

HODNOTENIE MODELOVEJ MINERALIZÁCIE DREVA POMOCOU SKENOVACEJ ELEKTRÓNOVEJ MIKROSKOPIE

EVALUATION OF ARTIFICIAL MINERALIZATION OF WOOD BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Miroslava Mamoňová – Tereza Murínová – Pavel Mec

ABSTRACT

Mineralization of wood is one of the possibilities for extending life of timber elements. During this process physical and/or chemical changes of the material arise by specific conditions and mineral particles remain in the lumen of wooden cells or penetrate into cell wall, where they can bind with some components. This study was focused on the evaluation of artificial mineralized wood by scanning electron microscopy (SEM). Specifically, structural changes of wood and localization of mineral particles are evaluated on SEM images, which can serve for description of mineral extent and its distribution.

Keywords: wood mineralisation, scanning electron microscopy, mineralization survey, organo-inorganic-silanols, spruce, larch, beech, oak, encrusted bordered pits

ÚVOD

Životnosť drevených konštrukcií môže byť predĺžená modifikáciou materiálu, ktorá je založená na princípe mineralizácie, v niektorých prípadoch až petrifikácie dreva. Mineralizované (petrifikované) drevo vzniká najskôr rozkladom bunkovej steny, nasledovaným kontinuálnym ukladaním oxidu kremičitého rýchlosťou a spôsobom, ktorý je zlučiteľný so zachovaním rozmerovej stability dreva (KIM *et al.* 2009). Pre duplikáciu jednotlivých štruktúrnych elementov pri prechode dreva na kameň sa najlepšie hodí oxid kremičitý SiO_2 v rôznych formách (od amorfného opálu až po kryštalický kremeň), KIM *et al.* (2009). Kompletná mineralizácia dreva trvá rádovo milióny rokov, ale za špecifických podmienok môže drevo petrifikovať rýchlejšie (FENGEL 1991, SNELLING 1995, AKAHANE *et al.* 2004, KIM *et al.* 2009).

Umelé presýtenie štruktúry dreva silikátmi vedie k podobným štruktúrnym zmenám ako pri mineralizácii prirodzenej. Minerálny roztok penetruje do matrice dreva, kde zostáva v lúmenoch, alebo preniká do bunkových stien, kde môže chemicky reagovať s niektorými zložkami (HILL 2006). Transport chemických látok v dreve je ovplyvnený štruktúrou dreva (typom a počtom vodivých buniek, ich prepojením, prierezom lúmenov, tylatáciou, uzavretím stenčien atď.), hodnotou vlhkosti dreva (lepšie parametre pri nevysušenom dreve), aplikačnými vlastnosťami prostriedku, tlakovými a difúznymi transportnými silami (POŽGAJ 1997, REINPRECHT 2008).

Prvý pokus o prevedenie umelej mineralizácie v laboratórnych podmienkach bol publikovaný v roku 1968 DRUMOM (ex AKAHANE *et al.* 2004). V tomto prípade bolo použité sodné vodné sklo (vodný roztok kremičitanu sodného Na_2SiO_3), pre ktoré bolo typické ukladanie kremičitanu vo forme amorfného opálu na vonkajšom povrchu bunkovej steny. V roku 1976, LEO & BARGHOORN simulovali umelú mineralizáciu pomocou tetraetoxysilánu (TEOS) a stanovili, že kremičité častice vyplňajú lúmeny buniek (AKAHANE *et al.* 2004). Napriek tomu, že boli tieto experimenty vykonávané za laboratórnych podmienok, ktoré boli odlišné od tých prirodzených, vytvorené štruktúry sú veľmi podobné prirodzene mineralizovaným štruktúram. Na prevedenie analýz umelo aj prirodzene mineralizovaných vzoriek môžu byť použité rôzne analytické metódy. Makroskopický vzhľad je počas ukladania minerálnych častíc zachovaný, avšak na mikroskopickej úrovni dochádza k zmenám vplyvom adhézie novotvarov v organickej matrici. Z tohto dôvodu je dôležité stanoviť pri prirodzene aj umelo mineralizovanom materiáli stav organickej matrice, typ a množstvo minerálnych častíc a tiež ich lokalizáciu (v lúmenoch alebo bunkovej stene). Ďalej bývajú stanovované aj niektoré fyzikálne vlastnosti ako je hustota, pórovitosť atď. (KIM *et al.* 2009). Hodnotenie mechanických vlastností je pri prirodzene mineralizovanom dreve skôr raritné (HORSKÝ a REINPRECHT 1986), ale môžu byť zisťované práve v prípade umelo mineralizovaných profilov.

Jednou z možných skúšobných metód aplikovateľných na mineralizované drevo je práve skenovacia elektrónová mikroskopia (SEM), ktorá umožňuje zhodnotiť stav organickej matrice a umiestnenie minerálnych novotvarov v rôznych smeroch sledovaného preparátu (KIM *et al.* 2002, YOON a KIM 2008). Na účely anatomickej štúdie modifikovaného dreva sú vzorky pripravované tak, aby bolo možné identifikovať a lokalizovať minerálne častice bez poškodenia drevenej matrice (MAMOŇOVÁ 2013). V roku 2009 boli takto u prirodzene mineralizovaného dreva identifikované jemné častice pôdnych minerálov v lúmenoch pretiahnutých buniek a mnohostenné kryštály, najmä kremeňa, pri povrchových trhlinách. Je pravdepodobné, že práve rast kryštálov oxidu kremičitého je zodpovedný za čiastočnú deštrukciu bunkovej steny (KIM *et al.* 2009).

