

KVANTITA A HLBKOVÁ DISTRIBÚCIA KOREŇOVÝCH SYSTÉMOV SMREKA OBYČAJNÉHO NA ZÁKLADE ÚDAJOV Z ČESKA A SLOVENSKA

Bohdan Konôpka ▪ Jaroslav Holuša ▪ Vladimír Šebeň ▪ Jiří Trombík

Konôpka, B., Holuša, J., Šebeň, V., Trombík, J.: Quantity and depth distribution of root systems of Norway spruce based on data from Czechia and Slovakia. APOL, 2026, vol. 7, no. 1, p. 109–117.

Abstract: The root system of Norway spruce represents a key factor in the static stability of forest stands. Therefore, the aim of this study was to quantify the volumetric characteristics of Norway spruce root systems at selected sites in the Czech Republic and Slovakia, to analyze the vertical distribution of roots, and to derive allometric relationships between diameter at breast height ($d_{1.3}$) and individual tree components. The research included 100 trees from ten sites with different soil conditions. The volume of roots, the below-ground and above-ground stump, and the stem were determined based on field measurements and subsequent calculations using formulas for a truncated cone. The results revealed significant variability in root systems depending on site conditions. The largest proportion of roots was concentrated in the upper soil layer down to a depth of 30 cm, reaching 95–100% in waterlogged pseudogley and podzol soils. At other sites, the proportion of roots in this layer ranged from 55.6% to 75.4%. On average, roots accounted for approximately 80% of the volume of the below-ground part of the tree, while the below-ground stump represented only about 20%. Differences of up to twofold were observed between sites in the proportion of below-ground and above-ground tree components. Norway spruces growing on waterlogged sites compensated for shallow rooting by producing a higher amount of below-ground biomass. Allometric models based on $d_{1.3}$ showed the highest accuracy in estimating stem volume, while the greatest variability was recorded for the below-ground stump. The results confirmed the importance of soil conditions in shaping root systems and emphasized the significance of maintaining crown vitality, thus root vitality, through silvicultural practices aimed at increasing the stability of spruce stands.

Key words: *Picea abies*; roots; above and below-ground stump; allometric relations; soil conditions

Úvod

Koreňový systém rastlín, vrátane lesných drevín predstavuje veľmi dôležitú časť celého organizmu, keďže zabezpečuje ukotvenie v pôde, príjem vody a živín, ako aj zásobnú a fyziologickú funkciu (Kozłowski & Palardy 1997). V podmienkach strednej Európy nadobúda problematika koreňových systémov lesných drevín mimoriadnu dôležitosť najmä v súvislosti so zvyšujúcou sa frekvenciou extrémnych veterných udalostí a sucha, ktoré súvisia prevažne s prebiehajúcou klimatickou zmenou (Lindner et al. 2014). Dôkazom toho sú rozsiahle vetrové kalamity vzniknuté najmä počas súčasného milénia, napríklad v Nemecku, Česku a na Slovensku (Kunca & Zúbrik 2006). Statickú stabilitu (t. j. odolnosť voči vyvráteniu) drevín a lesných porastov je vo veľkej miere podmienená zdravotným stavom, kvantitou a priestorovým usporiadaním koreňových systémov (Couts & Grace 1995).

Jednotlivé druhy lesných drevín sa odlišujú morfológiou, mechanickými vlastnosťami a veľkosťou koreňového systému. Niektoré vytvárajú hlboké kolové korene, ktoré zabezpečujú vysokú stabilitu, zatiaľ čo iné majú prevažne plytký koreňový systém rozprestieraný sa v povrchových vrstvách pôdy. Zároveň tvar a rozsah koreňov výrazne modifikuje množstvo faktorov, ako sú fyzikálne a vlhkostné pomery pôdy, dostupnosť živín, hladina podzemnej vody, reliéf terénu či hustota porastu. V podmienkach strednej Európy si osobitnú pozornosť zasluhuje smrek obyčajný, ktorý patrí medzi hospodársky najvýznamnejšie dreviny. Napriek svojmu ekonomickému a ekologickému významu je smrek charakteristický relatívne plytkým koreňovým systé-

mom, čo výrazne znižuje jeho odolnosť proti vyvráteniu vetrom (Konôpka B. et al. 2016). Korene smreka sa často rozprestierajú plytko pod povrchom pôdy a len ich malá časť preniká do väčších hĺbok (Puhe 2003). V dôsledku toho sú smrekové porasty mimoriadne náchylné na vetrové kalamity vo forme vývrátov, najmä na podmáčaných, plytkých alebo zhutnených pôdach (Konôpka B. et al. 2010). Ďalším problémom sú aj pôdy s vysokou bonitou, kde je nízky pomer podzemnej biomasy k nadzemnej. V tomto prípade stromy nemusia vytvárať robustné koreňové systémy, keďže živiny v pôde sú ľahko dostupné vďaka ich vysokej koncentrácii. Pri smreku obyčajnom sa tento fenomén objavuje spravidla pri jeho pestovaní mimo prirodzeného areálu výskytu, predovšetkým v nižších nadmorských výškach (Konôpka J. et al. 2008).

