

# KOREŇOVÝ SYSTÉM A ODOLNOSŤ SMREKA VOČI VYVRÁTENIU VETROM

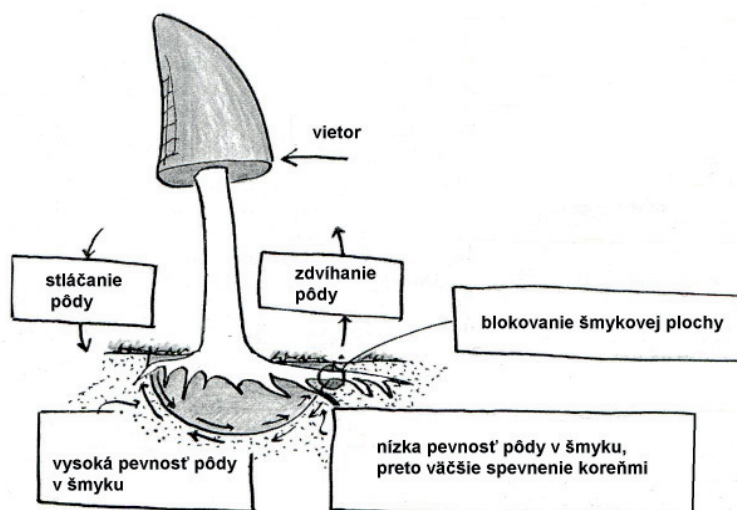
Peter Štofko

Smrekové vývraty predstavujú značnú časť kalamít spôsobených abiotickými škodlivými činiteľmi. Vývraty vznikajú vtedy, keď nárazový účinok vetra prevyšuje pevnosť zakorenenia stromu v pôde. Najčastejšie vznikajú začiatkom jari a na jeseň, keď je pôda premočená a nesúdržná (MICHALÍK *et al.* 2000). Vo všeobecnosti pomer vývraty/zlomy pri vetrových poškodeniach býva v prospech vývratov a to 4 : 1 (STOLINA *et al.* 2001). Vysoké ohrozenie smreka vyplýva z nepriaznivých statických vlastností, najmä koreňovej sústavy, ktorá je väčšinou plytká. Zo znakov koreňových sústav dôležitých pre statickú stabilitu sú dôležité najmä hĺbka, šírka a spôsob zakotvenia (KONÓPKA, 1978). Smrek vytvára pri nerušenom vývoji typickú plochú koreňovú sústavu. Čím horšie je pôdne prevzdušnenie o to plochejšie je zakorenenie smreka (KÖSTLER *et al.* 1968).

## Mechanizmus ukotvenia smreka

Hodnotenie ukotvenia stromu je pomerne zložitá, sila ukotvenia závisí nielen od sily jednotlivých koreňových vetiev, ale aj od ich dĺžky, distribúcie a uhla vetvenia a taktiež od vlastností pôdy. Zmeny v každom z týchto faktorov môžu ovplyvniť nielen mohutnosť ukotvenia, ale aj spôsob jeho poruchy.

Spôsoby pri ktorých došlo k vyvráteniu stromu vetrom sú značne závislé na vlastnostiach pôdy v ktorých drevina rastie. Avšak, existuje jeden zásadný aspekt spôsobu vyvrátenia pre všetky koreňové systémy: každý obsahuje prinajmenšom jeden daný element bez ktorého nemohol byť prenesený točivý moment. Tento daný prvok umožňuje pôde aby bola zaťažovaná jedným z dvoch spôsobov. V niektorých prípadoch je sila smerujúca nahor prenášaná do pôdy na náveternej strane kmeňa a rovnaká sila smerujúca nadol prenášaná do pôdy na zúveternej strane. Eventuálne, vrchné pôdne vrstvy môžu byť zaťažované zúveternou stranou, zatiaľ čo nižšie pôdne vrstvy sú zaťažované rovnakou náveternou silou (obr. 1). Obe dva druhy síl vytvárajú prepojený krútiaci moment, ktorý podopiera drevinu a ak sa vyskytne porucha, tak forma tejto poruchy bude závisieť na vzájomnej schopnosti koreňov a pôdy zniesť tieto sily (SMIT *et al.* 2000).



