

## ŽIVOTNOST A MNOŽSTVÍ KOŘENŮ SMRKU ZTEPILÉHO NA PLOCHÁCH MEZINÁRODNÍHO MONITORINGU ICP FORESTS V ČESKÉ REPUBLICE

### NORWAY SPRUCE ROOT VITALITY AND BIOMASS AT THE ICP FORESTS MONITORING PLOTS IN THE CZECH REPUBLIC

VÍT ŠRÁMEK - VĚRA FADRHOŇSOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

#### ABSTRACT

The biomass and vitality of fine roots was studied at twenty Norway spruce plots in the Czech Republic. At each plot roots were taken from twenty sampling points for two depth layers 0 – 10 cm and 10 – 20 cm. The vitality of forest stands (defoliation) and chemical properties of mineral soils were also used for the statistical evaluation. The mean fine root amount in the upper soil layer 0 – 10 cm varied from 78,6 to 455,7 kg.ha<sup>-1</sup>, in deeper mineral layer it was substantially lower. The root vitality was relatively high reaching more than 90% at half of studied plots. One of the plot with distinctively reduced root vitality (59%) was influenced by infestation of bark beetle. The root vitality exhibits only significant relation to the total nitrogen content in the deeper mineral soil layer (10 – 20 cm). The expected negative correlation with exchangeable aluminium was not found. The aluminium effect should be studied on the level of individual Al<sup>3+</sup> species content or on the base cations/Al ratio in the soil solution. The found negative relation of root biomass and Ca or Mg content in the mineral soil was influenced by values from two monitoring sites with very high base saturation. After exclusion of these values as outliers, the significant positive correlation of root biomass and exchangeable magnesium was stated. Defoliation at monitoring sites correlated negatively with the active pH(H<sub>2</sub>O) in the 0 - 10 cm of mineral soil and total N in the deeper layer 10 – 20 cm. The found negative correlation of defoliation and total root amount should be considered carefully, because non-complete set of factors influencing the forest stand vitality was taken for the evaluation.

**Klíčová slova:** kořeny, množství, životnost, smrk ztepilý, zdravotní stav, defoliace, půdní, vlastnosti

**Key words:** roots, biomass, vitality, Norway spruce, health status, defoliation, soil properties

#### ÚVOD

Hlavním faktorem, který v minulosti negativně ovlivňoval zdravotní stav lesních porostů v České republice, bylo znečištění ovzduší. Od konce 80. let dvacátého století míra imisní zátěže výrazně poklesla (HŮNOVÁ et al. 2004), přesto nedošlo k zásadnímu zlepšení zdravotního stavu lesů. V současné době vykazuje více než polovina porostů vyšší než čtvrtinovou ztrátu olistění (FABIÁNEK 2010). Jedním z hlavních faktorů, který nadále negativně ovlivňuje zdravotní stav lesů, jsou vlastnosti lesních půd (LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2004). Ty byly v uplynulých 150 letech výrazně ovlivňovány kyselými srážkami a došlo v nich ke znatelným změnám chemických vlastností, biologických procesů i jejich struktury. Změny půdních parametrů byly na jednotlivých lokalitách ovlivněny úrovní depozic, vlastnostmi sorpčního komplexu i druhovým složením a prostorovou strukturou lesních porostů (KLIMO et al. 2006). V řadě oblastí ČR byl doložen výrazný deficit bazických prvků v sorpčním komplexu lesních půd (LOCHMAN et al. 2006). Kromě nedostatečného obsahu živin může být vážnou příčinou chřadnutí rostlin zvýšená koncentrace fyto toxických forem hliníku v půdě (ALVAREZ et al. 2005).

Obecně se předpokládá, že hlavní toxickou formou je kation Al<sup>3+</sup> a jeho fyto toxicita je závislá na koncentraci v bezprostřední blízkosti kořenového systému. Podle některých autorů byl prokázán srovnatelný toxický vliv iontů [Al(OH)]<sup>2+</sup>, respektive [Al(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>, se kterými jsou ionty Al<sup>3+</sup> v půdním roztoku v rovnováze (HORÁK et al. 1995). Příspěvek iontů [AlSO<sub>4</sub>]<sup>+</sup> k fyto toxicitě je pravděpodobně zanedbatelný. BOUDOT et al. (1994b) a SPOSITO (1996) udávají, že toxicita

hliníku pro rostliny klesá v této řadě: polymerní Al<sup>13</sup> (ne však v podobě křemičitanů nebo fosforečnanů), monomerní Al<sup>3+</sup>, [Al(OH)]<sup>2+</sup>, [Al(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>, [Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup> a [AlSO<sub>4</sub>]<sup>+</sup>. Hliník vázaný v organických a fluoridových komplexech se pro rostliny neprojevuje toxicky (BOUDOT et al. 1994a).

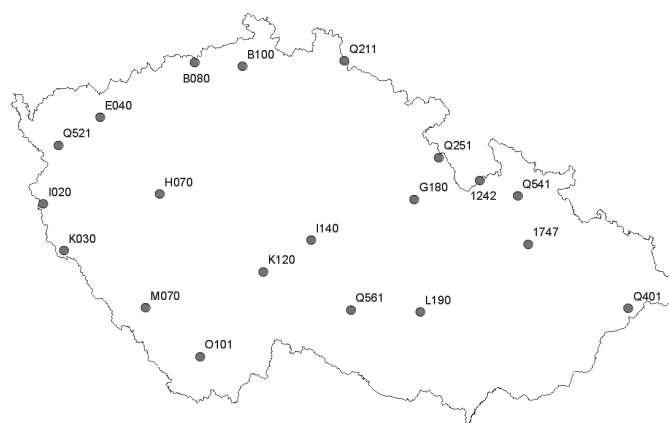
Toxicita hliníku při nízkém pH, její vliv na kořenový systém a na zdravotní stav dřevin, je dobře prokázána zejména pro sazenice či semenáčky dřevin, a to především pro smrk (např. SCHÖLL et al. 2004, SCHLEGEL, GOLDBOLD 1991). Méně přesné jsou interpretace ve středně starých (NYGAARD, DE WITT 2004) či dospělých porostech (VANGUELOVA et al. 2007) či v porostech buku (RICHTER et al. 2007). Situace je navíc komplikovaná tím, že standardní metody analýz půd používané v rámci půdních průzkumů a monitoringu (UNECE 2006a) neumožňují odlišit toxickou formu Al<sup>3+</sup> od ostatních forem a neposkytují tak informaci o riziku poškození kořenového systému. Pro hodnocení ohrožení porostů lze využít například molární poměr Al k vápníku v jemných kořenech (VANGUELOVA et al. 2007) nebo v půdním roztoku. Tyto typy analýz však nejsou při půdních průzkumech standardně prováděny, analýza půdního roztoku je navíc časově i finančně velmi náročná.

Ověření vlivu současných koncentrací hliníku na dospělé lesní porosty smrku ztepilého (*Picea abies*, /L./ KARST.) a buku lesního (*Fagus sylvatica*, L.) probíhá od roku 2009 na vybraných plochách mezinárodního monitoringu zdravotního stavu lesů v rámci projektu NAZV. Tato práce přináší úvodní výsledky získané v roce 2009 ve smrkových porostech.

## METODIKA

### Výběr monitoračních ploch

Plochy pro odběry kořenů byly vybrány ze sítě mezinárodního monitoringu zdravotního stavu lesů programů ICP Forests a LIFE+ (FutMon). Síť v České republice zahrnuje v současné době 412 ploch, na kterých je každoročně hodnocen zdravotní stav (defoliace) jednotlivých stromů, případně jsou hodnoceny další parametry. Pro samotný výběr byly upřednostněny plochy, na nichž je v druhové skladbě dominantní smrk ztepilý ve věku nad 50 let, půdní typ není ovlivněn vodou (kambizem, kryptopodzol, podzol) a jsou k dispozici podrobné údaje o chemismu půdy z mezinárodního projektu BIOSOIL, který probíhal v letech 2005 – 2008. Dále bylo přihlíženo k zastoupení různých stupňů defoliace a ke geografickému rozložení v rámci České republiky. Výsledný soubor 20 ploch je blíže charakterizován v tabulce 1, rozložení v rámci ČR je patrné z obrázku 1.