Odolnosť stromov proti vyvráteniu vetrom závisí nielen od samotného koreňového systému, ale aj od vzájomného pôsobenia viacerých porastotvorných faktorov, ako sú vek porastu, výška stromov, štruktúra porastu, zdravotný stav drevín či predošlý spôsob hospodárenia (pozri aj Vicena et al. 1979). Skúmanie koreňových systémov lesných drevín a získaná poznatková báza môže mať zásadný význam pre oblasť ochrany lesa a všeobecne aj pre trvale udržateľné lesníctvo. Poznanie mechanizmov zakorenenia a stability stromov umožňuje navrhovať vhodnejšie pestovné opatrenia, zvyšovať odolnosť lesných porastov voči vetru a podporovať dlhodobú statickú stabilitu lesných ekosystémov.

Z uvedených dôvodov sme sa zamerali na kvantifikáciu koreňových systémov smreka obyčajného v podmienkach Česka a Slovenska. Zisťovalo sa ich množstvo na objemovej báze, pritom sa zvlášť sledoval podzemný peň a korene. Analyzovali sme hĺbkovú distribúciu koreňov a vytvorili matematické, tzv. alometrické vzťahy medzi hrúbkou kmeňa meraného v prsnej výške (v ďalšom texte hrúbka $d_{1,3}$) a jednotlivými stromovými komponentami. Matematické modely sa týkali nielen koreňového systému (podzemný peň a korene), ale aj kmeňa (v delení na nadzemný peň a odpílenú časť kmeňa).

Materiál a metóda

Pre rozbor vlastností koreňových systémov sa využili existujúce údaje z Česka a Slovenska, konkrétne desiatich lokalít (Tabuľka 1). Údaje sa týkali charakteristík kmeňa a koreňového systému smreka obyčajného. Tieto podklady sa nadobudli v rámci projektov riešených v predošlom období. V Česku to bolo v rámci projektu QJ1520006 so skratkou „StromoTrh“ (roky riešenia 2015 – 2018), na Slovensku najmä v rámci projektu APVV-0612-07 „Náchylnosť vetrom destabilizovaných lesných ekosystémov voči pôsobeniu vybraných disturbančných faktorov“ (roky riešenia 2008 až 2010). V prípade českých údajov sa koreňové systémy smreka odkrývali prostredníctvom navijaka a následným dokopaním chýbajúcich (odlomených) koreňov. Pri slovenských terénnych prácach sa využili koreňové systémy vyvrátené vetrom (plus následné vykopanie zostatkových koreňov v pôde) – v prípade štyroch stanovišť vo Vysokých Tatrách. Pri koreňoch na Starých Horách sa kombinovala ručná exkavácia a ťahanie navijakom. Pritom sa meraniam podrobovala jedna polovica (viditeľná časť nad zemou) koreňového systému. Potom sa údaje prepočítali na celý koreňový systém vynásobením nameraných hodnôt dvomi.

Tabuľka 1. Základné charakteristiky stanovišť s meranými smrekmi

Table 1. Basic characteristics of the study sites with measured spruces.

Stanovište	Krajina	Oblasť	Nadmorská výška (m n. m.)	Pôdny typ
Bělčice	Česko	Brdská vrchovina	590	kambizem
Kutná Hora		Kutnohorská plošina	465	pseudoglej
Nejdek		Krušné hory	927	podzol
Ostravice		M.s. Beskydy	575	kambizem
Voltuš		Brdská vrchovina	655	kambizem
Kežmarské Žľaby	Slovensko	Vysoké Tatry	897	pseudoglej
Kôprová dolina		Vysoké Tatry	1 171	kambizem
Podbanské		Vysoké Tatry	1 012	kambizem
Smokovec		Vysoké Tatry	975	kambizem
Staré Hory		Starohorské vrchy	550	kambizem

