

# AKTUÁLNE POZNATKY Z VÝSKUMU RIZOSFÉRY SMREKA OBYČAJNÉHO: ASPEKTY STATICKEJ STABILITY A INDIKÁCIE STRESOV

Bohdan Konôpka

## Úvod

Koreňový systém predstavuje časť stromu skrytú pred zrakom človeka, a zatiaľ je jeho priame využitie pre potreby ľudskej spoločnosti len minimálne. Spravidla je zložité sa s ním výskumne zaoberať, pretože k sledovaniu možno pristúpiť až po pracovnom obnažení z pôdy. Podobne je technicky náročné na koreňovom systéme vykonávať kontinuálne zisťovania a merania, pretože pri oddelení z pôdy sa narúša jeho prirodzené prostredie. Najmä preto sa tejto stromovej zložke v minulosti, napr. v oblasti fyziológie, ekológie ale aj ochrany lesa, venovala nedostatočná pozornosť.

Pritom koreňový systém má nenahraditeľný význam pre drevinu v ukotvení, pri absorpcii vody a živín z pôdy, ukladaní zásobných látok a syntetizovaní niektorých hormónov (KOZŁOWSKI a PALLARDY 1997). Pod koreňovým systémom sa spravidla rozumie štruktúrovaný komplex orgánov, zložený z troch hlavných komponentov: podzemná časť pňa, hrubé a jemné korene (neoddeliteľnou súčasťou jemných koreňov sú symbiotické huby). Tieto zložky nie sú rozdielne len anatomickými a morfológickými znakmi, ale najmä svojimi špecifickými úlohami pre fungovanie stromu.

Príspevok sa zaoberá významom koreňových systémov z viacerých aspektov. Najprv sa opisuje ich význam v širšom kontexte, a to vzhľadom na fixáciu a obeh uhlíka. V ďalšom sa uvádzajú najnovšie výsledky nášho výskumu týkajúceho sa statickej stability smreka obyčajného, ako aj využitia jemných koreňov pri indikácii stresov.

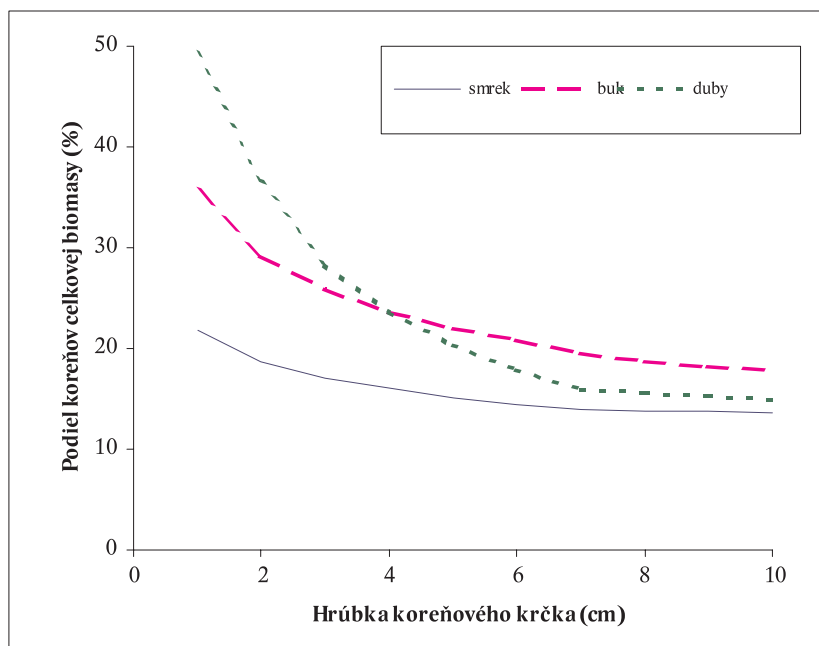
## Význam podzemnej biomasy pre fixáciu a obeh uhlíka

S významom koreňových systémov drevín začneme pomerne v komplexnejšom pohľade ako by sa snád na príspevok určený pre seminár o ochrane lesa patrilo. Jedným z dôvodov je fakt, že v modernom výskume sa postupne stierajú konvenčné hranice medzi vednými odbormi a uprednostňuje sa interdisciplinárny prístup. Ďalším dôvodom je súčasná priorita výskumu v lesníctve, t. j. problematika klimatickej zmeny a možností jej tlmenia.

V procese pozitívneho ovplyvňovania klimatickej zmeny majú lesy podstatný význam vďaka ich schopnosti fixovať uhlík. Kým v tropických lesoch sa podstatná časť uhlíka viaže v pôde, v lesoch mierneho pásma je to prevažne v dendromase. Odhaduje sa, že svetové lesy tvoria 80 % nadzemného a 40 % podzemného (pôda, opad a hlavne koreňové systémy) terestrického uhlíka. Mimoriadny význam pre fixáciu uhlíka majú európske lesy, ktorých zásoby sa postupne zvyšujú a v blízkej budúcnosti bude tento pozitívny trend pokračovať (KARJALAINEN *et al.* 2003). BRUNNER a GODBOLD (2007) odhadli, že lesy strednej Európy dendromasou viažu približne 110 t uhlíka na jeden hektár, z toho je asi 27 t v podzemných častiach. Okrem živých koreňových systémov sa v pôde nachádza veľké množstvo nekromasy jemných koreňov, prípadne aj hrubé korene a podzemná časť pňov z vyťažených, resp. odumretých stromov. Výhodou koreňových systémov oproti nadzemným zložkám je v tom, že po vyťažení stromov ostávajú v pôde, pričom môžu viazať uhlík ešte niekoľko rokov, ba aj desaťročí.