**Obr. 1.**  
Rozložení ploch s odběry kořenů v rámci ČR  
Distribution of plots with root samplings with CR

**Tab. 1.**

Charakteristika ploch s odběry kořenů  
Plot characteristic with root samplings

| Číslo plochy/<br>Plot no: | Název/<br>Plot Name | Nadm. výška [m]/<br>Altitude | Zastoupení SM [%]/<br>N. spruce representation | Věk/Age | Půdní typ/<br>Soil type |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|--|---------|-------------------------|
| 1                         | I020                | Kateřina                     | 89   | 101     | Kambizem                |
| 2                         | K030                | Babylon                      | 100  | 104     | Podzol                  |
| 3                         | Q521                | Lazy                         | 100  | 123     | Kryptopodzol            |
| 4                         | E040                | Kyselka                      | 98   | 91      | Hnědozem                |
| 5                         | H070                | Lhota pod Radčem             | 100  | 112     | Kambizem                |
| 6                         | M070                | Branišov                     | 100  | 102     | Kryptopodzol            |
| 7                         | B080                | Krupka                       | 95   | 98      | Kambizem                |
| 8                         | O101                | Český Krumlov                | 99   | 100     | Kryptopodzol            |
| 9                         | B100                | Valkeřice                    | 97   | 79      | Kambizem                |
| 10                        | K120                | Velmovice                    | 94   | 115     | Kambizem                |
| 11                        | Q211                | Jizerka                      | 100  | 62      | Podzol                  |
| 12                        | I140                | Želivka                      | 100  | 108     | Kambizem                |
| 13                        | Q561                | Nová Brtnice                 | 100  | 108     | Kambizem                |
| 14                        | G180                | Choceň                       | 88   | 87      | Kambizem                |
| 15                        | Q251                | Luisino údolí                | 100  | 97      | Podzol                  |
| 16                        | L190                | Braniškov                    | 73   | 99      | Kambizem                |
| 17                        | 1242                | Dolní Morava                 | 100  | 55      | Kryptopodzol            |
| 18                        | Q541                | Švýčárna                     | 98   | 119     | Podzol                  |
| 19                        | 1747                | Dalov                        | 99   | 57      | Kambizem                |
| 20                        | Q401                | Klepačka                     | 79   | 85      | Kambizem                |

### Hodnocení defoliace

Hodnocení defoliace pro rok 2009 bylo převzato z databáze projektů ICP Forests a LIFE+ (FutMon). Hodnocení probíhá každoročně zaškolenými pozorovateli, kteří postupují podle metodiky programu ICP Forests (UNECE, 2006b). Defoliace – ztráta olistění – je vizuálně hodnocena u jednotlivých stromů v 5% stupnici. V této práci je používána průměrná defoliace smrků na každé ploše. Systém hodnocení v rámci mezinárodního programu zahrnuje řadu mechanismů snižujících subjektivní chybu pozorovatele. Ty zahrnují např. každoroční mezinárodní i národní interkalibrační kurzy či hodnocení vybraného počtu ploch více nezávislými pozorovateli.

### Odběry a analýzy kořenů

Vzorky kořenů byly odebírány v období od 21. 9. do 4. 12. 2009. Podzimní termín byl zvolen vzhledem k nízké růstové aktivitě kořenových systémů s cílem snížit variabilitu mezi jednotlivými odběry způsobenou průběhem meteorologických podmínek. Na každé ploše bylo vybráno 5 vzorníkových stromů – středový strom a další čtyři stromy v pravoúhlých kvadrantech ve vzdálenosti 17,6 m. Od vzorníkových stromů byly odebírány vzorky kořenů z bodů ve vzdálenosti 1 m, 3 m, 5 m a 7 m od kmene. Na většině ploch byla zároveň zaznamenána vzdálenost odběrového místa k nejbližšímu stromu. Směr odběru od jednotlivých kmenů byl shodný – rovnoběžný se stranou plochy a po

svahu, případně k severu. Na každé ploše bylo takto zvoleno dvacet odběrových míst. Uvedený systém lze považovat za kombinaci systematického a náhodného výběru – zajišťuje pokrytí čtyř kvadrantů a středu plochy; přesné umístění odběrových míst a jejich vzdálenost od jednotlivých stromů je ovšem závislé na struktuře lesního porostu. Odběrová místa kořenů se tak zhruba shodovala s odběrovými místy půd, které byly rovněž vzorkovány ve středu plochy a ve čtyřech kvadrantech (viz níže). Kořeny byly odebírány kořenovým vrtákem Eijkjerkamp o průměru 8 cm z hloubek 0 – 10 cm a 10 – 20 cm. Hloubka odběrů byla měřena od výskytu kořenů – svrchní vrstva odebírané půdy tedy obvykle zahrnovala malou část nadložního organického horizontu Oh. Objem jednotlivých odebraných vzorků činil 502,4 cm<sup>3</sup>.

Vzorky byly v terénu označeny číslem plochy, označením odběrového místa a hloubky odběru. V polyetylenových sáčcích byly transportovány do laboratoře, kde byly do analýzy uchovávány při teplotě 8 °C. Analýza vzorků na životnost kořenů byla zahájena vždy nejpozději do tří dnů po jejich transportu, ve většině případů hned následující den. Z každého vzorku byl odebrán aliquot jemných kořenů pro stanovení jejich životnosti. Z nich byly připraveny směsné vzorky – na každé ploše vždy pro stejnou hloubku a odběr u jednoho zorníkového stromu. Pro každou plochu tak bylo provedeno stanovení životnosti kořenů u 10 vzorků. Stanovení životnosti kořenů probíhalo spektrofotometrickým stanovením extinkce vzorků kořenů obarvených trifenyl tetrazolium chloridem (STEPONKUS, LANPHEAR 1967) na analyzátoru Spekol 11.

V následujícím období byla ze všech půdních vzorků postupně vybrána hmota kořenů. Kořeny byly rozděleny na jemné kořeny s průměrem do 2 mm a ostatní kořeny. Kořeny větších průměrů (nad 1 cm) se ve vzorcích vyskytovaly jen výjimečně a do celkového množství nebyly zahrnuty. Kořeny byly propláchnuty deionizovanou vodou a byla zjištěna jejich suchá konstantní hmotnost při teplotě 60 °C. Ta byla pomocí definovaného objemu odebraného vzorku přepočítána na celkovou sušinu kořenů na ha v dané půdní vrstvě.

### Odběry a chemické analýzy půdních vzorků

Pro charakteristiku půdního prostředí byly převzaty výsledky analýz půd prováděných v rámci mezinárodního projektu BIOSOIL (ŠRÁMEK et al. 2008). V rámci projektu byly na 154 monitoračních plochách v ČR v letech 2006 – 2008 odebírány vzorky humusové vrstvy a minerální půdy z hloubek 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 80 cm. První dvě hloubky tak zhruba odpovídají vrstvám, ze kterých byly odebírány vzorky kořenů. Pro každou půdní vrstvu byly vytvořeny směsné vzorky z minimálně 5 subvzorků odebraných na systematicky rozmístěných odběrových místech v rámci jedné monitorační plochy. U vzorků byla zjišťována celá řada parametrů podle mezinárodní metodiky programu ICP Forests (UNECE 2006a). Pro účely této práce jsou hodnoceny aktivní pH(H<sub>2</sub>O) a výměnné pH(CaCl<sub>2</sub>), obsahy přístupného Ca, K, Mg a Al stanovené na ICP OES ve vyluhu chloridem barnatým a celkové obsahy N a S zjištěné elementární analýzou na CNS analyzátoru.

## VÝSLEDKY

### Množství a životnost kořenů

Množství sušiny jemných kořenů s průměrem do 2 mm se v jednotlivých vzorcích půdní vrstvy 0 – 10 cm pohybovalo od 39,3 do 1 364,8 kg ha<sup>-1</sup>, průměrné hodnoty za jednotlivé plochy byly v rozmezí od 78,6 do 455,7 kg ha<sup>-1</sup> (obr. 2). Obecně lze říci, že variabilita množství kořenů mezi jednotlivými vzorky na jedné ploše obvykle výrazně převyšuje rozdíly hodnot mezi jednotlivými plochami. Množství jemných kořenů v hlubší vrstvě do 20 cm bylo výrazně nižší – dvakrát až devětkrát – a v řadě vzorků nebyl výskyt jemných kořenů vůbec zjištěn. I zde je

patrná výrazná variabilita jednotlivých odběrových bodů. V případě obou půdních vrstev je na jednotlivých plochách rozdělení výrazně levostranné s jedním či několika vzorky s výrazně vyšším výskytem kořenů, než je průměrná hodnota.

