotlivých skeletových kořenech v blízkosti kmene stromových vzorníků pomocí metody deformace tepelného pole (Naděždina et al. 1998, Naděždina a Čermák 1998) při aplikaci jednobodových a multibodových čidel (se serií šesti termočlánků uspořádaných ve vzdálenostech 5 až 15 mm) v nerezových injekčních jehlách s vnějším průměrem 1.2 mm. Pomocí těchto čidel byl měřen i radiální profil transpiračního proudu vzhledem k poloze kořenů (Nadezhdina et al. 2000). Celkem bylo ve studii aplikováno 90 čidel rozložených u souboru vzorníků na každé ploše ve 25ti měřících. Data byla zaznamenávána měřícími ústřednami EMS/UNILOG (Brno, Česká republika) a DL2e (Delta T, Velká Británie). Čidla proudu na pokusných i kontrolních stromech byla zapojena před pojezdy, aby byl získán záznam charakterizující normální dynamiku proudu a ponechána na svých místech po celou dobu experimentu a dále následujících hodin (u prvních dvou lokalit) až dnů (u druhých dvou lokalit).

Těžké mechanizmy představoval na prvních třech plochách traktor ZETOR 7245 s

jednoosým přívěsem se styčnou plochou pneumatik 775 cm², se zátěží 3 300 kg a měrným tlakem na půdu 2.1 kg m⁻². Na čtvrté ploše byl použit traktor TIMBERJACK Mini Brunett s celkovou hmotností 17 950 kg s pneumatikami se styčnou plochou 2 295 cm², se zátěží na kolo 2 400 kg a měrným tlakem na půdu 1.1 kg m⁻² – Obr.2.



Obr. 2: Traktor TIMBERJACK Mini Bruunett s nákladem (zátěží na kolo 2 400 kg) použitý jako modelové zatížení smrkových kořenů (měrný tlak na půdu 1.1 kg m⁻²).



Obr. 3: Detail umístění čidel transpiračního proudu a pohybujícího se kola naloženého traktoru

Traktory se na pokusných plochách pohybovaly několikrát po sobě. Studie se konala během příznivého počasí koncem května a začátkem června. Na dvou prvních plochách a třetí ploše „U Mraveniště“ byly provedeny 2 serie pojezdů (7x a 3x) s dvouhodinovým odstupem. Na ploše „U Krmelce“ byl nejdříve proveden jeden pojezd, následovaný s odstupem třemi pojezdy a po dalším odstupu šesti pojezdy. Kola traktorů se v průběhu pokusu pohybovala ve vzdálenostech cca 100 až (nebezpečných) 10 cm od čidel transpiračního proudu (Obr. 3).

Odkryv kořenů byl proveden po skončení experimentů po celé délce pojezdu mechanizačních prostředků u všech stromů ze strany pojezdu až po druhou stranu kmene

pomocí tenkého proudu supersonického vzduchu (o rychlosti dvou Machů), tryskou “Air-spade” 150/90 (Concept Engeneering Group Inc., Verona, USA) připojené na kompresor INGERSOLL (8 m³ min⁻¹ při 8 barech). Tato práce byla prováděna v období čerstvé vlhkosti půdy, kdy docházelo k minimálnímu poškození i tenkých (1 mm) absorpčních kořenů. Hloubka odkryvu se řídila hloubkou zakořenění, celoplošně se pohybovala mezi 30-40 cm, v místech kotevních kořenů až 80 cm. Po odkrytí kořenů byl u jejich skeletových větví zjišťován rozsah a míra poškození krycích pletiv.