V experimentálnej časti bolo cieľom pri jednotlivých vzorkách umelo mineralizovaného dreva hodnotiť rozloženie minerálnych častíc a stav drevnej matrice. Pre mineralizáciu boli použité roztoky organosilánov a kremičitanov, ktoré bývajú často využívané pre impregnáciu v rôznych priemyselných odvetviach – v stavebníctve pre oštiepenie silikátových materiálov, a tiež pri výrobe textílií, papiera a plastov (SIMON *et al.* 2011). Organosilán, konkrétne produkt Lukofob 39, bol už na drevo použitý pre zlepšenie odolnosti proti napúčaniu, drevokazným hubám a plesniam (REINPRECHT *et al.* 2013). Oštiepenie pentahydrátom síranu meďnatého ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) bolo použité pre simuláciu mineralizácie v kyslom prostredí.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Materiál a metódy

Drevo. Pre experiment boli použité vzduchosuché vzorky s rozmermi $125 \times 125 \times 300$ mm ($r \times t \times l$) zo smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), smrekovca (*Larix decidua* Mill.), buka (*Fagus sylvatica* L.) a duba (*Quercus* Spp.), ktoré neboli pred oštiepením umelo sušené, aby v nich nedošlo k štruktúrnym zmenám dreva vplyvom pôsobenia vyšších teplôt.

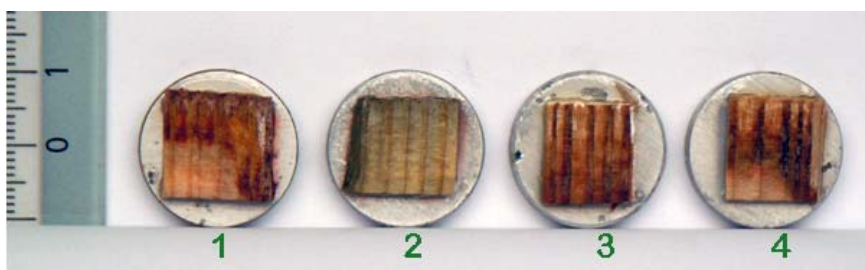
Vzorky dreva boli oštiepené ponorením do minerálnych roztokov pri atmosférickom tlaku $\cong 100$ kPa, teploty 20 ± 1 °C, a doby máčania 24 hodín (pre Lukofob 39) alebo 28 dní (pre všetky roztoky).

Chemikálie. Pre modifikáciu vzoriek boli použité:

- Organo-anorganický silanolátový produkt, s komerčným názvom Lukofob 39 (Lučební závody a.s. Kolín, Česká republika), vo forme vodného roztoku s hmotnostnou koncentráciou 50%, s obsahom účinnej látky 20 % metylsilanolátu draselného ($\text{CH}_3\text{K}_3\text{O}_3\text{Si}$), s prímiesou 19 % iných aditív (alkalická látka KOH a ďalšie neprchavé zlúčeniny rozpustné vo vode, draslík, tj K_2O , K_2CO_3 a KCl). Táto žltohnedá kvapalina má alkalický charakter s pH 13, s teplotou tuhnutia -10°C a hustotou od 1270 do $1300\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Vodný roztok kremičitanu sodného Na_2SiO_3 , obsahuje 24,5–36,5 % SiO_2 a 7,5–17 % Na_2O , s pH 11–12.
- Roztok pentahydrátu síranu meďnatého aplikovaný v riedení 20 g $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ na 100 ml demineralizovanej vody, s pH 2,5.

Príprava vzoriek pre skenovaciu elektrónovú mikroskopiu.

Z každej vzorky (modifikovanej uvedenými roztokmi) bol preparát odobratý cielene tak, aby bolo možné pozorovať priebeh penetrácie v axiálnom, aj radiálnom smere. Radiálna plocha bola primárne vytvorená štiepaním s lokalizáciou na stred vzorky. Následne boli preparáty radiálnych štiepných plôch fixované s použitím PVAC lepidla na hliníkové terčíky (Obr. 1). Po fixácii preparátu bola odobratá pomocou žiletky tenká vrstvička pre vytvorenie ideálneho radiálneho rezu. Ďalej bol na druhej čelnej hrane preparátu vytvorený šikmý rez pre presnú orientáciu medzi jarným a letným drevom. Finálne bol preparát pokovený zlatom vo vysokom vákuu pomocou naparovacieho zariadenia.



Obr. 1 Preparáty smrekovca opadavého pre skenovaciu elektrónovú mikroskopiu, 1 - vzorky ošetrené roztokom vodného skla po 28 dňoch, 2 - roztokom $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ po 28 dňoch, 3 - roztokom Lukofobu 39 po 24 hodinách, 4 - roztokom Lukofobu 39 po 28 dňoch.

