VPLYV KOREŇOVÉHO SYSTÉMU NA STABILITU A VITALITU LESNÝCH DREVÍN

Bohdan KONÔPKA

Úvod

V roku 1991 vyšla v Spojených štátoch amerických rozsiahla knižná publikácia kolektívu autorov s názvom „Korene rastlín – ich skrytá polovica" (Plant Roots – the Hidden Half New York 1991). Jej hlavnou úlohou bolo spopularizovať výsledky dosiahnuté v tejto oblasti. Taktiež upozornila na závažný, a predtým málo zdôrazňovaný fakt, že sa podzemnej časti rastlín venovala vo výskume len minimálna pozornosť. Koncom deväťdesiatych rokov vychádza ďalšie rozsiahle dielo popredných amerických fyziológov Kozlowského a Pallardyho „Fyziológia drevín" (Physiology of Woody Plants San Diego 1997). Kniha priniesla množstvo nových informácií o životných procesoch v drevinách. Aj napriek jej obrovskému prínosu treba povedať, že sa opäť prejavil dlhotrvajúci nedostatok poznatkov o koreňových systémoch, keď z celkového počtu 411 strán sa im priamo venovalo len okolo 20 strán.

Tento referát zhŕňa najnovšie poznatky o koreňových systémoch drevín. Korene sa analyzujú z hľadiska ich fyziologického významu, ale aj s ohľadom na ich nenahraditeľnú schopnosť ukotvovať dreviny v pôde.

Koreňový systém a vitalita dreviny

PERSSON (1990) vidí hlavné príčiny nedostatočnej pozornosti vedcov venovanej koreňovým systémom, a to hlavne v rámci fyziologického výskumu drevín, v: 1.) nedostatku vhodných metodík, 2.) mimoriadnej prácnosti a časovej náročnosť, 3.) už prekonanom názore, že podzemná časť je málo významná pri procese obehu uhlíka a živín, 4.) domnienke, že v niektorých ekosystémoch je premenlivosť podzemných častí drevín taká veľká, že je zložité zabezpečiť dostatočnú presnosť ich hodnotenia. Tento autor charakterizuje koreňový systém ako štrukturálny komplex orgánov, zložený z dvoch hlavných frakcií: podzemnej časti kmeňa spolu s hrubými koreňmi a jemných korienkov, priamo asociovaných s množstvom mikroorganizmov, z nich niektoré sú pre drevinu škodlivé (patogénne), iné prospešné (najmä mykorízne huby). Persson zdôrazňuje, že hrubé frakcie koreňových systémov sú dlhoveké a často prežívajú až do konca života dreviny. Naopak, jemné korienky majú krátku životnosť, ich systém je dynamický a citlivo reagujú na rastové podmienky. KOZLOWSKI a PALLARDY (1997) zhrnuli význam koreňov pre drevinu v jej ukotvení, absorbcii vody a živín z pôdy, ukladaní zásobných látok a syntetizovaní niektorých hormónov.

Ako sa už uviedlo, koreňový systém tvorí podzemný kmeň spolu s hrubými koreňmi a jemné korienky. Podzemná časť kmeňa a hrubé korene sú dôležité pre drevinu hlavne svojimi mechanickými vlastnosťami, keď plnia prevažne kotviacu funkciu (táto sa rozvedie v ďalšej kapitole referátu). Taktiež sú významné z hľadiska ukladania zásobných látok a hormónov, plnia aj vodivú funkciu. Jemné korienky sú typické svojou výrazne vyššou fyziologickou aktivitou než hrubšie frakcie, pričom ich hlavným prínosom je absorbčná schopnosť. Jemné korienky väčšina autorov (napr. BÖHM, 1979) limituje ich hornou hrúbkou 1 mm, ale ešte častejšie hrúbkou do 2 mm. Jemné korienky tvoria svojou hmotnosťou len zanedbateľnú časť koreňového systému, avšak z hľadiska celkovej dĺžky koreňov dominujú. Napr. KONÔPKA a kol. (1998) zistili, že korienky s hrúbkou pod 2 mm tvorili len 2,6 % z celkovej hmotnosti koreňov 40–ročných borovíc. ROBERTS (1976) zistil pre borovice približne toho istého veku, že jemné korienky predstavovali necelých 5 % hmotnosti ale až 90 % z celkovej

dĺžky koreňov. Jemné korienky sú v porovnaní s hrubými koreňmi vďaka svojej veľkej dĺžke a rýchlej rastovej dynamike schopné obsadzovať omnoho väčší objem pôdy a v rámci mikroreliéfu pohotovo nachádzať najživnejšie priestory a opúšťať tie, ktoré sú pre ne už nevýhodné. V systéme jemných korienkov prebieha v rámci tohto deja ich neustála obnova a zánik, pritom sa obidva procesy spravidla uskutočňujú paralelne. Je zrejmé, že objem koreňmi obsadenej pôdy je limitujúcim faktorom pre drevinu vzhľadom na množstvo dostupnej vody a živín.