Vyvstáva tu základná otázka, aký podiel z celkovej dendromasy (resp. z celkového uhlíka stromu) tvoria koreňové systémy. Väčšina vedeckých prác z tejto oblasti naznačuje, že podiel koreňových systémov lesných drevín mierneho pásma sa s vekom mení len minimálne. Hodnoty tohto podielu varírujú spravidla medzi 12 % a 20 % podľa dreviny a rastových podmienok. Iná je situácia v mladých lesných porastoch. Naše zisťovania na veľkom súbore vzorníkov ukázali, že najmenšie stromy (s hrúbkou v koreňovom krčku približne 1 cm) mali tento podiel najvyšší (KONÔPKA *et al.* 2009a). Konkrétne išlo o 22 % pri smreku, 36 % pri buku a 49 % pri duboch letnom a zimnom (obr. 1). V prípade jedincov s hrúbkou 10 cm boli už podiely len 14 % pri smreku, 18 % pri buku

a 15 % pri duboch. Vyrovnávajúce krivky naznačili, že tieto hodnoty pri väčších stromoch by mali byť relatívne stabilné.



Obrázok 1 Podiel koreňových systémov z celkovej biomasy smreka, buka a dubov s hrúbkou v koreňovom krčku 1 až 10 cm

Pre zaujímavosť uvedieme, že úplne iné proporcie v podzemnej a nadzemnej biomase sú v tropických dažďových lesoch. V niektorých spoločenstvách tropických lesov sa môže množstvo podzemnej biomasy blížiť ku kvantite nadzemných častí. Takže treba ešte raz zdôrazniť, že koreňový systém nie je zanedbateľnou zložkou pre fixáciu uhlíka lesnými ekosystémami, a to hlavne v globálnom meradle.

Fixácia uhlíka jednotlivými komponentmi drevín je omnoho zložitejší proces ako by sa zdalo. Nejde len o jej jednoduchý prírastok s vekom, ale aj o sezónny obeh uhlíka, a to najmä prostredníctvom asimilačných orgánov a jemných koreňov. Tu si treba uvedomiť výrazný rozdiel medzi hrubými frakciami koreňového systému a jemnými koreňmi (spravidla sa charakterizujú maximálnou hrúbkou 1 alebo 2 mm). Najpodstatnejším rozdielom je ich životnosť. Kým hrubé frakcie prežívajú spravidla až do konca existencie stromu, jemné korene sa dožívajú len niekoľko mesiacov, výnimočne pár rokov. Jemné korene počas roka paralelne vznikajú, odumierajú a rozkladajú sa. Tým sa zabezpečuje rýchly obeh uhlíka touto stromovou zložkou. BRUNNER a GODBOLD (2007) vysvetlili, že vstup uhlíka do pôdy prostredníctvom stromového opadu je v listnatých lesoch strednej Európy asi 4,4 t na ha porastovej plochy, jemné korene z toho tvoria asi 20 %. V porovnaní s listnatými porastami je v ihličnanoch podiel jemných koreňov na stromovom opade výrazne vyšší. Tu môže prevládať „koreňový opad“ nad „korunovým opadom“. Ďalšou cestou obehu uhlíka v lesnom ekosystéme, konkrétne jeho uvoľňovania, je respirácia. Ide jednak o respiráciu drevinami, ako aj o heterotrofnú respiráciu (vzniká pri rozklade nekromasy mikrobiálnou činnosťou). Podstatná časť respirácie drevín prebieha prostredníctvom asimilačných orgánov a jemných koreňov. Predpokladá sa, že jemné korene spolu s hýfami mykoríznych húb môžu v určitých lesných spoločenstvách emitovať viac CO<sub>2</sub> ako asimilačné orgány. Uvedené fakty jasne ukazujú, že výskum koreňových systémov je veľmi dôležitý, eventuálne nadobúda na význame, v „novodobej“ problematike, akou je klimatická zmena.

## Hrubé korene a statická stabilita smreka

V rámci odboru ochrany lesa sa koreňové systémy drevín študovali spravidla v kontexte s ich ukotvením, ktoré je podstatnou súčasťou statickej stability. Z tohto dôvodu sa aj naša pozornosť zamerala týmto smerom. V prvom rade sa porovnávala architektúra koreňových systémov smreka obyčajného a jedle bielej. Porovnanie sa urobilo najmä preto, že v literatúre sa rôznia názory na rozdiely medzi týmito drevinami týkajúce sa odolnosti voči vyvráteniu. Väčšina autorov (napr. MAYER 1984) zastávala názor, že jedľa je odolnejšia proti vyvráteniu než smrek, pretože má principiálne odlišný typ koreňového systému („doskovitá“ versus „srdcovitá“ forma). Iní autori (napr. BAZZIGHER a SCHMID 1969) popreli podstatné rozdiely medzi nimi. Preto zásadne nedoporučili jedľu ako spevňovaciu drevinu, a to hlavne v prípade spoločenstiev s prevahou smreka.

