

VLIV VZÁJEMNÉHO PŮSOBENÍ KOŘENŮ A ZEMINY NA STABILITU SVAHU

M. Tvrzníková

Došlo: 23. prosince 2009

Abstract

TVRZNÍKOVÁ, M.: *Influence of participation of root system and earth on slope stability*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 2, pp. 229–234

Plan for stabilization of endangered slopes of reservoirs often receives little attention during project stage of preparation of water structures. Many of the potentially endangered slopes can be preventively stabilized with the use of vegetational or biotechnological stabilizations.

The article deals with the problem of determining value of root cohesion as one of the important factors in participation of root systems of woody plants in earthfill bodies. It is an analysis of impact of various factors which influence the functionality of the root system within the process of improving the slope stability.

Mainly foreign authors dealing with theoretical as well as practical determination of root strength values are introduced in the article.

root strength, root cohesion, density of roots, reinforcement, slope stability, cohesion, tensile strength

Vliv vegetace na stabilitu svahu

Vliv kořenů se projeví, pokud je rostlina sama o sobě vitální, rozhodujícím mechanismem při porušení je vytržení kořene ze zeminy. Schopnost vegetace odolávat erozi je omezená, závisí na typu, stavu, hustotě vegetace, ale také na erodibilitě půdy a sklonu svahu. Kořenový systém svazuje celé souvrství půdy, činí ji tak odolnější proti mechanickým náporům přicházejícím z různých stran ve formě tlaku, tahu či smyku. Vývoj kořenového systému závisí na prostředí, konkrétně na poměrech půdních, dále na druhových vlastnostech jednotlivých rostlin, na rázu společenstva, tj. *cenologických* vztazích druhů mezi sebou. Z půdních vzdušných vlastností se uplatňuje zejména vzdušná kapacita. V půdách mokřích a špatně provětrávaných kořeny zakrývají směrem do hloubky a jsou vyvinuty spíše ve svrchních nejvzdušnějších vrstvách.

V oblastech vodních nádrží je hlavním morfogenním činitelem kořenů voda, přesněji množství kyslíku v půdě. Hloubka, do níž pronikají hlavní kořenové kotevní větve, je dána ve většině případů tvarem infiltrační křivky. Do hlubších vrstev půdy

nasyčených trvale vodou pronikají jen drobné kořeny asimilační (Vaníček, 1959).

Není to však jediný pozitivní vliv vegetace. Existují i další, které ovlivňují chování zemní konstrukce:

- vlhkost zeminy – *evapotranspirací* a zadržením vody listovým se snižuje nárůst pozitivních pórových tlaků,
- přitížení – tíha vegetace může (při patě svahu) zvýšit stabilitu díky zvýšenému normálovému napětí na smykové ploše.

Vegetace však může mít i negativní účinky. Je jím například vlastní tíha vegetace (ta má v oblasti paty svahu pozitivní účinek), ale protože vegetace se může nacházet po celé ploše svahu, dosahuje v horních partiích svahu opačného efektu. Vzrostlá vegetace (stromy) působí jako bariéra proti větru, přes kterou se přenášejí dynamické síly do svahu. Obdobný pohled může být na změnu vlhkosti, respektive pórových tlaků. Kořeny odebírají vlhkost z podloží, a tím může docházet k vysychání a vytváření trhlin.

Studiem stabilizace svahů výztuhou kořenů se zabývalo více autorů, například: Bishop a Stevens, Gray

a Megahan, Kuruppuarachchi a Wyrhol. Zrychlené sesuvy svahů včetně vegetace na nich umístěné sledovali Degraff a Swanston. Endo a Tsuruta, Waldron a Dakesian, Waldron et al. zkoušeli laboratorní experimenty na kořenech. Stabilitu svahů včetně analýzy dat přímo v *in situ* prováděli Swanston, Burroughs a Thomas, Ziemer a Swanston, Wu et al., Riestenberg, Sovonick a Dunford, Reneau a Dietrich, Terwilliger a Waldron, Riestenberg. Analytické modelové analýzy zpracovával Wu, Sidle, Krogstad aj.

Pevnost kořenů

Tahová pevnost kořenů byla studována více autorů, například Greenwayem, Schiechtlem a z jejich závěrů vyplývá, že výsledná pevnost kořene se odvozuje z několika faktorů:

- průměru kořene,
- odumírání kořenů,
- sezonního efektu,
- rostou-li ze svahu nebo do svahu (Schiechtel, 1996).

