

## ZMENA ADHÉZIE DREVO/KÔRA NA KMENI BUKA POČAS DORMANTNÉHO A VEGETAČNÉHO OBDOBIA

### CHANGE ADHESION WOOD/BARK ON THE TRUNK OF A BEECH DURING DORMANT AND GROWING PERIOD

Igor Čunderlík – Peter Vilkovský

#### ABSTRACT

The presented work evaluates wood/bark adhesion on the beech trunks during growing and dormant period. The adhesion was expressed as a sheer strength at the border of wood/bark in the longitudinal and tangential direction. Based on measurement we can say that the value of sheer strength under application of the force in the longitudinal direction was 20–25% higher than under application of the force in tangential direction. This difference is attributed particularly to the direction of the wood rays. The sheer strengths in both directions are significantly influenced by weather conditions the during growing and dormant period.

**Key words:** wood/bark adhesion, beech bark, cambium, phloem, shear strength.

#### ÚVOD

Kôra, ako produkt delenia drevného a korkového kambia, sa výrazne líši od sekundárneho dreva, ktoré je tiež produktom delenia drevného kambia. Rozdiel v štruktúre kôry a dreva sa prejavuje významne na hodnotách fyzikálnych, mechanických a chemických vlastností. To je hlavný dôvod, prečo sa drevo v mnohých technológiách jeho spracovania odkôrňuje. Najmä pri spracovaní dreva v celulózno-papierenskom priemysle je nežiaduce, aby sa kôra dostávala do polotovaru, resp. finálneho výrobku (buničina, papier). Pri pohľade na kôru, ako nežiaduceho podielu surového dreva (guľatiny), je dôležité poznať aká je adhézia kôry na dreve. Pri technickom pohľade na kôru, je snaha spracovateľov surového dreva čo najjednoduchšie a najľahšie oddeliť kôru od dreva s čo najnižšou spotrebou energie.

Na druhej strane kôra plní veľmi dôležitú funkciu na kmeni živého stromu. Od jej vodivej a ochranej funkcie závisí vitalita a zdravotný stav stromu. Z pohľadu živého stromu sa očakáva, že kôra bude okrem fyziologickej funkcie plniť dostatočne aj ochrannú funkciu voči vonkajším fyzikálnym faktorom (teplo, žiarenie, vlhkosť), voči biologickým činiteľom (baktérie, huby, hmyz) a tiež voči mechanickému poškodeniu kmeňa.

Pri oboch pohľadoch na kôru sa stretávame s jedným spoločným fenoménom, s adhéziou drevo/kôra. Adhézia respektíve príľnavosť predstavuje silu spojenia medzi dvoma rôznymi štruktúrami. S praktického hľadiska pri spracovaní surového dreva (guľatiny) potrebujeme, aby adhézia drevo/kôra bola čo najnižšia a lesný hospodár a ochranár očakáva adhéziu drevo/kôra čo najvyššiu.

Pre pochopenie adhézie drevo/kôra je potrebné poznať anatomickú štruktúru rozhrania drevo/ kôra, od ktorého bude závisieť adhézia týchto dvoch vrstiev. PRISLAN *et al.* (2013) sledovali štruktúru kambia, lyka a dreva buka v rôznych štádiách vegetácie a dormancie (vegetačný kľud). Pomocou transmisnej svetelnej a elektrónovej mikroskopie zistili, že okrem kvantity kambiálnych buniek sa v uvedených obdobiach mení aj ich kvalita. V období dormancie obsahovala kambiálna zóna na sledovanom bukovom kmeni štyri rady kambiálnych buniek. V aktívnej fáze kambia, vo vrchole vegetačného obdobia pozostáva kambiálna zóna z ôsmich radov kambiálnych buniek. Podobne transmisná elektrónová mikroskopia ukázala, že kambium v dormantnej fáze má hrubšiu bunkovú stenu ako kambium vo fáze aktívnej činnosti.

Na adhéziu drevo/kôra vplýva okrem kambia aj štruktúra kôry a štruktúra dreva. Štruktúra bukového dreva je v odbornej literatúre podrobne popísaná (CHOVANEC *et al.* 1989, PRISLAN *et al.* 2009, 2012, 2013, KÚDELA 2011, KÚDELA a ČUNDERLÍK 2012). Buk ako zástupca rostrúseno-pórovitého dreva má vysoký podiel cievnych buniek a vláknitých, hrubostenných buniek. Bukové drevo má taktiež veľké zastúpenie jedno a viacradových stržňových lúčov. Drevný parenchým sa tvorí na konci vegetačného obdobia s apotracheálne difúznym alebo pruhovým usporiadaním (SCHWEINGRUBER 1990).