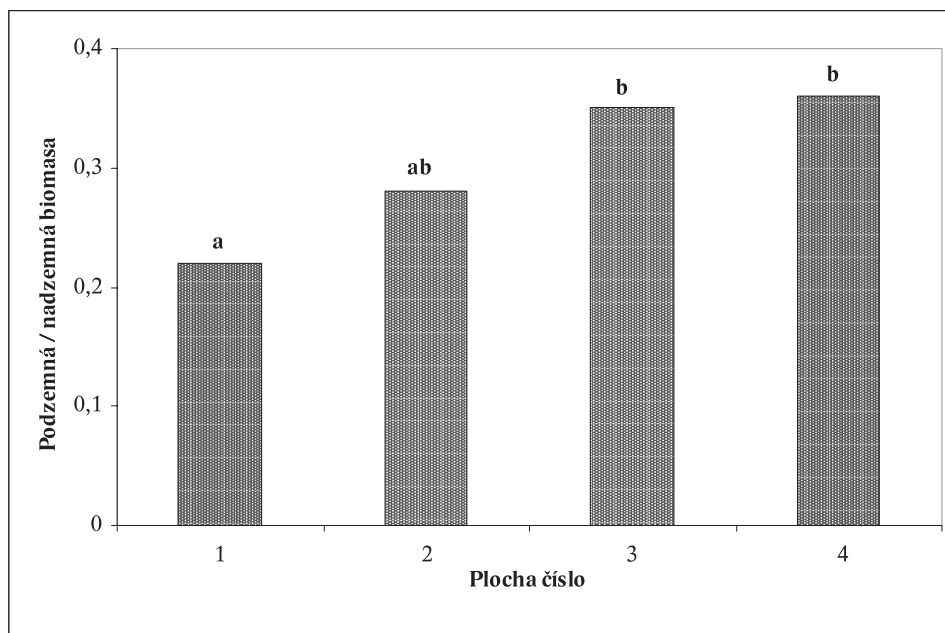
Výskum sa vykonával v oblasti Starohorských vrchov, kde sa v zmiešanom poraste vybrali smrek a jedle s rovnakými parametrami nadzemnej biomasy (hrúbka  $d_{1,3}$  asi 21 cm). Stromy sa spílili, koreňové systémy exkavovali. Vysušili sa všetky stromové zložky, pritom sa korene rozdelili podľa hrúbok. V tabuľke 1 sa uvádza hmotnosť jednotlivých hrúbkových tried koreňov v delení na horizontálne a vertikálne (hranica medzi nimi bola 45° od zvislej osi). Zistilo sa, že kým smrek mali štatisticky významne viac horizontálnych koreňov s hrúbkou 3,1–10 cm, jedle mali viac vertikálnych koreňov s hrúbkou nad 10 cm. Práve uvedené vertikálne orientované korene s hrúbkou nad 10 cm zabezpečovali hlbšie zakorenenie jedlí v porovnaní so smrekmi o približne 20 cm. Toto by mohol byť dôležitým momentom pre väčšiu rezistenciu jedlí voči vyvráteniu v porovnaní so smrekom. Tu sme nebrali do úvahy statické parametre nadzemných častí smrekov a jedlí. V takomto prípade by medzidruhové porovnanie prinieslo skôr opačné výsledky (spravidla sú lepšie parametre pri smreku, z dôvodu zbiehavejšieho kmeňa, ako aj štíhlejšej a kratšej koruny).

Tabuľka 1 Hmotnosť koreňov (v sušine) smrekov a jedlí podľa hrúbkových tried a orientácie. Štatistiky významné rozdiely medzi smrekmi a jedlami sa znázornili rôznymi písmenami (a oproti b, resp. c oproti d), ako aj hrubším písmom

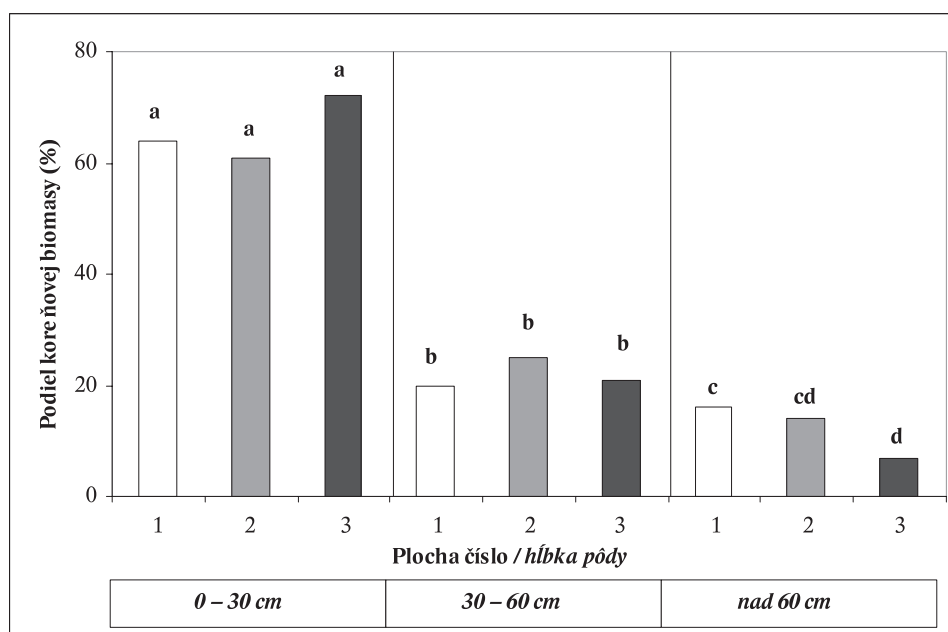
Hrúbková trieda cm	Horizontálne korene		Vertikálne korene	
	Smrek	Jedľa	Smrek	Jedľa
	kg			
1,0–3,0	1,66 a	0,93 a	1,45 c	1,25 c
3,1–5,0	<b>2,14 a</b>	<b>1,33 b</b>	1,30 c	1,59 c
5,1–10,0	6,50 a	<b>2,84 b</b>	1,50 c	1,36 c
10,1–15,0	5,56 a	5,14 a	<b>0,26 c</b>	<b>1,03 d</b>
nad 15,0	6,70 s	8,96 a	<b>0,00 c</b>	<b>1,39 d</b>
<b>Spolu</b>	<b>22,56 a</b>	<b>19,20 a</b>	<b>4,51 c</b>	<b>6,62 d</b>