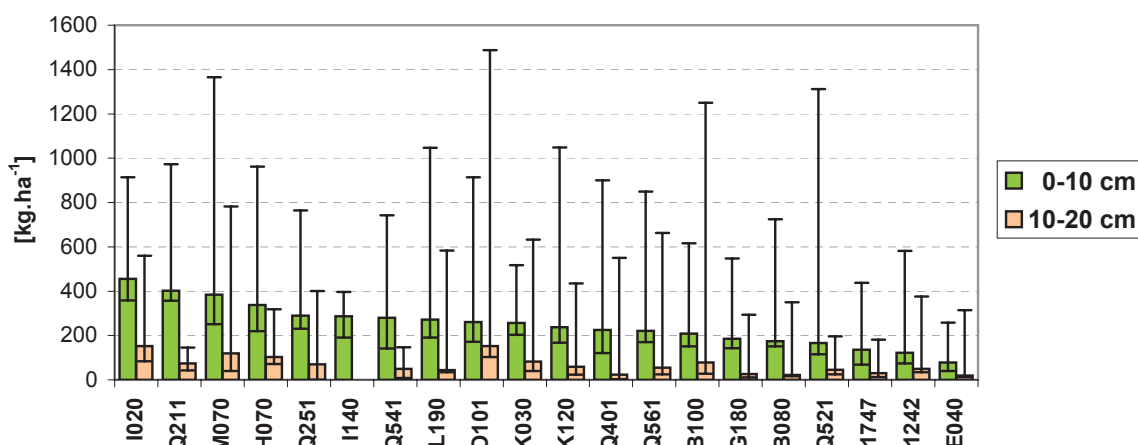
Celkové množství kořenů v jednotlivých odběrech je patrné z obrázku 3. Ve svrchních deseti centimetrech půdy bylo celkové množství kořenů do 1 cm obvykle zhruba dvojnásobné oproti jemným kořenům, přičemž tento podíl byl poměrně stálý – na šestnácti z celkem dvaceti hodnocených ploch se pohyboval v rozmezí 1,6 – 2,6. Celkové množství kořenů se na jednotlivých plochách pohybovalo od 162,3 do 781,0 kg ha<sup>-1</sup>. V půdní vrstvě 10 – 20 cm byl poměr kořenů do 1 cm vůči jemným kořenům obvykle vyšší a vyšší byla také variabilita mezi jednotlivými vzorky. Množství jemných kořenů na jednotlivých plochách bylo v rozmezí od 72,9 do 624,8 kg ha<sup>-1</sup>. I pro celkové množství kořenů platí vyšší výskyt v povrchové vrstvě půdy.

Životnost jemných kořenů na jednotlivých plochách byla poměrně vysoká, zhruba na polovině ploch přesahovala v průměru 90 % (obr. 4). V druhé polovině případů se pohybovala v rozmezí 80 – 90 %. Výjimkou byla pouze plocha I140 – Želivka, kde již v době odběru vzorků probíhalo rozsáhlé odumírání stromů po napadení kůrovcem. To se projevilo i na životnosti kořenů, jejíž průměrná hodnota dosáhla pouhých 59 %. V jednotlivých vzorcích zde byla zaznamenána i minimální hodnota životnosti, pouhých 10,3 %. Je zřejmé, že neexistuje přímá závislost mezi množstvím kořenů a jejich životností, nejvyšší korelační koeficient 0,3124 vykazuje vztah mezi množstvím jemných kořenů a jejich životností v půdní vrstvě 10 – 20 cm, ani zde se však nejedná o významnou závislost. Z tohoto důvodu byla pro další hodnocení stavu kořenů využita i další charakteristika – násobek celkového množství kořenů a jejich průměrné životnosti na jednotlivých plochách, která je v tabulkách označována jako C x Z.

### Defoliace porostů a půdní charakteristiky

Jak již bylo uvedeno v metodice, výsledky hodnocení defoliace z roku 2009 a půdních analýz byly převzaty z projektů monitoringu zdravotního stavu lesů. Výsledky analýz základních parametrů pro jednotlivé plochy jsou uvedeny v tabulce 2. Střední hodnota defoliace všech ploch je 32,4 %, což zhruba odpovídá průměrné defoliaci dospělého smrku ztepilého v České republice v roce 2009 (33,2 %). Nejnižší defoliace byla zjištěna na ploše 1242 Dolní Morava (12,8 %), což pravděpodobně souvisí s tím, že se na této ploše vyskytuje nejmladší ze studovaných smrkových porostů. Pouze další tři plochy vykazovaly defoliaci pod 30 %, ztráta olistění ostatních ploch se pohybovala v rozsahu 30,5 % – 40,1 %, nejvyšší byla na ploše O101 Český Krumlov.

Hodnocené vzorky půd byly ve většině případů silně kyselé s výměnným pH v rozsahu 3 – 4. Na třech lokalitách byla půdní vrstva 0 – 10 cm velmi silně kyselá s výměnným pH < 3, na třech lokalitách byla kyselost půdy v hloubce 10 – 20 cm pouze střední (pH(CaCl<sub>2</sub>) > 4). Na ploše E040 Kyselka byla půda středně kyselá v obou odebíraných vrstvách. Obsahy dusíku lze hodnotit převážně jako střední (0,06 – 0,2 %), pouze na ploše L190 Braniškov v hloubce 10 – 20 cm jako nízké. Osm ploch pak ve svrchní vrstvě půdy vykazuje dobrou (0,2 – 0,3 %), případně až bohatou (> 0,3 %) zásobu celkového dusíku. Jinak je tomu již se zásobou bazických živin. Saturaci sorpčního komplexu bázemi lze u deseti ploch označit jako kritickou (< 10 %) v obou sledovaných vrstvách půdy. I ve většině ostatních případů je v hloubce 10 – 20 cm kritická, ve svrchní vrstvě 0 – 10 cm se pak pohybuje na úrovni 10 – 20 %. Tomu odpovídá zcela převládající vážný nedostatek vápníku (obsahy pod 140 mg kg<sup>-1</sup>), hořčíku (obsahy pod 20 mg kg<sup>-1</sup>) i poměrně běžný výrazný nedostatek draslíku (obsahy pod 30 mg kg<sup>-1</sup>). Pouze dvě plochy jsou z hlediska obsahu bazických živin velmi dobře zásobené, a to plocha E040 Kyselka a plocha B100 Valkeřice. Středně dobré je zásobení těmito prvky na ploše L190 Braniškov.



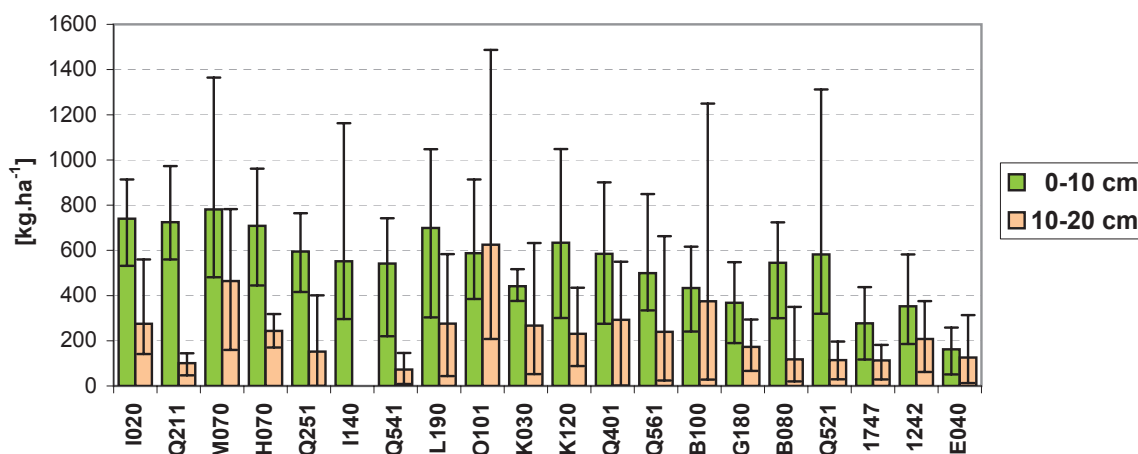
**Obr. 2.**

Množství jemných kořenů o průměru do 2 mm na jednotlivých plochách

Amount of fine roots of average up to 2 mm on particular plots

Chybové úsečky označují minimální a maximální množství kořenů v jednotlivých vzorcích

Segment errors denote minimal and maximal amount of roots in particular samples



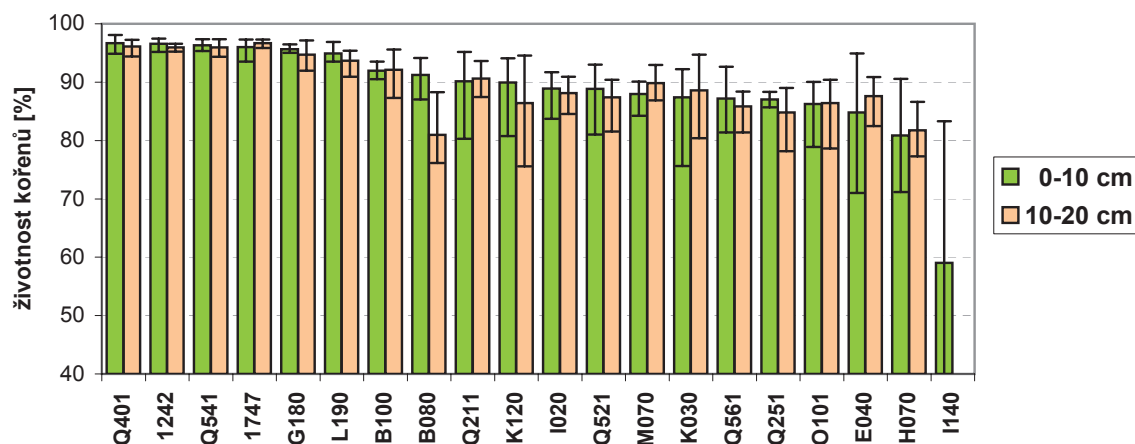
**Obr. 3.**

Celkové množství kořenů o průměru do 1 cm na jednotlivých plochách

Total amount of roots of average up to 1 cm on particular plots

Chybové úsečky označují minimální a maximální množství kořenů v jednotlivých vzorcích