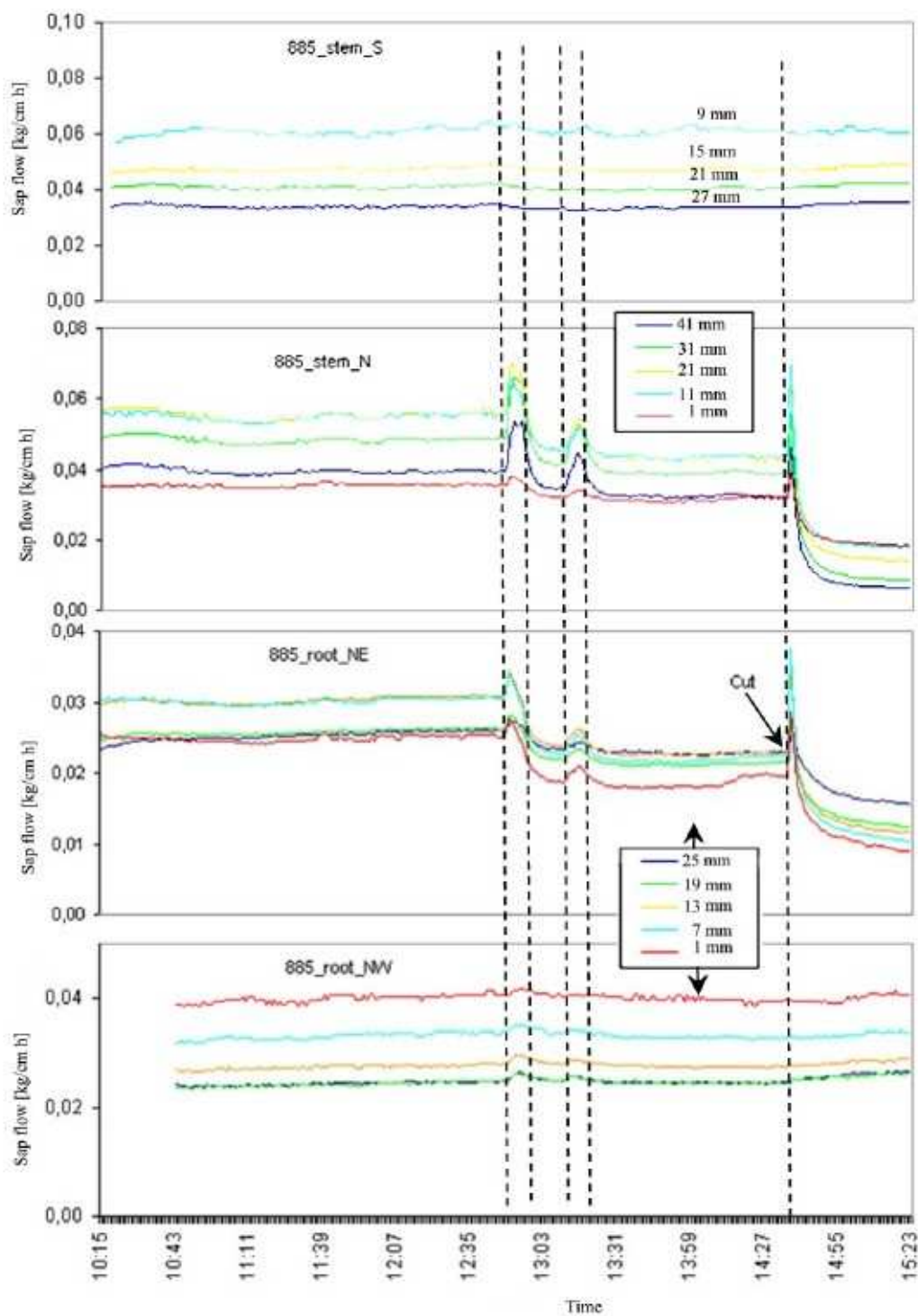
Výsledky a diskuze

Transpirační proud reagoval na zatížení koly těžkých mechanismů třemi způsoby: (1) Žádná viditelná odezva – podobně jako u neovlivněné kontroly, byla pozorována u kořenů, které se nacházely mimo pojezd (2) Okamžitou odezvou (zvýšením transpiračního proudu) na každou jednotlivou serii těsně po sobě následujících pojezdů a ihned poté následujícím poklesem (3) kontinuální odezvu, kdy se transpirační proud počal zvyšovat po každém pojezdu. Každý typ odezvy byl pozorován u kmenů a kořenů různých stromových vzorníků. Příklad okamžité odezvy transpiračního proudu na opakovaný pojezd traktoru, s výrazným funkčním poškozením kořenů na vlhké půdě je znázorněn na Obr. 4.

Okamžitou odezvu transpiračního proudu lze vysvětlit jako následek mechanického stlačení pletiv, kdy je vodní proud stimulován směrem od bodu stlačení směrem k měříšti (a analogicky směrem k zakončením kořenů). Pozorované funkční poškození spočívá ve zhmoždění vodivých drah skeletových kořenů, které integrují relativně velkou plochu tenkých absorpčních kořenů (větší než může být přímo poškozena pod koly traktoru). Odezva proudu byla proto pozorovatelná zejména tehdy, když se pod koly ocitla větší část kořenů (Obr.5).

Ostatní typy reakcí charakterizovaly kořeny nacházející se mimo pojezd nebo ve větší hloubce pod povrchem půdy a menším změnám meteorologických podmínek v průběhu pokusu. Zde uvedené příklady jen ilustrují některé typy pozorovaných reakcí. Podrobná analýza odezvy transpiračního proudu odrážejícího absorpční schopnosti kořenů, měřená pomocí celkem devadesáti čidel ve všech měříšcích na kmenech i jednotlivých křenech, je uvedena v obsáhlé práci v mezinárodním tisku (Naděždina et al. 2004).

Ke zhmoždění až úplné destrukci krycích pletiv na svrchní straně kořenů docházelo zejména u suchých, méně u vlhkých půd (Obr.6). Povrch silně stlačených kořenů pak vypadal jako po odření kůry (pozorovatelném např. při přímém kontaktu traktoru s povrchem kmene), při o něco slabším tlaku krycí pletiva na kořenech zůstala, avšak byla rozdrcena a nefunkční. Toto poškození se vyskytlo u 6-9 délkových metrů kořenů na 14 m jízdní dráhy, což představuje cca 0.4-0.65 m kořenů na metr jízdní dráhy.



Obr. 4: Příklad průběhu transpiračního proudu u pokusného smrku č.885 (kmen ze dvou potílehlých stran) a dvou hlavních skeletových kořenů. Vertikální linie označují periody pohybu traktoru a odříznutí kořenů (reprezentující maximální poškození). Jen pojezdem poškozené povrchové kořeny byly odříznuty, přetrvávající proud v hlavním kořenu přichází z hlubších kořenů, které nebyly poškozeny ani odříznuty.



Obr. 5: Příklad smrkových kořenů, které se ocitly přímo pod koly traktoru (obarveno) a jejichž vodivá schopnost byla silně poškozena.



Obr. 6: Příklad zhmoždění až úplné destrukce krycích pletiv u povrchových skeletových kořenů smrku v trase pod koly vyvážecího traktoru.

Půda na obou lokalitách u Vranova sledovaných při současných pokusech byla lehčí a díky extrémním klimatickým poměrům daného vegetačního období podstatně sušší než na lokalitě u Jedovnic sledované v předchozích studiích (Neruda et al. 2003, 2004). Obecně je známo, že fyzikální a fyziologické charakteristiky vegetace mají zásadní vliv na jejich hydrologické vlastnosti (Roberts 2000), což se potvrdilo i v daném případě. Evidentním důsledkem pojezdu těžkých mechaizmů na lesní půdu je její zhutnění (Adams 1981, Bredberg a Wasterlund 1983, Wasterlund 1983, 1985, 1992, Smith 1985, Tijink et al. 1988, Horn et al. 1987). Kořeny reagují rozdílně na nepříznivé podněty jako je vysychání půdy nebo její zhutnění (Liang et al. 1999), zhutnění se však může nepříznivě projevit i na přírůstu stromů (Wasterlund 1983, 1985, 1992) a těžební operace vedou k poškozování kořenů a následné infekci houbami (Ronnberg 2000).

Odolnost vůči suchu i mechanickému poškození souvisí s architekturou, hydraulickou vodivostí kořenů, a tedy i výskytem embolií v xylemu (Hallgren et al. 1994, Cochard et al. 1997, Nardini et al. 1998, Nardini a Pitt 1999, Nardini a Tyree 1999, Rieger a Litvin 1999). Závisí při tom v neposlední řadě i na jemných strukturách kořenů jako jsou mykorrhizy (Rudinger et al. 1994, Sperry et al. 1994, Steudle 1994, Steudle a Frensch 1996, Steudle a Peterson 1998, Mushin a Zwiazek 2002) a jim vyhovujících růstových podmínkách, např. teplotě půdy (Landhausser et al. 2002).

Radarem naměřené charakteristiky architektury skeletu kořenových systémů smrku, zejména pokud jde o celkový rozsah, hloubku a typ větvení odpovídá údajům zjištěným u tohoto a jemu blízkých druhů na jiných lokalitách (Stone a Kalisz 1991, Drexhage a Gruber 1998, Coutts et al. 1999, Schmid a Kazda 2001, Sustek 2001). Je při tom třeba uvažovat určité nepřesnosti této techniky zejména pokud jde o hlubší kořeny vyplývající z použité hustoty profilů a rozsahu nutné interpolace, výsledky však mohou být verifikovány exkavací s použitím metody supersonického vzduchu (Stokes et al. 2002).

Diagnóza vodního režimu rostlin se osvědčila jako účinný nástroj pro kvantifikaci stresu (Vertovec et al. 2001), při čemž z praktického hlediska se ukázal jako velmi vhodný parametr integrovaný proud vody (transpirační proud) skeletovými kořeny nebo kmenem (Burgess et al. 2000, Nadezhdina a Čermák 2000a, 2000b). V předložené studii byl aplikován dříve uvedený postup (Ulrich et al. 2001), navržený na základě zkušeností z předchozích experimentálních studií (Carlson et al. 1998, Nadezhdina a Čermák 2000a, 2000b). Dalším krokem je modelování hydraulické architektury (Doussan et al. 1998).