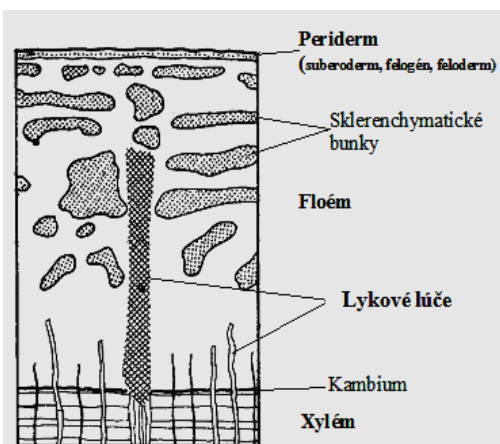
Buková kôra je zložená z dvoch základných vrstiev: z lyka, označovaného ako vnútorná, živá kôra a z peridermu, vonkajšej mŕtvej kôry (obr. 1). Funkcia lyka na živom strome je predovšetkým vodivá (rozvádza produkty fotosyntetickej asimilácie v pozdĺžnom smere), funkcia peridermu je ochranná (chráni vnútorné pletivá živej kôry, kambia a dreva pred vonkajším prostredím). Buk je jedným z tzv. „peridermálnych stromov“, ktoré tvoria permanentný prvotný periderm a netvorí odumretú borku. Dreviny ktoré tvoria len jeden prvotný periderm zväčša netvorí lykové vlákna a preto aj buková kôra nemá vláknitú štruktúru (PRISLAN *et al.* 2012).

Z pohľadu adhézie drevo/kôra je veľmi dôležitá štruktúra lyka. PRISLAN *et al.* (2012) identifikovali v lyku buka dve vrstvy: neskolabované lyko a skolabované lyko (obr. 2). Neskolabované lyko má zreteľnú zónu jarného a letného lyka, podobne ako je to pri tvorbe jarnej a letnej zóny dreva. Neskolabované fyziologicky funkčné lyko tvorí na buku len jeden ročný kruh. V druhom a ďalších ročných kruhoch lyka už nastane kolaps vodivých bunkových elementov (sitkovic), čím sa tieto pletivá prestávajú podieľať na fyziologickej funkcii lyka. Ďalšie pletivá lyka, všetky typy parenchýmu (výplňový, kryštalonosný a stržňový) ostávajú živé a tým sú schopné podliehať ďalším zmenám (dilatačný rast, tvorba sklereidov). Uvedení autori zistili na danom vzorkovom materiáli buka, že v kôre hrubej priemerne 6000  $\mu\text{m}$  zaberá lyko 93 % a periderm 7 % hrúbky kôry. Pritom jeden funkčný neskolabovaný ročný kruh lyka pokrýva len 4 % hrúbky kôry.

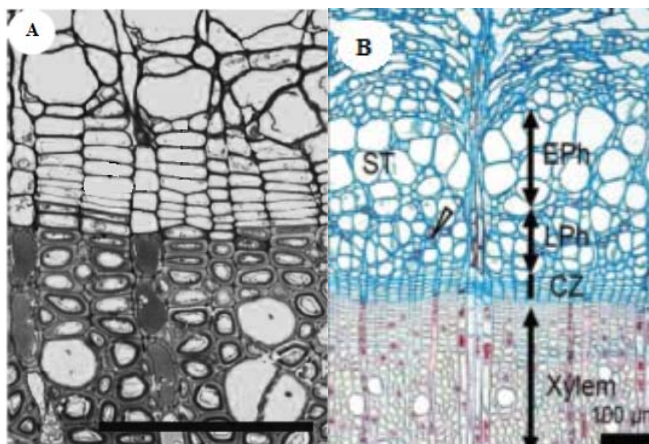
Mechanické vlastnosti bukovej kôry významne ovplyvňujú hrubostenné izodiametrické sklereidy, ktoré vznikajú sklerifikáciou parenchymatických buniek lyka. V prvej pätine hrúbky lyka sa nachádza cca 5 % sklereidov a v poslednej pätine bol zistený až 35 % podiel sklereidov (PRISLAN *et al.* 2012).

Adhézia drevo/kôra bola predmetom výskumu v minulých desaťročiach vo Švédsku (DUCHESNE a NYLINDER 1996) a USA (EINSPHR *et al.* 1972). Bolo vyvinutých niekoľko metodík merania adhézie, princípom ktorých bolo meranie šmykovej pevnosti v pozdĺžnom smere na rozhraní drevo/kôra (FISCKUS *et al.* 1982). EINSPHR *et al.* (1972) sledovali adhéziu drevo/kôra na listnatých amerických drevinách buk, dub, jaseň, breza, javor a platan. Jednotlivé dreviny boli testované v priebehu jedného roka. Počas testovania bolo zistené, že k samotnému porušeniu dochádzalo predovšetkým v kambiálnej alebo aj v mimo kambiálnej, lykovej zóne. Výsledky merania adhézie vybraných druhov listnatých drevín ukázali, že vyššia adhézia drevo/kôra bola zaznamenaná v období dormancie a nižšie hodnoty boli namerané v období aktívneho delenia kambia (obr. 3). EINSPHR