Pro řešení stability svahu se zohledněním kořenů můžeme například použít model diskretní nebo model ekvivalentní zlepšené vrstvy.

Terzaghi předpokládal, že primární vliv od vyztuženého kořene může být vyjádřen jako podmínka koheze v Coulombově kritériu porušení, kde složené smykové napětí „spojení“ *půda-kořen* je vyjádřeno následovně:

$$S_{sr} = c_{ef} + c_r + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi_{ef} \quad (1)$$

kde:

- c_{ef} ... efektivní koheze zeminy [kPa],
- c_r ... kořenová koheze [kPa],
- σ ... normálové napětí vyjádřené na jednotku hmotnosti půdy [kPa],
- u ... pórový tlak vody [kPa],
- φ_{ef} ... efektivní úhel vnitřního tření zeminy [°].

Waldron a Wu stanovili pro tahové napětí odpovídající porušení kořenového vlasce jako poměr tahové síly a průřezové plochy kořene (Úradníček a Šlezinger, 2007).

$$T_{ri} = g \frac{TF_r}{A_{ri}} \quad (2)$$

kde:

- g ... gravitační zrychlení [m^2/s],
- A_{ri} ... průřezová plocha kořene [m^2],
- TF_r tahová síla při porušení kořenového vlasce [kN],
- T_{ri} ... tahové napětí kořenového vlákna [kPa].

Totální tahové napětí kořenových vláken vyjádřených na jednotku plochy je vyjádřeno jako:

$$t_r = \sum_{i=1}^n T_{ri} \left(\frac{A_{ri}}{A_s} \right) \quad (3)$$

A_{ri}/A_s je poměr kořenové plochy příčného řezu kořene k příčnému řezu plochy půdy (A_s). Poměr

totální plochy příčného řezu všech kořenů k příčnému řezu plochy zeminy je vyjádřen jako A_r/A_s .

Mobilizovaný tahový odpor kořenových vláken může být rozkládán do tangenciálních komponentů vyjádřených ($t_r \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_{ef}$) a normálových komponentů ($t_r \sin \alpha$). Koheze kořenů (vyjádření napětí kořenových vláken na jednotku plochy zeminy) je stanovena následovně:

$$c_r = t_r (\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_{ef} + \sin \alpha), \quad (4)$$

kde:

- t_r ... totální tahové napětí kořenového vlákna [kPa],
- φ_{ef} ... efektivní úhel vnitřního tření zeminy [°].

Výsledky Waldrona a Wu potvrdily, že α se nejvíce mění v intervalu mezi úhlem 45° až 70° . Grayovy experimenty potvrdily, že největší vyztužení nastane, když jsou vlákna orientována v úhlu $\alpha = 60^\circ$ s respektováním deformační zóny (Schmidt a Roering, 2001).

Rovnice (4) byla modifikována k účelu určení totální kořenové koheze vyplývající ze zkoumaných dřevin.

$$c_r = 1,2 \sum_{i=1}^n T_{ri} \left(\frac{A_{ri}}{A_s} \right), \quad (5)$$

kde:

- T_{ri} ... tahové napětí kořenového vlákna [kPa],
- A_{ri} ... průřezová plocha kořene [m^2],
- A_s ... plocha průřezu [m^2].

Vyšší hodnoty c_r odpovídají vysoce napnutým vláknům kořenů, většímu průměru kořenů a jejich zvýšené hustotě.

Z laboratorních zkoušek Waldrona a Dakessiana vyplynulo, že případy selhání usmyknutím nebo zlomem kořenového vlákna jsou limitovány podmínkou vyztužení v jemnozrnných zemínách (Schmidt a Roering, 2001). Síla F_p potřebná k přetržení spojení vazby *kořen-zemina* může být aproximována následujícím způsobem:

$$F_p = \pi \cdot d \cdot \mu \cdot L_{pk} \quad (6)$$

kde:

- d ... průměr kořene [m],
- μ ... koeficient vazby svazku kořenů a půdy [-],
- L_{pk} ... podélná délka kořene [m].

Koheze kořenů je stanovována výpočtem poměru plochy kořenů (A_r/A_s) a napětí kořenových vláken (T_r) pro různé druhy vegetace.