Každý koreňový systém sa očistil od pôdy a zatriedili do troch hĺbkových intervalov, t. j. do 30 cm, 31 až 60 cm a nad 60 cm. Korene sa ďalej rozdelili do hrúbkových tried: 1 až 5 cm, 5,1 až 10 cm, 10,1 až 15 cm atď. Pritom sa korene s hrúbkou do 1 cm do meraní nezahrnuli. Dôvodom bolo, že tieto tenké korene jednak prispievajú do celkového objemu malým podielom a zároveň je technicky veľmi náročné ich všetky vykopať (často rastú ďaleko od kmeňa a miešajú sa s koreňmi susediacich stromov) a následne zmerať. Hranice medzi hĺbkovými skupinami, hrúbkovými triedami a podzemnou časťou pňa sa poznačili značkovacím sprejom, resp. kriedou. V niektorých prípadoch, a to keď neboli niektoré časti koreňových systémov dobre dostupné pre merania hrúbok, sa museli korene prepáliť motorovou pílou. Následne sa merali hrúbky na oboch koncoch každej hrúbkovej triedy a dĺžka v pozdĺžnej osi. Potom sa ich objem vypočítal podľa vzorca zrezaného kužeľa. Vypočítali sme celkový objem koreňov ako súčet objemov všetkých hrúbkových frakcií v danom koreňovom systéme. Hrúbky podzemných a nadzemných častí pňov sa zmerali jednak na oboch koncoch, ako aj v strede ich výšky. Následne sa pre výpočet ich objemu využil Newtonov vzorec, ktorý využíva hrúbky na koncoch telesa a dvojnásobnú váhu hodnoty hrúbky v jeho strede.

V prípade kmeňov sa zmerala hrúbka $d_{1,3}$, ďalej hrúbka $d_{0,2}$ (t. j. 20 cm od úrovne pôdy; táto bola v hornej časti nadzemného pňa). Kriedou sa označili jeden meter dlhé sekcie, počnúc úrovňou pôdy. Hrúbky metrových sekcií sa zmerali na oboch koncoch a vypočítal sa objem pomocou vzorca pre zrezaný kužeľ. Z toho sa vypočítal celkový objem kmeňa, a to ako súčet objemov všetkých sekcií. Takýmto spôsobom sme zmerali 100 smrekov, pričom na každom stanovišti sa nachádzalo 7 až 14 šetrených jedincov (Tabuľka 2). Tabuľka poukazuje aj na rôzne pôdne typy. Prevažne išlo o kambizeme (buď nasýtené alebo nenasýtené). V dvoch prípadoch sa nachádzali pseudogleje (na Kežmarských Žlaboch bolo stanovište trvalo podmáčané) a v jednom prípade sa zistil podzol.

Tabuľka 2. Základné charakteristiky meraných smrekov na jednotlivých stanovištiach.

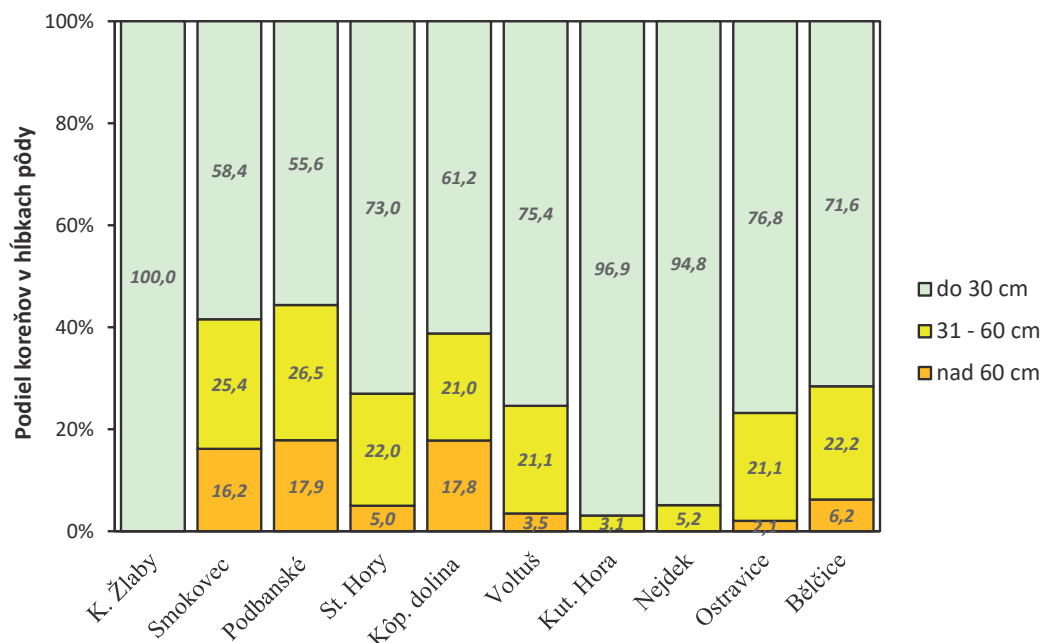
Table 2. Basic characteristics of the measured spruces at individual study sites.