Fig. 1 Specimens of European larch for scanning electron microscopy, which was treated by 1 – solution of water glass during 28 days, 2 – solution of $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ during 28 days, 3 – solution of Lukofob 39 during 24 hours, 4 – solution of Lukofob 39 during 28 days.

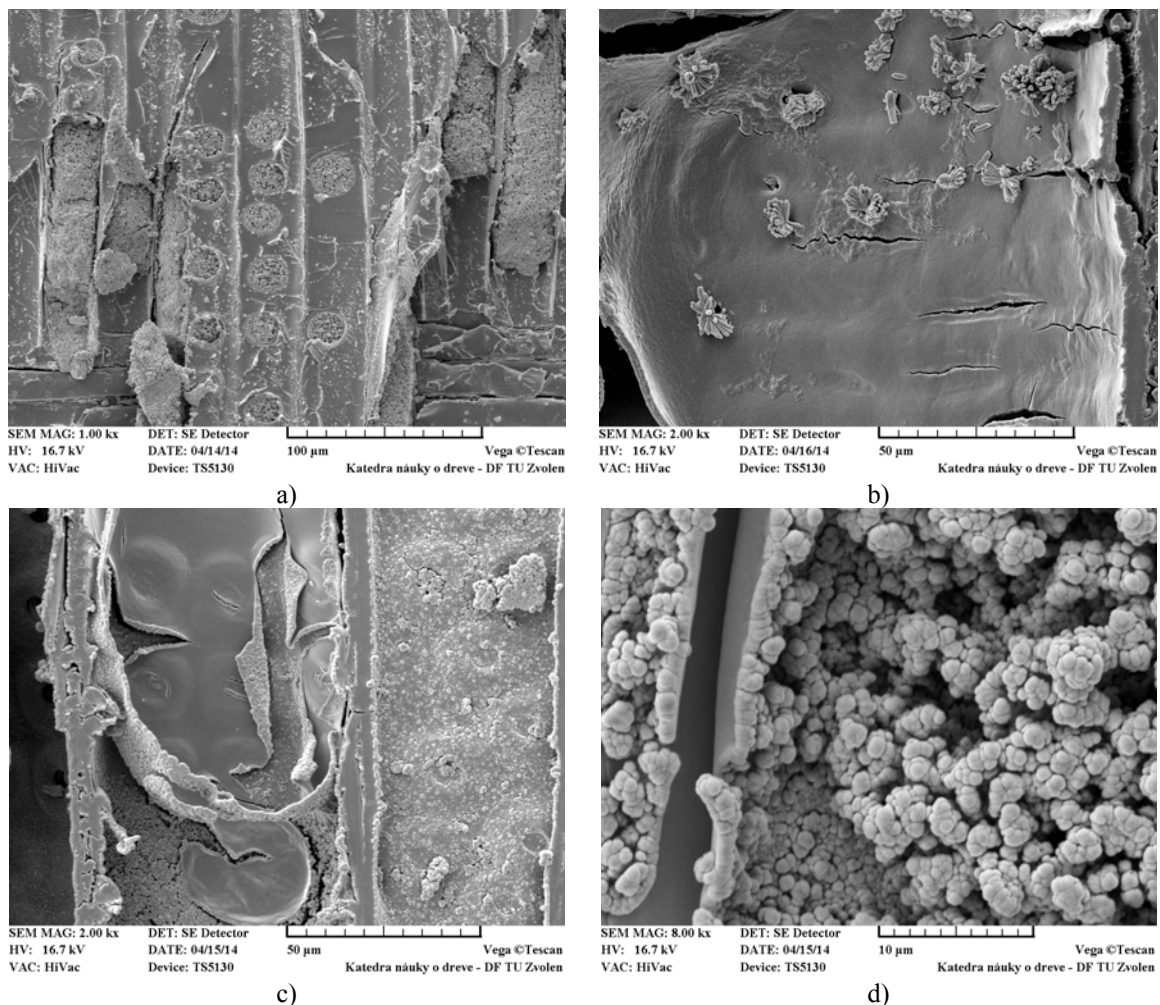
Skenovacia elektrónová mikroskopia. Mikroskopické pozorovanie bolo prevádzané na skenovacom elektrónovom mikroskope Tescan VEGA TS-5130, pri urýchľovacom napätí 16,7kV, pričom boli na získanie signálu využívané sekundárne elektróny (SE detektor). Na jednotlivých snímkach sa hľadali významné kvalitatívne zmeny v štruktúre xylému a v prípade ich nálezov bola stanovená exaktná informácia, týkajúca sa vzdialenosti od povrchu penetrácie v axiálnom, či radiálnom smere.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na základe jednotlivých snímok rozlične ošetrených vzoriek boli určené kvalitatívne charakteristiky zmien v xyléme.

