

Structure and functions of the types of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) roots

R. GEBAUER, M. MARTINKOVÁ

Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Brno, Czech Republic

ABSTRACT: The aim of the study was to describe variability of the structure of roots in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) from their growth tips to the stem foot, i.e. anchor roots in relation to their changing functions. Histology and anatomy of plant organs were dealt with by the innumerable number of authors and fundamentals of knowledge in these disciplines have become the self-evident part of botany textbooks. The description of primary and secondary structure of roots is explained in many textbooks by means of drawings depicting the mutual position of particular systems of tissues. However, it refers mostly to the structure of herb roots in either Magnoliophytes or Liliophytes. Naturally, the structure of tree roots does not substantially differ from herb species. A certain problem is related to the secondary thickening of roots, their ramification, anastomosis and changes in the structure which are enforced by tension and pressure forces; these forces affect the roots during their mechanical load, e.g. by solifluction, soil load and compaction or through their above-ground systems. Trees can be stressed by wind gusts, snow cover, glazed frost and a number of other factors. Therefore, the structure of roots changes in the course of time as well as due to the increasing weight of the stem and crown. In terms of histological structure Norway spruce roots were studied within a forest stand in the area of the Křtiny Training Forest Enterprise, viz. Vranov Forest District (49°19'484''N, 16°47'629''E). Root systems were exposed with an air blast using the AIR-SPADE tool (NADEZHDA, ČERMÁK 2003) and cuts of buttress roots, horizontal roots, root anastomosis and fine roots were selected. Histological studies were focused on manual transversal cuts of fine roots.

Keywords: histology; primary roots; secondary structure; *Picea abies* (L.) Karst.

Problems of the terminology of roots within root systems were dealt with for example by JENÍK (1957, 1964, 1974), KOZŁOWSKI (1971), SUTTON and TINUS (1983), etc. According to the authors it is possible to differentiate several categories of roots with respect to their diameter (age) and function.

As for the morphology of the root system Norway spruce is characterized by a shallow root system called “plate system” when roots reach a depth of about 40 cm (KÖSTLER in BORATYNSKI et al. 1998). According to KERN et al. (1961), in monocultures the densest network of roots occurs at a depth of 10 cm, in mixed stands at a depth of 35 cm. In accordance with the author, the maximum attainable

depth of roots is also 40 cm, which is supported by studies of BJÖRKHEM et al. (1975). Shallowly distributed roots are the cause of a fact that along tourist roads, some 90% of trees show damaged or destroyed root systems (OKOLÓW 1978). Surface root penetration also explains the fact that Norway spruce is considerably sensitive to drought (LADEFOGED 1943) and windbreaks (DUBBEL et al. 1990). Regardless of the age of a tree some authors divide roots of trees into nutritive and anchor roots (so-called heterorhizis).

Anchor roots are long, characterized by active cambium. They do not fulfil only the anchoring function but particularly they ensure the transport

Supported by the Grant Agency of the Czech Republic, Projects No. 4140/1021/1GA0792 and No. 526/03/H036, and by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic, Project No. 6215648902.

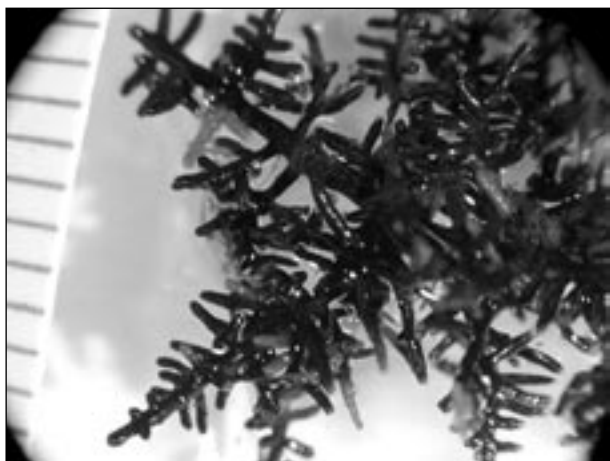


Fig. 1. Rich branching cluster of fine roots in surface layers of soil

function between nutritive roots and aboveground parts. Nutritive roots are short, of limited secondary growth. Their lateral branches are also short but ramify in such a way that a characteristic group of short roots originates (so-called cluster; Fig. 1) (HEJNOWICZ 1973).