Podstatná časť vody a živín potrebná pre fyziologické pochody v drevinách sa prijíma cez zakončenia jemných korienkov alebo cez koreňové vlásky. V tomto procese významne napomáhajú aj kolónie mykoríznych húb, ktoré obsadzujú prevažne korienkové vrcholky. Korene drevín žijú s mykoríznymi hubami v symbióze, pričom huby v rámci nej získavajú organické látky produkované drevinami. Naopak dreviny majú prostredníctvom hýf mykorizujúcich húb výrazne zväčšenú absorbčnú plochu, čím sa uľahčuje príjem vody a živín z pôdy. Mykorízne huby majú aj ďalšie pozitívne účinky na dreviny. Niektorí autori (napr. LYNCH, BRAGG, 1985) uvádzajú, že mykorízne huby zlepšujú fyzikálne vlastnosti pôdy v rizosfére, chránia drevinu pred stresom z nedostatku vody, ako aj pred toxickými ťažkými kovmi. Ďalej sa predpokladá, že mykorízne huby produkujú fungistatické látky znemožňujúce vývoj patogénov, a taktiež vytvárajú mechanické bariéry proti škodlivým organizmom. Experimentálne sa dokázalo, že jemné korienky existujúce v symbióze s hubami majú vyššiu životnosť než bez nej. Mykorízne huby, a to zvlášť ektomykorízne huby (EKM) sú mimoriadne dôležité hlavne v iniciálnom štádiu vývoja drevín. REPÁČ (1996) uvádza, že intenzívna škôlkárska výroba, a to hlavne vysoké hnojivové dávky, nadmerná aplikácia pesticídov, umelé substráty a neprirodzené prostredie fóliovníkov pôsobia nepriaznivo na vývoj ektomykoríz. Priaznivejšie pomery pre vývoj EKM sú v malých lesných škôlkach, kde dochádza ku kolonizácii pôdy spórami a mycéliom EKM húb z okolitého porastu. Používanie organických materiálov (kompost, opadanka, humózna pôda) pri pestovaní sadbového materiálu je najjednoduchším spôsobom mykorizácie. V prípade, keď chýba zdroj prirodzenej infekcie, je potrebná umelá inokulácia (očkovanie) substrátu EKM hubami. V zahraničí sa dosahujú pozitívne výsledky s umelou mykorizáciou sadbového materiálu, čo výrazne zvyšuje aj jeho ujímavosť.

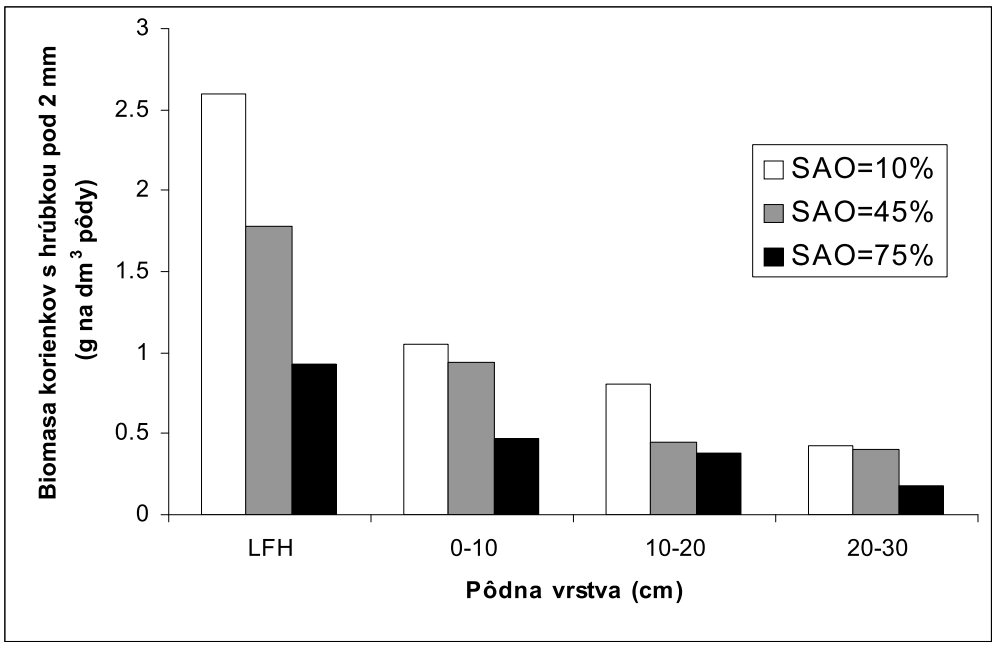
Koreňový systém a najmä jemné korienky sú vysoko aktívnymi časťami drevín, v ktorých prebiehajú dôležité fyziologické procesy. Funkčnosť korienkov vplýva aj na celkovú vitalitu dreviny. Ak korienky nezabezpečujú dostatok živín a vody z pôdy, asimilačné orgány nemôžu vykonávať plnohodnotnú premenu anorganických látok na látky organické. V takomto prípade sa čerpajú zásobné látky, ak sa tieto vyplytvajú, spomaľuje sa rast a vývoj drevín, v akútnejších prípadoch dreviny odumierajú. Naopak, ak sú poškodené asimilačné orgány, nedochádza k premene koreňmi už prijatých anorganických látok na organické, t.j. aj na stavebné látky tvoriace jednotlivé orgány dreviny. Energia v jednotlivých orgánoch drevín sa neobnovuje a postupne chradnú a odumierajú jemné korienky, neskôr hrubé korene, alebo aj celá drevina. Takže ide o vzájomné funkčné prepojenie všetkých troch hlavných častí dreviny, t.j. koruny s asimilačnými orgánmi, kmeňa a koreňového systému. Ak dôjde k náhlemu zlyhaniu jedného článku tohto reťazca má to negatívne následky aj na jeho zvyšné časti. Dreviny pre svoj rast a vývoj musia mať určitú rovnováhu medzi biomasou asimilačných orgánov a koreňov, pričom ich vzájomný pomer modifikujú rastové podmienky. Najrýchlejšie na poškodenie alebo stratu asimilačných orgánov reagujú jemné korienky (VOGT a kol., 1985). Na základe uvedených faktov je nesporné, že jemné korienky sú vhodným indikátorom celkovej kondície drevín. Sú aj najcitlivejšou časťou dreviny k pôdnym zmenám. V prípade zhoršenia pôdnych pomerov (napr. rapídny pokles vlhkosti) dochádza k odumieraniu jemných korienkov, a to už počas niekoľkých hodín. Odumieranie spravidla prebieha od najjemnejších frakcií korienkov postupne k hrubším častiam koreňového systému. V prípade zlepšenia pôdnych pomerov sa systém jemných korienkov veľmi rýchle obnovuje. KONÔPKA a TSUKAHARA (2000) sledovali vývoj koreňov borovice v jarnom období. Potvr-