Zahraniční odborné publikace (zejména lesnické) se podrobně věnují předmětné tématice. V tabulárních přehledech jsou uvedeny rostliny seřazené od bylin až po dřeviny podle krajů (států), stáří a jiných kritérií a jsou k nim přiřazeny jednotlivé morfologické charakteristiky, které obsahují například údaje o velikosti zájmové oblasti, úhlu sklonu svahu, číslu kořene, podélné kořenové kohezi, tahové síle, střední hloubce kořenů, stáří apod.

Pro průměr a pevnost kořene byla na základě mnoha měření odvozena logaritmická závislost, kterou lze popsat rovnicí:

$$T_r = nD^m. \quad (7)$$

Hodnoty n a m se pohybují v intervalu pro $n = 29 \div 87$ a $m =$ od $-0,76$ do $-0,45$, respektive jsou závislé na průměru a pevnosti kořene v tahu (pozn.: pevnost kořenu se pohybuje přibližně od 8 do 80 MPa pro průměry kořene od 2 do 15 mm). S časem tedy pevnost kořene narůstá a zvyšuje se i k poklesu pevnosti, který nastane při vykácení stromového porostu. Vykácením se snižuje tahová pevnost kořenů v důsledku jejich odumírání a zmenšuje se i jejich objem v zemině. Vlivem odumírání dojde ke snížení pevnosti kořenů, což lze vyjádřit vztahem:

$$T_{rt} = T_{r0} e^{-bt}, \quad (8)$$

kde:

eEulerovo číslo, matematická konstanta ($e \sim 2,71828\ 18284\ 59045$),

bpravděpodobnost odumírání [-],

tstáří pařezu [měsíce].

Na zavedení kořene do stabilitní analýzy lze přistupovat obdobně jako u svahu vyztuženého geosyntetikem (zpevněná výztuha o vysoké tahové pevnosti, která je schopna zemině dodat chybějící pevnost v tahu). Kořen zde působí jako tahový prvek (kotva), který protíná smykovou plochu a působí jako pasivní složka. Příklad výpočtu pomocí diskretního modelu je možno nalézt v příspěvku (Miča, 2005).

Funkce popisující tahové napětí snižující se v čase (v závislosti na stáří kořenů živých i rozkládajících se) byla definována *Burrougsem* a *Thomasem*. Její tvar je následující (Schmidt a Roering, 2001):

$$TF_r = 1,04(2,5d_{wb})^{1,8-0,06\sqrt{t}}, \quad (9)$$

kde:

d_{wb}průměr kořenového vlákna [mm],

tčas [měsíc].

Burroughs a *Thomas* stanovovali napětí na kořenech průměru od 14,3 mm a výše za pomoci hydraulického tlakového zařízení připevněného kotvou na konci kořene.

Model ekvivalentní zlepšené vrstvy

Druhý přístup je modelování vlivu kořenů náhradní vrstvou se zlepšenými smykovými parametry. Zlepšení vychází „z dodání“ přídavné soudržnosti Δc_{kor} , které zemině dodávají kořeny. Touto problematikou se velmi intenzivně zabývají v Japonsku *Endo*, *Tsuruta* a *Ohashi* a v 70. letech minulého století definovali autoři *Waldron* a *Wu* rovnici přídavné soudržnosti (Schmidt a Roering, 2001):

$$\Delta c_{kor} = \bar{T}_r(\sin\theta + \cos\theta \tan\varphi_{ef}), \text{ kde } \bar{T}_r = \sum_{i=1}^n T_{ri} \left(\frac{A_{ri}}{A_s} \right) \quad (10)$$

kde:

T_{ri}tahové napětí kořenového vlákna [kPa],

A_{ri}průřezová plocha kořene [m²],

A_splocha průřezu [m²].