Characteristics of thin fine roots: Much attention has been paid to fine roots (≤ 1 mm) because mainly these roots decide on the supply of water and nutrients to trees (absorption function), on the production of mucilage, growth substances, nitrogen metabolism (metabolic and control function). All types of roots represent an extensive storage space for a tree.

A number of authors, e.g. ESAU (1965), PAZOUREK and VOTRUBOVÁ (1997), describes the anatomy and histology of roots very exactly, however, descriptions are missing in schemes or microphotographs of fine secondarily thickened roots of gymnospermous plants or problems of roots of the large group of plants are missing at all.



Fig. 2. Branching of fine roots at a depth of 60 cm in much looser groups

MATERIAL AND METHODS

In terms of histological structure roots of all types mentioned above were studied within a forest stand in the area of the Křtiny Training Forest Enterprise, viz. Vranov Forest District (49°19'484''N, 16°47'629''E). It is a fully closed spruce stand aged 40 years, altitude 450 m, mean temperature 6.8°C and annual total of precipitation 685 mm. The water regime can be classified as periodical. The soil type is modal pseudogley (NĚMEČEK et al. 2001).

In the locality, on 22 May 2002 roots were sampled from various depths including a spruce root reaching to the groundwater table, i.e. 80 cm below the soil surface. Moreover, root systems were exposed with an air blast using the AIR-SPADE tool (NADEZHDA, ČERMÁK 2003) and cuts of buttress roots, horizontal roots, root anastomosis and fine roots were selected. Histological studies were focused on manual transversal cuts of fine roots. The cuts were dyed for the presence of lignin and starch (NĚMEC et al. 1962; PRASAD 1986; BHANDARI 1997). In fine roots, the form of mycorrhizal hyphae was determined. Based on our own experience obtained in the determination of the condition of wood of Gothic and Renaissance statues, anchor and elongation roots were tested for the presence and extent of fungal infections adding H_2O_2 (MARTINKOVÁ in CHAMONIKOLA et al. 1999). The cuts were photographed in the biometrical laboratory of Mendel University of Agriculture and Forestry Brno; computer-based image analysis was then carried out using the ImageTool program.

RESULTS AND DISCUSSION

The growing depth affected the morphology of fine roots (≤ 0.1 mm) in such a way that while in surface soil layers fine roots create very rich clusters

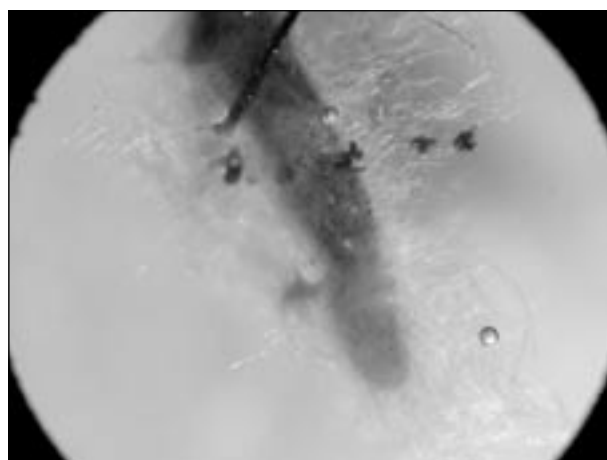


Fig. 3. Particular separate hyphae of a mycorrhizal fungus on the soil surface

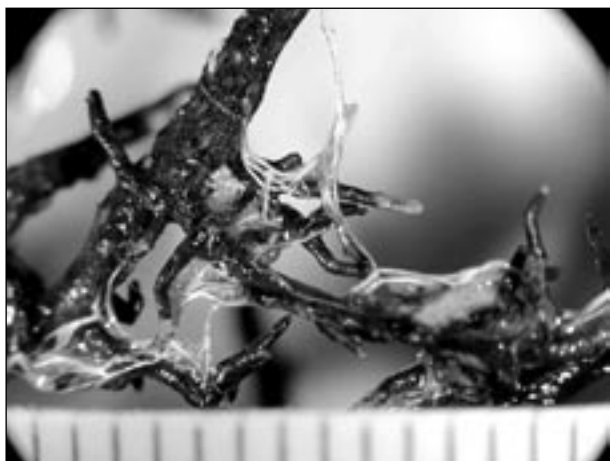


Fig. 4. At a larger depth, fungal hyphae interweave into rhizomorphs closely entwisting leading roots