Vzorky ošetrované organosilátom

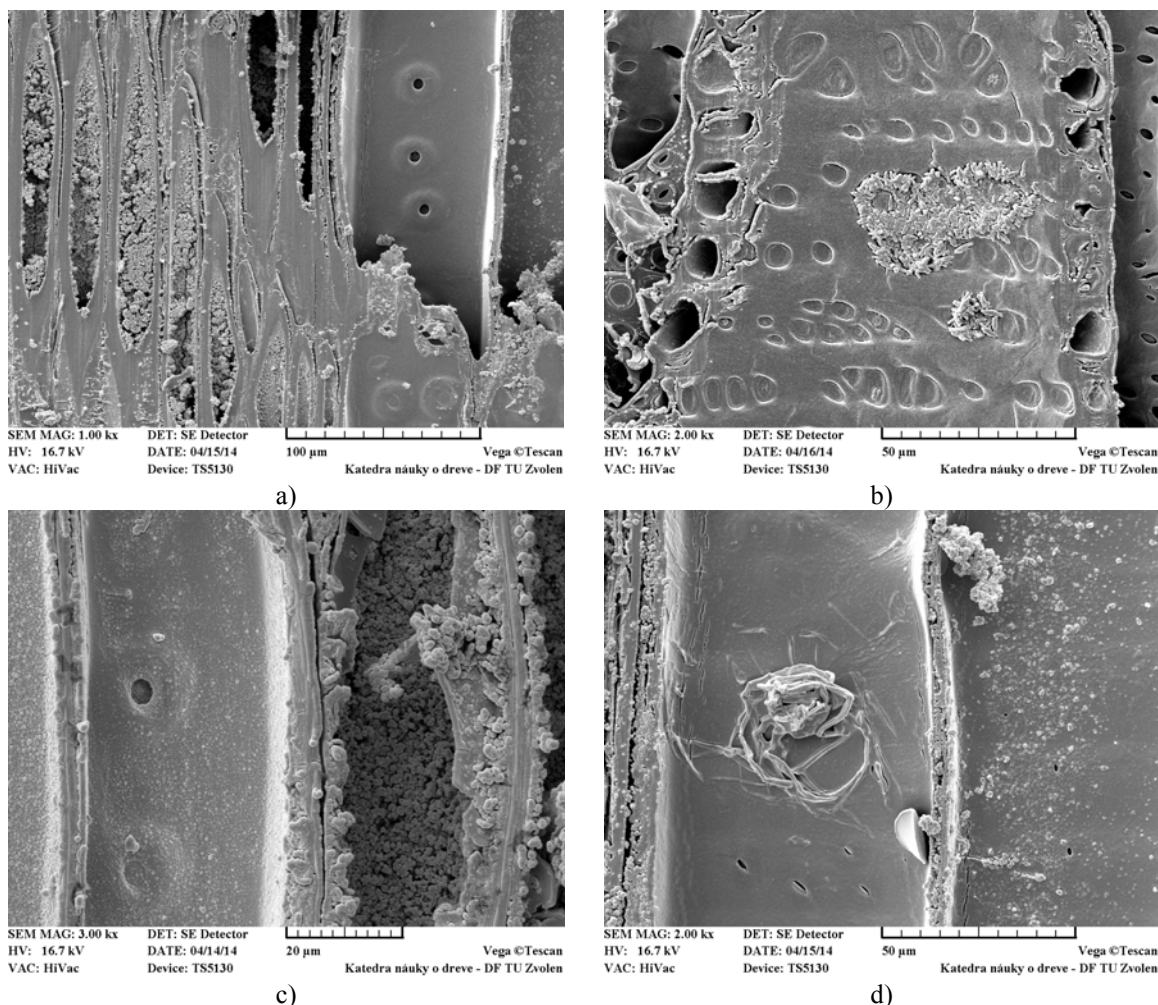
Jemné, či rôzne granulované, krehké a lokálne odlupujúce sa minerálne povlaky sa nachádzali v štruktúrnych elementoch povrchových vrstiev jednotlivých vzoriek dreva ošetrovaných organosilánom už po 24 hodinách. Tieto štruktúrne elementy sú lokálne aj úplne vyplnené. Penetrácia je nerovnomerná. Dvojbody sú zvyčajne inkrustované minerálnymi časticami (Obr. 2a).



Obr. 2 Vzorky ošetrované organosilánom (Lukofob 39) po 24 hodinách máčania. a) inkrustované dvojbody a vytváranie upchávok v lúmenoch tracheíd v hĺbke 2,5 mm v radiálnom smere od povrchu smrekovej vzorky; b) ihličkovité silanolátové štruktúry na vnútornom povrchu tyl ciev jarného dreva lokalizované pri povrchu dubových vzoriek; c) penetrácia silanolátu pod sekundárnu vrstvu S3 jarnej tracheidy smrekovca; d) detail silanolátových štruktúr.

Fig. 2 Specimens treated by organosilane (Lukofob 39) after 24 hours of immersion. a) encrusted bordered pits and formation of silanolate seals in lumina of tracheids at a depth of 2.5 mm in radial direction from the surface of the spruce specimen; b) acicular silanolate structures on the inner surface of tyloses into vessel of early wood nearby oak specimen surface; c) penetration of silanolate structures under the layer S3 of the secondary cell wall of early wood tracheid in larch; d) detail of the silanolate structures.