Obrázok 1. Zaťažovanie pôdy koreňmi pri pôsobení vetra (MATTHECK *et al.* 2003)

SMIT *et al.* (2000) uvádza, že systém ukotvenia, ktorý prenáša vertikálne sily do pôdy majú dreviny, ktoré majú široko rozprestierajúci sa koreňový systém s množstvom horizontálnych postranných koreňov a niekoľkými vertikálnymi kolovými koreňmi, medzi ktoré patrí aj smrek. Pri tomto rozširujúcom sa koreňovom systéme, odolnosť pôdy k pohybu postranných koreňov smerom nadol je veľmi vysoká z dôvodu rozsiahlej plochy koreňového systému a vysokej stláčajúcej pevnosti pôdy. V tomto prípade sa porucha objaví väčšinou na náveternej strane, strom sa vypáči okolo bodu ohnutia sa koreňového balu na záveternej strane (obr. 2). Čo sa presne stane, závisí na pôdnych podmienkach. V mokrej pôde môže byť rozsiahly koreňový koláč vypáčený z pôdy spolu s množstvom vertikálnych koreňov, ktoré sú neporušene vytiahnuté. SEREDA (1983) uvádza, že premočená pôda jednako znižuje adhézne napätie na povrchu koreňových vlákien v nej uložených, jednako sama má nízku pevnosť v šmyku. To je závažné najmä u zemín s výraznou prílnavostnou zložkou šmykovej pevnosti. Na druhej strane, v suchej, silnejšej pôde môže byť vytvorený menší koreňový tanier, korene na náveternej strane môžu byť zlomené a vertikálne korene pretrhnuté. Obdobne SEREDA (1983) uvádza, že premrznutá pôda s obsahom vody a suchá súdržná zemina ukotvujú korene omnoho účinnejšie. Za mrazu totiž dochádza súčasne k účinnejšiemu ukotveniu koreňových systémov zovretím povrchu vlákien a vzrastom súdržnosti podobne ako vo vysychujúcich súdržných zeminách. Pôdy piesčité a kamenité, pôdy s obsahom štrku, kde sa zrná hrubej frakcie navzájom dotýkajú, poskytujú koreňovému systému stromu účinnú oporu a ich šmyková pevnosť je na prítomnosti vody prakticky nezávislá.

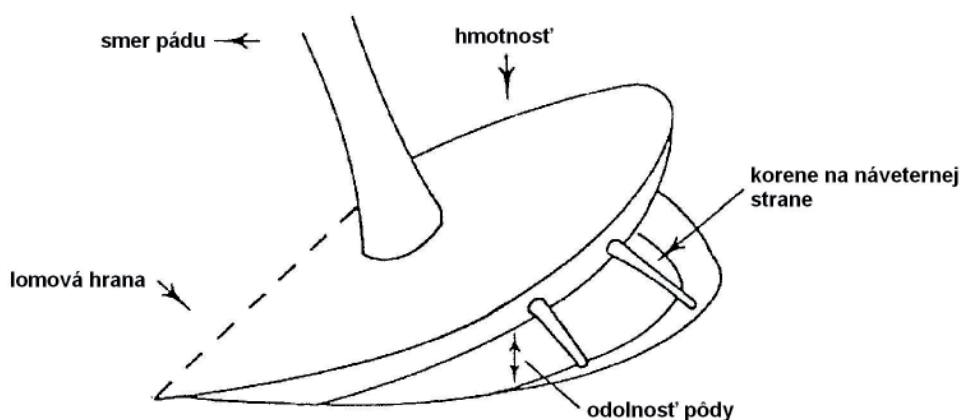


**Obrázok 2.** Pri široko rozprestierajúcom sa koreňovom systéme s kolovými koreňmi sa koreňový systém vypáči okolo bodu ohnutia. Odolnosť voči vyvráteniu je ovplyvnená tromi komponentmi: tuhosťou v bode ohnutia, odolnosťou kolových koreňov voči vytiahnutiu na náveternej strane a hmotnosť koreňovo/pôdneho balu (SMIT *et al.* 2000)

Pri systéme ukotvenia, ktorý prenáša vertikálne sily do pôdy môžu byť identifikované tri komponenty ukotvenia stromu: odolnosť voči ohnutiu koreňového koláča na záveternej strane, odolnosť náveternej strany voči vyvráteniu a hmotnosť koreňovo-pôdneho balu (SMIT *et al.* 2000). VICENA *et al.* (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 podľa nich najmenej významná (10 %).