through their branching (Fig. 1), at a depth of 60 cm the roots occur in much looser groups (Fig. 2). Near the soil surface, mycorrhizal fungi are present in the form of particular separate hyphae enlarging the rhizosphere 6 times as against the root diameter, i.e. in comparison with a biopore which was created by the root growth in the soil (Fig. 3). At larger depths, fungal hyphae are woven into rhizomorphs closely entwisting leading roots (Fig. 4). The leading sinker root finished elongation growth at a depth of 60 to 70 cm and branched into a broom-like form. Histologically, transition between the primary and secondary structure is described. Fig. 5 depicts tissues from rhizodermis to the pericycle of a central cylinder. Fig. 6 depicts parts of the primary structure of the central cylinder and primary bark. The central

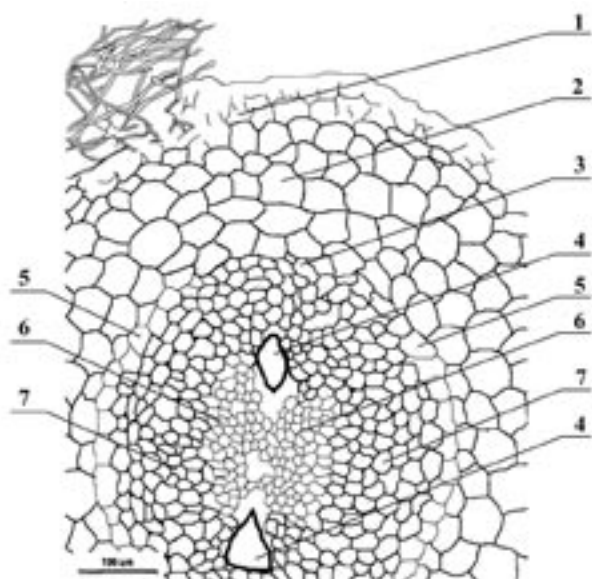


Fig. 6. The primary structure of the root central cylinder and primary bark. 1 – rhizodermis with hyphae, 2 – primary bark, 3 – porous cells, 4 – protoxylem, 5 – endodermis, 6 – protophloem, 7 – pericycle

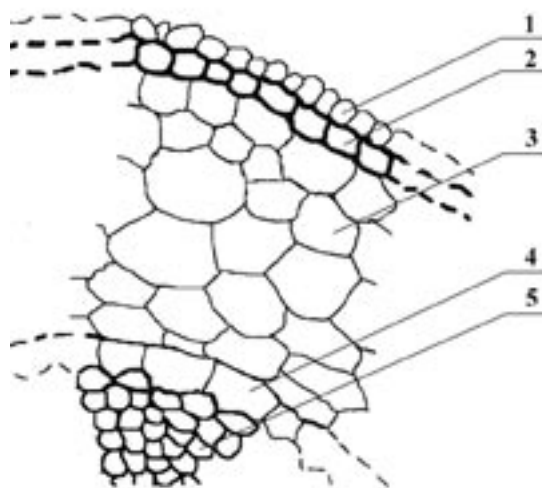


Fig. 5. The primary structure of a root depicting tissues from rhizodermis to the central cylinder pericycle. 1 – rhizodermis, 2 – exodermis, 3 – mesodermis, 4 – endodermis, 5 – pericycle

part of the root is of diarchal structure with two strips of protoxylem. Between the strips, tracheids of metaxylem are gradually differentiated centripetally. During transition to the secondary structure, cambium is established in the whole space under phloem parts being gradually shifted outwards by the centripetal production of wood the number of cambium cells being increased. It is evident in Fig. 7 where a triarchal radial vascular bundle after