V ďalšom výskume sa sledovali rozdiely v parametroch koreňových systémov smrekov rastúcich v rôznych pôdnych pomeroch (pozri aj prácu KONÓPKA *et al.* 2009b). Využili sa na to stromy vyvrátené vetrom vo Vysokých Tatrách. Išlo o tri nepodmáčané stanovištia (v ďalšom sa použijú kódy 1, 2, 3) a jedno podmáčané stanovište (kód 4). Stanovište 1 bolo na balvanitej pôde (mimoriadne vysoký podiel skeletu), 2 na kamenitej pôde (stredný podiel skeletu), 3 na pôde s nízkym podielom skeletu. Podmáčané stanovište (4) predstavovalo kamenitú pôdu (paralela s 2). Na záujmových plochách sa vybralo 12–14 smrekov. Zmerala sa hrúbka kmeňa po 1–metrových sekciách. Údaje poslúžili na výpočet objemu kmeňa. Očistila sa (v prípade potreby aj dokopala) polovica koreňového systému. Korene sa rozdelili do hrúbkových tried a zmerala sa dĺžka každej triedy (takto sa zistil celkový objem koreňov). Pritom sa korene evidovali podľa hĺbky zakorenenia v pôde, a to: 0–30 cm, 30–60 cm a nad 60 cm. Zmerala sa hrúbka podzemnej časti pňa na viacerých miestach, ako aj jeho výška (pre výpočet objemu). Pomocou alometrických rovníc sa vyjadrili objemy koreňov a podzemného pňa na základe hrúbky  $d_{1,3}$ . Obrázok 2 ilustruje podiel podzemnej biomasy (resp. jej objemu) k objemu kmeňa. Tento podiel bol na balvanitej pôde štatisticky významne nižší ako na pôde s nízkym podielom skeletu, ako aj na podmáčanom stanovišti.

Ďalej sa vyjadril podiel koreňov v jednotlivých pôdnych hĺbkach (obr. 3). Kým v prípade podmáčanej pôdy boli všetky korene v hĺbke do 30 cm, na ostatných stanovištiach bol ich podiel v uvedenej hĺbke medzi 61 a 73 %. Štatisticky významne vyšší podiel koreňov v hĺbke pôdy od 60 cm sa zistil pre smrek na balvanitej pôde v porovnaní so smrekmi na pôde s nízkym podielom skeletu. Alometrické modely ukázali, že k príslušnej hrúbke  $d_{1,3}$  prislúchal väčší objem koreňov na podmáčanej pôde v porovnaní so všetkými nepodmáčanými stanovišťami. Ďalej sa zistilo, že alokácia biomasy do koreňov na úkor podzemnej časti pňa bola najvyššie pri balvanitej pôde. Opačná situácia bola pri pôde s nízkym množstvom skeletu. Teoreticky by najlepšie ukotvenie mali mať stromy s vysokým podielom podzemnej biomasy, ďalej s koreňovým systémom kde je najvyšší podiel koreňov na úkor podzemného pňa a taktiež tie, ktoré majú vysoký podiel koreňov v hlbších pôdnych vrstvách. Pri porovnaní následkov vetrovej kalamity na našich plochách bola intenzita poškodenia v takomto poradí (od najväčšej k najmenšej): podmáčané stanovište, pôda s malým podielom skeletu, pôda kamenitá a pôda balvanitá. Takže z uvedených troch ukazovateľov kvality ukotvenia stromov sa najviac osvedčil podiel koreňov vo väčších hĺbkach. Pri balvanitej pôde, prípadne pôde s vysokým podielom skeletu sa koreňový systém veľmi dobre fixuje vtedy, ak skelet dovoľuje prenikať koreňom vertikálne, t. j. pozdĺž zvislých medzipriestorov. Pritom skelet korene spevňuje proti ťahovému alebo točivému pôsobeniu (tlaku) vetra.