Segment errors denote minimal and maximal amount of roots in particular samples



**Obr. 4.**

Životnost kořenů na jednotlivých plochách

Vitality of roots on particular plots

Chybové úsečky označují minimální a maximální životnost v jednotlivých vzorcích

Segment errors denote minimal and maximal amount of roots in particular samples

### Vztah kořenových charakteristik, zdravotního stavu porostů a půdních vlastností

Výsledky korelační analýzy srovnávaných parametrů jsou ve formě matice korelačních koeficientů uvedeny v tabulce 3 pro půdní vrstvu 0 – 10 cm a v tabulce 4 pro 10 – 20 cm. Významné korelační koeficienty, které jsou buď zřejmé (vzájemná závislost množství kořenů či vzájemná závislost aktivního a výměnného pH), nebo nejsou přímou náplní této práce (vzájemné závislosti půdních parametrů), nejsou barevně zvýrazněny. Z půdních vlastností snad stojí za zmínku pozitivní korelace obsahu přístupného hliníku a celkového dusíku, která se projevila v obou sledovaných půdních vrstvách a také to, že předpokládaná negativní závislost obsahu přístupného hliníku na pH se projevila pouze v hlubší půdní vrstvě 10 – 20 cm.

Grafy vybraných statisticky významných závislostí charakteristik kořenů a defoliace na dalších parametrech jsou uvedeny na obrázku 5. U množství kořenů ve svrchní vrstvě půdy je patrná negativní závislost na obsazích přístupného vápníku, u celkového množství kořenů také na obsahu přístupného hořčíku. Významnost této závislosti je ovšem výrazně ovlivněna odlehými body s výsledky půdních analýz z ploch

s vysokým obsahem vápníku a hořčíku E040 Kyselka a plochy B100 Valkeřice. V hloubce půdy 10 – 20 cm tato závislost nebyla potvrzena. Zde se projevuje signifikantní závislost životnosti kořenů na celkovém obsahu dusíku. Poněkud překvapivá je pozitivní závislost defoliace jako parametru poškození dřevin na množství kořenů v povrchové vrstvě půdy, která se pro celkové množství kořenů opakuje i v hloubce 10 – 20 cm. Další z korelačních koeficientů pak ukazuje na nepřímou závislost defoliace dřevin na celkovém obsahu dusíku v půdní vrstvě 10 – 20 cm.

### DISKUSE

Celkové množství kořenů na jednotlivých plochách bylo nižší než jsme očekávali. Např. BORKEN et al. (2007) uvádějí pro čtyři smrkové porosty v Bavorsku množství jemných kořenů ve svrchních vrstvách půdy cca od 300 do 1 800 kg.ha<sup>-1</sup>. Zde se pravděpodobně projevuje rozdíl v metodice odběrů – práce německých autorů se opírá pouze o odběry ve vzdálenosti 2 m od kmene, kde lze předpokládat vyšší míru prokořenění. Do jisté míry mohly výsledky ovlivnit i termín odběru vzorků

Tab. 2.

Průměrná defoliace a charakteristiky chemismu půd na jednotlivých plochách (aktivní a výměnné pH, celkový obsah dusíku, obsah přístupného hliníku, vápníku, draslíku, hořčíku a saturace sorpčního komplexu bazickými prvky  
Average defoliation and characteristics of soil chemistry on particular plots (active and exchangeable pH, total nitrogen content, content of available aluminum, potassium and saturation of absorption complex of basic elements

| Číslo plochy/<br>Plot no. | Název/Name       | Defoliace SM/<br>Spruce defoliation<br>[%] | vrstva/ layer | Půdní vlastnosti/Soil properties |                        |          |                              |                              |                             |                              |           |
|---------------------------|------------------|--|---------------|----------------------------------|------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------|
|                           |                  |  |               | pH(H <sub>2</sub> O)             | pH(CaCl <sub>2</sub> ) | N<br>[%] | Al<br>[mg.kg <sup>-1</sup> ] | Ca<br>[mg.kg <sup>-1</sup> ] | K<br>[mg.kg <sup>-1</sup> ] | Mg<br>[mg.kg <sup>-1</sup> ] | BS<br>[%] |
| I020                      | Kateřina         | 35,9                                       | 0 - 10 cm     | 4,11                             | 3,53                   | 0,15     | 419,9                        | 43,8                         | 33,5                        | 23,4                         | 8,9       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,56                             | 3,86                   | 0,10     | 301,6                        | 15,8                         | 26,0                        | 11,9                         | 6,5       |
| K030                      | Babylon          | 32,6                                       | 0 - 10 cm     | 3,51                             | 2,75                   | 0,37     | 561,7                        | 91,8                         | 61,0                        | 22,7                         | 9,8       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 3,67                             | 3,09                   | 0,17     | 762,3                        | 53,1                         | 47,4                        | 15,6                         | 5,4       |
| Q521                      | Lazy             | 35,5                                       | 0 - 10 cm     | 3,83                             | 2,94                   | 0,22     | 474,3                        | 70,0                         | 35,3                        | 19,1                         | 9,5       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,03                             | 3,25                   | 0,13     | 552,1                        | 22,7                         | 25,1                        | 8,6                          | 3,9       |
| E040                      | Kyselka          | 27,5                                       | 0 - 10 cm     | 4,68                             | 4,02                   | 0,18     | 605,5                        | 1269,6                       | 78,0                        | 390,3                        | 57,1      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 5,28                             | 4,51                   | 0,14     | 206,2                        | 2476,8                       | 83,0                        | 739,2                        | 86,7      |
| H070                      | Lhota pod Radčem | 34,4                                       | 0 - 10 cm     | 4,02                             | 3,49                   | 0,13     | 540,3                        | 83,3                         | 69,2                        | 11,4                         | 9,1       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,48                             | 3,98                   | 0,07     | 333,3                        | 20,1                         | 46,4                        | 4,1                          | 5,7       |
| M070                      | Branišov         | 39,9                                       | 0 - 10 cm     | 4,09                             | 3,45                   | 0,18     | 496,7                        | 88,8                         | 32,5                        | 31,1                         | 11,2      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,39                             | 3,77                   | 0,07     | 351,3                        | 25,4                         | 14,2                        | 11,3                         | 5,9       |
| B080                      | Krupka           | 28,2                                       | 0 - 10 cm     | 4,24                             | 3,57                   | 0,12     | 475,5                        | 42,3                         | 33,8                        | 15,0                         | 7,0       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,30                             | 3,76                   | 0,08     | 490,2                        | 30,6                         | 36,0                        | 10,6                         | 5,8       |
| O101                      | Český Krumlov    | 40,1                                       | 0 - 10 cm     | 3,95                             | 3,33                   | 0,16     | 491,4                        | 18,8                         | 31,5                        | 9,3                          | 4,3       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,31                             | 3,74                   | 0,11     | 388,1                        | 9,4                          | 20,2                        | 3,6                          | 3,0       |
| B100                      | Valkeřice        | 32,7                                       | 0 - 10 cm     | 4,37                             | 3,74                   | 0,30     | 817,5                        | 822,3                        | 69,3                        | 223,3                        | 39,6      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,97                             | 4,18                   | 0,14     | 415,2                        | 1653,4                       | 47,6                        | 367,2                        | 70,3      |
| K120                      | Velmovice        | 30,5                                       | 0 - 10 cm     | 4,31                             | 3,72                   | 0,16     | 556,9                        | 55,3                         | 25,1                        | 15,5                         | 6,7       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,51                             | 4,03                   | 0,07     | 321,8                        | 26,6                         | 23,7                        | 8,3                          | 6,3       |
| Q211                      | Jizerka          | 25,2                                       | 0 - 10 cm     | 4,16                             | 3,31                   | 0,57     | 642,6                        | 102,8                        | 67,8                        | 54,2                         | 12,9      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,27                             | 3,40                   | 0,29     | 507,6                        | 34,6                         | 29,1                        | 17,2                         | 6,4       |
| I140                      | Želivka          | 34,9                                       | 0 - 10 cm     | 4,02                             | 3,44                   | 0,18     | 583,7                        | 149,9                        | 57,5                        | 31,5                         | 14,1      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,28                             | 3,82                   | 0,07     | 409,4                        | 45,0                         | 32,3                        | 7,8                          | 7,0       |
| Q561                      | Nová Brtnice     | 34,7                                       | 0 - 10 cm     | 4,03                             | 3,08                   | 0,18     | 499,6                        | 122,7                        | 50,5                        | 29,1                         | 13,4      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,25                             | 3,26                   | 0,08     | 387,0                        | 46,3                         | 32,9                        | 16,5                         | 8,6       |
| G180                      | Choceň           | 32,4                                       | 0 - 10 cm     | 3,71                             | 2,98                   | 0,11     | 238,1                        | 94,1                         | 36,0                        | 16,1                         | 16,6      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 3,79                             | 3,22                   | 0,06     | 250,9                        | 35,6                         | 26,3                        | 7,2                          | 8,4       |
| Q251                      | Luisino údolí    | 31,1                                       | 0 - 10 cm     | 4,06                             | 3,11                   | 0,37     | 658,5                        | 186,8                        | 55,0                        | 60,5                         | 16,7      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 3,98                             | 3,24                   | 0,10     | 538,9                        | 74,4                         | 23,2                        | 17,4                         | 8,7       |
| L190                      | Branišov         | 37,6                                       | 0 - 10 cm     | 4,15                             | 3,46                   | 0,08     | 506,4                        | 290,2                        | 32,5                        | 23,2                         | 21,8      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,15                             | 3,53                   | 0,05     | 475,3                        | 148,8                        | 26,3                        | 13,9                         | 14,5      |
| 1242                      | Dolní Morava     | 12,8                                       | 0 - 10 cm     | 4,17                             | 3,63                   | 0,32     | 803,4                        | 15,3                         | 35,3                        | 15,2                         | 3,1       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,32                             | 3,82                   | 0,32     | 615,9                        | 8,3                          | 26,1                        | 10,8                         | 2,8       |
| Q541                      | Švýčárna         | 36,3                                       | 0 - 10 cm     | 3,82                             | 2,96                   | 0,43     | 504,2                        | 37,2                         | 28,8                        | 18,4                         | 6,2       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,06                             | 3,16                   | 0,19     | 550,2                        | 22,7                         | 11,7                        | 11,6                         | 3,5       |
| 1747                      | Dalov            | 26,8                                       | 0 - 10 cm     | 4,21                             | 3,66                   | 0,23     | 482,4                        | 96,0                         | 38,4                        | 15,5                         | 10,8      |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,46                             | 3,87                   | 0,18     | 352,5                        | 85,8                         | 27,0                        | 11,5                         | 12,3      |
| Q401                      | Klepačka         | 39,3                                       | 0 - 10 cm     | 3,71                             | 3,07                   | 0,36     | 895,4                        | 51,3                         | 62,9                        | 19,1                         | 5,0       |
|                           |                  |  | 10 - 20 cm    | 4,04                             | 3,45                   | 0,18     | 832,6                        | 37,2                         | 33,6                        | 9,7                          | 3,6       |