Pri ihličnatých drevinách sú vyplnené tracheidy jarného i letného dreva a radiálny parenchým. Pri listnatých drevinách sú vyplnené cievy jarného i letného dreva, parenchým stržňových lúčov aj axiálny, ale penetrácia je blokovaná tylami v cievach (Obr. 2b). K vzniku krehkých lomov ako aj k odlupovaniu dochádza v sekundárnej bunkovej stene S3 smrekovca (Obr. 2c), duba i buka. V lúmenoch tracheíd smrekovca sú viditeľné vzduchové embólie, ktoré dokumentujú hĺbku penetrácie.

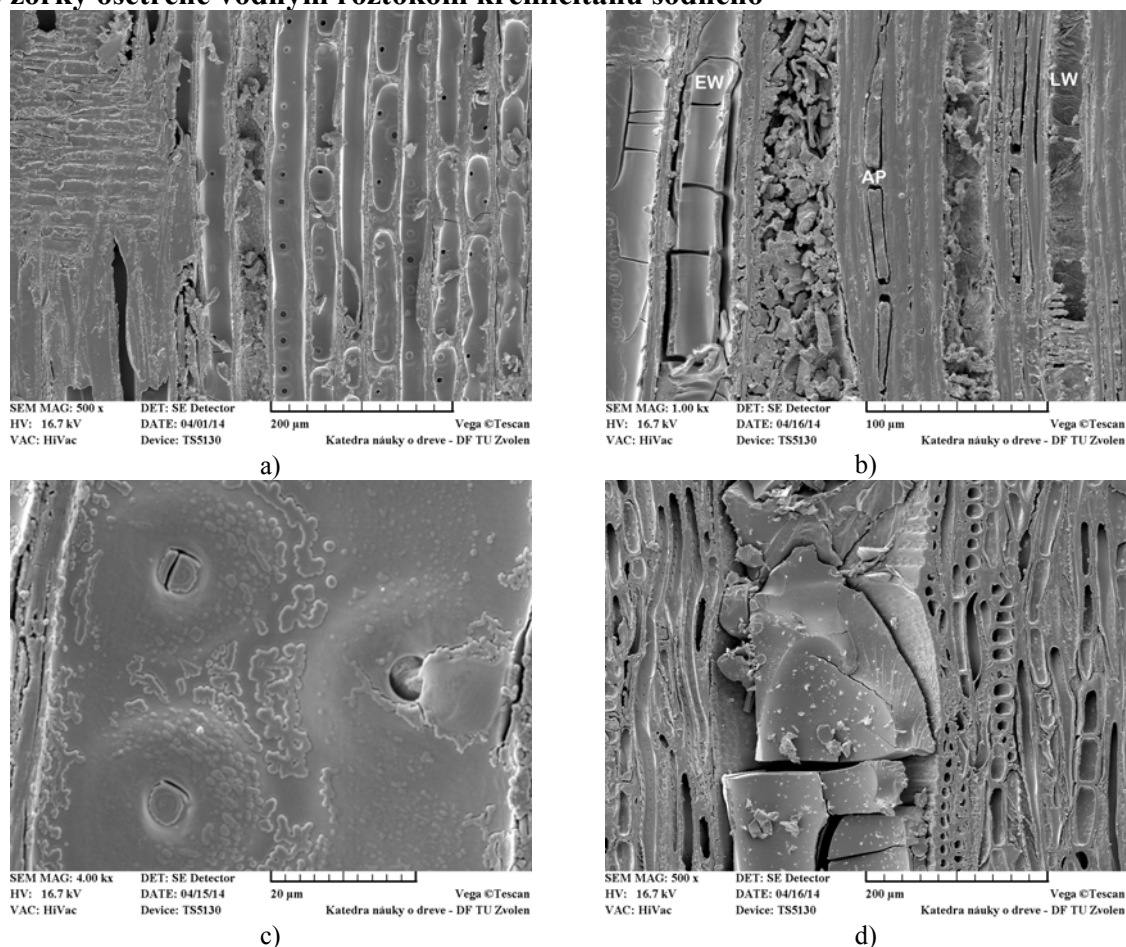


Obr. 3 Vzorčky ošetrené organosilánom (Lukofob 39) po 28 dňoch máčania. a) lúmeny letných tracheíd silne blokové minerálnymi usadeninami pri smrekovcovej vzorke; b) penetrácia štruktúr silanolátu cez stenčieniny v jarnej cieve duba c) povrch lúmenov (sekundárna bunková stena S3) – štruktúry silanolátu penetrujú medzi vrstvy sekundárnej bunkovej steny, čo je zrejmé na reze bunkovou stenou; d) zbortená tenkostenná bublinka penetrujúceho roztoku na dvojbodke tracheidy jarného dreva (smrekovec).

Fig. 3 Specimens treated by organosilane (Lukofob 39) for 28 days of immersion. a) lumina of late wood tracheids are heavily blocked by minerals in larch specimen; b) penetration of the silanol structures through the vessel-ray pits in the wall of early wood vessel of oak; c) luminal surface (secondary cell wall layer S3) – the silanol structures penetrate between the layers of the secondary cell wall, that is clear in section of the cell wall; d) collapsed thin walled bubble of penetrated solution on the bordered pit of early wood tracheids (larch).