Abychom však mohli definovat přírůstek soudržnosti, museli bychom znát velikost celkové tahové pevnosti na jednotku smykové plochy. Tuto problematiku podrobně rozebírá kolektiv autorů *Schmidt a Roering* (2001). Jiný přístup lze nalézt u autorů *Ziemer a O'Loughlin* (1982), kteří uvádějí přímé měření smykové pevnosti bez kořenů a s kořeny. K tomu slouží smykové krabicové přístroje, které svou konstrukcí odpovídají smykovým krabicovým přístrojům používaným v laboratořích mechaniky zemin. Jediný markantní rozdíl je zde ve velikosti krabice, kdy v laboratorních podmínkách se nejčastěji používají krabice o plošných rozměrech 100 × 100 mm. Pro zeminu s většími kořeny je již nutno použít rozměry větší, tj. 300 × 300 a 500 × 500 mm. Velikost krabice musí být úměrná velikosti kořenů, aby zkouška byla reprezentativní. Druhou možností, ale mnohem náročnější, je provedení smykové zkoušky přímo v terénu. Dle těchto zkoušek se pohybuje Δc_{kor} v rozmezí od 1,0 do 17,5 kPa.

Známe-li velikost přídavné soudržnosti, můžeme ji zavést do výpočtu. Vyjdeme-li z nejčastěji používané metody pro řešení stability svahu, tj. metody mezní rovnováhy, kdy při zavedení *Mohr-Coulombovy* podmínky plasticity (pevnosti) získáme modifikovanou rovnici smykové pevnosti:

$$\tau = (c_{ef} + \Delta c_{kor}) + \sigma_{ef} \tan\varphi_{ef} \quad (11)$$

kde:

c_{ef}efektivní soudržnost vlastní zeminy [kPa],

Δc_{kor}přídavná kořenová koheze [kPa],

σ_{ef}efektivní normálové napětí [kPa],

φ_{ef}efektivní úhel vnitřního tření zeminy [°].

Účinky kořenů dle rovnice (11) spočívají v parametru soudržnosti, ale ne již v úhlu vnitřního tření, který je určen třením mezi jednotlivými částicemi zeminy, i když zkoušky prokázaly změnu mezi úhlem vnitřního tření zeminy vyztužené kořeny a zeminy nevyztužené; jedná se o tak malý přírůstek, který je možné zanedbat. Tento malý nárůst lze přičíst spíše na vrub metodiky zkoušení. Stejným přístupem lze aplikovat přídavnou soudržnost i do metody konečných prvků za využití *Mohr-Coulombovy* podmínky plasticity. Druhou otázkou při tomto postupu je „do jaké hloubky zohlednit tento přírůstek?“, tedy jaký je hloubkový dosah kořenů. V odborné literatuře se udává pro stromy hloubka, která má vliv na stabilitu svahu okolo 2,0 m, přičemž 80 až 90 % kořenů se nachází do hloubky přibližně 1,0 m. Existují samozřejmě výjimky a kořeny mohou dosahovat hlouběji (až 3,5 m i více); jedná se pouze o ojedinělé kořeny, tzv. křlové (hlavní).

Svoboda a Maršálek potvrzují, že prokořenění zeminy zvyšuje významně její kohezi, naopak úhel vnitřního tření zůstává přibližně na stejné hodnotě (Miča, 2005). Oba autoři se na základě svých pozorování

vání a výpočtů shodují, že při zanedbání zpevnění svahu vlivem prokořenění je vliv umístění porostu na globální stabilitu velmi malý. Vedle vlastního přitížení vegetací záleží rovněž na vlastní poloze smykové plochy, čím hlubší je smyková plocha, tím je vliv zatížení od porostu na stabilitu svahu menší.

Dílčí závěr – vzájemné spolupůsobení vegetace a zeminy

Měření prováděná Schmidtem byla aplikována v přirozených i uměle vysázených lesích na reprezentativních kořenech s ohledem na sklon, saturaci zeminy, stáří, původ rostliny a lokalitu. Jedním z výsledků výzkumu byla i hodnota laterální (podélné) kořenové koheze [kPa]. Ta byla vyhodnocována v celkem 41 lokalitách na kořenech s průměrem větším než 1 mm. Pro přirozené lesy s převahou listnatých dřevin se hodnoty kořenové koheze pohybují v rozmezí 25,6 až 94,3 kPa. U lesů uměle vysázených s převahou jehličnatých porostů hodnota kořenové koheze nabývá rozpětí 6,8 až 23,2 kPa. Pro odrostky a drobné rostliny byla hodnota kořenová koheze stanovena jednotně, tj. $c_r \leq 10$ kPa.