dilo sa, že po skončení zimného obdobia, počas ktorého časť korienkov uhynie, sa naj-prv tvoria najjemnejšie korienky. Až po čiastočnej reštitúcii najjemnejších korienkov (sú najprodukt ívnejšími frakciami v absorbčnom procese) dochádza k rastu a vývoju hrubších frakcií korienkov a koreňov. Experimentálne sa preukázala schopnosť jemných korienkov veľmi rýchle zahustiť pôdny profil pri náhlom zlepšení živinových pomerov. Možno spomenúť pokus, pri ktorom sa do pôdy pridalo komerčne vyrábané hnojivo obsahujúce N, P, K, Mg (KONÔPKA, TSUKAHARA, 2001). Po jednoročnom období sa zistilo, že sa biomasa jemných korienkov borovice v hĺbke pôdy 10–20 cm zdvojnásobila.

Viacerí autori (napr. BAUCE, ALLEN, 1992) použili jemné korienky ako indikátor imisného stresu v drevinách. Spravidla sa zisťoval podiel biomasy odumretých a živých korienkov, ich konštitúcia, rastová dynamika, priestorová distribúcia, rozsah obsadenia mykoríznymi hubami atď. PERSSON (1996) považuje za veľmi dôležitú informáciu chemické zloženie korienkov. Tvrdí, že analýza chemických vlastností korienkov vypovedá priamejšie a spoľahlivejšie o stave živín v lesnom ekosystéme ako údaje o chemizme asimilačných orgánov. Imisie môžu poškodzovať dreviny priamo cez ich nadzemné časti, kedy najpriepustnejšou „vstupnou bránou" pre škodliviny sú prieduchy asimilačných orgánov. Inokedy škodlivé látky prechádzajú cez pôdu a dreviny ich prijímajú cez fyziologicky aktívnu časť koreňového systému. Spravidla však ide o kombináciu obidvoch ciest, pričom druhý uvedený proces prebieha dlhodobo aj po zastavení emisie škodlivín. Pri imisnom zaťažení pôdy a jej zakysľovaní dochádza k mnohým negatívnym chemickým, fyzikálnym a biologickým zmenám. Okrem iného sa vymývajú bázické prvky (Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^{2+}) z horných pôdnych horizontov, uvoľňuje sa hliník v iónovej forme a mobilizujú sa ťažké kovy. Na takéto zmeny reagujú najcitlivejšie práve jemné korienky a mykorízne huby. Ich poškodzovaním sa výrazne zhoršujú podmienky pre absorbciu vody a živín z pôdy.

O paralelnom spolupôsobení imisného stresu na asimilačné orgány a jemné korienky sme sa presvedčili prostredníctvom pokusov na smrekoch v strednom Spiši (KONÔPKA, STEINER, 2001). Tu sa pomocou pôdnych vývrtov zisťovala hustota biomasy jemných korienkov (t.j. hmotnosť ich sušiny na priestorovú jednotku pôdy) pod smrekmi s rôznou stratou asimilačných orgánov (SAO). Išlo o jedince so SAO 10 % (zdravé), 45 % (stredne poškodené) a 75 % (silno poškodené). Za základ sa zobrala hustota biomasy korienkov smrekov so SAO 10 %. V porovnaní s nimi sa pri smrekoch so SAO 45 % zistil pokles hustoty jemných korienkov o 31 %. Pri smrekoch so SAO 75 % bola hustota jemných korienkov znížená až o 62 %. Najrapídnejší pokles hustoty jemných korienkov sa zistil v organogénnom nadložnom humuse (LFH) (obr. 1).