Po 28 dňoch máčania nachádzame štruktúry silanolátu v rozsahu celého preparátu. Granulovité alebo hladké krehké povlaky sú viac rozšírené a môžu sa odlupovať. Usadeniny dosahujú lokálne značnej hrúbky, ktoré môžu následne jednotlivé štruktúrne elementy celkom vyplniť. Pri ihličnanoch sú vyplnené tracheidy jarného aj letného dreva (Obr. 3a), a taktiež radiálny parenchým. Pri listnatých drevinách sú vyplnené cievy jarného i letného dreva, parenchým stržňového lúča, a taktiež axiálny parenchým, avšak penetrácia je čiastočne blokována výskytom tyl v cievmach. Opäť vzniká krehký film na sekundárnej bunkovej stene S3, tentoraz pri všetkých druhoch drevín. Preukázaná je taktiež penetrácia medzi vrstvy sekundárnej bunkovej steny (Obr. 3c). Stenčieniny sú zvyčajne inkrustované. Zdokumentovaný je tiež výskyt zbortených tenkostenných bubliniek pri smreku a smrekovci (Obr. 3d).

Vzorky ošetrené vodným roztokom kremičitanu sodného

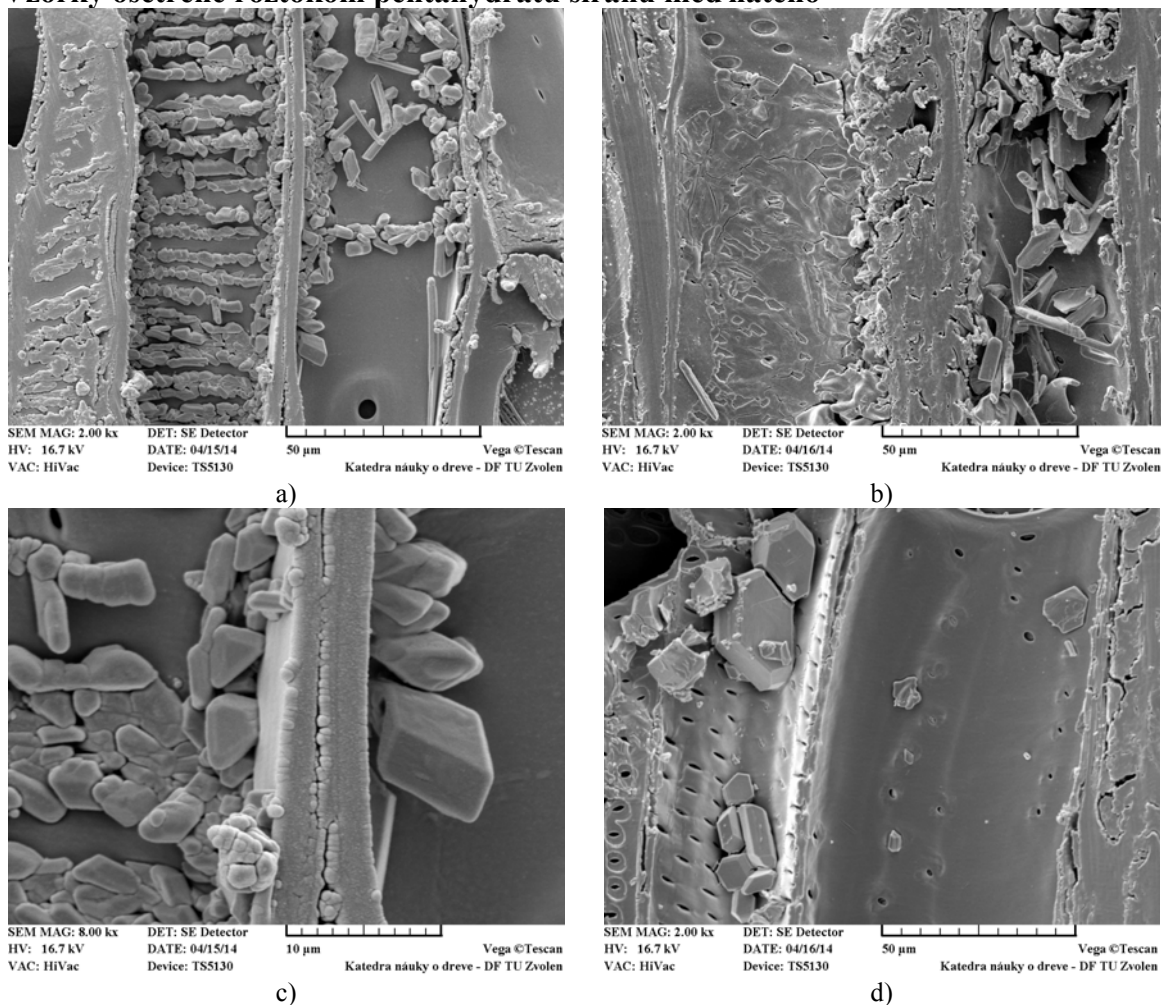


Obr. 4 Vzorky ošetrené vodným sklom po 28 dňoch máčania. a) detail vzduchových embólií v jarných tracheidách smrekového dreva; b) detail štruktúrovaného povlaku v lúmenoch ciev letného dreva (LW) verus odlupovanie a vznik krehkých trhlín v hladkom povlaku vodného skla v cievach jarného dreva (EW) a inkrustácia axiálneho parenchýmu (AP) vzorky bukového dreva; c) penetrácia vodného skla porusom dvojbodky smrekovca; d) krehké lomy povlaku vodného skla v jarnej cievi duba.