Pozorované odezvy transpiračního proudu byly velmi rychlé, avšak odpovídaly podobným reakcím zjištěným dříve (Čermák et al. 1984, Čermák a Kučera 1991, Nadezhdina a Čermák 2000a, 2000b, Nadezhdina et al. 2003). Kořeny smrků rostoucích na suché, relativně tvrdé půdě sice na pojezd těžkých mechanismů citlivě, avšak jen krátkodobě reagovaly, ale byly pojezdem ovlivněna evidentně podstatně méně než podobně ovlivněné kořeny stejného druhu u stromů rostoucích na vlhké půdě. Kořeny smrků rostoucích na půdě ve větších hloubkách rovněž suché, ale na povrchu po krátké před pokusy vypadnuvších srážkách navlhčené nejen reagovaly krátkodobě, ale došlo u nich k výraznému funkčnímu poškození, podobně jak jsme popsali v minulém roce (Neruda et al. 2003, Nadezhdina et al. 2003). Zhmoždění až úplná destrukce krycích pletiv však u nich byla podstatně výraznější.

Závěr

1. Pohyb těžkých vyvážecích traktorů na přibližovacích liniích v lesních porostech působí na kořeny stromů, i když vizuálně na nich nejsou žádné změny pozorovatelné.
2. Poškozována je vodivá schopnost a krycí pletiva jmenovitě u povrchových kořenů do hloubky cca 10-12 cm, u kořenů chráněných tlustší vrstvou půdy nebylo žádné poškození krycích pletiv ani reakce transpiračního proudu na pojezd pozorována.
3. Poškození vodivé funkce kořenů je významně větší na relativně měkkých vlhkých

půdách, kdežto na suchých relativně tvrdých půdách, které nejsou pojezdem deformovány, kořeny na pojezd jen krátkodobě reagují, ale k trvalému poškození jejich vodivé funkce nedochází. Naproti tomu však dochází k podstatně většímu zhmoždění až totální destrukci krycích pletiv.

4. U mechanicky poškozených kořenů lze důvodně očekávat vznik dalších následných (a pravděpodobně větších) škod po vniknutí houbové infekce.
5. Pro práci v lesních porostech lze doporučit konstruování a aplikaci lehčích mechanismů, které by snižovaly tlak na půdu výrazně pod 1 kg m⁻².

Seznam použité literatury

- Adams,P.W.1981: Compaction of forest soils. A Pacific Northwest Extension Publication, PNW 217, 1-14 p., Oregon, Washington, Idaho.
- Bredberg Von C.J. and Wasterlund,I. 1983: Wurzel- und Bodenschaden durch Fahrzeuge. Forstw. Cbl. 102: 86-98.
- Burgess,S.S.O., Adams,M.A., Bleby,T.M. 2000: measurement of sap flow in roots of woody plants: a commentary. Tree Physiology 20(13): 909-913.
- Carlson,W.C., Harrington,C.A., Farnum,P., Hallgren,S.W. 1998: Effects of root severing treatments on loblolly-pine. Can.J.For.Res. 18(11): 1376-1385.
- Cermák 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.
- Cermák J. Kučera J. 1991. Extremely fast changes of xylem water flow rate in mature trees, caused by atmospheric, soil and mechanical factors. 181-190pp. In: Proc.CEC International Workshop "Methodologies to assess the impacts of climatic changes on vegetation: Analysis of water transport in plants and cavitation of xylem transport in plants and cavitation of xylem conduits". Raschi A. Borghetti M. (eds.), May 29-31.1991. Firenze, Italy.
- Coutts,M.P., Nielsen,C.C.N. and Nicoll,B.C. 1999: The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root systems of conifers. Plant and Soil 217(1-2): 1-15.
- Cochard,H., Peiffer,M., LeGall,K., Granier,A. 1997: Developmental control of xylem hydraulic resistance and vulnerability to embolism in *Fraxinus excelsior* L.: Impacts on water relations. J.Exp.Bot. 48(308): 655-663.
- Dannowski,M. 1987: Die Auswirkungen wiederholter Belastung von Spurbahnen durch Fahrwerke auf Trockenrohdichte und Durchwurzelbarkeit eines stark lehmingen Sandbodens. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd., Berlin 31(9): 573-581.
- Doussan,C., Pages,L., Vercambre,G. 1998: Modelling of the hydraulic architecture of root systems: An integrated approach to water absorption – Model description. Annals of Botany 81(2): 213-223.
- Drexhage,M. and Gruber,F. 1998: Architecture of the skeletal root system of 40-year- old *Picea abies* on strongly acidified soils in the Hartz Mountains (Germany). Can.J.For.Res. 28(1): 13-22.
- Hallgren,S.W., Rudinger,M., Steudle,E. 1994: Root hydraulic- properties of spruce measured with the pressure probe. Plant and Soil 167(1): 91-98.
- Horn,R., Burger,M., Lebert,M. and Badewitz,G. 1987: Druckfortpflanzung in Boden unter langsam fahrenden Traktoren. Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 28: 94-102.
- Landhausser,S.M., Mushin,T.M., Zwiazek,J.J. 2002: The effect of ectomycorrhizae on water relations of aspen (*Populus tremuloides*) and white spruce (*Picea glauca*) at low soil temperatures. Can.J.Bot. 80(6): 684-689.
- Liang,J.S., Zhang,J.H., Chan,G.Y.S., Wong,M.H. 1999: Can differences in root responses to soil drying and compaction explain differences in performance of trees growing on landfill sites? Tree Physiology 19(9): 619-624.
- Mushin,T.M. and Zwiazek,J.J. 2002: Ectomycorrhizas increase apoplastic water transport and