Gray a Sotir (1996) určují kohezi jako funkci hloubky, tzn. že se vzrůstající hloubkou se koncentrace kořenů snižuje. Na základě měření určili kořenovou kohezi na hodnoty pohybující se v intervalu 3,2 až 3,7 kPa/m³ vztažených na objem kořenů zeminy. Tato hodnota se uvádí pro písčitou zeminu s kořeny. Gray a Sotir uvažují kohezi jako funkci hloubky, tzn. že se vzrůstající hloubkou se koncentrace kořenů snižuje.

Buchanan a Savigny (1990) prováděli výzkum ve státě Washington. Měřili na vytypovaných stanovištích kořenovou kohezi trav, rákosin a dalších; podle jejich výsledků se kořenová koheze pozorovaných rostlin pohybuje v intervalu 1,6 až 2,1 kPa.

Řešitelský tým grantového projektu GA ČR 103/040/0731 vyšetřil v laboratoři mechaniky zemin Ústavu geotechniky VUT FAST v Brně fyzikálně indexové a mechanické vlastnosti zemin ve vybraných profilech abrazních srubů údolní nádrže Brno. Materiál zkoumaných vzorků byl tvořen spraší s bělavými body z CaCO₃ a písčítým štěrskem s ostrohranými úlomky hornin brněnského masivu.

Stanovené efektivní hodnoty za předpokladu dostatečné ulehlosti zkoumaných vzorků jsou uvedeny v tabulce č. I.

Hodnoty koheze kořenů jsou obvykle dopočítávány až zpětně, protože polní měření jsou jednak časově náročná a získat objektivní regionální pokrytí představuje velmi nesnadný úkol. Navíc je nutno počítat s problematickou verifikací hodnot z individuálních stanovišť (nesnadná extrapolace hodnot), neboť růstové podmínky rostlin jsou velmi variabilní. Dean a Ford (1983) jsou názoru, že je velmi obtížné určit variace mezi jednotlivými hodnotami koheze kořenů v různých měřících, protože vlastní morfologie kořenů a jejich distribuce je vyjádřena právě biologickým mechanismem a jeho přerušením přírodními faktory.

Autoři – jako například Rigg a Harrar, Ross, Bannan, Stout, Mc Minn, Kochenderfer, Smith, Böhm, Watson a Phillips patří k těm, jejichž dokumentované výsledky o distribuci a morfologii kořenů lze obecně aplikovat (Schmidt a Roering, 2001).

ZÁVĚR

Obecně lze konstatovat, že předmětná problematika a s tím spojená odborná literatura, která se týká kořenové koheze, je obtížně dohledatelná. Studie, zprávy a výzkumy zveřejněné na internetu jsou shrnuty do krátkých statí bez uvedení konkrétních hodnot výsledků. Pokud popisují konkrétní měření, jedná se vesměs o hodnoty pocházející z lesních lokalit, kde v kontextu s modelováním stability svahů jde o studie spojené s rizikovou analýzou plošných sesuvů.

Faktory ovlivňující velikost kořenové koheze jsou závislé na druhu vegetace, hustotě jednotlivých rostlin a průměru kořenů.

Informace obsažené v této práci představují souhrnnější teoretický podklad, který by následně mohl být využit při dalším studiu této tematiky například v podobě matematického a následně i numerického modelování. Faktory ovlivňující vlastní stabilitu břehu jsou matematicky obtížné vyjádřitelné, jsou-li vůbec charakterizovatelné, tzn. kombinace účinků vody na břeh v závislosti na jeho sklonu, geologickém a pedologickém složení, stavu vlastního vegetačního pokryvu ve vztahu k jeho habitusu včetně vnímání vlivu roční doby na jeho vegetační růst.

Předkládaný článek úzce souvisí s řešením projektu Grantové agentury ČR 103/04/0731 „Vliv spolupůsobení kořenových systémů dřevin a armovaných zemních konstrukcí na stabilitu břehů“.

I: Výsledky zkoušek prováděných v krabicovém smykovém přístroji v roce 2004

I: The results from the testing procedure made by direct-shear apparatus in the year 2004

Vzorek zeminy	Parametry smykové pevnosti	
	c_d [kPa]	f_d [°]
Bez kořenového systému	4	28,5
S kořenovým systémem	31 až 52	30,3 až 39,2

SOUHRN

Vliv vegetace umístěné na svahu má značný vliv na hodnotu stupně bezpečnosti, který je nutno v tomto případě chápat jako funkci hloubky „směru průsaku“ za účasti zpevnění kořeny. S přítomnými kořeny se významně zvýší hodnota stupně bezpečnosti. Je známo, že i malé množství kořenové koheze může podstatně zvýšit stupeň bezpečnosti blízko povrchu. Tento vliv je nejvyšší v mělkých hloubkách, kde je největší koncentrace kořenů a efekt zpevnění je proto značný.