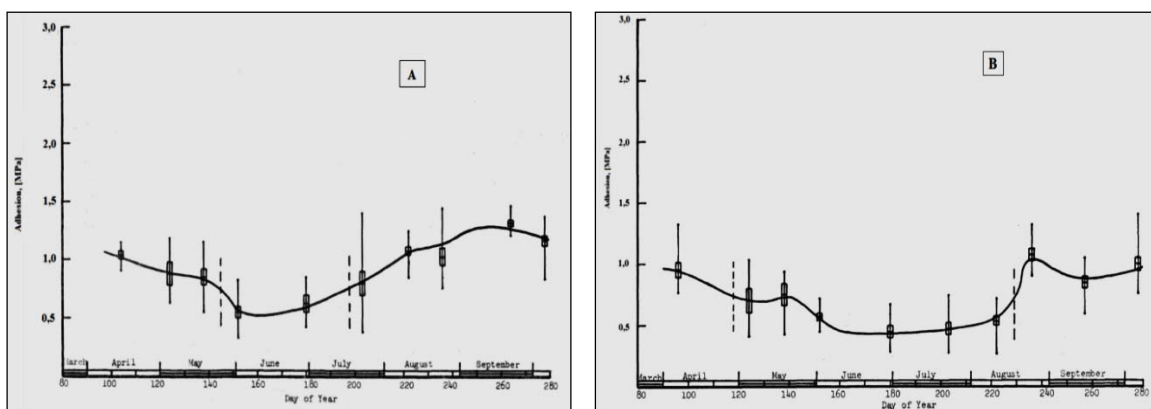
*et al.* (1972) na súbore 24 amerických drevín zistili, že adhézia drevo/kôra vytvára priamu závislosť medzi percentom kôrových vlákien, pevnosťou vnútornej kôry resp. húževnatosťou kôry. Nepriamu závislosť zistili medzi adhéziou drevo/kôra a percentom sklereidov v kôre. Z tohto usudzujú, že prítomnosť lykových vlákien zvyšuje pevnosť vnútornej kôry a prítomnosť sklereidov znižuje pevnosť vnútornej kôry. Štruktúru vnútornej kôry považujú za hlavný faktor ovplyvňujúci adhéziu drevo/kôra.



Obr. 1 Schéma štruktúry bukovej kôry (BRAUN 1976).  
Fig. 1 Scheme of structure of beech bark (BRAUN 1976).



Obr. 2 Rozhranie drevo/kôra na pričnom reze buka počas (A) a na konci (B) vegetačného obdobia. ST – sitkovicce, EPh – lyko jariné, LPh – lyko letné, CZ – kambialná zóna (PRISLAN *et al.* 2013).  
Fig. 2 Interface wood/bark of the beech cross section for the growing season (A) and at the end (B). ST – sieve tube, EPh - phloem early, LPH - phloem late, CZ - cambial zone (PRISLAN *et al.* 2013).

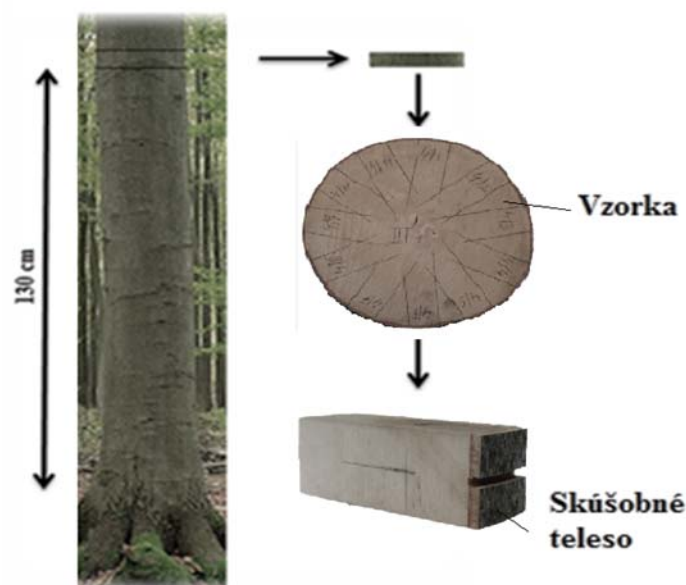


Obr. 3 Adhézia kôry na dreve javora (A) a duba (B) vo vegetačnom období (EINSPAR *et al.* 1972).  
Fig. 3 Bark adhesion on wood of the maple (A) and oak (B) in the growing season (EINSPAR *et al.* 1972).