- root hydraulic conductivity in *Ulmus americana* seedlings. *New Phytologist* 153(1): 153-158.
- Nadezhdina N and Čermák J. 2000a. Responses of sap flow rate along tree stem and coarse root radii to changes of water supply. In: Stokes A, ed. *The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology*. Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 87, Kluwer Academic Publishers, 227-238.
- Nadezhdina N and Čermák J. 2000b. Responses of sap flow in spruce roots to mechanical injury. In: Klimo E, Hager H, Kulhavy J, eds. *Spruce Monocultures in Central Europe: Problems and Prospects*. EFI Proceedings No 33, 167-175.
- Nadezhdina N, Čermák J. 1998. The technique and instrumentation for estimation the sap flow rate in plants (in Czech). Patent No.286438 (PV-1587-98).
- Nadezhdina N, Čermák J, Nadezhdin V. 1998. Heat field deformation method for sap flow measurements. In: Čermák J., Nadezhdina N., eds. *Measuring Sap Flow in Intact Plants*. Proceedings of 4th. International Workshop, Židlochovice, Czech Republic, IUFRO Publications. Brno, Czech Republic: Publishing House of Mendel University, 72-92.
- Nadezhdina, N., Čermák, J., Nadezhdin, V., Gašpárek, J., Ulrich, R., Neruda, J. 2003: Roots under the load of heavy machinery in spruce trees. II. Responses of sap flow in stems and roots. *European J. of Forest Research* (submitted).
- Nardini, A., LoGullo, M.A., Salleo, S. 1998: Seasonal changes of root hydraulic conductance (K-RL) in four forest trees: an ecological interpretation. *Plant Ecology* 139(1): 81-90.
- Nardini, A., Pitt, F. 1999: Drought resistance of *Quercus pubescens* as a function of root hydraulic conductance, xylem embolism and hydraulic architecture. *New Phytologist* 143(3): 485-493.
- Nardini, A. and Tyree, M.T. 1999: Root and shoot hydraulic conductance of seven *Quercus* species. *Ann. For. Sci.* 56(5): 371-377.
- Neruda, J., A. Prax, R. Ulrich, E. Pokorný, J. Valenta 2003 Roots under the load of heavy machinery in spruce trees. I. Soil properties and its compaction caused by the passage of forest machines. *European J. of Forest Research* (submitted).
- Rieger, M. and Litvin, P. 1999: Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *J. Exp. Bot.* 50(331): 201-209.
- Roberts, J. 2000: The influence of physical and physiological characteristics of vegetation on their hydrological response. *Hydrological Processes* 14(16-17): 2885-2901.
- Ronnberg, J. 2000: Logging operation damage to roots of clear-felled *Picea abies* and subsequent spore infection by *Heterobasidion annosum*. *Silva Fennica* 34(1): 29-36.
- Rudinger, M., Hallgren, S.W., Steudle, E., Schulze, E.-D. 1994: Hydraulic and osmotic properties of spruce roots. *J. Exp. Bot.* 45(279): 1413-1425.
- Schmid, I. and Kazda, M. 2001: Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. *Can. J. For. Sci.* 31(3): 539-548.
- Smith, D.L.O. 1985: Compaction by wheels: a numerical model for agricultural soils. *Journal of Soil Science*, 36: 621-632.
- Sperry, J.S., Nicholski, K.L., Sullivan, J.E.M., Eastlack, S.E. 1994: Xylem embolism in ring-porous, diffuse-porous, and coniferous trees of northern Utah and interior Alaska. *Ecology* 75(6): 1736-1752.
- Steudle, E. 1994: Water transport across roots. *Plant and Soil* 167(1): 79-90.
- Steudle, E. Frensch, J. 1996: Water transport in plants: Role of the apoplast. *Plant and Soil* 187(1): 67-79.
- Steudle, E. and Peterson, C.A. 1998: How does water get through roots? *J. Exp. Bot.* 49(322): 775- 788.
- Stokes A, Fourcaud T, Hruška J, Čermák J, Nadezhdina N, Nadezhdin V, Praus L. 2002. An evaluation of different methods to investigate root system architecture of urban trees in situ. I. Ground penetrating radar. *Journal of Arboriculture* 28, 2-10.
- Stone, E.L. and Kalisz, P.J. 1991: On the maximum extent of tree roots. *Forest Ecology and*

Management. 46(1-2): 59-102.

Sustek,S. 2001: Comparison of beech (*Fagus sylvatica* (L.)Mill.) and spruce (*Picea abies* (L.)Karst.) root biomass in limed and control localities at Bily Kriz in the Beskids. *Ekologia-Bratislava* 20: 61-78.

Tijink,F.G.J., Lerink,P. and Koolen,A.J. 1988: Summation of shear deformation in stream tubes in soil under a moving tire. *Soil and Tillage Research*, 12: 323-345.

Ulrich,R., Nadezhdina,N., Cermak,J., Neruda,J. 2001: Roots under the impact of logging and hauling machinery. Application of new field techniques.

Vertovec,M., Sakcali,S., Ozturk,M., Salleo,S., Giacomich,P., Feoli,E., Nardini,A. 2001: Diagnosing plant water status as a tool for quantifying water stress on a regional basis in Mediterranean drylands. *Ann.For.Sci.* 58(2): 113-125.

Wasterlund,I. 1983: Growth reduction on trees near strip roads resulting from soil compaction and damaged roots. – A literature survey. *SST* 2: 97-110.

Wasterlund,I. 1985: Compaction of till soils and growth tests with Norway spruce and Scots pine. *Forest Ecology and Management* 11: 171-189.

Wasterlund,I. 1992: Extent and causes of site damage due to forestry traffic. *Scand.J.For.Res.* 7: 135-142.

Příprava stanoviště pro výsadbu dřevin na antropogenních půdách

Oldřich Mauer

Úvod a cíl práce

Antropogenní půdy nevznikly přirozeným vývojem, ale byly vytvořeny lidskou činností – navážením a vrstvením více či méně vhodných materiálů pro růst vegetace obecně, ale pro růst dřevin obzvláště. Do antropogenních půd lze zařadit i půdy zemědělské, které sice vznikly přirozeným vývojem, ale dlouhodobým a intenzivním obděláváním došlo k zásadním strukturálním i chemickým změnám jejich svrchních půdních horizontů, a to až do hloubky 1 m.

Aby rostlina po výsadbě zdárně odrůstala, musí být minimálně splněny tyto podmínky – respektování její ekovalence ve vazbě na makro i mikroklima lokality, správná a pečlivá výsadba a respektování její ekovalence ve vazbě na půdní podmínky.

Kritéria vhodné (správné) půdy pro pěstování zemědělských plodin nebo dřevin na pozemcích určených k plnění funkcí lesa jsou již dlouhodobě stanovena. Rovněž je provedena plošná a detailní typologie zemědělských a lesních půd. Při výsadbách ve volné krajině (extravilánech) by měla být tato typologie využita nebo alespoň respektována.

Při výsadbách na antropogenních půdách však téměř žádná typologie těchto půd neexistuje. S čím je tedy třeba při výsadbě počítat:

- nevhodné fyzikální vlastnosti (i když může jít i o půdy lehké, ve většině případů jde o půdy těžké),
- změna hydrických poměrů,
- nedostatek organické hmoty,
- málo vhodné pH a chemické složení půdy,
- absence vhodné mikroflóry a mikrofauny, obzvláště vhodných mikorhizních hub,
- možná fytoxicita,
- velké a rychlé změny půdních vlastností jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru.

Úspěšná výsadba a odrůstání dřevin jsou však možné pouze tehdy, když kořenový systém obnoví svůj růst, podle druhu dřeviny vytvoří přirozenou architekturu a plní všechny svoje funkce (stabilizační, vodivou, zásobní a vyživovací). K tomu je však zapotřebí půda s těmito vlastnostmi v celé profilu rhizosféry:

- odpovídající obsah kyslíku (spodní kritická hranice 5 %, optimum 15-20 %),
- odpovídající obsah vody (spodní kritická hranice 20 %, optimum 40-60 %),
- odpovídající množství organické hmoty (min. 3 %, optimum 6-7 %),
- vhodné chemické složení (je rozdílné podle druhu dřeviny),
- přítomnost vhodných mykorhizních hub (je rozdílná podle druhu dřeviny).