Stanovište	Počet stromov	Priemerná výška (m)	Priemerná hrúbka $d_{0,2}$ (cm)	Priemerná hrúbka $d_{1,3}$ (cm)
Bělčice	7	30,2	46,3	37,4
Kutná Hora	14	27,0	43,4	32,1
Nejdek	8	24,0	45,1	36,4
Ostravice	8	29,9	45,3	37,2
Voltuš	8	25,8	41,4	32,1
Kežmarské Žlaby	14	14,0	20,5	16,0
Kôprová dolina	11	23,8	39,5	32,0
Podbanské	10	17,9	25,6	20,6
Smokovec	12	16,5	22,8	19,5
Staré Hory	8	19,9	26,8	21,3

Údaje sa využili jednak v podobe priemerných veličín v rámci každého stanovišťa, ako aj pre úroveň každého stromu. V prvom prípade sme porovnali rozdiely medzi stanovišťami, a to pre hĺbkovú distribúciu koreňov a podiely jednotlivých stromových komponentov (korene, podzemný peň, nadzemný peň a kmeň). V druhom prípade sa bodové pole využilo na odvodenie alometrických vzťahov pre uvedené stromové komponenty, kde prediktorom bola hrúbka $d_{1,3}$. Pre vyrovnanie bodového poľa sa využili exponenciálne funkcie a tesnosť regrese sa vyjadrila koeficientom determinácie (R^2).

Výsledky a diskusia

Kvantitatívne analýzy poukázali na rôznorodú alokáciu koreňov v hĺbkových intervaloch (Obrázok 1). Napríklad na Kežmarských Žlaboch boli úplne všetky korene v hĺbke pôdy do 30 cm. Podobná situácia bola pri Kutnej Hore (takmer 97 %). Obidve stanovišťa predstavovali pseudogleje, pritom na Kežmarských Žlaboch bola pôda trvale podmáčaná, pri Kutnej Hore sezónne. Pri Nejdeku bol podiel koreňov v hĺbke do 30 cm tiež vysoký (blízko 95 %), tu išlo o ťažko penetrovateľnú pôdu, menovite podzol. Na ostatných stanovištiach bol



Obrázok 1. Podiel koreňov smreka obyčajného v jednotlivých hĺbkach pôdy pre sledované stanovištia. Stanovištia sú vzostupne zoradené podľa priemernej hrúbky $d_{1,3}$ smrekov.

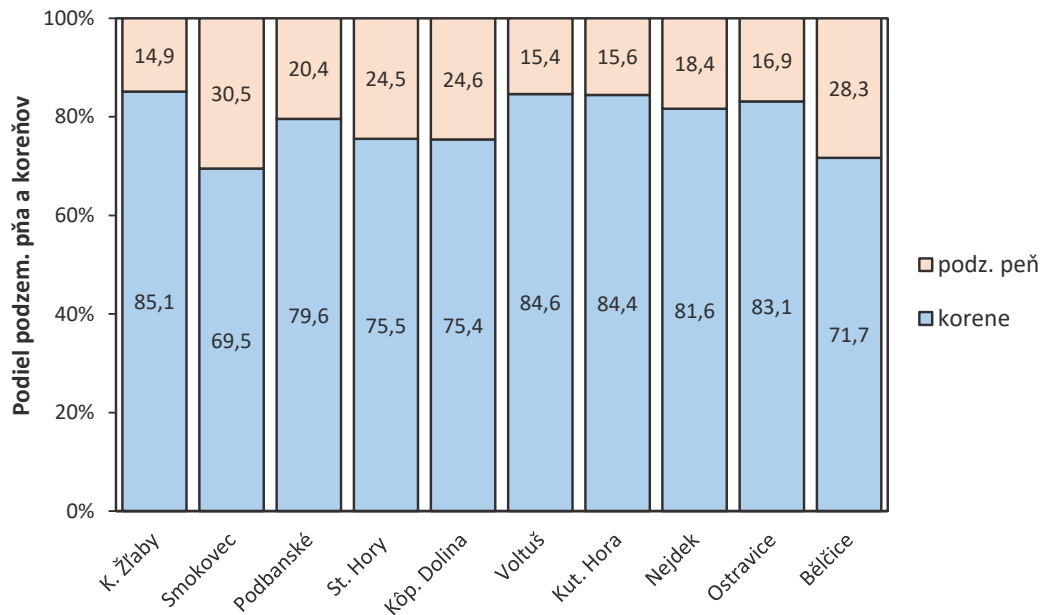
Figure 1. Proportion of Norway spruce roots at individual soil depths for the studied sites. The sites are arranged in ascending order according to the mean diameter at breast height ($d_{1,3}$) of the spruces.

podiel koreňov v hĺbke do 30 cm v intervale od 55,6 % do 75,4 %. Okrem troch uvedených stanovišť, podiel koreňov v hĺbke 31 – 60 cm bol v relatívne úzkom rozsahu, konkrétne od 21,0 % do 26,5 %. Zároveň podiel koreňov v hĺbke nad 60 cm bol na týchto siedmich stanovištiach od 2,1 % do 17,9 %. Spravidla platí, že čím sú korene distribuované hlbšie, tým je strom odolnejší proti vyvráteniu (napr. Danjon et al. 2005).