Obrázok 2 Podiel objemu podzemnej biomasy k objemu kmeňa na jednotlivých plochách (1 – balvanitá pôda, 2 – kamenitá pôda, 3 – pôda s nízkym podielom skeletu, 4 – podmáčaná kamenitá pôda). Štatistiky významné rozdiely medzi plochami sa znázornili rôznymi písmenami (a oproti b)



Obrázok 3 Podiel koreňovej biomasy v rôznych hĺbkach pôdy na jednotlivých plochách (1 – balvanitá pôda, 2 – kamenitá pôda, 3 – pôda s nízkym podielom skeletu). V prípade plochy 4, t.j. podmáčaná kamenitá pôda, boli všetky korene v hĺbke do 30 cm). Štatistiky významné rozdiely medzi plochami sa znázornili rôznymi písmenami (c oproti d)

## Jemné korene ako indikátory stresov

Medzi hrubými a jemnými koreňmi okrem veľmi rôznej životnosti kontrastuje aj ich citlivosť k jednotlivým stresom. A to prevažne k tým, ktoré pôsobia cez pôdne médium. Vo všeobecnosti sa jemné korene považujú za vhodný indikátor rastových podmienok drevín (CUDLÍN *et al.* 2007). Rôzni autori použili jemné korene drevín na indikáciu stresu spôsobeného suchom, zakyslovaním pôdy, na zhodnotenie pôsobenia rôznej koncentrácie CO<sub>2</sub>, ďalej na zisťovanie vplyvu húb, hmyzu, na indikáciu efektov vápnenia, hnojenia a pod. Pritom sa použili rôzne parametre jemných koreňov, napr.: kvantita biomasy a nekromasy, prípadne ich pomer, rastová resp. predĺžova-

cia aktivita, morfológické vlastnosti (najmä počet a stav koreňových zakončení, špecifická dĺžka, počet vetvení), chemické a biochemické vlastnosti, sezónny obeh, životnosť, obsadenie mykoríznyymi hubami a pod.

Výskum jemných koreňov drevín zažíva vo vyspelých štátoch neobvyklý rozmach. Prispeli k tomu aj moderne technológie (kamerový systém tzv. minirhizotron, skenovacie zariadenia so špecializovaným počítačovým vybavením, využitie radioaktívnych izotopov a pod.). Kým v podmienkach Slovenska výskum hrubých koreňov lesných drevín z aspektu statickej stability sa v ostatných asi troch desaťročiach vykonával aspoň v najnevyhnutnejšej miere, štúdie jemných koreňov ako indikátorov stresu absentovali. Určitou výnimkou sú práce doc. M. Kodríka (napr. KODRÍK 1998). Tieto sa ale zameriavali na význam jemných koreňov pre zásobu stromovej biomasy, a nie fyziologické aspekty. Preto sme sa zamerali na fyziologické odozvy jemných koreňov na stresové faktory, najmä vo vzťahu k zakyslenie pôdy a nedostatku zrážok.

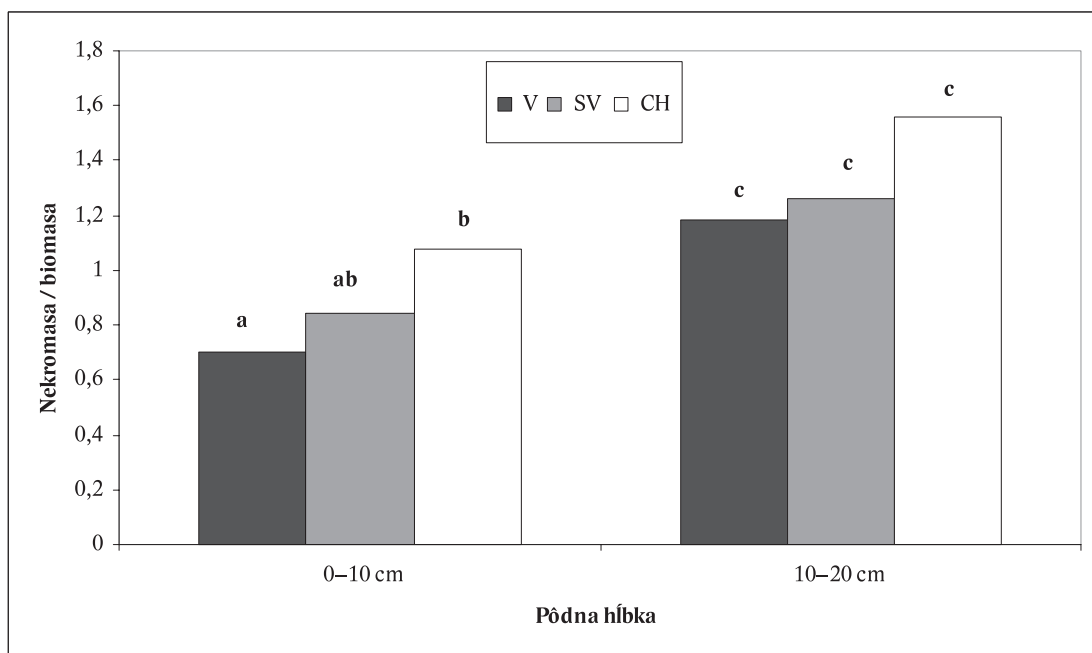
Pre veľké množstvo údajov, ktoré sa získali hlavne z oblasti Spiša, Nízkych Tatier a Kysúc sa v ďalšom zameriame len na tie najnovšie, nadobudnuté v posledne zmienenej oblasti. Hlavná pozornosť sa sústredila na chradnúce smrečiny, prípadne zmiešané bukovo-smrekové porasty na lokalite Šadibolovci, pohorie Kysuckých Beskýd, v rámci pôsobnosti Odštepného závodu Čadca, Lesná správa Stará Bystrica (pozri aj KONOPKA a LUKAC 2009). Oblasť bola v minulosti pod silným imisným tlakom, pritom pH vrchných vrstiev lesnej pôdy klesla na mnohých lokalitách, vrátane tej našej, pod hodnotu 4,0. Vybralo sa 30 trojíc stromov. Išlo o smrekovité vitálne, subvitálne a chradnúce, pričom sa charakterizovali takto:

*Vitálne (vizuálne nepoškodené) jedince* (i) bez vonkajších príznakov napadnutia hubami a podkôrnym hmyzom, (ii) bez redukcie prírastku na termináli a bočných vetvách, (iii) s hustou a tmavozelenou korunou, (iv) pripúšťa sa slabé mechanické poškodenie koreňových nábehov a územku.