Tab. 3.

 Matice korelačních koeficientů hodnocených parametrů pro půdní vrstvu 0 – 10 cm  
 Matrix of correlation coefficients of evaluated parameters for soil layer 0 – 10 cm

|                                  |  | Kořeny/Roots |                |                | Chemismus půd/Soil chemistry |                        |        |                |                 |               |                 |                | Defoliace/<br>Defoliation |
|----------------------------------|--|--------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------|--------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|---------------------------|
|                                  |  | < 2 mm       | celkové        | C x Z          | pH(H <sub>2</sub> O)         | pH(CaCl <sub>2</sub> ) | N      | Al             | Ca              | K             | Mg              | BS             |                           |
| Kořeny/<br>Roots                 | životnost/vitality                     | -0,230       | -0,136         | 0,029          | -0,065                       | -0,102                 | 0,207  | 0,048          | -0,092          | -0,337        | -0,090          | -0,112         | -0,196                    |
|                                  | množství < 2 mm                        |              | <b>0,848**</b> | <b>0,965**</b> | -0,214                       | -0,190                 | 0,155  | -0,140         | <b>-0,384*</b>  | -0,036        | -0,363          | -0,328         | <b>0,430*</b>             |
|                                  | množství celkové/total amount<br>C x Z |              |                | <b>0,833**</b> | -0,218                       | -0,206                 | -0,006 | -0,086         | <b>-0,517**</b> | -0,239        | <b>-0,526**</b> | <b>-0,483*</b> | <b>0,498*</b>             |
| Chemismus půd/<br>Soil chemistry | pH(H <sub>2</sub> O)                   |              |                |                |                              | <b>0,920**</b>         | -0,215 | 0,186          | <b>0,643**</b>  | 0,158         | <b>0,647**</b>  | <b>0,607**</b> | <b>-0,393*</b>            |
|                                  | pH(CaCl <sub>2</sub> )                 |              |                |                |                              |                        | -0,341 | 0,203          | <b>0,534**</b>  | 0,103         | <b>0,527**</b>  | 0,474          | -0,371                    |
|                                  | N                                      |              |                |                |                              |                        |        | <b>0,532**</b> | -0,073          | 0,345         | 0,023           | -0,107         | -0,284                    |
|                                  | Al                                     |              |                |                |                              |                        |        |                | 0,256           | <b>0,505*</b> | 0,286           | 0,141          | -0,274                    |
|                                  | Ca                                     |              |                |                |                              |                        |        |                |                 | <b>0,578</b>  | <b>0,981**</b>  | <b>0,981**</b> | -0,110                    |
|                                  | K                                      |              |                |                |                              |                        |        |                |                 |               | <b>0,598**</b>  | <b>0,566**</b> | -0,097                    |
|                                  | Mg                                     |              |                |                |                              |                        |        |                |                 |               |                 | <b>0,948**</b> | -0,168                    |
|                                  | BS                                     |              |                |                |                              |                        |        |                |                 |               |                 |                | <b>0,948**</b>            |

Pozn: C x Z = celkové množství kořenů vynásobené životností

Note: C x Z = total amount of roots multiplied by vitality

Zvýrazněné koeficienty: \* významnost na hladině 95%; \*\* významnost na hladině 99%

Bold coefficients: \* significance on 95% level; \*\* significance on 99% level

Tab. 4.

 Matice korelačních koeficientů hodnocených parametrů pro půdní vrstvu 10 – 20 cm  
 Matrix of correlation coefficients of evaluated parameters for soil layer 10 – 20 cm

|                                  |  | Kořeny/Roots |                |                | Chemismus půd/Soil chemistry |                        |               |                 |                |                |                |                | Defoliace/<br>Defoliation |
|----------------------------------|--|--------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|
|                                  |  | < 2 mm       | celkové        | C x Z          | pH(H <sub>2</sub> O)         | pH(CaCl <sub>2</sub> ) | N             | Al              | Ca             | K              | Mg             | BS             |                           |
| Kořeny/<br>Roots                 | životnost/vitality                     | -0,312       | -0,089         | -0,254         | -0,151                       | -0,162                 | <b>0,493*</b> | 0,254           | -0,007         | -0,251         | -0,037         | 0,013          | -0,141                    |
|                                  | množství < 2 mm                        |              | <b>0,689**</b> | <b>0,998**</b> | 0,082                        | 0,101                  | -0,159        | -0,190          | -0,212         | -0,262         | -0,225         | -0,205         | 0,374                     |
|                                  | množství celkové/total amount<br>C x Z |              |                | <b>0,693**</b> | 0,100                        | 0,200                  | -0,290        | -0,067          | -0,032         | -0,149         | -0,073         | -0,021         | <b>0,489*</b>             |
| Chemismus půd/<br>Soil chemistry | pH(H <sub>2</sub> O)                   |              |                |                |                              | <b>0,926</b>           | -0,034        | <b>-0,582**</b> | <b>0,767**</b> | <b>0,558**</b> | <b>0,760**</b> | <b>0,771**</b> | -0,188                    |
|                                  | pH(CaCl <sub>2</sub> )                 |              |                |                |                              |                        | -0,092        | <b>-0,552**</b> | <b>0,644**</b> | <b>0,522*</b>  | <b>0,638**</b> | <b>0,644**</b> | -0,235                    |
|                                  | N                                      |              |                |                |                              |                        |               | <b>0,494*</b>   | 0,003          | -0,003         | 0,020          | -0,035         | <b>-0,635**</b>           |
|                                  | Al                                     |              |                |                |                              |                        |               |                 | -0,343         | -0,168         | -0,356         | -0,373         | -0,026                    |
|                                  | Ca                                     |              |                |                |                              |                        |               |                 |                | <b>0,804**</b> | <b>0,990**</b> | <b>0,992**</b> | -0,139                    |
|                                  | K                                      |              |                |                |                              |                        |               |                 |                |                | <b>0,824**</b> | <b>0,777**</b> | -0,218                    |
|                                  | Mg                                     |              |                |                |                              |                        |               |                 |                |                |                | <b>0,967**</b> | -0,162                    |
|                                  | BS                                     |              |                |                |                              |                        |               |                 |                |                |                |                | <b>0,967**</b>            |