Z uvedeného výskumu vyplýva, že jemné korienky mimoriadne citlivo reagujú na zmeny pôdneho prostredia (pozitívne, ako aj negatívne). Pritom podstatná časť jemných korienkov sa nachádza v organogénnom nadložnom humuse. Preto treba najmä v tejto vrstve zabrániť znižovaniu zásob živín, znižovaniu pH a hromadeniu škodlivých radikálov. Okrem celkového zníženia imisného zaťaženia veľmi významné sú tu pestovno–ochranné opatrenia, ktorými sa zvyšuje pufračná schopnosť nadložného organogénneho humusu. Ak ku kontaminácii pôd už došlo, chemické vlastnosti organogénneho nadložného humusu možno zmeniť nápravnými (melioračnými) opatreniami. Ide o vápnenie a hnojenie. Tieto nápravné opatrenia sú však veľmi nákladné, často ich treba opakovať, aby došlo k zlepšeniu či k obnove pôvodných chemických vlastností pôd. Preto na zlepšenie pôdnych pomerov treba viac využívať prirodzené sukcesívne procesy. Majú sa na mysli najmä ekologicky nenáročné (melioračné) dreviny (jarabina, jeľša, breza, osika), prípadne aj kry a bylinné spoločenstvá. Pritom treba mať na zreteli, že k zlepšeniu zdravotného stavu lesných porastov a ich vitality dôjde vtedy, ak si dreviny vytvoria dostatočné množstvo jemných korienkov, ktoré sú z hľadiska ich výživy



Obr. 1. Porovnanie hustoty jemných korienkov v pôdnom profile pod smrekmi so SAO 10, 45 a 75 %

rozhodujúce. Preto treba výskumu jemných korienkov ako bioindikátora zdravotného stavu lesných ekosystémov venovať väčšiu pozornosť ako doteraz.

Koreňový systém – základ statickej stability

Odolnosť dreviny proti vyvráteniu ovplyvňuje viacero faktorov súvisiacich s koreňovým systémom a pôdou. Pri koreňovom systéme ide hlavne o jeho mohutnosť, tvar, priestorovú distribúciu, hrúbkovú štruktúru, fyzikálne vlastnosti drevných pletív a zdravotný stav. KÖSTLER a kol. (1968) rozoznáva podľa tvaru tri hlavné typy koreňových systémov drevín:

- *plochý (tanierovitý) typ* vyznačujúci sa prevažne horizontálnym priebehom najhrubších koreňov, ktoré sa rozvetvujú najviac v horizontálnom, menej vo vertikálnom smere. Hrubé horizontálne korene sa nachádzajú prevažne v najvrchnejších pôdnych vrstvách. Šikmo prebiehajúce korene sa objavujú len výnimočne. Takýto typ sa vyskytuje napríklad pri smreku obyčajnom.
- *kolovitý typ* charakteristický dominantným postavením jedného vertikálneho veľmi hrubého koreňa vybiehajúceho spod strednej časti kmeňa. Z tohto koreňa sa rozvetvujú ďalšie kostrové korene, ktorých orientácia je rôzna. Na rozdiel od predošlého typu sa tu vyskytuje aj väčšie množstvo šikmo orientovaných koreňov. Tento typ možno často nájsť pri duboch.
- *srdcovitý typ* majúci rovnomerné, približne pologuľovito tvarované prekorenenie relatívne malého priestoru pôdy. Spravidla chýbajú hrubé postranné korene zasahujúce do väčšej vzdialenosti (rozdiel od prvého typu), ale aj hlavný kolovitý koreň (odlišnosť od druhého typu). Tento typ sa často vyskytuje napr. pri smrekovci opadavom.

Treba poznamenať, že takáto typizácia je len zjednodušením veľkej variability tvaru koreňových systémov. Niektoré dreviny vytvárajú akési kombinácie týchto typov, napr. pri buku obyčajnom je tvar koreňového systému spravidla medzi srdcovitým a plochým. Tvar koreňového systému je predurčený geneticky, avšak silne ho modifikujú aj rastové (pôdne) pomery.

Ak sú dobré pôdne pomery pre nerušený vývoj koreňov (dostatok vlahy, dostatočné prevzdušnenie, vhodné fyzikálne vlastnosti) geneticky podmienený tvar koreňového systému sa mení len minimálne. Tvar, mohutnosť, hrúbkovú štruktúru, ale aj ďalšie vlastnosti koreňového systému môže pozmeniť nedostatok alebo nadbytok vody v pôde, nepriepustné a kompaktné pôdne vrstvy, pôdny skelet, nevhodné chemické a fyzikálne vlastnosti niektorých pôdnych horizontov a podobne. Korene najľahšie prerastajú cez piesčité, ťažšie cez hlinité a najťažšie cez ílovité pôdy. Následkom rozdielnej štruktúry pôdy sa výrazne mení aj celková dĺžka koreňového systému dreviny.

Z horeuvedených troch typov koreňových systémov je z hľadiska statickej stability najvhodnejší kolovitý, najlabilnejší je plochý typ. Tieto statické rozdiely sú spôsobené hlavne odlišným rozdelením koreňovej biomasy v pôdnom profile a frekvenciou jednotlivých hrúbkových tried koreňov. VICENA a kol. (1979) definovali podiel jednotlivých komponentov koreňového systému smreka na jeho celkovom odpore voči vyvráteniu. Najvýznamnejšia je pevnosť horizontálnych koreňov na lomovej (záveternej) strane (57 % z celkovej odolnosti proti vyvráteniu). Potom je to pevnosť koreňov na dne koreňového balu (24 %). Ďalej pevnosť horizontálnych koreňov na vyvrátenom okraji koreňového balu (9 %). Hmotnosť koreňového balu a nadzemnej časti biomasy je najmenej významná (10 %).