Fig. 4 Specimens treated by water glass for 28 days of immersion. a) detail of air embolus in tracheids of early wood for spruce; b) detail of structured encrustations in vessel lumina of beech late wood (LW), exfoliation and brittle fractures of the straight film of water glass in vessel lumens of beech early wood (EW) and crusting of beech axial parenchyma (AP); c) penetration of water glass through the bordered pit in the wall of early wood tracheid of larch; d) brittle fractures of the film of of water glass in early wood vessel of oak.

Vzorky dreva máčané vo vodnom skle po dobu 28 dní majú jednotlivé štruktúrne elementy nerovnomerne vyplnené minerálnymi útvarmi, alebo hladkým, či granulovitým krehkým povlakom (Obr. 4b). Povlak s nerovnomernou hrúbkou vzniká tiež na sekundárnej bunkovej stene S3 pri smrekovci a smreku. Roztok penetruje drevom cez stenčieniny, ktoré následne inkrustuje. Tyly v cievach duba vytvárajú bariéru pri penetrácii roztoku, pričom sa vyskytujú úseky cievy charakterizované hrubým povlakom vodného skla s krehkými lastúrovitými lomovými plochami (Obr. 4c). Pri ihličnatých drevinách roztok penetruje predovšetkým do tracheíd jarného, ale aj letného dreva a parenchýmu stržňových lúčov. Pri listnáčoch sú povlakom pokryté predovšetkým cievy jarného dreva, ale aj letného dreva, ďalej tiež parenchým axiálny a stržňových lúčov. Vzduchové embólie sa objavujú pri povlakoch v smreku, smrekovci a buku (obr. 4a). Minerálne novotvary sa objavujú pri oboch ihličnanoch axiálne v celom rozsahu vzorky (18 mm). V letných cievach buka možno diagnostikovať typické rebríčkové perforácie s bradavičnatou vrstvou (tzv. warty layer), ktorá sa morfológicky významne líši od minerálnych útvarov vodného skla.

Vzorky ošetrené roztokom pentahydrátu síranu meďnatého



Obr. 5 Vzorky ošetrené roztokom $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ po 28 dňoch máčania. a) horizontálna reorganizácia kryštálov v lúmenoch jarných tracheíd smrekovcového dreva; b) vznik kryštálov i štruktúrovaného šupinkovitého povlaku v jarných cievach buka v hĺbke 1350 μm v radiálnom smere od povrchu; c) detail kryštálov pentahydrátu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) v tracheidách smrekovca; d) triklinický kryštalický systém pentahydrátu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) v jarných cievach buka v hĺbke 1540 μm v radiálnom smere od povrchu.

Fig. 5 Specimens treated by solution of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ for 28 days of immersion. a) crystals in lumens of early wood tracheids with horizontal row reorganization for larch; b) crystallization and also structured flake film in vessels of beech early wood at a depth 1350 μm in radial direction from the surface; c) detail of crystals of the pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) in tracheids of larch; d) the triclinic crystal system of the pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) in vessels of beech early wood at a depth 1540 μm in radial direction from the surface.

Vo vzorkách ošetrených roztokom pentahydrátu síranu meďnatého sa po 28 dňoch nerovnomerne objavujú kryštály, zhľuky kryštálov aj lokálne usadeniny, úplné vyplnenie lúmenov štruktúrnych elementov je raritné (Obr. 5b). Pri ihličnatých drevinách roztok penetruje do tracheíd jarného dreva, lokálne aj letného dreva a do parenchýmu stržňových lúčov. Pri jarných tracheidách smrekovcového dreva sa lokálne vyskytuje horizontálna líniová reorganizácia kryštálov (Obr. 5a). Pri listnatých drevinách roztok penetruje do ciev jarného (Obr. 5b, 5d) i letného dreva. V cievach bola potvrdená tvorba triklinického kryštalického systému pentahydrátu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), pričom ku kryštalizácii dochádzalo vždy v blízkosti membrán stenčien (Obr. 5c, 5d).

ZÁVER

V rámci experimentálnych prác bola pre hodnotenie modelovo mineralizovaného dreva využitá skenovacia elektrónová mikroskopia. Touto metódou možno získať kvalitatívne informácie o minerálnych depozitoch v štruktúre xylému, najmä o charaktere minerálnych častíc – povlakoch, kryštáloch, či ich zhľukoch, a ich umiestnení v organickej matrici. Na niektorých miestach preparátu je možné na reze bunkovej steny odhaliť aj penetráciu roztoku medzi vrstvy bunkovej steny. Priebeh penetrácie v radiálnom a axiálnom smere je možné odvodiť na základe rozloženia minerálnych častíc. Pre tento účel sú výhodné najmä zbortené tenkostenné bublinky roztoku a vzduchové embólie v povlakoch, ktoré dobre ilustrujú tento proces a dokumentujú hĺbku penetrácie.