Pozn: C x Z = celkové množství kořenů vynásobené životností

Note: C x Z = total amount of roots multiplied by vitality

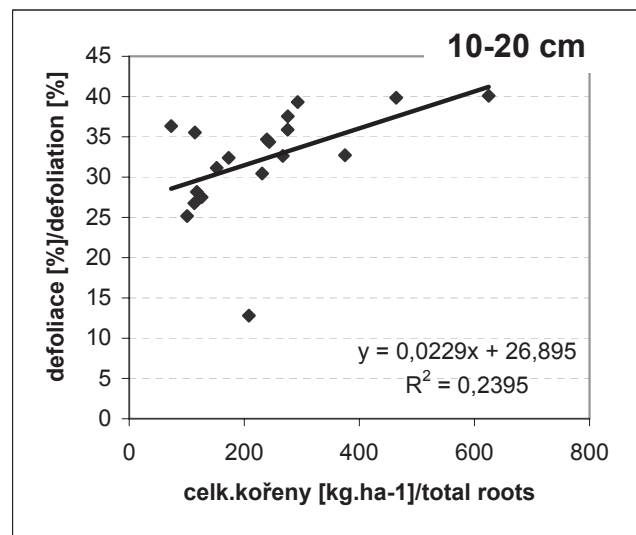
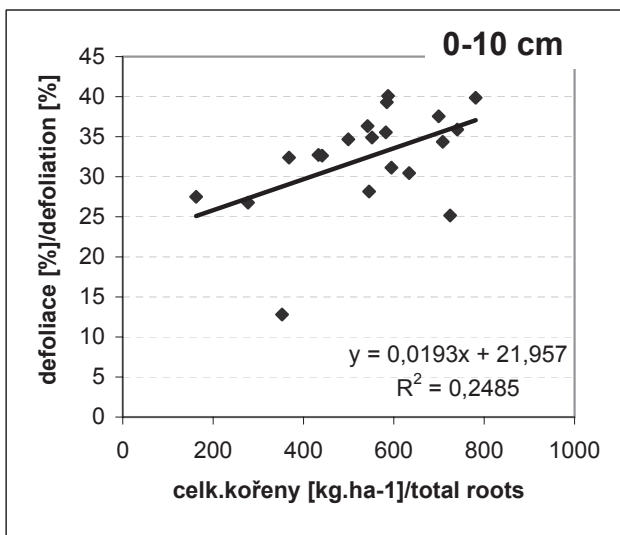
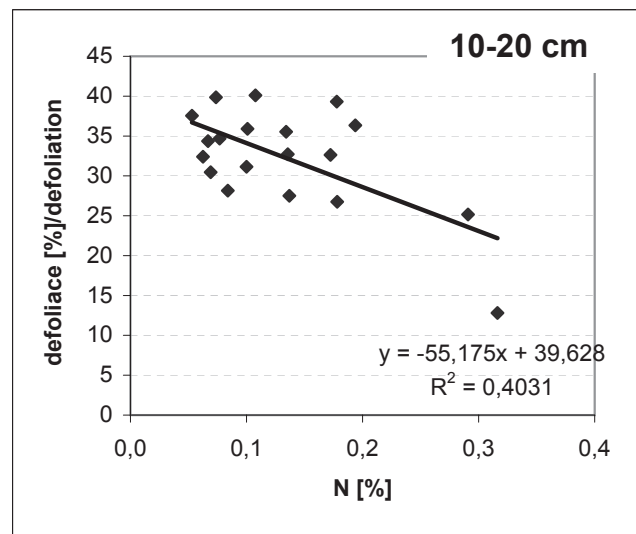
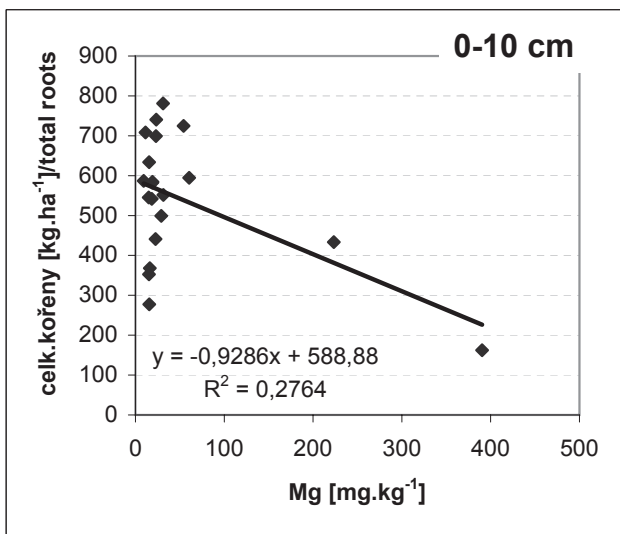
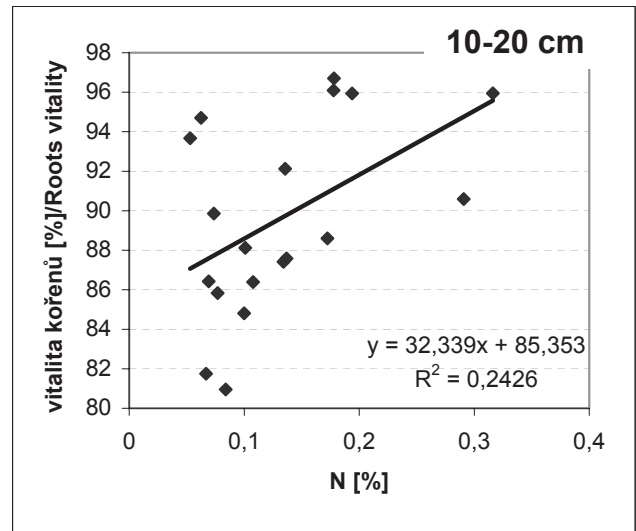
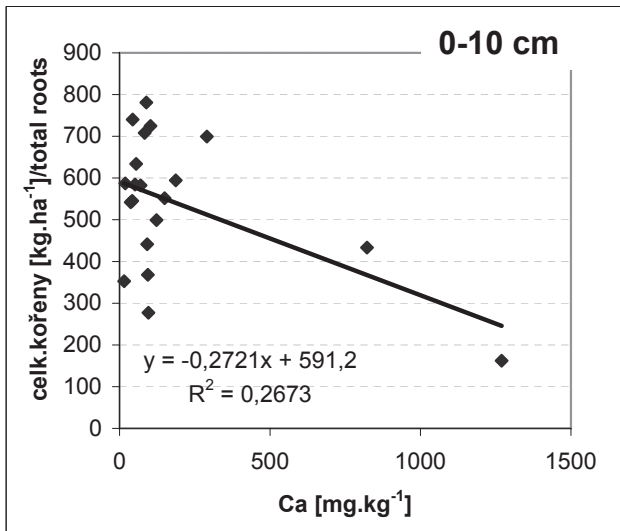
Zvýrazněné koeficienty: \* významnost na hladině 95%; \*\* významnost na hladině 99%

Bold coefficients: \* significance on 95% level; \*\* significance on 99% level

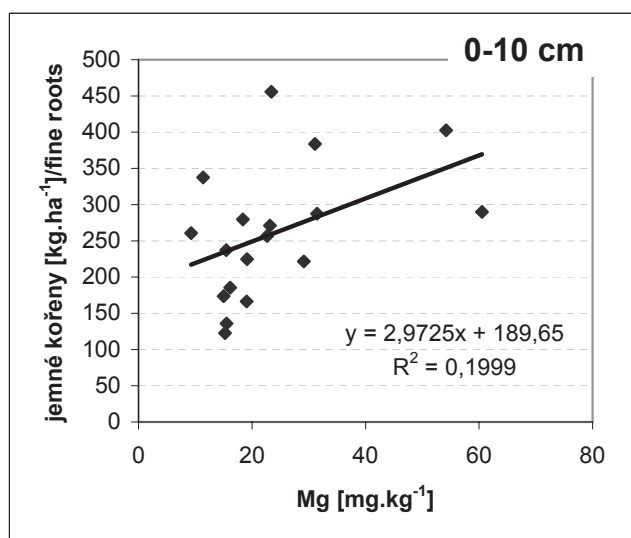
– po ukončení vegetačního období je přírůst jemných kořenů minimální. MURACH a SCHÜNEMANN (1985) uvádějí pro smrkové porosty celkové množství jemných kořenů až 2 730 kg.ha<sup>-1</sup>. VANGUELOVA et al. (2007) oproti tomu udává pro borovici hodnoty prokořenění svrchních půdních vrstev v rozsahu cca 200 – 400 kg.ha<sup>-1</sup>, pro douglasku ovšem 300 – 700 kg.ha<sup>-1</sup>. Množství jemných kořenů o průměru do 2 mm a hrubších kořenů na jednotlivých plochách spolu úzce souvisí. Překvapivě vysoký je podíl hrubších kořenů do 1 cm. To je možná do jisté míry ovlivněno i aplikovanou metodikou, kdy mohlo po stanovení životnosti docházet i k měsíčnímu prodloužení před stanovením celkového množství kořenů v jednotlivých vzorcích. Při rychlé dynamice růstu a odumírání jemných kořenů (MAJDI et al. 2005) tak mohlo dojít ke snížení podílu právě u kořenů do 2 mm. Vzhledem k vysoké závislosti na celkovém množství kořenů do 1 cm by to však nemělo zásadně ovlivnit výsledky studie. Ze souboru hodnocených půdních vlastností vykazuje množství kořenů signifikantní vztah s obsahy vápníku a v případě celkového množství kořenů také s obsahem hořčíku. Závislost je ovšem nepřímá – plochy s vyššími obsahy výše uvedených bazických prvků vykazují menší množství kořenů. To by do jisté míry odpovídalo např. poznatkům MURACHA a SCHÜNEMANN, kteří na vápnených plochách zaznamenali nižší množství kořenů než na kontrolní lokalitě. GOBRAN et al. (1993) zaznamenali pozitivní vliv zvýšeného množství Ca<sup>2+</sup> na biomasu kořenů semenáčků smrku pouze při velmi nízkém pH 2,1; při vysokém pH 5,4 nebyl vliv vápníku na