Analýzy vlivu kořenového systému na zpevnění podloží nemají bohužel nám známou výmluvnost a rozpracovanost. Podstatnou úlohu pro zvýšení stability svahů má i transpirace kořenů, která je ovlivněna hladinou podzemní vody. Všechny tyto otázky nelze přesvědčivě řešit bez dlouhodobých sledování a porovnání.

pevnost kořene, kořenová koheze, hustota kořenů, výztuha, stabilita svahu, koheze, pevnost v tahu

SUMMARY

Vegetation situated on slopes strongly influences the degree of safety factor (FS) which in this case should be understood as a function of the depth of „direction of seepage“ with participation of reinforcement. When the roots are present, the value of safety factor increases significantly. It is well known that even a small amount of root cohesion can substantially increase the degree of safety near the surface. This influence is largest in shallow depths where there is biggest density of roots and the reinforcing effect is thus considerable.

Unfortunately, strength and stage of elaboration of analyses dealing with the influence of root system on the reinforcement of bottom layer are not known to us. A significant role for slope stability improvement is played by the root transpiration which is influenced by the groundwater level. All these questions cannot be solved in a convincing way without long-term monitoring and comparisons. When failure happens, in most cases there is an interplay of several factors in the same moment.

LITERATURA

- BÖHM, W., 1979: *Methods of studying root systems*, Springer-Verlag, New York.
- BUCHANAN, P., SAVIGNY, K. W., 1990: 27, 695–675. *Factors controlling debris avalanche initiation*. Canadian Geotechnical Journal.
- CONNER, W., 2000: *Biotechnical Installation and Plantings for Erosion Control Along the Atlantic Intracoastal Waterway*, příspěvek Clemson's Baruch Institute of Coastal Ecology and Forest Science, Myrtle Beach.
- COPPIN, N. J., RICHARDS, I. G., 1990: *Use of vegetation in civil engineering*, Butterworths, London.
- DEANS, J. D., FORD, E. D., 1983: *Modelling root structure and stability*, Plant and Soil, 71, 189–195.
- GRAY, H. D., SOTIR, B. R., 1996: *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization*, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-04978-6.
- MIČA, L., 2005: *Vliv vegetace na stabilitu svahu – příspěvek ve sborníku*, Konference stromy a jejich vliv na stavby, Sekurkon, Praha. 300–305.
- O'LOUGHLIN, C., ZIEMER, R. R., 1982: *The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests*, In: Proceedings of I.U.F.R.O., Oregon, USA. 70–78.
- SCHIECHTL, H. M., STERN R., 1996: *Water bioengineering techniques for watercourse bank and shoreline protection*. Blackwell science. b.m.
- SCHIELDS, F. D., GRAY, D. H., 1993: *Effects of woody vegetation on the structural integrity of sandy levees*, Water Resources Bulletin 28.
- SCHMIDT, K. M., ROERING, J. D., 2001: *The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide in the Oregon Coast Range*, NRC Research Press Web.
- ŠLEZINGR, M., 2005: *Biotechnická stabilizace břehových území*, Životné prostředí. 1, 42–43.
- TERWILLIGER, V. J., WALDRON, L. J., 1991: *Effects of root reinforcement on soil-slip pattern*.
- ÚRADNÍČEK, L., ŠLEZINGR, M., 2007: *Stabilizace břehů*, Akademické nakladatelství CERM, Brno, ISBN 978-80-7204-550-1.
- VANÍČEK, V., 1959: *Biologické úpravy vodních toků a říční eroze*, SNTL Praha, ISBN 31664.
- WATSON, A., PHILIPS, C., 1999: *Root strength, growing and rates of decay: Root reinforcement changes of three species and their contribution to slope stability*.

Adresa

Ing. Michaela Tvrzníková, Pöyry Environment, a. s., Botanická 56, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: michaela.tvrznikova@poyry.com