Z výše uvedeného jednoznačně vyplývá, že vlastnosti antropogenních půd se mohou zásadně lišit od vhodných podmínek pro růst a plnění funkcí kořenového systému dřevin, proto je třeba jejich vlastnosti i zásadně před výsadbou upravovat. Ať již si to uvědomujeme, nebo neuvědomujeme, většina opatření, která děláme před výsadbou, děláme pro zdárný růst a vývin kořenového systému. Úspěšnost těchto opatření je však obzvláště při účelových

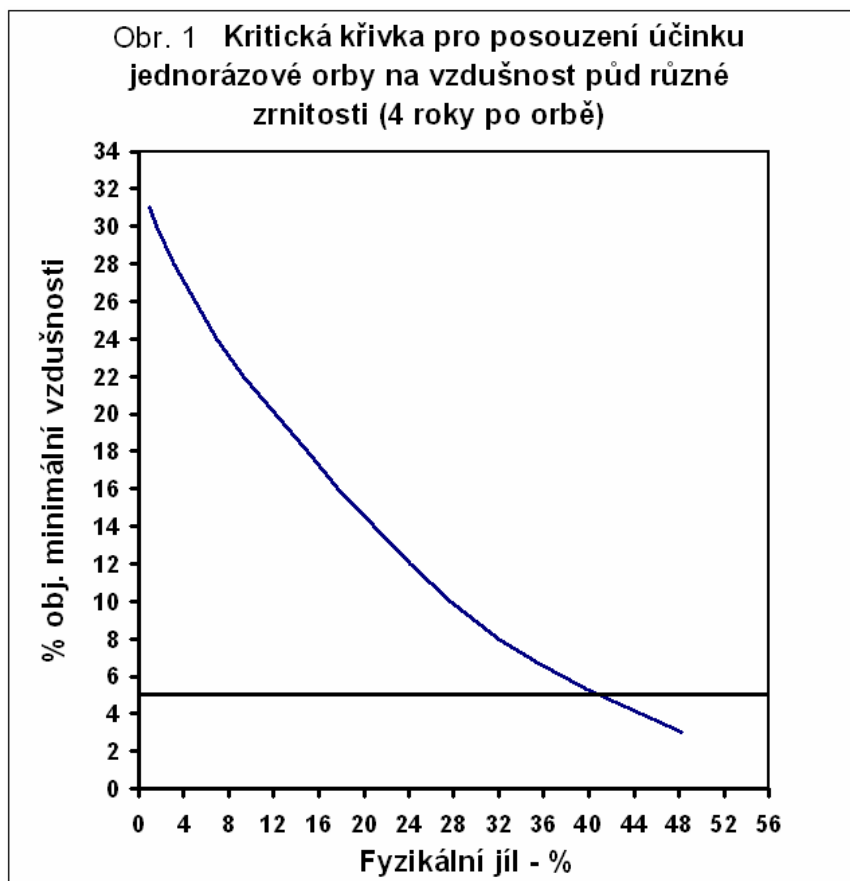
výsadbách (výsadba větších stromů s kořenovým balem) hodnocena sporadicky, neboť vysazený strom i několik let po výsadbě nechřadne (má zásobu živin a vody v kořenovém balu, často je i dlouhodobě přihnojován a zavlažován) a analýzy kořenového systému se téměř nedělají, neboť jsou pracné a nákladné. Stromy proto začnou chřadnout mnoho let po výsadbě a v této době se již nehledá příčina ve špatném způsobu jejich výsadby, ale vždy se najde příčina jiná.

Cílem příspěvku je dokladovat, jak některé v praxi realizované přípravy stanoviště mohou pozitivně, ale i negativně ovlivňovat růst kořenového systému vysazovaných stromů. Výsledky byly získány při obnově dřevinné vegetace na zemědělských půdách, výsypkách, ale i půdách rostlých. Vzhledem k tomu že budou dokladovány různé způsoby přípravy stanoviště a výsadby, popis jejich založení a vyhodnocení jsou uvedeny přímo u každého ověřování. Vzhledem k rozsahu příspěvku je většina výsledků dokladována na buku lesním (*Fagus sylvatica L.*), slovní komentář je stručný a příspěvek nehodnotí všechny možnosti přípravy stanoviště půd výsadbou. Rovněž si je třeba uvědomit, že neexistuje ostrá hranice, která odděluje přípravu stanoviště od vlastní biotechniky výsadby.

Vliv orby na fyzikální vlastnosti půdy (obr.1)

Častým způsobem přípravy stanoviště je jeho celoplošná orba. Ověřování bylo založeno tak, že byly celoplošně orány půdy s rozdílným obsahem jílnatých částic a po čtyřech letech po orbě byl zjišťován obsah vzduchu v půdě.

I když v některých případech může být vliv orby pozitivní (potlačení buřeně, urovnání půdního povrchu, zapravení hnojiv), orba vždy vede k ulehnutí půdy, které se projeví cca 4 roky po její realizaci. Je-li orána půda s obsahem fyzikálního jílu více než 40 %, po čtyřech letech poklesne obsah kyslíku v půdě pod kritických 5 %.



Vliv frézování půdy a zapravení dřevní hmoty na vlastnosti půd a růst buku lesního 4 roky po výsadbě (tab. 1-4)

Rovněž i frézování patří k častým způsobům přípravy stanoviště. Ověřování bylo realizováno na kyselých živných půdách (obsah fyz. jílu 35 %), na kterých rostly listnaté keře a stromy, ve čtyřech variantách:

- půda nebyla frézována, těžební zbytky byly odvezeny,
- půda nebyla frézována, těžební zbytky byly rovnoměrně rozloženy po ploše,
- těžební zbytky byly odvezeny a následně byla půda frézována do hloubky 40 cm,
- těžební zbytky byly rozloženy po ploše a následně byly rozfrézovány a zapraveny do hloubky 40 cm.

Čtyři měsíce po frézování byl ve všech variantách vysázen prostokořenný buk o délce nadzemní části 70 cm. První a čtvrtý rok po frézování byly vyhodnocovány základní vlastnosti stanoviště a reakce vysázených rostlin – procento dusíku v asimilačním aparátu, biologická aktivita půdy, provzdušněnost půdy a mocnost humusových horizontů. S výjimkou ztrát po výsadbě jsou všechny další parametry v tabulkách výsledků uvedeny v procentech ke kontrole – kontrolou (100 %) je varianta bez zásahu (frézování), těžební zbytky byly odvezeny.