biomasu kořenů pozorován. Obdobné výsledky při aplikaci vápence a hořečnatých hnojiv – prokazatelný efekt na množství biomasy jemných kořenů pouze na stanovištích s výraznějším deficitem Mg – uvádí také RASPE (1997). Z obrázku 5 je ovšem zřejmé, že výše uvedené závislosti významně ovlivňují odlehle hodnoty – vysoké obsahy bazických prvků – z lokalit E040 Kyselka a plochy B100 Valkeřice. Pokud tyto body z hodnocení odstraníme, nelze závislost množství kořenů na obsahu Ca identifikovat. U množství jemných kořenů se pak projevuje signifikantní pozitivní závislost na obsahu přístupného hořčíku (obr. 6). Při pohledu na grafické zobrazení této závislosti je patrné, že všechny plochy s množstvím jemných kořenů pod 200 kg.ha<sup>-1</sup> vykazují zároveň výrazně deficitní obsahy hořčíku (< 20 mg.kg<sup>-1</sup>) ve svrchní vrstvě minerální půdy. Tyto výsledky lze s určitou opatrností interpretovat tak, že výrazný deficit hořčíku může skutečně limitovat tvorbu jemných kořenů. To je způsobeno nedostatečnou translokací asimilátů do kmene a kořenů u stromů s narušenou výživou s následným narušením vývoje kořenové soustavy (FINK 1997). Na druhé straně je možné uvažovat o tom, že na půdách bohatých na bazické živiny nejsou stromy nuceny výrazněji „investovat“ do tvorby jemných kořenů, neboť k zajištění jejich výživy plně postačuje i značně redukované množství jemných kořenů.

Životnost kořenů vykazovala signifikantní závislost pouze na přístupném dusíku v hlubší vrstvě půdy 10 – 20 cm. U všech porostů



Obr. 5.  
Vybrané vztahy statisticky významně závislých proměnných  
Chosen relationships of statistically significant dependent variables



Obr. 6.

Závislost množství jemných kořenů na obsahu přístupného hořčíku v 0 – 10 cm minerální půdy po odstranění odlehých bodů  
Dependence of amount of fine roots on content of available magnesium in 0 – 10 cm of mineral soil after removal of distant points

s dobrým obsahem dusíku (> 0,2 %) byla životnost kořenů minimálně 90 %, naopak všechny vzorky s životností nižší než 85 % vykazovaly obsahy celkového dusíku do 0,1 %. Ve svrchní vrstvě půdy, kde jsou obsahy dusíku i množství kořenů vyšší, nebyla podobná závislost zjištěna, pravděpodobně proto, že je zde významný podíl celkového N zastoupen v organických sloučeninách ve formách, které nejsou pro dřeviny přístupné.

V práci nebyla zjištěna žádná závislost množství ani životnosti kořenů na přístupném hliníku, přestože právě toxicita hliníku na acidifikovaných stanovištích bývá považována za významnou příčinu poškození kořenových systémů i lesních porostů jako takových (ALVAREZ et al. 2005, KINREIDE 2003). Hodnoty přístupného Al získaného ve výluhu BaCl<sub>2</sub> však zřejmě nejsou dostatečnou charakteristikou pro posouzení tohoto negativního vlivu. Pro další studium bude nutné opírat se o výsledky analýz konkrétních specií hliníku, konkrétně Al<sup>3+</sup>, a o molární poměr hliníku a bazických kationtů v půdním roztoku, který má k poškození kořenů pravděpodobně nejužší vztah (SVERDRUP 1995, SCHÖLL et al. 2004).

Defoliace porostů byla závislá na celkovém množství kořenů i množství jemných kořenů ve svrchní vrstvě půdy 0 – 10 cm, a celkovém množství kořenů v hloubce 10 – 20 cm. Vyšší množství kořenů byla zjištěna na plochách s vyšší defoliací. Z obrázku 5 vyplývá, že všech 5 ploch s defoliací do 30 % vykazovalo v hloubce 10 – 20 cm celkové množství kořenů do 210 kg.ha<sup>-1</sup>. Tyto výsledky jsou v rozporu např. s poznatky MAUERA a PALÁTOVÉ (2010), kteří na různých lokalitách v ČR zjistili vyšší biomasu jemných kořenů u zdravých jedinců smrku než u poškozených stromů. Jejich studie ovšem byla zaměřena na srovnání blízkých jedinců smrku s výrazně odlišným zdravotním stavem, výsledky se tedy mohou odlišovat od srovnání na úrovni celých porostů. Ve studii zaměřené na chřadnutí smrku v oblasti Slezských Beskyd (ŠRÁMEK et al. 2009b) zjistili Soukup s Peškovou vyšší zastoupení aktivních mykorhiz v porostech s výraznějším poškozením. V úvahu tak připadá hypotéza, že v určité fázi působení stresových podmínek mají stromy tendenci více investovat do tvorby podzemní biomasy než do koruny a asimilačního aparátu. Studiu uvedených závislostí bude nutné ještě věnovat pozornost, neboť je zřejmé, že do současného

zpracování nebyla zahrnuta ještě řada dalších faktorů, které zdravotní stav dřevin ovlivňují.

Pro posouzení půdních vlastností ve vztahu ke kořenům je určitým nedostatkem různý rok odběru (půdy 2006, kořeny 2009). Přestože půdní vlastnosti podléhají dynamice v rámci ročních období i dlouhodobému vývoji (ŠRÁMEK et al. 2009a), domníváme se, že zejména pro minerální vrstvy půdy představuje vybraný soubor ploch vhodný srovnávací materiál, neboť lze očekávat, že rozdíly hodnocených půdních vlastností mezi jednotlivými plochami jsou výrazně vyšší než rozdíly v uvedeném časovém rozpětí odběrů. Z půdních parametrů projevuje významný negativní vztah s defoliací aktivní pH v půdní vrstvě 0 – 10 cm a obsah celkového dusíku v hloubce 10 – 20 cm. Obě tyto závislosti v zásadě odpovídají již zjištěným poznatkům platícím pro lesní porosty na kyselých stanovištích v oblasti střední Evropy. Nárůst defoliace s klesajícími obsahy N v asimilačních orgánech pozoroval u mladých smrkových porostů v Jizerských horách LOMSKÝ (2006), z hlediska půdních vlastností bývá častěji prokázán spíše vliv obsahu jednotlivých bazických prvků, např. hořčíku (MUSIO et al. 2007) na zdravotní stav smrkových porostů.

## ZÁVĚRY

Práce přinesla informace o stavu kořenů na plochách monitoringu zdravotního stavu. Životnost kořenů na většině ploch byla poměrně vysoká a vykazovala souvislost pouze s obsahy celkového dusíku v minerální vrstvě 10 – 20 cm. Nebyla pozorována předpokládaná závislost na množství přístupného hliníku – ta bude dále sledována na úrovni jednotlivých specií Al a také parametrů půdního roztoku. Množství kořenů vykazovalo obdobné závislosti pro množství jemných kořenů (průměr < 2 mm) i pro celkové množství kořenů (průměr < 1 cm). Signifikantní negativní závislost množství kořenů na obsahu přístupného vápníku a hořčíku byla výrazně ovlivněna odlehými hodnotami z ploch s velmi vysokou saturací bazickými prvky. Po odstranění těchto hodnot ze souboru dat byl pozorován statisticky významný pozitivní vliv Mg na celkové množství kořenů.

Defoliace porostů vykazovala významnou negativní závislost na aktivním pH v minerální vrstvě 0 – 10 cm a především na obsahu celkového dusíku v hlubší vrstvě minerální půdy 10 – 20 cm. Zjištěnou negativní závislost defoliace na celkovém množství kořenů není možné na základě předložených výsledků jednoznačně interpretovat, neboť celá řada faktorů, které defoliaci jako takovou ovlivňují, nebyla do statistické analýzy zahrnuta.