Ďalej sme analyzovali podiel podzemného pňa a koreňov na podzemnej časti smrekov (Obrázok 2). Aj tu sa zistila veľká variabilita medzi stanovišťami. Rozdiely boli až dvojnásobné – pozri Kežmarské Žlaby s podielom podzemného pňa 14,9 % a Smokovec s 30,5 %. Aj tu možno predpokladať, že nízky podiel podzemného pňa, teda naopak vysoký podiel koreňov, vznikol v podmienkach podmáčanej pseudoglejovej pôdy. V priemere za všetky stanovištia tvorili korene približne 4/5 a podzemný peň iba 1/5 z objemu podzemnej časti smrekov. Vo všeobecnosti platí, že korene sú pre stabilitu stromu dôležitejšie ako podzemná časť pňa (napr. Coutts & Grace 1995). Dôvodom je, že podzemný peň stabilitu zlepšuje len mierne – svojou hmotnosťou posúva ťažisko stromu nadol. Korene vytvárajú určitú konštrukčnú časť kotviacu strom v pôde.

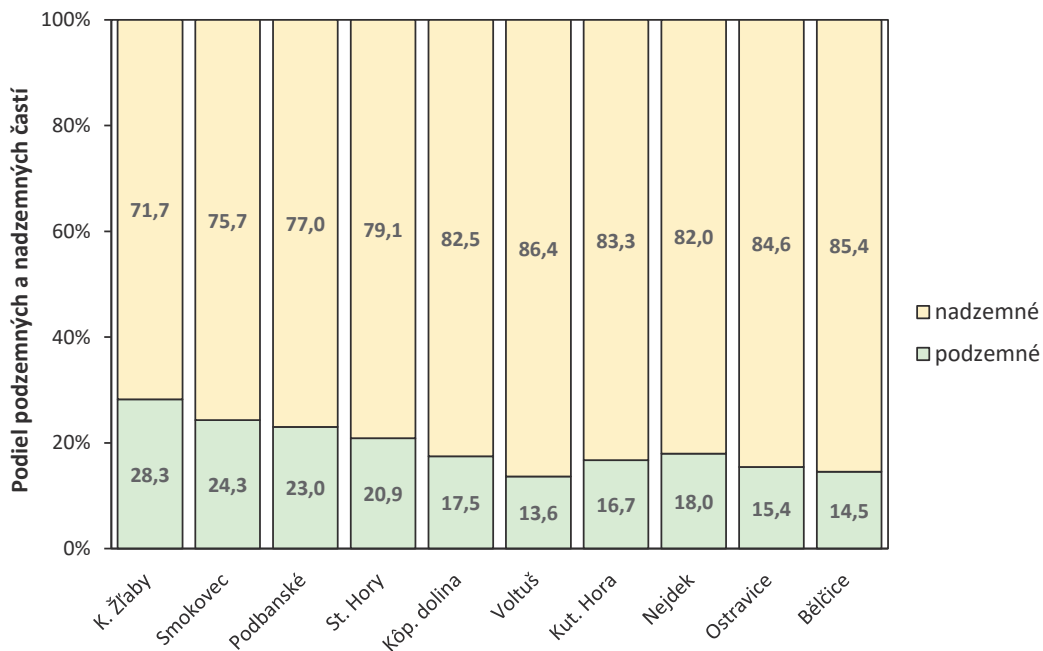
Rozdiely medzi statickými vlastnosťami smrekov medzi stanovišťami sme zisťovali aj v kontexte podielu objemov podzemných a nadzemných častí stromov (Obrázok 3). Pritom v prípade nadzemnej časti nie sú údaje kompletne, pretože nazhŕňajú konáre s ihličím. Napriek uvedenému nedostatku, možno tieto údaje interpretovať a s určitou dávkou neistoty zovšeobecniť. Aj v tomto prípade boli rozdiely v podiele podzemnej časti k celkovému objemu približne dvojnásobný, tzn. Kežmarké Žlaby (28,3 %) verzus Voltuš (13,6 %). Na prvý pohľad by sa z týchto podielov mohlo javiť, že smrek na Kežmarských Žlaboch majú najlepšiu stabilitu. Avšak takáto interpretácia by bola v prípade tohto stanovišťa úplne zavádzajúca. Tu treba situáciu skôr chápať v súvislosti, že smrek na uvedenom stanovišti si nízku statickú stabilitu (plytký koreňový systém) kompenzuje zvýšenou kvantitou koreňov. A to jednak na úkor podzemného pňa, ako aj nadzemných častí. Zaujímavý výsledok je, že smrek z územia Česka mali nižší podiel podzemnej časti ako tie na Slovensku. Tu je však určitým problémom, že veľká väčšina „slovenských“ smrekov pochádzala z Vysokých Tatier. Takže predstavovali menej reprezentatívnu vzorku ako v prípade empirického materiálu z Česka.