Vliv frézování půdy je podstatně horší než vliv orby. Negativně ovlivňuje všechny sledované půdní parametry a následně i růst rostlin. Při zapracování těžebních zbytků do půdy dochází i k imobilizaci dusíku. Frézovány by mohly být pouze půdy s malým množstvím fyzikálního jílu (půdy písčité) a obzvláště na stanovištích s nedostatkem dusíku by neměla být do půdy zapravována dřevní hmota. Na frézování by měly být použity frézy s malou frekvencí otáček.

Tab. 1: Celoplošné frézování - % dusíku v asimilačním aparátu

Varianta	1. rok		4. rok	
	% N	Ztráty (%)	% N	Ztráty (%)
Bez zásahu (kontrola)	100	14	100	17
Klest ponechán na ploše	100	9	100	11
Frézování – klest odstraněn	92	9	57	39
Frézování – klest zapraven	96	10	41	65

Tab. 2: Celoplošné frézování – biologická aktivita půdy v %

Varianta	1. rok	4. rok
Bez zásahu (kontrola)	100	100
Klest ponechán na ploše	100	100
Frézování – klest odstraněn	94	32
Frézování – klest zapraven	87	35

Tab. 3: Celoplošné frézování – provzdušněnost pod humusovými horizonty v %

Varianta	1. rok	4. rok
Bez zásahu (kontrola)	100	100
Klest ponechán na ploše	100	100
Frézování – klest odstraněn	210	77
Frézování – klest zapraven	240	42

Tab. 4: Celoplošné frézování – mocnost humusových horizontů v %

Varianta	1. rok	4. rok
Bez zásahu (kontrola)	100	105
Klest ponechán na ploše	100	109
Frézování – klest odstraněn	0	11
Frézování – klest zapraven	0	17

Vliv prokypření podorniční vrstvy na růst buku lesního 12 let po výsadbě (tab. 5)

Častým pojezdem mechanizačních prostředků dochází na orných zemědělských půdách k slehnutí podorniční vrstvy, a to až do hloubky 1 m. Tato nepropustná vrstva zabraňuje prorůstání kořenů, ale může vyvolat i povrchové zamokření půdy.

Z tab. 5 vyplývá, že nepropustná vrstva (neprokypřená půda) sice nevyvolala ztráty, ale výrazně ovlivnila tvorbu kořenového systému. Kořenový systém prorůstá pouze ke ztuhlé vrstvě (je tudíž povrchový) a je téměř poloviční oproti velikosti kořenového systému, který prorostl prokypřenou vrstvou.

Obdobný negativní účinek mají i ztuhlé vrstvy vytvořené pojezdem mechanizačních prostředků při navážkách půd (hmot), v některých případech se vytvoří nepropustné vrstvy i přirozeně (např. na písčích nebo podzolech).

Tab. 5: Vliv prokypření podorniční vrstvy na růst buku lesního 12 let po výsadbě (K výsadbě použity prostokořenné sazenice o délce nadzemní části 60 cm;půda – pH/KCl 6,2, fyz. jíl 34 %; prokypření do hloubky 80 cm.)

Stav půdy	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Hloubka prokořenění (cm)
Neprokypřená	12	100	40
Prokypřená	10	184	112

⁺ kontrola (100 %) velikost kořenového systému na neprokypřené půdě

Vliv homogenizace přechodu navážených vrstev na růst buku lesního 22 let po výsadbě (tab. 6)

Na antropogenních půdách se často liší jednotlivé vrstvy svým chemickým složením. Z tab. 6 vyplývá, že rozdílné hodnoty trofnosti jednotlivých vrstev vyvolaly neprorůstání kořenového systému z ornice a tím i podstatně menší velikost kořenového systému. Stejný efekt vyvolalo i prokypření obou vrstev. V případě, že byla část ornice zhomogenizována s vrstvou výsypky, kořenový systém výrazně prorostl do výsypky a byl 2,5 krát větší než kořenový systém prorůstající pouze ornici.

Obdobně bude reagovat kořenový systém i v případě, že se jednotlivé vrstvy budou lišit v hodnotě pH o více než dva stupně.

Tab. 6: Vliv homogenizace přechodu navážených vrstev na růst buku lesního 22 let po výsadbě. (Na povrch výsypky navezena vrstva ornice o mocnosti 50 cm, A - ornice nebyla nijak homogenizována s podložní vrstvou, B – nejdříve bylo navezeno 20 cm ornice a tato byla promíchána s podloží do hloubky 50 cm, následně bylo navezeno 30 cm ornice, C – ornice byla i s podložní vrstvou prokypřena do hloubky 80 cm. Ornice pH/KCl 5,8, fyz. jíl 35 %, trofnost 1,8 krát větší než trofnost výsypky. Výsypka pH/KCl 6,2, fyz. jíl 32 %, vrstva nebyla zhutněna. K výsadbě použit prostokořenný poloodrostek o délce nadzemní části 100 cm.)

Varianta	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Hloubka prokořenění (cm)
A	12	100	50
B	12	265	147
C	14	107	50

⁺ kontrola (100 %) velikost kořenového systému ve variantě A

Vliv rozdílných chemických vlastností kořenového balu a okolní půdy na růst buku lesního 8 let po výsadbě (tab. 7)

Je téměř pravidlem, že při nákupu krytokořenného sadebního materiálu pro výsadby se hodnotí jeho morfologické parametry a zdravotní stav, ale velmi málo se berou v úvahu fyzikální a chemické parametry jeho kořenového balu.

Z tab. 7 jednoznačně vyplývá, že velké rozdíly v chemickém složení nebo aciditě mezi kořenovým balem a okolní půdou vyvolávají deformace kořenového systému, negativně ovlivňují jeho velikost a časem i ztráty.

Tab. 7: Vliv rozdílných chemických vlastností kořenového balu krytokořenného sadebního materiálu a okolní půdy na růst buku lesního 8 let po výsadbě. (K výsadbě použit krytokořenný odrostek o délce nadzemní části 160 cm, výška obalu 20 cm. A – pH/KCl kořenového balu 7,3, trofnost kořenového balu 100 %, pH/KCl půdy 4,8, trofnost půdy 100 %. B – pH/KCl kořenového balu 5,2, trofnost kořenového balu 215 %, pH/KCl půdy 4,8, trofnost půdy 100 %. C – pH/KCl kořenového balu 5,2, trofnost kořenového balu 100 %, pH/KCl půdy 4,8, trofnost půdy 100 %.)

Varianta	Ztráty (%)	Deformace kořen. systému (v % stromů)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Hloubka prokořenění (cm)
A	86	100	100	20
B	78	100	109	20
C	6	9	357	87

⁺ kontrola (100 %) velikost kořenového systému ve variantě A

Vliv rozdílného materiálu na zasypání výsadbové jámy při výsadbě krytokořenného buku lesního 12 let po výsadbě (tab. 8)

Jestliže vývin kořenového systému ovlivňují rozdílné vlastnosti kořenového balu a půdy do níž je strom vysazován, je zřejmé, že vývin kořenového systému bude ovlivňovat i materiál, který je použit na zasypání výsadbové jámy.