V prípade podmáčaných stanovišť, kde smrek vytvára extrémne plytké koreňové baly môže byť situácia odlišná. COUTTS (1986) definoval pri smrekoch sitkanských rastúcich na glejových pôdach nasledovné komponenty koreňových systémov voči vyvráteniu: 1. odolnosť pôdy (odolnosť voči vyvráteniu poskytnutá pôdou pod a na okrajoch koreňového systému), 2. odolnosť koreňov namáhaných ťahom na náveternej strane okraja balu, 3. hmotnosť pôdno-koreňového balu, 4. odolnosť voči ohnutiu na lomovej hrane záveternej strany balu. Dôležitosť týchto komponentov varíruje medzi drevinami a mení sa počas priebehu vyvracania stromu. Podľa výsledkov COUTTSA (1986) odolnosť pôdy bola najdôležitejším komponentom na počiatku vyvracania stromu, avšak akonáhle točivý moment spôsobený silou aplikovanou na strom dosiahol maximum, tak dôležitosť týchto kompo-

mentov na stabilite stromu sa zmenila nasledovne: korene na náveternej strane > hmotnosť koreňového balu > lomová hrana > odolnosť pôdy (obr. 3).



**Obrázok 3.** Komponenty ukotvenia plytko koreniacich drevín: hmotnosť koreňového balu, odolnosť pôdy v ťahu, odolnosť koreňov namáhaných ťahom na náveternej strane stromu, odolnosť voči ohnutiu na lomovej hrane (COUTTS 1986)

VICENA (1978) uvádza nasledovný postup vyvrátenia stromu vetrom:

1. Stojacemu stromu poskytuje mechanickú oporu celý koreňový bal, tiaž zeminu a koruny a ostatnej nadzemnej časti.
2. Jednotlivé časti koreňového balu nie sú namáhané rovnako. Od lomovej hrany smerom k náveternému okraju koreňového balu sa namáhanie prejavuje ako ťah a tesne pri náveternom odtrhnutom okraji koreňového balu aj ako šmyk. Od lomovej hrany smerom k záveternému okraju koreňového balu je koreňový bal namáhaný tlakom.
3. Pri prekročení medze pevnosti dochádza k celkovej deštrukcii koreňového balu pravdepodobne nasledovným spôsobom: Padajúci strom dvíha zo zeme celú náveternú časť koreňového balu ako aj určitú časť koreňového balu od stredu osi kmeňa smerom k záveternému okraju balu (po lomovú hrana). Trhajú sa korene na dne koreňového balu, ktorý sa oddeľuje od pôdnej spodiny. Trhajú sa korene na náveternom okraji koreňového balu. Lámu sa korene na lomovej hrane. Uvoľňujú a zdvíhajú sa korene na okrajoch lomovej hrany.

Z pôdy sa takto nevytrhne celý eliptický koreňový bal, ale po jeho deštrukcii iba časť, pričom v pôde zostáva okolo 40 % hmotnosti pôvodného balu. K vytrhnutiu balu z pôdy dochádza pozdĺž hranice okraja balu na jeho náveternej strane. Lomová hrana rozdeľuje koreňový bal na dve časti. Časť balu smerom k náveternému okraju je namáhaná vetrom ťahom a šmykom, na opačnej strane sa korene lámu tlakom. Strom sa vyvracia pozdĺž lomovej hrany. Vzdialenosť lomovej hrany od stredu osi kmeňa leží približne v jednej tretine dlhšej poloosy. Podľa výsledkov VICENU (1978) prierezová plocha koreňov v mieste lomu, kde je drevo namáhané tlakom je o 40 až 300 % vyššia ako na okraji balu. Nakoľko pevnosť dreva pri namáhaní tlakom je nižšia ako pri ohybe a ťahu, zodpovedajú tieto vzdialenosti mechanickým vlastnostiam dreva.

Na mechanike vývrátov sa podieľajú tri druhy namáhání (VICENA *et al.* 1979). Ide o namáhanie v šmyku, ohybe a ťahu. Pre vývraty je rozhodujúca pevnosť koreňov v ohybe a ťahu. Z nich relatívne menšiu pevnosť majú korene v ohybe a na stabilite stromu sa podľa uvedených autorov podieľajú najviac (57 %).