*Subvitálne (s výrazne redukovanou korunou) jedince* (i) bez vonkajších príznakov napadnutia hubami a podkôrnym hmyzom, (ii) s prírastkom na termináli a bočných vetvách chronicky zníženým po 7–10 posledných vegetačných obdobiach, (iii) s korunou viditeľne zredukovanou, no bez akútnej straty starších ročníkov ihlič v uplynulom vegetačnom období, (iv) mechanické poškodenie koreňových nábehov a územku sa nepripúšťa, resp. môže byť len veľmi mierne.

*Chradnúce jedince* (i) s prírastkom na termináli a bočných vetvách viditeľne zredukovaným v uplynulých 1–3 vegetačných obdobiach, (ii) viditeľne napadnutý hubami so zhrubnutým a deformovaným územkom, no bez príznakov poškodenia hmyzom, (iii) s korunou akútne rednúcou a žltnúcou, (iv) pripúšťa sa slabé mechanické poškodenie koreňových nábehov a územku, resp. nezavalené rany po lúpaní.

Pri každom strome (asi 50 cm od bázy kmeňa) sa odobral pôdny vývrt s hrúbkou 7 cm do hĺbky 20 cm. Z pôdnych vývrtov sa vyseparovali jemné korene. Následne sa zisťovala ich biomasa (živé), nekromasa (odumreté), počet koreňových zakončení, špecifická dĺžka (vyjadrená na jednotku hmotnosti), stanovili sa ich chemické vlastnosti. Významným poznatkom je, že pomer nekromasy k biomase bol najvyšší pri chradnúcich smrekoch, najnižší pri vitálnych stromoch (obr. 4). Zo širokého spektra chemických analýz (zahrňujúc údaje o živinách a toxických látkach) vyplynulo, že najvhodnejším indikátorom bol pomer vápnika k hliníku (Ca/Al; pozri tab. 2). Tento pomer hovorí o stave pôdy, ako aj schopnosti koreňového systému prijímať živiny a regulovať vstup toxických látok. Ďalej sa zistili štatisticky významné rozdiely v morfológických vlastnostiach jemných koreňov. Konkrétne sa pozorovali väčšie počty koreňových zakončení a vyššie hodnoty špecifickej dĺžky jemných koreňov pri vitálnych smrekoch v porovnaní s chradnúcimi. Tu by sme chceli zdôrazniť názor mnohých odborníkov na jemné korene (napr. HIRANO *et al.* 2007) v tom smere, že chemické vlastnosti tenkých frakcií rizosféry lepšie odzrkadľujú rastové podmienky a stav dreviny ako chemické analýzy asimilačných orgánov (tzn. „konvenčný prístup“). Jedným z dôvodov je schopnosť koreňov viazať toxické látky v apoplaste (priestory v tkanivách). Preto sa takéto látky dostanú do koruny už len v obmedzenej koncentrácii. HIRANO *et al.* (2007) objasnil fakt, že jemné korene drevín spravidla reagujú na stresy najprv v podobe chemických (resp. biochemických) a morfológických zmien a až následne modifikáciou kvantity biomasy a nekromasy. Autori doporučili zisťovanie pomeru Ca/Al v jemných koreňoch drevín ako dôležitú súčasť monitoringu zdravotného stavu lesov.



Obrázok 4 Pomer nekromasy a biomasy koreňov s hrúbkou do 1 mm pre rôzne typy smrekov (V – vitálny, SV – subvitálny, CH – chradnúci). Štatistiky významné rozdiely sa znázornili rôznymi písmenami (a oproti b)

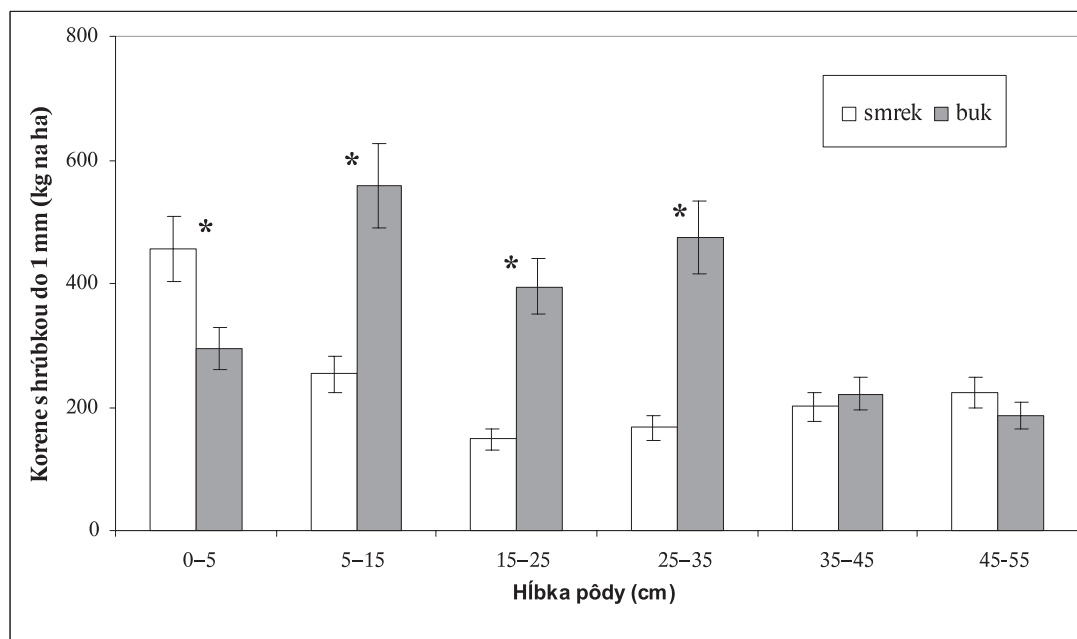
Tabuľka 2 Pomer Ca/Al pre korene diferencované podľa hrúbky a stavu spod smrekov rôzneho typu (V – vitálny, SV – subvitálny, CH – chradnúci). Štatistiky významné rozdiely medzi jednotlivými typmi smrekov, t.j. osobitne v každom stĺpci, sa znázornili rôznymi písmenami (a oproti b, d oproti e, f oproti g)