Tabulka 7 dokladuje, že zasypání jámy v rostlé půdě byť chemicky upravenou rašelinou vyvolává změnu architektiky kořenového systému – buk vytvářil povrchový kořenový systém, téměř polovina stromů měla i deformovaný kořenový systém. Skutečnost je vyvolána nejen rozdílným chemickým složením mezi rašelinou a kořenovým balem, ale i nevhodným rozkladem zasypávané rašeliny ve spodní části jámy. Ještě hůře dopadly stromy, které byly zasypány půdou podle půdních horizontů, vytvořily pouze povrchový a slabý kořenový systém. Velmi dobře odrůstaly a kořenový systém vytvořily stromy zasypané homogenizovanou půdou ze svrchních horizontů daného stanoviště – půda byla mykorhizní a obsahovala cca 10 % organické hmoty.

Tab. 8: Vliv rozdílného materiálu na zasypávání výsadbové jámy při výsadbě krytokořenného buku lesního 12 let po výsadbě. (K výsadbě použit krytokořenný poloodrostek o délce nadzemní části 100 cm, výška obalu 80 cm, šířka obalu 35 cm, pH/KCl 6,5, trofnost 100 %, šířka jámy 60 cm, hloubka jámy 100 cm. A – jáma zasypána obohacenou rašelinou pH/KCl 5,4, trofnost 60 %, B – jáma zasypána humózní mykorhizní půdou (byla zhomogenizována půda z daného stanoviště do hloubky 35 cm), C – jáma zasypána půdou podle půdních horizontů. Výsadba na kambizemi.)

Varianta	Ztráty (%)	Deformace kořen. systému (v % stromů)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Hloubka prokořenění (cm)
A	25	47	100	38
B	14	4	177	127
C	28	7	85	44

⁺ kontrola (100 %) velikost kořenového systému po zasypání obohacenou rašelinou

Vliv postupné změny vlastností materiálu na zasypávání výsadbové jámy na růst kořenového systému buku lesního 12 let po výsadbě (tab. 9)

Náhlé změny mezi vlastnostmi kořenového balu a okolní půdou, stejně tak jako výsadba prostokořenných rostlin do nevhodného prostředí vyvolávají ztráty a nevhodný vývin kořenového systému (tab. 9). V případě že byla výsadbová jáma zasypána pouze kvalitní půdou z lesního porostu, kořenový systém prokořenil pouze výsadbovou jámu, byl povrchový a po vyčerpání živin došlo k velkým ztrátám. Byla-li výsadbová jáma zasypána substrátem z výsypky a půdou z lesního porostu v poměru 1:1 (var. B) reakce kořenového systému byla pozitivnější než ve var. A – buk vytvořil větší kořenový systém a částečně prorostl z výsadbové jámy. Nejlépe odrůstal buk v případě, že změna vlastností substrátu použitého na zasypání jam byla postupná (var. C). Byl vytvořen nejen největší kořenový systém, ale i kořenový systém, který se blížil přirozené architektice; ztráty byly nejmenší. Byla-li jáma zasypána půdou výsypky (var. D), výsadba byla neúspěšná. Krytokořenný sadební materiál ve všech variantách reagoval hůře než sadební materiál prostokořenný.

Vliv různého vylehčování půdy pro zasypání výsadbové jámy na kvalitu kořenového systému buku lesního 15 let po výsadbě (tab. 10)

Je-li nutná výsadba do těžké půdy, je nezbytné její vylehčení. Tabulka 10 dokladuje, jak odrůstal buk 15 let po výsadbě na těžké rostlé půdě, když výsadbová jáma byla zasypána vylehčenou půdou z daného stanoviště pískem, žulovou drtí, opukovou drtí, cihlovou drtí, rašelinou, čedičovou vatou, perlitem a keramzitem. Vylehčující materiál byl přimíšen ve 20 a 50 objemových poutech. Nevhodnými materiály pro vylehčení byly písek (vyplavil se a vytvořil neprostupnou vrstvu), rašelina (rychle se rozložila), cihlová drť (výrazně zvýšila pH, rozpadla se a zhoršila fyzikální vlastnosti). Nevýhodným materiálem při mísení v poměru 1:1 byla i čedičová vata (rychle mění vlastnosti substrátu). Relativně vhodnými materiály pro vylepšení byly žulová drť, opuková drť, perlit a keramzit. Umožnily vytvoření většího kořenového systému, prokořenění i v hlubších částech výsadbové jámy a vyvolaly nejmenší hniloby kořenů, Opuka jako jediná umožnila i prorůstání kořenů do hlubších vrstev, než byla hloubka výsadbové jámy. Zasypání výsadbové jámy rostlou půdou z daného stanoviště vyvolala stoprocentní ztráty (není v tabulce uvedeno).

Tab. 9: Vliv postupné změny vlastností materiálu na zasypání výsadbové jámy na růst kořenového systému buku lesního 12 let po výsadbě. (Výsadba byla realizována na výsytku – obsah fyz. jílu 44 %, pH/KCl 7,4, bez fytotoxicity, chudá půda. Úprava realizována promísením s půdou z lesního porostu – obsah fyz. jílu 30 %, pH/KCl 5,1, bohatá půda. A – jáma zasypána do 50 cm od kořenového systému pouze půdou z lesního porostu, B – jáma zasypána 50 cm od kořenového systému promísenou půdou z lesního porostu a z výsytky v poměru 1:1, C – jáma zasypána 30 cm od kořenového systému promísenou půdou z lesního porostu a z výsytky v poměru 1:1, 30 až 50 cm od kořenového systému v poměru 1 díl půdy z lesního porostu a 3 díly půdy z výsytky. D – jáma zasypána půdou z výsytky. K výsadbě byly použity prostokořenné a krytokořenné poloodrostky o délce nadzemní části 100 až 120 cm.)

Sadební materiál	Varianta											
	A			B			C			D		
	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Podíl HKK * na velikosti kořen. systému	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (%)	Podíl HKK * na velikosti kořen. systému	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Podíl HKK * na velikosti kořen. systému	Ztráty (%)	Velikost kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	Podíl HKK * na velikosti kořen. systému
Krytokořenný	68	100	100	37	140	100	24	270	53	100	-	-
Prostokořenný	53	140	100	41	163	87	31	266	42	91	53	100

⁺ kontrola (100 %) velikost kořenového systému u krytokořenného sadebního materiálu ve variantě A

* HKK – horizontální kosterní kořeny

Tab. 10: Vliv různého vylehčování půdy k zasypání výsadbové jámy na kvalitu kořenového systému buku lesního 15 let po výsadbě. (Byla vylehčována rostlá půda s obsahem fyz. jílu 45 %. Do rostlé půdy bylo mícháno 20 a 50 objemových procent vylehčujícího materiálu. Velikost frakcí (mimo písek, rašelinu a perlit) cca 1 cm. Hloubka a šířka výsadbové jámy 70 cm. Byl vysazován prostokořenný buk o délce nadzemní části 70 cm a délce kořenového systému 40 cm.)