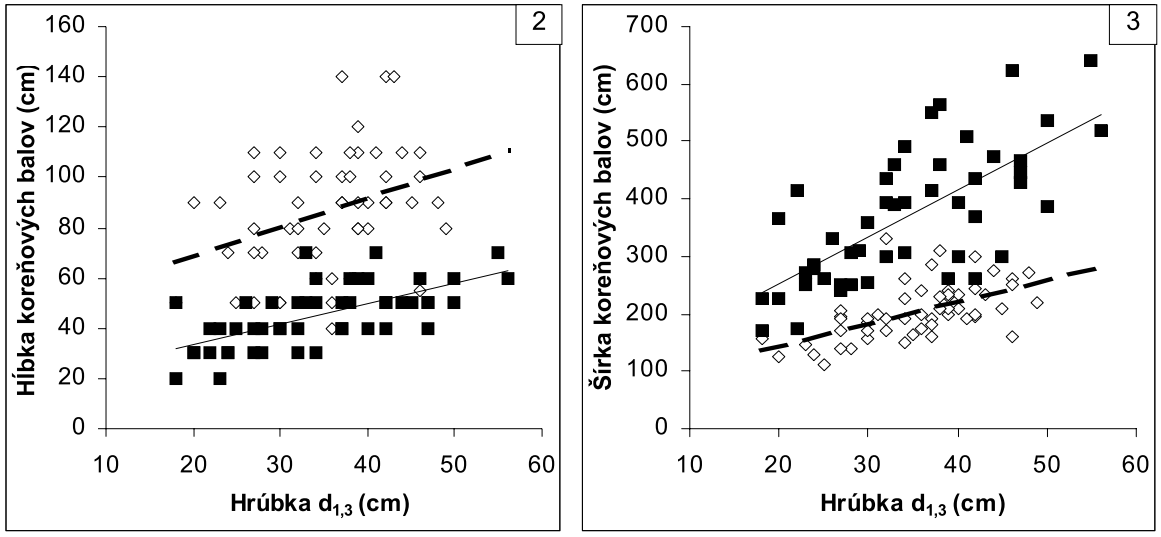
Okrem morfologických vlastností koreňových systémov statickú stabilitu drevín ovplyvňujú aj fyzikálne charakteristiky drevných pletív. Ide hlavne o pevnosť v ťahu, krute a ohybe. Tieto charakteristiky sú v zásade lepšie pri „tvrdých" drevinách ako pri „mäkkých". Fyzikálne vlastnosti koreňov môže negatívne ovplyvniť ich zdravotný stav, a to najmä výskyt drevokazných húb. Výskumy FRASERA (1962) preukázali, že v pokročilom štádiu koreňová hniloba spôsobená hubou *Fomes annosus* znižuje odolnosť drevín proti vyvráteniu o 30 % a viac. Z už uvedených poznatkov VICENU a kol. (1979) možno dedukovať, že statickú stabilitu najvýznamnejšie zhoršuje hniloba hrubých koreňov, resp. aj koreňových nábehov nachádzajúcich sa na záveternej strane (vzhľadom na prevládajúci smer vetra), a potom vertikálne orientovaných hrubých koreňov. Hniloby koreňov a územkovej časti sa najčastejšie pozorujú v porastoch rastúcich na zle prevzdušnených, či zamokrených pôdach a na bývalých poľnohospodárskych pôdach. Výskyt hnilôb rastie aj s počtom mechanických poranení koreňov, koreňových nábehov a územku kmeňa. Preto treba zvýšenú pozornosť venovať prevencii pred vznikom odrenín na kmeňoch a koreňových nábehoch pri ťažbe a približovaní. Čerstvé poranenia treba ihneď ošetriť vhodným prípravkom (napr. Pellacol).

Ukotvenie koreňov v pôde ovplyvňuje aj podiel skeletu. Spravidla platí, že s podielom skeletu v pôde sa zlepšuje stabilita koreňov. Korene však musia mať možnosť preniknúť pomedzi skaly do hĺbky, v opačnom prípade je vplyv objemnejšieho skeletu negatívny. Hĺbku zakorenenia drevín môže negatívne ovplyvniť aj vrstva skalného podložia. Ak je vrstva vytvorená z kompaktnej masy, alebo z bridlíc približne rovnobežných s povrchom terénu, korene do nej neprenikajú. Iná je situácia, keď hornina má v sebe väčšie štrbiny vyplnené pôdou. Do nich vniknuté korene sú mimoriadne dobre zabezpečené proti vyvráteniu.