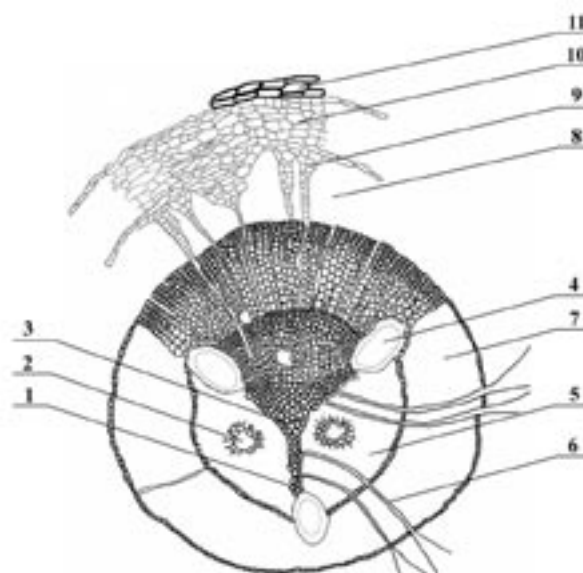


Fig. 7. Description of the root secondary structure on the triarchal radial vascular bundle after two growth waves of cambium. 1 – protoxylem, 2 – resin ducts, 3 – metaxylem, 4 – rhexigenous intercellular (traumatic resin) ducts, 5 – juvenile wood, 6 – primary phloem/xylem rays, 7 – second wave of cambial activities (cambial circle is closed), 8 – secondary phloem, 9 – dilatation of phloem/wood rays, 10 – pericycle, 11 – remainder of primary bark

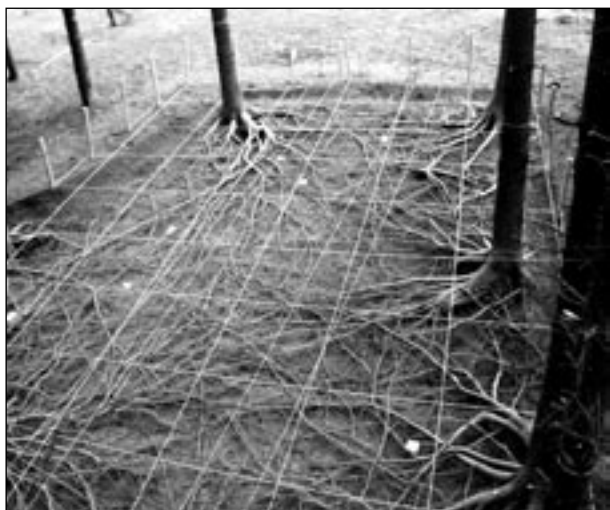


Fig. 8. The network of elongation roots where particular trees mutually compete through the rate of growth and root branching for the soil space with mineral nutrients and water

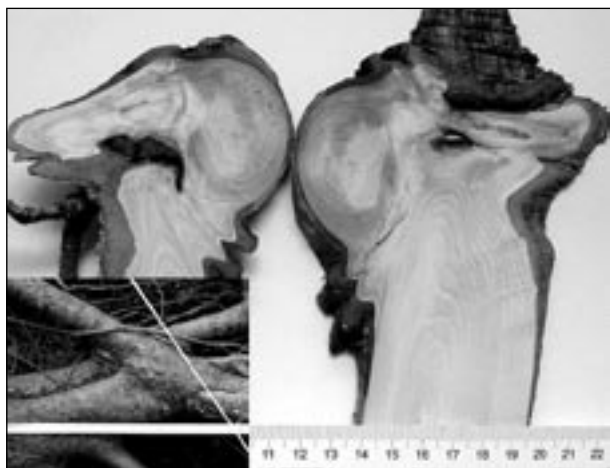


Fig. 10. Anastomosis of several elongation roots viewed from above in the soil space (left bottom corner) and details on the cross-section

two growth waves of cambium illustrated. The first growth wave resulted in the origin of juvenile wood where the first resin ducts occurred under phloem groups, however, the cambial circle had not been closed yet. During the second wave of cambial activities, the circle is closed above protoxylem groups where pressure changes occur causing the origin of rhexogenous intercellular effects. The growth of the central root cylinder makes a radial pressure on the primary bark including rhizodermis. These tissues die back and above the phloem part, the root is covered only by the layer of pericycle. Within the layer, phellogen originates due to remeristematic activities. Enlarging the root is compensated by the dilatation of rays in the phloem layers. After reaching a certain soil space horizontal roots (Fig. 8) ensure particularly conductive, storage and defence functions (Fig. 9). They are characterized by their



Fig. 9. Transversal cut of an elongation root. It shows typical circular cross-section, periodic and intensive diameter increment (i.e. large conducting area), large amount of starch in the living parenchyma from bark to primary xylem, black colouring (storage function). In the whole profile, numerous resin ducts occur being the important part of the defence system