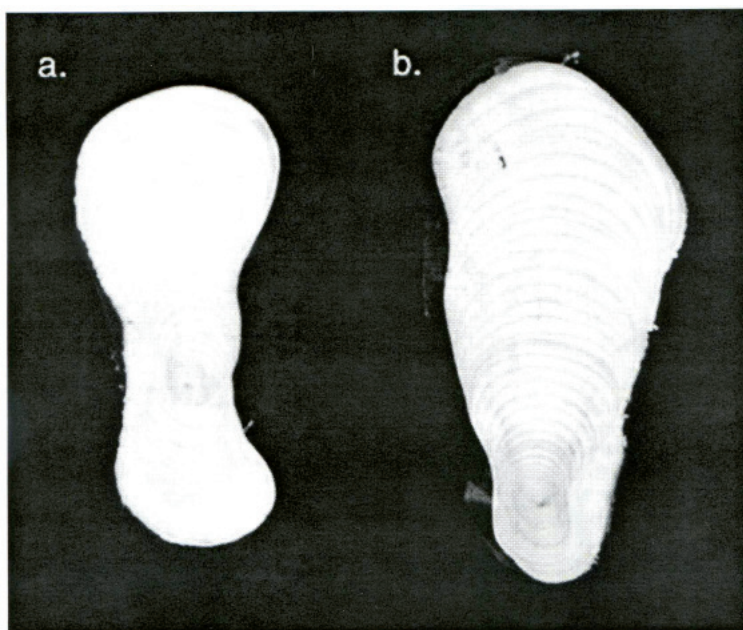
SEREDA (1995) uvádza, že pri totálnom vývrte je rozhodujúcim činiteľom stav pôdy v koreňovom bale a jeho okolí, pretože pri niektorých zeminách s výrazne prevládajúcou príľnavou zložkou šmykovej pevnosti má zmena aktuálnej vlhkosti za následok takmer jej lavínový pokles, ktorý zapríčini malú odolnosť proti vytiahnutiu koreňov z pôdy. Tento nepriaznivý stav býva ďalej umocňovaný opakovanými pohybmi koreňového balu smreka pri nárazoch vetra kedy dochádza k tzv. pumpovaniu, počas ktorého voda v nasýtenej zemine odplavuje čiastočky pôdy prilepené na povrchu koreňov a tie postupne uvoľňuje. Pri tomto mechanizme poruchy sa neuplatní pevnosť koreňov v ťahu, pretože poklesom príľnavosti sú zo zeminy vytiahnuté, pričom silné korene prvého a druhého rádu na záveternej strane sa zlomia.

Stav pôdy je aj príčinou totálneho vývratu, t. j. vylúpnutie balu vcelku bez toho aby došlo k rozsiahlemu vytiahnutiu či pretrhnutiu tenkých koreňov a k zlomeniu silných koreňov. K poruche môže dôjsť v zime, kedy je horná vrstva pôdy premrznutá a o to pevnejšie zvierajú korene, zatiaľ čo hlbšie nepremrznuté vlhké zóny majú nízku pevnosť v šmyku. Podobný vývrat môže nastať aj v suchom letnom období, kedy vlhšie, šmykovo menej odolné vrstvy sú pod koreňových balom v ktorom k vysušeniu okrem výparu prispieva nasávanie koreňov. Náporom priečne vanúceho vetra vznikne na spodnej zakrivenej ploche balu tangenciálne napätie, ktoré je väčšie než pevnosť zeminy na rozhraní bal – pôdne prostredie a dôjde k vylúpnutiu balu vcelku bez výrazných porúch na koreňovom systéme (SEREDA 1995).

## Adaptácia koreňov voči namáhaniu stromu vetrom

GEBAUER a MARTINKOVÁ (2005) zistili, že spočiatku predlžujúce sa korene smreka obyčajného prechádzajú neskôr pod vplyvom námahy na korene kotviace. Najvýznamnejšia je ich funkcia mechanická – nosná a upevňujúca. Namáhané sú v dôsledku ohýbania stromu vetrom: na vrchnej strane koreňov na náveternej strane kmeňa sú namáhané v ťahu, na spodnej strane mierne v tlaku. Na strane záveternej je tomu naopak. Autori ďalej uvádzajú, že tieto korene skoro strácajú kruhovitý prierez, pretože na vrchnej strane prirastajú ťahovými, širšími letokruhmi a na spodnej strane vytvárajú tlakové drevo s užšími letokruhmi, červenšie sfarbené, s nižším obsahom lignínu. Ide o korene najstaršie, najbližšie k báze kmeňa, najskôr napadnuté potenciálnymi hubovými infekciami. Obdobne COUTTS *et al.* (1999) uvádzajú, že s ohľadom na pohyb vetra, stromy s plytkými štruktúrnymi koreňmi zvyčajne vytvárajú na priereze týchto koreňov tvar vzhľadovo podobný „I-nosníku“, alebo „T-nosníku“. Tieto tvary využívajú minimum materiálu na maximálnu odolnosť voči ohnutiu, alebo natiahnutiu v pôde a ďalej zvyšujú tuhosť koreňového koláča. Rast v tvare T-nosníka bol väčší na záveternej strane študovaných smrekov sitkanských. Tento adaptívny rast zosilňuje ukotvenie pretože T-nosník je obzvlášť vhodne navrhnutý voči odolávaniu tlakovej sily spôsobenej veterným prúdením. Korene mali častejšie tvar I-nosníka na náveternej strane stromu, nakoľko tento tvar účinne odoláva vertikálnemu ohýbaniu (obr. 4).