Mohutnosť koreňových systémov (napr. maximálna hĺbka a šírka) je veľmi odlišná medzi jednotlivými drevinami. Na viacerých lokalitách sme na vyvrátených stromoch zmerali hrúbku $d_{1,3}$, ako aj hĺbku a šírku koreňových balov (KONÔPKA, 2001). Rozmery koreňových balov sa vyjadrili v lineárnej závislosti od hrúbky $d_{1,3}$. Následne sa porovnali medzidruhové rozdiely medzi drevinami: smrek obyčajný, buk lesný, jedľa biela, smrekovec opadavý a borovica sosna. Zistilo sa, že smrek mal významne plytko korene ako jedľa, buk, smrekovec a borovica. Šírka koreňových balov bola porovnateľná pri všetkých týchto drevinách. Medzidruhovými rozdielmi vzhľadom na mohutnosť koreňových systémov, resp. odolnosť voči vyvráteniu sa venovalo viacero výskumníkov. Všetci sa zhodli na tom, že smrek má spravidla plytký a voči pôsobeniu vetra labilný koreňový systém. Buk a hlavne borovica so smrekovcom sa považujú za pomerne odolné dreviny. Zložitejšia je otázka jedle, ktorá sa na svoj ko-

reňový systém pohybuje so statickou stabilitou medzi smrekom a bukom. Napr. MAYER (1984) považuje jedľu za odolnejšiu než smrek. Naopak BAZZIGHER a SCHMID (1969) nenašli významné rozdiely v statickej stabilite týchto dvoch drevín. KONÔPKA (1997) urobil podrobnú analýzu koreňových systémov 60–ročných smrekov a jedlí rastúcich na Starých Horách. Obidve dreviny mali veľmi podobné koreňové systémy po kvalitatívnej aj kvantitatívnej stránke. Jedle mali na rozdiel od smrekov hlbšie zakorenenie asi o 20 cm, ktoré zabezpečoval spravidla jeden vertikálny, približne 15 cm hrubý koreň. Tento pri smrekoch chýbal. KODRÍK (1985) poznamenáva, že hlavne na ťažkých, zle prevzdušnených pôdach často dochádza k zahnívaniu najhlbších vertikálne rastúcich koreňov jedle. V takomto prípade môže byť statická stabilita jedle menšia ako pri smreku. Jednoznačne nemožno očakávať, že príme jedle v smrečinách zvýši statickú stabilitu lesných porastov.

Statickú stabilitu ovplyvňuje aj dlhodobý nedostatok alebo nadbytok vody v pôde. V prípade, že je jej nedostatok v horných horizontoch, drevina sa snaží prenikať do hlbších vrstiev pôdy (podobné pravidlo platí aj pre živiny). Takto sa vytvára viac koreňovej biomasy v hlbších vrstvách pôdy, čo zvyšuje stabilitu dreviny. Naopak, pri trvale zamokrených pôdach korene neopotrebujú alebo ani nemôžu prenikať do hlbších horizontov. V hlbších horizontoch trvale zamokrenej pôdy je nedostatok kyslíka potrebného pre respiráciu koreňov. Tvorí sa plytký koreňový systém, málo odolný voči vyvráteniu. PYATT (1966) uvádza, že koreňové systémy smrekov prenikali do hĺbky 91–168 cm na suchších pôdach, na zamokrených to bolo len 30–48 cm. Podobné poznatky sa nadobudli aj v rámci nášho výskumu (Konôpka 2002). Merali sa parametre koreňových balov vyvrátených smrekov na podmáčaných a nepodmáčaných stanovištiach. Uvádzame príklad z lokality Rosengard vo Vysokých Tatrách (trvale podmáčané stanovište) a Látky vo Veporských vrchoch (nepodmáčané stanovište). Smreky mali na podmáčanom stanovišti výrazne plytko korene než na nepodmáčanom (obr. 2). Opačne tomu bolo pri šírke koreňového systému (obr. 3). Na podmáčaných stanovištiach korene v dôsledku zlého prekysličenia pôdneho profilu neprenikajú hlboko. Ich vertikálny rast



Obr. 2, 3. Závislosť hĺbky, resp. šírky koreňových balov vyvrátených smrekov od ich hrúbky $d_{1,3}$. Porovnáva sa trvale podmáčané stanovište (čierne štvorce a plná čiara) s nepodmáčaným stanovišťom (prázdne kosoštvorce a prerušovaná čiara)

sa kompenzuje šírením vo vertikálnom smere. Je známa zákonitosť, že výchova lesných porastov prostredníctvom pestovných zásahov je aj výchovou koreňových systémov. S uvoľňovaním perspektívnych jedincov sa podporuje aj rast ich koreňov, či už vo vertikálnom alebo horizontálnom smere. Tým sa zvyšuje aj ich stabilita (zlepšovanie parametrov nadzemnej ale aj podzemnej časti stromov). Toto však neplatí na trvale zamokrených pô-

dach. PYATT (1966) experimentálne dokázal v smrekovom poraste rastúcom na trvale zamokrenej pôde, že ani intenzívna výchova výraznejšie neovplyvňuje jeho statickú stabilitu. Hoci takéto zásahy stimulujú vývoj koreňov, spravidla ich rast prebieha len v najvrchnejších horizontoch (plytké koreňové systémy zostali naďalej labilné).

Zamokrená pôda má omnoho menšiu súdržnosť ako nezamokrená. Preto sa pri silnom pôsobení vetra koreňový systém môže v pôde rozhýbať. Takýmto pohybom vznikajú okolo koreňov duté priestory, ktoré vypĺňa voda. Postupne sa koreňový systém uvoľňuje, stráca sa kontakt medzi nim a pôdou, pritom sa zhoršuje aj ukotvenie dreviny. Podľa HÜTTEHO (1967) potom na vyvrátenie smrekov, na takýchto stanovištiach stačí aj stredne silný vietor, t.j. s rýchlosťou nad 15 $m.s^{-1}$.