Typ smreka	Hrúbka koreňov do 1 mm		Hrúbka koreňov 1–2 mm	
	živé	odumreté	živé	odumreté
Vitálny	1,81 a	0,69	3,04 d	1,23 f
Subvitálny	1,38 b	0,52 c	2,08 e	0,91 fg
Chradnúci	1,60 b	0,54 c	2,02 e	0,80 g

Fakt, že jemné korene reagujú na zmeny pôdnych pomerov modifikáciou svojich vlastností sme overili v rámci experimentu s NPK hnojením a vápnením (vrátane ich kombinácie) v smrečine rastúcej na pôde s nízkym pH (bližšie informácie sú v práci KONÓPKA a TAKÁČOVÁ 2009). Výsledky ukázali, že po dvoch rokoch od aplikácii melioračných látok sa chemické vlastnosti pôdy zmenili len do hĺbky 5 cm, po šiestich rokoch až do hĺbky 25 cm. Po šiestich rokoch sa štatistiky významne zvýšila kvantita biomasy jemných koreňov v dôsledku obidvoch typov aplikácií. Ešte výraznejšie boli zmeny na ich morfológických vlastnostiach (nárast počtu koreňových zakončení a špecifickej dĺžky). Vápnenie bolo efektívnejšie v porovnaní s hnojením, pretože pri NPK hnojení sa zvýšilo aj množstvo nekromasy jemných koreňov, tzn. negatívna tendencia. Kombinácia vápnenia a hnojenia nepriniesla synergický účinok na jemné korene. Z toho vyplýva, že na danom stanovišti bolo dôležitejšie zvýšenie pôdnej reakcie, prípadne doplnenie bázami Ca a Mg ako rastová stimulácia pomocou NPK. Tento poznatok je v súlade s mnohými prácami, ktoré zdôrazňujú nevyhnutnosť zvýšenia pH na zakyslených stanovištiach, a zároveň aj vysokú koncentráciu dusíka v lesných pôdach (NILSSON a WIKUND 1995). Dusík vstupuje do pôdy vo veľkej miere prostredníctvom imisií a jeho ďalšie pridávanie môže mať niekedy skôr negatívny ako pozitívny účinok. Problematiku korekčného vápnenia a hnojenia pre obmedzený priestor tohto príspevku nebudeme ďalej rozvádzať. Tu sme chceli aspoň v krátkosti naznačiť možnosti indikácie efektívnosti takýchto opatrení prostredníctvom sledovania stavu jemných koreňov.

V ďalšom sa pristúpilo k medzidruhovému porovnaniu vertikálnej distribúcie jemných koreňov smreka a buka (pre detaily pozri prácu KONÓPKA 2009). Pritom sa vybrali dva susediace lesné porasty s obdobnými hodnotami strednej hrúbky. Odobrali sa pôdne vývrty z obidvoch porastov do hĺbky pôdy 55 cm. Následne sa sledovala sušina živých a odumretých jemných koreňov s rôznou hrúbkou podľa jednotlivých pôdnych vrstiev. Z výsledkov napríklad vyplynulo, že živé korene do 1 mm sa pri smrekoch nachádzali plytšie ako pri bukoch (obr. 5). Kým v prípade smreka bolo vo vrchných 5 cm až 32 % jemných koreňov, pri bukoch to bolo len 14 %. Podstatná časť jemných koreňov buka (viac ako 2/3) bola v hĺbke 5–35 cm. Toto naznačuje, že buk má vhodnejšie rozvr-

tvenie jemných koreňov vzhľadom na väčšinu abiotických stresov (napr. zakysľovanie a sucho). Toto sa potvrdilo aj ďalším experimentom, ktorý sledoval sezónnu dynamiku jemných koreňov v uvedených lesných porastoch. V druhej polovici vegetačného obdobia sa zistil výrazne väčší nárast nekromasy jemných koreňov smrekov v porovnaní s bukmi. Pritom mesiac júl bol v sledovanom roku mimoriadne chudobný na zrážky, takže hypoteticky tu išlo o stres suchom.