Toto skúmanie bolo zamerané najmä na hodnotenie výskytu morfológickych charakteristických znakov pre dané ošetrovanie, pričom boli tiež sledované určité anomálne javy. Ak by sme ale chceli získať pre opis mineralizácie kvantitatívne dáta o množstve minerálnej látky v organickej matrici a presné chemické zloženie jednotlivých častí umelo vytvoreného materiálu, je nutné využiť aj ďalšie analytické metódy. Samotná skenovacia mikroskopia taktiež poskytuje možnosť využiť detektor na BSE elektróny (tzv. backscattered electrons), ktoré veľmi citlivo reagujú na zmeny atómového čísla, a tým umožňujú zachytiť s vyššou citlivosťou zmeny, ku ktorým dochádza v bunkovej stene vplyvom mineralizácie.

LITERATÚRA

- AKAHANE, H., FURUNO, T., MIYAJIMA, H., YOSHIKAWA, T., YAMAMOTO, S. 2004. Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history. *Sedimentary Geology*, 169: 219–228. ISSN: 0037-0738.
- FENGEL, D. 1991. Aging and fossilization of wood and its components. *Wood Science and Technology*. 25: 153–77.
- HILL, C. A. S. 2006. *Wood Modification : Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, doi: 10.1002/0470021748.ch5
- HORSKÝ, D., REINPRECHT, L. 1986. Štúdia subfosilného dubového dreva. Zvolen : VŠLD Zvolen, 1986. 70 p.
- KIM, K., JEONG, E.K., SUZUKI, M., HUH, M., PAIK, I.S. 2002. Some coniferous fossil woods from the Cretaceous of Korea. *Geosciences Journal*, 6 : 131–140, ISSN: 1598-7477.
- KIM, K. W., YOON, CH. J., KIM, P. G., LEE, M. B., LIM, J. H. 2009. Fine structure and X-ray microanalysis of silicified woods from a Tertiary basin Pohang, Korea by scanning electron microscopy. *Micron*, 40: 519–525. ISSN: 0968-4328.
- LAUROVÁ, M., MAMOŇOVÁ, M., KUČEROVÁ V. 2004. Proces parciálnej hydrolýzy bukového dreva (*Fagus sylvatica* L.) parením a varením. (Vedecké štúdie 2/2004/A), Zvolen : TU vo Zvolene, 59 p. ISBN 80-228-1374-5.
- MAMOŇOVÁ, M. 2013. *Wood Anatomy*. Zvolen : Technical University in Zvolen, 2013. 123 p. ISBN 978-80-228-2499-6.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava : Príroda, 1997. 485 p. ISBN: 80-07-00960-4
- REINPRECHT, L. 2008. *Ochrana dreva*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 p. ISBN 978-80-228-1863-6.
- REINPRECHT, L., PÁNEK, M., DAŇKOVÁ, J., MURÍNOVÁ, T., MEC, P., PLEVOVÁ L. 2013. Performance of Methyl-tripotassiumsilanol Treated Wood Against Swelling in Water, Decay Fungi and Moulds. *Wood Research*, 58: 511–520. ISSN: 1336-4561.
- REINPRECHT, L., GRZNÁRIK, T. 2014. *Silán – Drevo*. Zvolen :Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 76 p. ISBN 978-80-228-2666-2.

SIMON, F., MARCHAL, F., POCHON, F., KUTNIK, M., LA BAYON, I. 2011. The potential of silicone-based formulations to enhance wood properties through industrial treatment for outdoor use. Stockholm : The International Research Group on Wood Protection, 2011. IRG/WP/11–30578
SNELLING, A.A. 1995. “Instant” petrified wood. *Creation*, 17: 38–40. ISSN 0819-1530.
YOON, CH. J., KIM, K. W. 2008. Anatomical descriptions of silicified woods from Madagascar and Indonesia by scanning electron microscopy. *Micron*, 39: 825–831. ISSN: 0968-4328.

PodĎakovanie

Autori vyjadrujú podĎakovanie grantovej agentúre SR Grant VEGA č. 1/0574/12 „Defekty v povrchu a vnútornej hmote dreva – výskum ich vzniku, identifikácie, inhibície a prevencie“ a súčasne grantovej podpore VŠB-TUO, projekt č. SP 2014/134; projekt „Institút čistých technológií ťžby a užití energetických surovín“ č. CZ.1.05/2.1.00/03.0082.

Adresa autorov

Ing. Miroslava Mamoňová, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
T.G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
Slovenská republika
mamonova@tuzvo.sk

Ing. Tereza Murínová
Ing. Pavel Mec
VŠB – TU Ostrava
Fakulta stavební
Katedra Stavebních hmot a hornického stavitelství
Ludvíka Podéště 1875/17
708 33 Ostrava – Poruba
tereza.murinova@vsb.cz
pavel.mec@vsb.cz