Nakoniec sme porovnali alometrické vzťahy pre jednotlivé stromové komponenty (Obrázok 4). Pre zjednodušenie uvádzame len matematické modely založené na hrúbke $d_{1,3}$. Podobné modely sme skonštruovali aj na základe výšky stromov a hrúbky $d_{0,2}$. Hrúbka $d_{0,2}$ môže byť napríklad dobre použiteľná v prípade, keď bol



Obrázok 2. Podiel podzemného pňa a koreňov smreka obyčajného na podzemnej biomase pre sledované stanovištia. Stanovištia sú vzostupne zoradené podľa priemernej hrúbky $d_{1,3}$ smrekov.

Figure 2. Proportion of the below-ground stump and roots of Norway spruce in the below-ground biomass for the studied sites. The sites are arranged in ascending order according to the mean diameter at breast height ($d_{1,3}$) of the spruces.



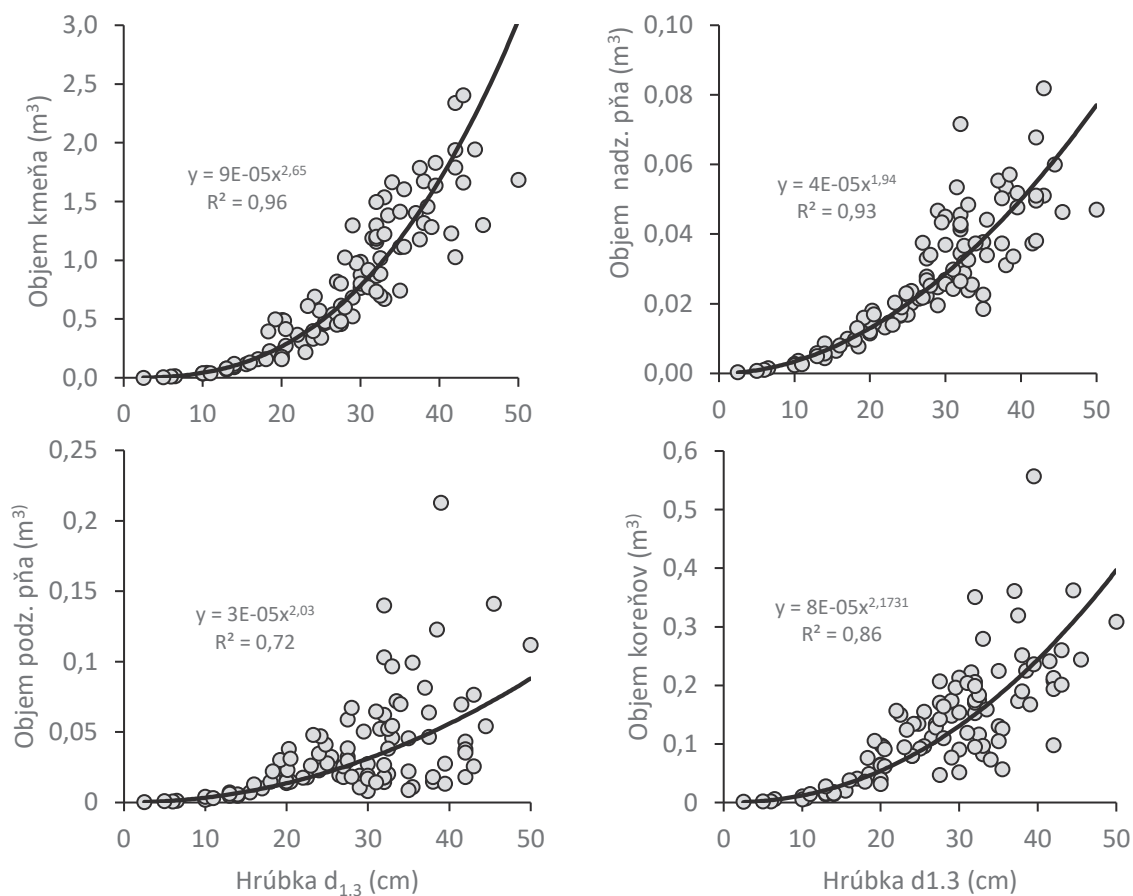
Obrázok 3. Podiel podzemných (podzemný peň a korene) a nadzemných (nadzemný peň a kmeň) častí smreka obyčajného pre sledované stanovištia. Stanovištia sú vzostupne zoradené podľa priemernej hrúbky $d_{1,3}$ smrekov.