## Poděkování:

Problematika sloučenin hliníku v lesních půdách je řešena v rámci projektu NAZV č. QI92A216. Pro publikaci jsou využita data o chemickém složení lesních půd na monitoračních plochách získaná v rámci projektu Evropské komise „BIOOIL“ a zpracovaná v rámci projektu MZe č. 0002070203 a hodnoty defoliace zjišťované průběžně v monitoringu zdravotního stavu lesů při řešení projektu FutMon financovanému prostřednictvím programu LIFE+.



## LITERATURA

- ALVAREZ E., FERNANDEZ-MARCOS M., L., MONTERROSO C., FERNANDEZ-SANJURJO M. J. 2005. Application of aluminium toxicity indices to soils under various forest species. *Forest Ecology and Management*, 211: 227-239.
- BORKEN W., KOSSMAN G., MATZNER E. 2007. Biomass, morphology and nutrient contents of fine roots in four Norway spruce stands. *Plant and Soil*, 292: 79-93.
- BOUDOT J., P., BECQUER T., MERLET D., ROUILLER J. 1994a. Aluminium toxicity in declining forests: a general overview with a seasonal assessment in a silver fir forest in the Vosges mountains (France). *Annales des Sciences Forestieres*, 51: 27-51.
- BOUDOT J., P., MERLET D., ROUILLER J., MAITAT O. 1994b. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. *Science of the Total Environment*, 158: 237-252.
- FABIÁNEK P. 2010. Monitoring zdravotního stavu lesa. In: Knížek M., Pešková V. (eds.): Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2009 a jejich očekávaný stav v roce 2010. Zpravodaj ochrany lesa, Supplementum: 44-50.
- FINK S. Structural aspects of magnesium deficiency. 1997. In: Hüttl F., Schaaf W. (eds.): Magnesium deficiency in forest ecosystems, Kluwer Academic Publishers: 297-307.
- GOBRAN G., R., FENN L., B., PERSSON H., AL WINDI I. 1993. Nutrition response of Norway spruce and willow to varying levels of calcium and aluminium. *Fertilizer Research*, 34: 181-189.
- HORÁK V., DOLEJŠKOVÁ J., HEJTMÁNKOVÁ A. 1995. Toxicita hliníku v rostlinách. *Rostlinná výroba*, 41: 239-245.
- HŮNOVÁ I., ŠANTROCH J., OSTATNICKÁ J. 2004. Ambient air quality and deposition trends at rural stations in the Czech Republic during 1993 – 2001. *Atmospheric Environment*, 38: 887-898.
- KINREIDE T. B. 2003. Toxicity factors in acidic forest soils: attempts to evaluate separately the toxic effects of excessive Al<sup>3+</sup> and H<sup>+</sup> and insufficient Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> upon root elongation. *European Journal of Soil Science*, 54: 323-333.
- KLIMO E., MATERNA J., LOCHMAN V., KULHAVÝ J. 2006. Forest soil acidification in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 52, special issue: 14-22.
- LOCHMAN V., MAXA M., BÍBA M. 2006. Vývoj chemismu půdy na výzkumných plochách VŮLHM v období poklesu spadu imisních látek. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51: 106-120.
- LOMSKÝ B. 2006. Minerální výživa smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ KARST.) v imisních oblastech. Habilitační práce. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita: 262 s.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2004. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 50: 533-537.
- MAJDI K., PREGITZER K. S., MOREN A. S., NYLUND J., E., AGREN G. I. 2005. Measuring fine root turnover in forest ecosystems. *Plant and Soil*, 276: 1-8.
- MAUER O., PALÁTOVÁ E. 2010. Root system and the decline of Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.). *Beskydy*, 3: 73-82.
- MURACH D., SCHÜNEMANN E. 1985. Reaktion der Feinwurzeln von Fichten auf Kalkungsmaßnahmen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 43: 1151-1154.
- MUSIO M., VON WILPERT K., AUGUSTIN N. H. 2007. Crown condition as a function of soil, site and tree characteristic. *European Journal of Forest Research*, 126: 91-100.
- NYGAARD P. H., DE WIT H. A. 2004. Effects of elevated soil solution Al concentrations on fine roots in a middle-aged Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) stand. *Plant and Soil*, 265: 131-140.
- RASPE S. 1997. Fine-root development. In: Hüttl F., Schaaf W., (eds.): Magnesium deficiency in forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers: 309-332.
- SCHLEGEL H., GOLDBOLD D. L. 1991. The influence of Al on the metabolism of spruce needles. *Water Air and Soil Pollution*, 57: 131-138.
- SCHÖLL VAN L., KELTJENS W. G., HOFFLAND E., BREEMEN VAN N. 2004. Aluminium concentration versus the base cation to aluminium ratio as predictors for aluminium toxicity in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Forest Ecology and Management*, 195: 301-309.
- SPOSITO G. 1996. The environmental chemistry of aluminum. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton.
- STEPONKUS P. L., LANPHEAR F. O. 1967. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. *Plant Physiology*, 42: 1423-1426.
- SVERDRUP H. 1995. Critical loads and the BC/Al-ratio as indicator of soil acidification effects on tree growth. *K. Skogs-o. Lantbr.akad. Tidskr*, 134: 77-99.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., LOMSKÝ B., (eds.) 2009a. Změny obsahu prvků v porostech smrku, buku, jeřábu a břízy v průběhu roku. *Lesy České republiky*: 110 s.
- ŠRÁMEK V., SOUKUP F., SLODIČÁK M. (eds.) 2009b. Chřadnutí lesa na Jablunkově. Chřadnutí lesních porostů na LS Jablunkov – určení komplexu příčin poškození a návrh opatření na revitalizaci lesa. *Lesy České republiky*: 100 s.
- ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L., LOMSKÝ B. 2008. In: Sborník příspěvků BIOSOIL – Evropský projekt monitoringu lesních půd – průběh v České republice. Půda v moderní informační společnosti – 1. konference České pedologické společnosti a Societas pedologica slovac: 287-297. (CD)
- UNECE 2006a. Sampling and analysis of soil. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, CLRTAP, ICP Forests: 161 s.
- UNECE 2006b. Visual assessment of crown condition. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, CLRTAP, ICP Forests: 69 s.
- VANGUELOVA E. I., HIRANO Y., ELDHUSET T. D., SAS-PASZT L., BAKKER M. R., PUTTSEPP U., BRUNNER I., LOHMUS K., GOLDBOLD D. 2007. The fine root Ca/Al ratio – indicator of Al and acidity stress. *Plant Biosystems*, 141: 460-480.

## NORWAY SPRUCE ROOT VITALITY AND BIOMASS AT THE ICP FORESTS MONITORING PLOTS IN THE CZECH REPUBLIC

### SUMMARY

The biomass and vitality of fine roots was studied at twenty plots in the Czech Republic. The set of plots was selected from the ICP Forests Monitoring Programme preferring mature stands with prevailing Norway spruce as a main species, characterizing wider span of forest vitality at different soil properties (fig. 1, tab. 1) On each plot roots were taken from twenty sampling points with different distance from tree stems (1, 3, 5 and 7 m) for two depth layers 0 – 10 cm and 10 – 20 cm. The root vitality was stated in 10 pooled samples for each plot by triphenyl tetrazolium chloride, the biomass (dry weight) of fine (< 2 mm) and total (< 1 cm) roots was assessed later. The vitality of forest stands (defoliation) and mineral soil chemical properties obtained by ICP Forests Monitoring Programme were also used for the statistical evaluation. The mean fine root amount in the upper soil layer 0 – 10 cm varied from 78,6 to 455,7 kg.ha<sup>-1</sup>, in deeper mineral layer it was substantially lower (fig. 2). The dry total root amount was approximately two times higher than fine root biomass (fig. 3). Higher variability of root biomass was observed for samples taken within individual plots, than among studied sites. The root vitality was relatively high reaching more than 90% at half of studied plots (fig. 4). The plot I140 Želivka with distinctively reduced root vitality (59%) was influenced by infestation of bark beetle. Results of the partial correlations among evaluated parameters are presented in tables 3 and 4, charts of some significant relations are displayed at fig. 5. The root vitality exhibits only significant relation to the total nitrogen content in the deeper mineral soil layer (10 – 20 cm). The expected negative correlation with exchangeable aluminium was not found. The aluminium effect should be studied on the level of individual Al<sup>3+</sup> species content or on the base cations/Al ratio in the soil solution. The found negative relation of root biomass and Ca or Mg content in the mineral soil was influenced by values from two monitoring sites with very high base saturation. After exclusion of these values as outliers, the significant positive correlation of root biomass and exchangeable magnesium was stated (fig. 6). Defoliation at monitoring sites correlated negatively with the active pH(H<sub>2</sub>O) in the 0 – 10 cm of mineral soil and total N in the deeper 10 – 20 cm. The found negative correlation of defoliation and total root amount should be considered carefully, because the non-complete set of factors influencing the forest stand vitality was taken for the evaluation.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 232; e-mail: sramek@vulhm.cz