Fig. 11. An anchor root dyed by Lugol's solution in combination with H_2O_2 . Black coloured parts of wood are living. The umber-coloured central part (a projection marked with a cross above) is attacked by a fungal infection. It showed itself in starch depletion and high production of O_2

numerous anastomoses both between roots of the same individual (Fig. 10) and between roots of various individuals even of different species (GRAHAM, BORMANN 1966). Initially horizontal roots change to buttress roots under the effect of load. Their mechanical function is most important, particularly supporting and strengthening functions. They are stressed due to the bending of the tree caused by wind, viz. on the upper windward side of the stem they are loaded in tension, on the lower side of roots slightly in pressure. On the leeward side, the situation is inverse. These roots soon lose their circular cross-section because on the upper side they accrue through tension (wider) annual rings and on the lower side, through compression wood with narrower annual rings, more red-coloured, with the higher content of lignin (SCHWEINGRUBER 1996). It refers to the oldest roots being right at the stem base. They are also first attacked by possible fungal infections (Fig. 11).

CONCLUSION

The anatomical and histological study specifies the change in the root primary structure to the secondary structure with rather very early loss of primary bark and long survival of the pericycle as a tissue which gives rise to the phellogen. It points out the structure and functions of particular types of roots including root anastomoses and brings a practical method for demonstrating fungal infections in wood.

References

BHANDARI N.N., 1997. Staining techniques. A Manual. New Delhi, Ultimate printers: 344.
 BJÖRKHEM U., LUNDEBERG G., SCHOLANDER J., 1975. Root distribution and compressive strength in forest soils. Root mapping and plate loading in stands of Norway spruce at the thinning stage. Paper och Uppsatsar Institut Fr. Växtekologi och Marklära: 22.
 BORATYNSKI A., BUGALA W. et al., 1998. Biologia świerka pospolitego. Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 781.
 CHAMONIKOLA K. et al., 1999. Od gotiky k renesanci. Díl II. Brno, Moravská galerie v Brně: 663.
 DUBBEL V., YINDEL U., EICHHORN J., 1990. Sturmschäden in Frühjahr 1990 in Hessen. Forschungsbericht Hessische Forstliche Versuchsanstalt, 12: 160.
 ESAU K., 1965. Plant anatomy. 2nd edition. New York, John Wiley & Sons: 767.

GRAHAM B.F., BORMANN F.H., 1966. Natural root grafts. Botanical Review, 32: 255–292.
 HEJNOWICZ Z., 1973. Anatomia rozwojowa drzew. Warszawa, PWN.
 JENÍK J., 1957. Kořenový systém dubu letního a zimního (*Quercus robur* L. et *Q. petraea* Liebl.). Praha, Rozpravy Československé Akademie Věd, Přírodní vědy, 67: 1–85.
 JENÍK J., 1964. Morphology of root systems in trees: a proposal for terminology. In: SEN D. N. (ed.), Tenth International Botanical Congress, Edinburgh, Abstracts: 393–394.
 JENÍK J., 1974. Adventivní kořeny u nahosemenných a dvouděložných rostlin. Opava, Časopis Slezského muzea, ser. C, 23: 153–163.
 KERN K.G., MOLL W., BRAUN H.J., 1961. Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes (Vfl. Todtmoos 2/I-IV). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 132: 241–260.
 KOZŁOWSKI T.T., 1971. Growth and development of trees. Vol. II – Cambial Growth, Root Growth and Reproductive Growth. New York, London, Academic Press: 514.
 LADEFOGED K., 1943. Virkning af Tørkeperioder. Dansk Skovforenings Tidsskrift, 28: 389–428.
 NADEZHDA N., ČERMÁK J., 2003. Instrumental methods for studies of structure and function of root systems in large trees. Journal of Experimental Botany, 54: 1511–1521.
 NĚMEC B. et al., 1962. Botanická mikrotechnika. Praha, Nakladatelství ČSAV.
 NĚMEČEK J. et al., 2001. Taxonomický systém půd České republiky. Praha, ČZU.
 OKOLÓW C., 1978. Uszkodzenia systemów korzeniowych drzew spowodowane nadmiernym ruchem turystycznym w Białowieckim Parku Narodowym. Sylwan, 122: 63–71.
 PAZOUREK J., VOTRUBOVÁ O., 1997. Atlas of Plant Anatomy. Prague, PERES Publishers, Series in Natural History, 3: 447.
 PRASAD B.K., 1986. Staining technique in botany. DEHRA DUN, International book distributors: 107.
 SCHWEINGRUBER F.H., 1996. Tree Rings and Environment Dendroecology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmensdorf, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt: 609.
 SUTTON R.F., TINUS R.W., 1983. Root and root system terminology. Forest Science Monograph, No. 24, ref. Supplement to Forest Science, 29: 137.