Koreňové systémy, tak ako aj ostatné časti drevín, sú schopné čiastočnej adaptácie k zaťaženiu vetrom. Lepšie sa prispôsobujú mladšie ako staršie jedince. Preto je vhodné, aby boli dreviny viac exponované na pôsobenie vetra (v podstate, aby rástli v redšom spone) už v mladšom veku. Toto sa dá dosiahnuť včasnou, a ak je to možné vzhľadom na druhové vlastnosti dreviny, intenzívnou porastovou výchovou. Dreviny takto „utužované" činnosťou vetra sú potom vo vyššom veku individuálne dostatočne staticky odolné. Takéto stromy vytvárajú silné koreňové nábehy, pri ihličnanoch najvýraznejšie na záveternej strane stromu (vzhľadom na smer prevládajúceho vetra). Taktiež sa prispôsobuje rozloženie koreňovej biomasy. STOKES a kol. (1995) zistili, že smrekovec opadavý mal na vetrom exponovanom stanovišti o 60 % resp. o 45 % viac biomasy hrubých koreňov na záveternej a náveternej strane kmeňa v porovnaní so smerom kolmým na smer prevládajúceho vetra. Mechanicky zaťažované korene zlepšujú svoju odolnosť voči zlomeniu postupnou zmenou tvaru na priereze. Tento tvar sa mení z okrúhleho na elipsovitý až piškótovitý (najdlhší rozmer prierezu je v smere mechanického pôsobenia). Pravdaže ani takéto zmeny koreňových systémov nezabezpečujú ich absolútnu statickú stabilitu a môžu byť zraniteľné najmä v prípade, ak silný vietor prichádza z nezvyklého smeru.

Z uvedeného výskumu vyplýva, že pestovno–ochranné opatrenia na zvyšovanie odolnosti lesných porastov proti mechanickému poškodzovaniu vetrom, treba diferencovať podľa vlastností koreňových systémov, ktoré závisia od druhu drevín, ako aj rastových podmienok, najmä pôdnych pomerov. Ako sa už uviedlo, markantné rozdiely vo vlastnostiach koreňových systémov smrečín sú medzi nepodmáčanými a podmáčanými pôdami, čo sa musí brať do úvahy pri pestovno–ochranných opatreniach na zvýšenie ich statickej stability. Pestovno–ochranné opatrenia na zvýšenie statickej stability lesných porastov na nepodmáčaných pôdach spočívajú najmä na ich vnútornom spevňovaní, čiže na sebaochrane jednotlivých stromov, nerovnovekosti a zmiešaní (HEGER, 1953). Pritom treba zdôrazniť, že sa musí vychádzať zo súčasného stavu lesných porastov. Ide najmä o rovnoveké smrečiny, ktoré spravidla predstavujú spoločenstvá stromov s nízkou statickou stabilitou. Preto technika ich vnútorného otužovania pozostáva najmä z výchovných zásahov, ktoré umožňujú vznik nerovnovekých zmiešaných porastov.

Na podmáčaných pôdach spevňovanie smrekových porastov uvedenými postupmi neprináša pozitívne výsledky. Prerieďovanie týchto porastov, najmä vo vyššom veku vedie skôr k ich rozvracaniu vetrom (zväčšením sa koruny stromov narastá nárazová plocha pre vietor, koreňové systémy tu nereagujú rastom do hĺbky, ale len do šírky). Účinnejšími sú tu pestovno–ochranné opatrenia založené na princípe „kolektívnej bezpečnosti". Ide najmä o neporušenie porasového zápoja, vytvorenie kompaktných porastových skupín s „oplášteným" okrajmi, zníženie rubného veku a postupná prebudova smrečín na zmiešané porasty s vyšším zastúpením spevňovacích drevín.

Treba ešte poznamenať, že detailnejšie práce o vplyve pestovno–ochranných opatrení na statickú stabilitu lesných porastov sa týkali spravidla len zisťovania parametrov nadzemných

častí stromov (napr. KONÔPKA, LEHOTSKÝ, TOMA, 1989; ŠTEFANČÍK, KAMENSKÝ, 1999) a nie vlastností koreňových systémov.

Záver

Koreňovým systémom drevín (možno s výnimkou sadbového materiálu) sa v lesníckom výskume, ale aj v prevádzke doposiaľ nevenovala postačujúca pozornosť. Vzhľadom na fakt, že sú ukryté pred ľudským okom v pôde, väčšinou sa podceňoval ich význam. Často sa ale prvotné príčiny zlého zdravotného stavu a hlavne nízkej statickej stability drevín sústreďujú práve v ich podzemných častiach. Treba nakoniec pripomenúť aj to, že koreňové systémy majú nezastupiteľný význam pri plnení mnohých verejnoprospešných funkcií lesa, akými sú napríklad ochrana pôdy, retencia vody či dlhodobá fixácia uhlíka.