NICOLL a RAY (1996) uvádzajú, že plytký koreňový systém musí odolávať obidvom ohýbaniam zhora i zdola. Tvar I-nosníka predstavuje optimálne zvýšenie slabosti plytkého pôdneho prostredia. Korene, ktoré mali tvar prierezu I-nosníka sa menej často vyskytovali pri hlbšie zakorenených stromoch, kde bolo silné ukotvenie poskytnuté koreňmi, ktoré sa nachádzali v hlbšej pôde. Autori ďalej uvádzajú, že vo vzdialenosti väčšej ako 0,75 m od stredu kmeňa bol zistený tvar I-nosníka štruktúrnych koreňov najmä na náveternej strane plytko koreniacich stromov.



**Obrázok 4.** Priečne rezy štruktúrálnych koreňov s a. „tvar I-nosníka“ a b. „tvar T-nosníka“. Tvar na obrázku a. je dobrý príklad tvaru koreňov smreka sitkanského na náveternej strane stromu, tvar na obrázku b. je viac typický na zäveternej strane (COUTTS *et al.* 1999)

## Podakovanie

Práca vznikla vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR a SAV – VEGA v rámci riešenia projektu VEGA 1/4397/07 „Disturbančné procesy pôsobiace na ekologickú stabilitu lesných ekosystémov a krajiny“.

## Použitá literatúra

- COUTTS M.P., 1986: Components of tree stability in Sitka spruce on peaty gley soil. *Forestry*, 59: 173–197.
- , NIELSEN C.C.N., NICOLL B.C., 1999: The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. *Plant and Soil*, 217: 1–15.
- GEBAUER R., MARTINKOVÁ M., 2005: Structure and functions of the types of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) roots. *Journal of Forest Science*, 51(7): 305–311.
- KONÓPKA J., 1978: Optimálna a krajná hranica rastových vlastností stromov smreka z hľadiska odolnosti lesných porastov proti vetru v oblasti Nízkyh Tatier. In HEŠKOVÁ A. a kol. (ed.): Požnatky z ochrany lesov. Vedecké práce VÚLH 26. Bratislava, Príroda, s. 13–41.
- KÖSTLER J.N., BRÜCKNER E., BIEBELRIETER H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Berlin, München, Hamburg, Paul-Parey, 282 s.
- MATTHECK C., BETHGE K., KAPPEL R., MÜLLER P., TESARI I., 2003: Failure modes for trees and related criteria. In RUCK B., KOTTMEIER C., MATTHECK C., QUINE C., WILHELM G. (ed.): Wind Effects on Trees. Karlsruhe, University of Karlsruhe, s. 219–230.
- MICHALÍK P. *et al.*, 2000: Ochrana lesov a prírody. Bratislava, Príroda, 366 s.
- NICOLL B.C., RAY D., 1996: Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*, 16: 891–898.

- SEREDA O., 1983: Vliv změn mechanických charakteristik dřeva nadzemní a podzemní částí stromu na stabilitu porostu. *Lesnictví*, **29**(2): 111–128.
- , 1995: Podíl odumřelé kořenové složky na odolnosti smrku proti vývrátům. *Lesnictví – Forestry*, **41**(2): 49–59.
- SMIT A.L., BENGOUGH A.G., ENGELS C., NOORDWIJK M., PELLERIN S., GEIJN S.C., 2000: Root methods – a handbook. Berlin, Springer-Verlag Heidelberg, 587 s.
- STOLINA M., KODRÍK J., NOVOTNÝ J., KONÓPKA J., HLAVÁČ P., 2001: Ochrana lesa. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 255 s.
- VICENA I., 1978: Vývraty. *Lesnictví*, **24**(12): 1 083–1 090.
- VICENA I., PAŘEZ J., KONÓPKA J., 1979: Ochrana lesa proti polomům. Praha, SZN, 244 s.

Ing. Peter ŠTOFKO, PhD.

Slovenská organizácia pre výskumné a vývojové aktivity  
Pribinova 25  
SK – 811 09 Bratislava  
e-mail: stofko@sovva.sk