Figure 3. Proportion of below-ground (below-ground stump and roots) and above-ground (above-ground stump and stem) parts of Norway spruce for the studied sites. The sites are arranged in ascending order according to the mean diameter at breast height ($d_{1,3}$) of the spruces.

strom odpílený (prípadne dokonca ukradnutý). Hrúbka $d_{0,2}$ sa dá odmerať aj na pni, a takto odvodiť objem kmeňa alebo iného komponentu v lesnom poraste už neprítomného stromu. Takéto matematické modely sú zaujímavé pre kvantifikáciu mŕtveho dreva (nadzemný peň a podzemné časti) vzniknutého po ťažbe.

Ale vráťme sa k modelom založených na hrúbke $d_{1,3}$ (pozri Obrázok 4). Tesnosť korelácie je v tomto poradí objem kmeňa > objem nadzemného pňa > objem koreňov > objem podzemného pňa. Z uvedeného možno konštatovať, že vzhľadom na veľkosť stromu (vyjadrenú hrúbkou kmeňa) má najväčšiu variabilitu podzemný peň. Predpokladáme, že pôdne pomery viac modifikujú kvantitu podzemného pňa než koreňov. Totiž kým podzemný peň je kompaktné teleso, korene sú flexibilnejšie čo sa týka ich tvaru, priestorovej distribúcie a prenikaniu cez, prípadne okolo prekážok (viď fotografickú prílohu, konkrétne záber z Kôprovej doliny).

Vo všeobecnosti je matematické modelovanie podzemnej časti stromov náročnejšie než nadzemných častí. Je tomu tak jednak ich horšou dostupnosťou k meraniu, ale aj v dôsledku ich väčšej variability, teda menšej presnosti matematických modelov z daného výberového súboru (West 2009). Aj preto sa táto „skrytá časť“ drevín skúma a kvantifikuje v oveľa menšom rozsahu ako v prípade nadzemných častí. Zároveň je zjavné, že podzemné časti stromov sú z hľadiska priameho hospodárskeho využitia nezaujímavé. Avšak majú v lesnom ekosystéme iné ekologické a fyziologické úlohy, preto sa im treba výskumne naďalej venovať.



Obrázok 4. Alometrické vzťahy medzi hrúbkou $d_{1,3}$ a objemom jednotlivých stromových komponentov (t. j. kmeň, nadzemný peň, podzemný peň a korene) sledovaných smrekov.

Figure 4. Allometric relationships between diameter at breast height ($d_{1,3}$) and the volume of individual tree components (i.e., stem, above-ground stump, below-ground stump, and roots) of the studied spruces.

Záver

Z výsledkov práce vyplýva, že koreňové systémy smrekťa obyčajného vykazovali výraznú variabilitu v závislosti od stanovištných podmienok. Najväčší podiel koreňov bol vždy sústredený v povrchovej vrstve pôdy do hĺbky 30 cm, pritom na podmáčaných pseudoglejoch a podzole dosahoval až 95 – 100 %. Analýza podzemnej biomasy ukázala, že korene tvorili v priemere približne 80 % objemu podzemnej časti stromu, zatiaľ čo podzemný peň predstavoval len asi jednu pätinu. Medzi jednotlivými lokalitami sa však prejavili výrazné rozdiely,

ktoré boli podmienené najmä charakterom pôdy a jej vlhkostným režimom. Zároveň porovnanie podielu podzemných a nadzemných častí stromov ukázalo približne dvojnásobné rozdiely medzi lokalitami. Smreký rastúce na Slovensku mali vo všeobecnosti vyšší podiel podzemnej biomasy ako stromy z českých lokalít, hoci tento rozdiel mohol byť ovplyvnený výberom stanovišť. Významným výsledkom bolo aj potvrdenie vhodnosti alometrických modelov založených na hrúbke $d_{1,3}$ pre odhad objemu jednotlivých stromových komponentov. Najpresnejšie boli modely pre objem kmeňa, zatiaľ čo najväčšia variabilita sa prejavila pri podzemnom pni. Výsledky zároveň naznačili, že podzemné časti smrekov sú výraznejšie ovplyvňované pôdnymi podmienkami než nadzemné časti.