Literatúra

BAUCE, E., ALLEN, D.C., 1992: Condition of the fine roots of sugar maple in different stages of decline. Can. J. For. Res. 22: 246–266.

BAZZIGHER, G., SCHMID, P., 1969: Sturmschäden und Fäule. Schweiz. Z. Forstw. 120: 521–535.

BÖHM, W., 1979: Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies 33. Springer Verlag, Berlin, 188 s.

FRASER, A.I., 1962: The Soil and Roots as Factor in Tree Stability. Forestry 35: 117–127.

HEGER, A., 1953: Die Sicherung des Fichtenwaldes gegen Sturmschäden. Neumann Verlag, Berlin, 84 s.

HÜTTE, P., 1967: Die standortlichen Voraussetzungen der Sturmschäden. Forst. Cbl. 86: 276–295.

KODRÍK, J., 1985: Jedľa a vietor. Les 41: 51–53.

KONÔPKA, B., 1997: Porovnanie ukotvenia smreka obyčajného (*Picea abies* L. Karst.) a jedle bielej (*Abies alba* Mill.) v zmiešanom jedľovo–smrekovom poraste. Lesn. čas. 43: 221–227.

KONÔPKA, B., 2001: Analysis of inetrspecific differences in tree root system cardinality. J. For. Res. 47: 366–372.

KONÔPKA, B., 2002: Relationship between parameters of the aboveground parts and root system in Norway spruce with respect to soil drainage. V tlači.

KONÔPKA, B., STEINER, Z., 2001: Biomass of Norway Spruce and Silver Fir Rootlets in a Mixed Spruce–Fir Stand. In: Perspectives of the Ecological Research in Mountain Forest Ecosystems. LVÚ, Zvolen, s. 90–91.

KONÔPKA, B., TSUKAHARA, H., 2000: Biomass of Fine and Small Roots in Two Japanese Pine Stands of Different Ages. J. For. Res. 5: 71–76.

KONÔPKA, B., TSUKAHARA, H., 2001: Produkcia a priestorová distribúcia korienkov japonskej borovice čiernej. In: Zborník prednášok zo VI. Zjazdu SSPLPVV pri SAV. SSPLPVV, Bratislava, s. 110–116.

KONÔPKA, B., TSUKAHARA, H., NETSU, A., 1998: Fine and Small Root Biomass in Japanese Black Pine on a Sandy Soil. In: Lesy a lesnícky výskum pre tretie tisícročie. LVÚ, Zvolen, s. 223–227.

KONÔPKA, J., LEHOTSKÝ, L., TOMA, R, 1989: Vplyv výchovy na statickú stabilitu smrekových porastov. Lesn. Čas. 35: 87–99.

KOLEKTÍV AUTOROV, 1991: Plant Roots – the Hidden Half. Marcel Dekker Inc., New York, 948 s.

KOZLOWSKI, T.T., PALLARDY, G., 1997: Physiology of Woody Plants. Academic Press, San Diego, 411 s.

KÖSTLER, J.N., BRÜCKNER, E., BIBELRIETHER, H., 1968: Die Wurzel der Waldbäume. Paul–Parey–Verlag, Berlin, 282 s.

LYNCH, J.M, BRAGG, E., 1985: Microorganisms and soil agregate stability. Adv. Soil Sci. 2: 133–171.

MAYER, J., 1984: Waldbau auf soziologish–ökologisher Grundlage. G. Fischer Verlag, Stuttgart, 514 s.

PERSSON, H, 1990: Methods of Studying Root Dynamics in Relation to Nutrient Cycling. In: Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Elsevier Applied Science, London, s. 198–217.

PERSSON, H., 1996: Fine–root dynamics in forest trees. In: Plant root systems and natural vegetation. Acta Phytogeogr. Suec., Uppsala, s. 17–23.

PYATT, D.G., 1966: The soils and windthrow surveys of Newcastleton Forest, Roxbughshire. Scott. For. 20: 175–183.

REPÁČ, I., 1996: Inoculation of *Picea abies* (L.) Karst. seedlings with vegetative inocula of ectomycorrhizal fungi *Suillus bovinus* (L. Fr.). O Kuntze and *Inocybe lacera* (Fr.) Kumm. New Forests 12: 41–54

ROBERTS, J., 1976: A study of root distribution and growth in a *Pinus sylvestris* L. plantation in East Anglia. Plant Soil 44: 607–621.

STOKES, A., FITTER, A.H., COUTTS, M.P., 1995: Responses of young trees to wind: effects on root growth. In: Wind and Trees. Cambridge Academic Press, Cambridge, s. 264–275.

ŠTEFANČÍK, I., KAMENSKÝ, M., 1999: Výchova a obnova lesných porastov ohrozených imisiami a abiotickými škodlivými činiteľmi. Les. Čas. 45: 417–435.

VICENA, I., PAŘEZ, J., KONÔPKA, J., 1979: Ochrana lesa proti polomům. SZN, Praha, 244 s.

VOGT, K.A. a kol., 1985: Estimating Douglas–fir fine root biomass and production from living bark and starch. Can. J. For. Res. 15: 177–179.

Dr. Ing. Bohdan KONÔPKA

Lesnícky výskumný ústav Zvolen
T. G. Masaryka 22
960 92 Zvolen
e–mail:<bkonopka@fris.sk>