Vylehčující materiál	20 % vylehčujícího materiálu						50 % vylehčujícího materiálu					
	Ztráty	Podíl kořenů prostupujících mimo jámu v hloubce		Hloubka prokořenění	Velikost kořen. systému ⁺	Hniloby kořen. systému	Ztráty	Podíl kořenů prostupujících mimo jámu v hloubce		Hloubka prokořenění	Velikost kořen. systému ⁺	m Hniloby kořen. systému
		(%)	0-20 cm					21-70 cm	(cm)			
Písek	42	100	0	12	100	41	44	100	0	15	98	47
Žulová drť ^{**}	17	75	25	80	145	20	17	100	0	70	155	15
Opukávková drť [†]	8	71	29	70	170	10	10	69	31	105	210	10
Cihlová drť [†]	37	100	0	17	84	53	66	100	0	20	81	85
Rašelina	48	100	0	15	95	64	45	100	0	12	100	61
Čedičová vata	12	85	15	80	143	20	57	100	0	20	75	65
Perlit	16	88	12	85	148	35	14	100	0	70	155	35
Keramzít	17	84	16	75	152	35	18	100	0	70	149	40

⁺ kontrola (100 %) – velikost kořenového systému při 20 % vylehčení pískem

Vliv mykorhizace sadebního materiálu buku lesního na úspěšnost výsadby na antropogenních půdách (tab. 11)

Většina našich dřevin je obligátně mykorhizních a bez mykorhizy nemůže zdárně odrůstat. Na antropogenních půdách je často mykorhiza výrazně narušena. Tabulka 11 dokladuje, jak umělá mykorhizace krytokořenného sadebního materiálu zajišťuje nejen menší ztráty po výsadbě, ale hlavně zdárný vývin kořenového systému vysázených rostlin. Užití kvalitních prostokořenných rostlin není úspěšné.

Tab. 11: Ztráty a vývin kořenového systému mykorhizního a nemykorhizního buku lesního 4 roky po výsadbě. (K výsadbě použity mykorhizní jednodité krytokořenné semenáčky – označení fk1 – myk., jednoleté nemykorhizní krytokořenné semenáčky – označení fk1 a dvouleté semenáčky vypěstované v minerální půdě – označení 2+0. Výsadba realizována na orné zemědělské půdě, na požářišti a při rekultivaci haldy. Rostliny fk1 – myk. a fk1 byly pěstovány shodnými postupy.)

Stanoviště	Typ sadebního materiálu	Ztráty (%)	Biomasa kořen. systému ⁺ (v % kontroly)	% mykorhiz ⁺ (v % kontroly)	% ektendo-mykorhiz
Zemědělská půda	fk1-myk.	7	148	351	0
	fk1	18	100	242	0
	2+0	41	100	100	18
Požářiště	fk1-myk.	10	172	226	0
	fk1	45	141	217	0
	2+0	60	100	100	22
Rekultivace výsypky	fk1-myk.	18	226	164	0
	fk1	28	121	151	0
	2+0	73	100	100	31

⁺ kontrola (100 %) hodnoty u 2+0

Vliv deformace kořenového systému na kvalitu porostu 12 let po výsadbě (tab. 12a, b)

Jednou z největších chyb při výsadbě je deformace kořenových systémů vysazovaných rostlin. Deformace může být vyvolána nevhodným pěstováním sadebního materiálu, nevhodnou biotechnikou sadby, na antropogenních půdách deformace vyvolávají i nevhodné půdní podmínky. Tabulky 12a, b dokladují, že deformace kořenového systému v prvních letech po výsadbě sice neovlivňují ztráty nebo délku nadzemní části, ale výrazně ovlivňují hloubku prokořenění a velikost kořenového systému. K retardaci růstu a větší ztrátám dochází v dalším růstu porostů.

Tab. 12a: Vliv deformace kořenového systému do stroboulu na kvalitu porostu 12 let po výsadbě (K výsadbě použit dvouletý krytokořený smrk ztepilý a jednoletý krytokořený buk lesní, standardní i nestandardní sadební materiál měl shodnou délku nadzemní části.)

Sadební materiál (% stromů s deformací)	Ztráty (v % stromů)	Výskyt hlavního kořene nebo panoh (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost kořen. systému (v % kontroly)	Délka nadzemní části (v % kontroly)
SM - 0 (kontrola)	5	0	14	100	100
SM - 100	8	0	15	63	95
BK - 0 (kontrola)	8	100	73	100	100
BK - 100	7	0	21	42	101

Tab. 12b: Vliv deformace hlavního kořene sadebního materiálu na kvalitu porostu 12 let po výsadbě (K výsadbě použity dvouleté prostokořenné semenáčky buku lesního a dubu zimního, standardní sadební materiál měl shodnou délku nadzemní části.)

Sadební materiál (stupeň) ⁺	Ztráty (v % stromů)	Výskyt hlavního kořene nebo panoh (v % stromů)	Hloubka prokořenění (cm)	Velikost kořen. systému (v % kontroly)	Délka nadzemní části (v % kontroly)
BK - 90 (kontrola)	8	100	67	100	100
BK - 50	11	100	71	91	104
BK - 30	10	22	25	53	104
DB - 90 (kontrola)	9	100	94	100	100
DB - 50	7	96	87	107	97
DB - 30	6	37	37	48	101

⁺stupeň – úhel který svírá osa hlavního kořene s povrchem půdy

Závěry

Výsadba dřevin do antropogenních půd (a to obzvláště dřevin starších) není přírodě blízký způsob. Aby takovéto výsadby byly úspěšné, bylo by žádoucí respektovat tyto zásady:

- respektovat ekovalenci užitých dřevin ve vazbě na klimatické podmínky stanoviště a vlastnosti antropogenní půdy,
- v půdních sondách do hloubky 120 cm zjišťovat – pH, obsah přístupných živin, fyzikální vlastnosti, obsah organické hmoty a fytoxicitu jednotlivých půdních vrstev,
- upravit i velké okolí výsadbové jámy tak, aby všechny půdní změny byly postupné,

- kvalitu kořenového balu již při pěstování ve školkách upravit tak, aby se co nejvíce blížila kvalitě půdy při výsadbě,
- používat pouze rostliny s nedeformovaným kořenovým systémem,
- kořenový systém při výsadbě nedeformovat,
- tam, kde jsou půdní podmínky extrémní a stromy po výsadbě nelze dlouhodobě hnojit a zavlažovat, raději používat dřeviny s širokou ekovalencí (bříza, olše).

Název: Rhizologie lesních dřevin

Autor: Ing. Oldřich Mauer, DrSc.

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Publikace neprošla jazykovou úpravou

První vydání, 2013

ISBN: 978-80-7375-697-0