Získané poznatky poukazujú na význam koreňového systému pri zabezpečení stability smrekových porastov a môžu byť využité pri navrhovaní pestovných opatrení zvyšujúcich odolnosť lesov voči vetrovým kalamitám. Tu treba dodať, že vývoj koreňových systémov súvisí aj so stavom koruny. Čím dlhšia koruna, tým väčší objem koreňov. Preto treba výchovné zásahy v porastoch, a to hlavne v smrečinách, vykonávať tak, aby sa neskracovali ich koruny. Tým sa podporí vývoj koreňov, teda aj lepšie ukotvenie drevín v pôde.

Podakovanie

Podklady pre túto prácu pochádzajú najmä z údajov nadobudnutých v rámci projektov QJ1520006 „StromoTrh“ a APVV-0612-07 „Náchylnosť vetrom destabilizovaných lesných ekosystémov voči pôsobeniu vybraných disturbancečných faktorov“. Ich ďalšie spracovanie, analýzy a príprava tohto článku umožnili nadväzujúce projekty, hlavne APVV-22-0056 „Vplyv kompetície a ďalších limitujúcich faktorov na retenciu uhlíka a na diverzitu rastlínstva v obnovujúcich sa lesoch“ a APVV-24-0057 „Význam mŕtveho dreva pre lesné ekosystémy Západných Karpát: potvrdenie či vyvrátenie ekologických mýtov?“.

Literatúra

- Couts, M. P., Grace, J., 1995: Wind and Trees. New York, Cambridge University Press, 485 p.
- Danjon, F., Fourcard, T., Bert, D., 2005: Root architecture and wind-firmness of mature Pinus pinaster. New Phytologist, 168:387–400.
- Kozłowski, T. T., Pallardy, S. G., 1997: Physiology of Woody Plants. San Diego, Academic Press, 411 p.
- Konôpka, B. et al., 2010: Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi. Zvolen, NLC, 341 p.
- Konôpka, B., Zach, P., Kulfan, J., 2016: Wind – an important ecological factor and destructive agent in forests. Lesnícky časopis – Forestry Journal, 62:123–130.
- Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, Ch., 2008: Rozbor náhodných ťažieb dreva na Slovensku podľa škodlivých činiteľov a lesných vegetačných stupňov. Zprávy lesníckeho výzkumu, 53:308–317.
- Kunca, A., Zúbrik, M., 2006: Vetrová kalamita z 19. novembra 2004. Zvolen, Banská Štiavnica, NLC, SLOS, 40 p.
- Puhe, J., 2003: Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands – a review. Forest Ecology and Management, 175:253–273.
- Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, Ch., Delzon, S., van der Maaten, E., 2014: Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? Journal of Environmental Management, 146:69–83.
- Vicena, I., Pařez, J., Konôpka, J., 1979: Ochrana lesa proti polomům. Praha, SZN, 244 p.
- West, P. W., 2009: Tree and Forest Measurement. Second Edition. Dordrech, Springer, 192 p.

ADRESA

doc. Dr. Ing. Bohdan Konópka, Ing. Vladimír Šebeň, PhD.
Národné lesnícke centrum – Sekcia pre vedu a výskum
T. G. Masaryka 2175/22
SK-960 01 Zvolen
e-mail: bohdan.konopka@nlcsk.org; vladimir.seben@nlcsk.org

prof. Ing. Bc. Jaroslav Holuša, PhD., Ing. Jiří Trombík, PhD.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Kamýcká 129
CZ-165 00 Praha-Suchdol
e-mail: holusa@fld.czu.cz; trombik@fld.czu.cz

Fotografická príloha



Fotografia 1. Ukážky z terénnych prác zameraných na kvantifikáciu koreňových systémov smreka obyčajného. Horné fotky sú z lokality Bělčice v Česku. Vľavo – korene v rôznej fáze prípravy pre merania, vpravo – rozdeľovanie a meranie jednotlivých hrúbkových tried. Dolné fotky sú z Vysokých Tatier, pritom záber vľavo pochádza z lokality Kežmarské Žľaby – podmáčaná pôda s typicky plytkým a širokým koreňovým systémom smreka. Fotka vpravo dole z Kôprovej doliny demonštruje schopnosť koreňov obchádzať kamene a balvany v pôde.

Photo 1. Examples of the fieldwork focused on quantifying the root systems of Norway spruce. The upper photos are from the Bělčice locality in the Czech Republic. Left – roots in different phases of measurements; right – sorting and measuring of individual diameter classes. The lower photos are from the High Tatras. The left one shows the Kežmarské Žľaby locality – waterlogged soil with a typically shallow and wide root system of spruce. The lower right photo is from Kôprová Valley and demonstrates the roots' ability to bypass stones and boulders in the soil.