Obrázok 5 Porovnanie biomasy jemných koreňov smreka a buka v jednotlivých pôdnych vrstvách (hviezdičky naznačujú štatisticky významné medzidruhové rozdiely v určitej hĺbke)

## Záver

V ostatnom desaťročí sa vo vyspelých krajinách zaznamenáva mimoriadny rozmach výskumu koreňových systémov drevín. Toto je vďaka narastajúcemu počtu vedeckých tímov a vývoju nových prístrojov a metódik. Je to odrazom rastúcej spoločenskej objednávky reagujúcej na riziká meniacich sa podmienok životného prostredia (najmä klimatická zmena) a na význam lesov v tomto procese. Kým sa v minulosti hlavná pozornosť lesníckeho výskumu venovala hrubým frakciám koreňových systémov, v súčasnosti sa podstatný záujem sústreďuje na jemné korene ako dôležitú zložku biochemických cyklov (vrátane obehu uhlíka). Naďalej však ostávajú aktuálne otázky významu koreňových systémov ako kotviacej zložky stromu hlavne s ohľadom na rôzne pôdne pomery, ale aj úlohy jemných koreňov ako priameho prepojenia stromu s pôdou počas procesu prijímania vody a živín. Jemné korene sú dlhodobou objektom fyziologického výskumu ako prvku, ktorý prvý reaguje na stresy prichádzajúce z pôdneho prostredia.

Náš výskum hrubých koreňov ukázal, že ukotvenie dreviny nepostačuje hodnotiť len pomocou jedného ukazovateľa (napr. podiel medzi podzemnou a nadzemnou biomasou). Výsledky taktiež naznačili, že je nevyhnutné zohľadňovať vlastnosti pôdy. Táto výrazne „modeluje“ koreňový systém. Architektonické vlastnosti koreňov vo vzťahu k ukotveniu stromov v pôde boli priaznivejšie pri jedli ako pri smreku. To však nemusí znamenať, že by sa mala jedľa akceptovať ako spevňovacia drevina, a to hlavne v porastoch s prevahou smreka.

Jemné korene sa osvedčili ako indikátory stresových rastových podmienok smreka, konkrétne v kontexte zakyslenia pôdy. Stav jemných koreňov korešpondoval s kondíciou koruny. Prejavili sa rozdiely v chemických vlastnostiach jemných koreňov, čo svedčí o rôznych schopnostiach jedincov filtrovať živiny a škodlivé elementy z pôdy. Buk mal priaznivejšiu vertikálnu distribúciu jemných koreňov v porovnaní so smrekom. Toto sa potvrdilo aj pri sledovaní vplyvu letného sucha na jemné korene týchto drevín. Bolo by prenáhlené tieto priebežné výsledky príliš zovšeobecňovať, avšak spolu s ďalšími argumentmi podporujú myšlienku konverzií smrečín na zmiešané alebo listnaté porasty v „krízových“ oblastiach (napr. Kysuce).

## Literatúra

- BAZZIGHIER G., SCHMID P., 1969: Sturmschaden und Fäule. Schweiz. Z. Forstw., 120: 521–535.
- BRUNNER I., GODBOLD D.L., 2007: Tree roots in a changing world. Journal of Forest Research, 12: 78–82.
- CUDLÍN P. *et al.*, 2007: Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change. Plant Biosystems, 141: 406–425.
- HIRANO Y., MIZOGUCHI T., BRUNNER I., 2007: Root parameters of forest trees as sensitive indicators of acidifying pollutants; a review of research of Japanese forest trees. Journal of Forest Research, 12: 134–142.
- KARJALAINEN T. *et al.*, 2003: Scenario analysis of the impacts of forest management and climatic change on the European forest sector carbon budget. Forest Policy and Economics, 5: 141–155.
- KODRÍK M., 1998: Investigation of fine roots of *Picea abies* ecosystems in the Northern Slovakia. Ekológia (Bratislava), 17: 358–363.
- KONÓPKA B., 2009: Fine root traits differences between Norway spruce and European beech on an acidic cambisol (Kysucké Beskydy Mts., Slovakia). 21 p. Prijaté do Journal of Forest Science.
- KONÓPKA B., LUKAC M., 2009: Fine root condition relates to visible crown damage in Norway spruce in acidified soils. 19 p. Prijaté do Forest Pathology.
- KONÓPKA B., TAKÁČOVÁ E., 2009: Effects of liming and NPK-fertilization on the soil and fine roots in a Norway spruce stand, the Low Tatra Mts. 26 p. Prijaté do Ekológia (Bratislava).
- KONÓPKA B., PAJTIK J., LUKAC M., 2009a: Biomass partitioning and growth efficiency in young beech (*F. sylvatica*), oaks (*Q. robur* and *petrea*), pine (*P. sylvestris*) and spruce (*P. abies*) trees estimated by allometric models. 19 p. Zasláné do Tree Physiology.
- KONÓPKA B., PAJTIK J., LUKAC M., 2009b: Belowground allometric relations in Norway spruce are affected by soil waterlogging. 20 p. Zasláné do Trees – Structure and Function.
- KOZŁOWSKI T.T., PALLARDY S.G., 1997: Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York, 411 p.
- MAYER H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 514 p.
- NILSSON L.O., WIKLUND K., 1995: Nutrient balance and P, K, Mg, S and B accumulation in a Norway spruce stand following ammonium sulphate application, fertilization, irrigation, drought and N-free fertilization. Plant and Soil, 168–169: 437–446.

### Adresa autora:

**Dr. Ing. Bohdan KONÓPKA**

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, e-mail: bohdan.konopka@nlcsk.org