Received for publication February 14, 2005

Accepted after corrections March 14, 2005

Stavba a funkce typů kořenů smrku ztepilého (*Picea abies* [L.] Karst.)

R. GEBAUER, M. MARTINKOVÁ

Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek se zabývá stavbou kořenů u smrku ztepilého (*Picea abies* [L.] Karst.) od jejich vzrostných vrcholů až k patě kmene, tj. kořenů kotevních, ve vztahu k jejich měnící se funkci. Histologii a anatomii orgánů rostlin se v historii věnovala nespočetná řada autorů a základy poznatků v těchto oborech se staly samozřejmou součástí učebnic botaniky. Popis primární a sekundární stavby kořenů je v mnohých učebnicích názorně vysvětlen pomocí kreseb s vyznačením vzájemných poloh jednotlivých systémů pletiv. Většinou se však jedná o stavbu kořenů bylin – ať již Magnoliofyt, nebo Liliofyt. Stavba kořenů dřevin se samozřejmě od bylinných druhů principiálně neliší. Určitý problém je spojen jednak se sekundárním tloušťnutím kořenů, s jejich větvením, srůstý a se změnou stavby, která je vynucena tahovými a tlakovými silami; ty na kořeny působí při mechanickém zatížení např. soliflukcí, zátěží a zhuťováním půdy nebo prostřednictvím jejich nadzemních systémů. Stromy mohou být namáhány nárazy větru, sněhovou pokrývkou, ledovkou a řadou jiných vlivů. Stavba kořenů se proto v čase mění – také v důsledku zvětšování hmotnosti kmene a koruny. Po stránce histologické stavby byly vyšetřeny kořeny smrku ztepilého v rámci lesního porostu na území ŠLP Křtiny, a to na polesí Vranov (49°19'484'' sev. šířky, 16°47'629'' vých. délky). Kořenové soustavy byly odkryty vzdušným proudem pomocí přístroje AIR-SPADE (NADEZHINA, ČERMÁK 2003) a byly vybrány výřezy kořenů kotevních, dlouhých a kořenových anastomóz. Histologické šetření se týkalo ručních transverzálních řezů jemných kořenů.

Klíčová slova: histologie; kořeny primární; sekundární stavba; *Picea abies* (L.) Karst.

Cílem studie bylo popsat proměnlivost stavby kořenů u smrku ztepilého (*Picea abies* [L.] Karst.) od jejich vzrostných vrcholů až k patě kmene, tj. kořenů kotevních, ve vztahu k jejich měnící se funkci.

Po stránce histologické stavby byly vyšetřeny kořeny všech uvedených typů v rámci lesního porostu na území ŠLP Křtiny, a to na polesí Vranov (49°19'484'' sev. š., 16°47'629'' vých. d.). Jedná se o plně zapojenou smrčinu ve stáří 40 let. Nadmořská výška stanoviště je 450 m, průměrná teplota 6,8 °C a roční úhrn srážek činí 685 mm. Vodní režim je možné klasifikovat jako periodický. Půdní typ tvoří pseudoglej modální (NĚMEČEK et al. 2001).

Na dané lokalitě byly 22. května 2002 odebrány kořeny z různých hloubek půdy včetně hloubkového kořene smrku zasahujícího až k hladině podzemní vody, tj. do úrovně 80 cm pod půdním povrchem. Dále byly kořenové soustavy odkryty vzdušným proudem pomocí přístroje AIR-SPADE a byly vybrány výřezy kořenů kotevních, dlouhých a kořenových anastomóz. Histologické šetření se týkalo ručních transverzálních řezů jemných kořenů. Řezy byly barveny na přítomnost ligninu a škrobu (NĚMEC et al. 1962; BHANDARI 1997; PRASAD 1986). U jemných kořenů byla zjišťována forma mykorhizních hyf. Kotevní a dlouhé kořeny byly na základě vlastních

praktických zkušeností, získaných při zjišťování stavu dřeva gotických a renesančních soch, testovány na přítomnost a rozsah houbových infekcí přidáním H₂O₂ (MARTINKOVÁ in CHAMONIKOLA 1999). Řezy byly nasnímány v biometrické laboratoři Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně; získané obrazy byly následně analyzovány na počítači v programu ImageTool.

Rostoucí hloubka ovlivnila morfologii jemných kořenů (do 0,1 mm) tím způsobem, že zatímco v povrchových vrstvách půdy vytvářejí jemné kořínky svým větvením velmi bohaté klastry (obr. 1), v hloubce 60 cm se tyto kořínky vyskytují v mnohem volnějších a nepravidlejších skupinách (obr. 2). Při půdním povrchu jsou mykorhizní houby přítomny ve formě jednotlivých rozvolněných hyf, které svým rozsahem rozšiřují rhizosféru šestinásobně proti průměru kořene, tj. proti biopóru, který kořen svým růstem v půdě vytvořil (obr. 3). Ve větších hloubkách se houbové hyfy splétají v rhizomorfy a více méně těsně oplétají vedoucí kořeny (obr. 4). Vedoucí zanořovací kořeny v hloubce 60–70 cm ukončily prodlužovací růst a rozvětvily se do metlovitého útvaru.

Histologicky je popsán přechod mezi primární a sekundární stavbou. Pro jemné kořeny je ty-

pická primární stavba (obr. 5 a 6). Při přechodu na sekundární stavbu se v celém prostoru pod floemovými částmi zakládá kambium, které se dostředivou produkcí dřeva postupně posunuje vně a rozšiřuje počet svých buněk. To je zřetelné na obr. 7, kde jde o triarchní radiální cévní svazek po dvou dělivých vlnách kambiálních iniciál. Výsledkem první růstové vlny byl vznik juvenilního dřeva, v němž pod lýkovými skupinami vznikly první pryskyřičné kanálky, avšak kambiální kruh ještě nebyl uzavřen. Při druhé vlně kambiální činnosti se kruh uzavírá nad protoxylémovými skupinami, kde tlakové změny způsobují vznik rhexigenních interceluár. Rozrůstání centrálního válce kořene vyvíjí radiální tlak na primární kůru včetně rhizodermis. Tato pletiva odumírají a nad lýkovou částí je kořen kryt pouze vrstvou pericyklu, v rámci které později remeristemací vzniká felogén. Rozšiřování kořene je ve vrstvách lýka kompenzováno dilatací lýkodřevních paprsků.

Dlouhivé kořeny někdy označované jako válcovité kořeny či makrorhizy splňují, poté co dosáhly

určitého půdního prostoru (obr. 8), funkci především vodivou, zásobní a obrannou (obr. 9). Jsou typické četnými anastomózami jak mezi kořeny jednoho a téhož jedince (obr. 10), tak také mezi kořeny různých jedinců i různých druhů (GRAHAM, BORMANN 1966).

Kořeny zpočátku dlouhivé přecházejí dříve či později pod vlivem námahy v kořeny kotevní. Nejvýznamnější je jejich funkce mechanická – nosná a upevňující. Namáhány jsou v důsledku ohýbání stromu větrem; na svrchní straně kořenů na návětrné straně kmene jsou namáhány v tahu, na spodní straně mírně v tlaku. Na straně závětrné je tomu opačně. Tyto kořeny ztrácejí brzy kruhovitý průřez, neboť na svrchní straně přirůstají tahovými, širšími letokruhy, na spodní straně se vytváří tlakové dřevo s užšími letokruhy, červeněji zbarvené, s nižším obsahem ligninu (SCHWEINGRUBER 1996). Jde o kořeny nejstarší, nejbližší kmenové bázi, nejdříve napadené eventuálními houbovými infekcemi (obr. 11).

Corresponding author:

Ing. ROMAN GEBAUER, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta,
Lesnická 37, 613 00 Brno, Česká republika
tel.: + 420 545 134 057, fax: + 420 545 211 422, e-mail: gebo@email.cz