Cieľom predloženého článku je stanoviť adhéziu bukovej kôry na dreve počas jedného roka meraním šmykovej pevnosti na hranici drevo/kôra v dvoch smeroch zaťaženia. Hodnota šmykovej pevnosti drevo/kôra pri pôsobení zaťažovacej sily v pozdĺžnom smere dáva informácie lesným hospodárom o ochrannej funkcii kôry na rastúcich stromoch, ktoré sú dôležité pre šetrné spôsoby ťažby a výchovné zásahy. Hodnota šmykovej pevnosti pri pôsobení zaťažovacej sily v tangenciálnom smere je dôležitou informáciou pre odkôrňovanie guľatiny.

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

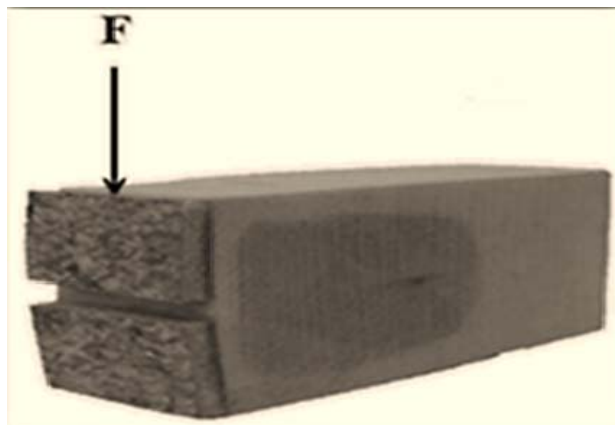
Výber vzorníkov buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) bol uskutočnený na Vysokoškolskom lesnom podniku Technickej univerzity vo Zvolene z lokality Včelien. Lokalita pre odber vzorníkov sa nachádza v pohorí Kremnických vrchov vo výške okolo 550 m. n. m. V jednomesačných intervaloch (február 2013 až január 2014) boli vždy vybrané tri vzorníky (kmene) z ktorých boli vypílené vzorky (kotúče) vysoké cca 5 cm. Vzorky boli vymanipulované z prsnej výšky (cca 1,3 m), z každého kmeňa dve. Jedna vzorka slúžila na prípravu skúšobných telies testovaných v pozdĺžnom smere (rovnobežne s vláknami) zaťaženia a z druhej párovej vzorky boli pripravené telesá pre testovanie adhézie drevo/kôra v tangenciálnom smere (kolmo na vlákna) zaťaženia.



**Obr. 4 Schéma prípravy skúšobných telies.**  
**Fig. 4 Scheme for the preparation of the test specimens.**

Z každej vzorky bolo vymanipulované 10 skúšobných telies (obr. 4). V každom mesiaci bolo testovaných 30 skúšobných telies pri zaťažení rovnobežne s vláknami a 30 skúšobných telies pri zaťažení kolmo na vlákna. Na skúšobných telesách rozmerov  $30 \times 30 \times 30$  mm (L  $\times$  T  $\times$  R) bolo do stredu plochy kôry zapílené okružnou pílou do hĺbky cca 10 mm. Tým sme získali na jednom skúšobnom telese dve identické plochy kôry. Na jednej ploche kôry bola odskúšaná adhézia drevo/kôra v čerstvom stave, na druhej ploche kôry bola odskúšaná adhézia drevo/kôra po dlhodobom klimatizovaní skúšobných telies (tri mesiace,  $\phi = 65\%$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ). Výsledky testovania klimatizovaných skúšobných telies nie sú súčasťou tejto publikovanej práce. Tvar a smer zaťažovania skúšobného telesa znázorňuje obr. 5.

Testovanie adhézie drevo/kôra, cez šmykovú pevnosť sa vykonalo na trhacom stroji TIRA TEST 2150. Zaťažujúca sila bola prenášaná cez špeciálne tvarovanú čeľusť na kôru skúšobného telesa a to v šmyku rovnobežne s vláknami, alebo kolmo na vlákna v tangenciálnej rovine (obr. 6).



**Obr. 5** Skúšobné telesá pre testovanie adhézie v čerstvom stave.  
**Fig. 5** The test specimens for testing adhesion in fresh state.



**Obr. 6** Testovanie adhézie kôry na dreve.  
**Fig. 6** Wood bark adhesion testing.

Pohyb čeluste a veľkosť zaťažovacej sily bol zaznamenaný v prístroji ALMEMO 2690 cez výstupné napätie. Namerané hodnoty boli zapisované do programu AMR control. Tie sa spolu s údajmi o testovanej šmykovej ploche (tangenciálny × pozdĺžny rozmer) použili pre výpočet pevnosti v šmyku.

Pevnosť v šmyku sa počíta podľa rovnice:

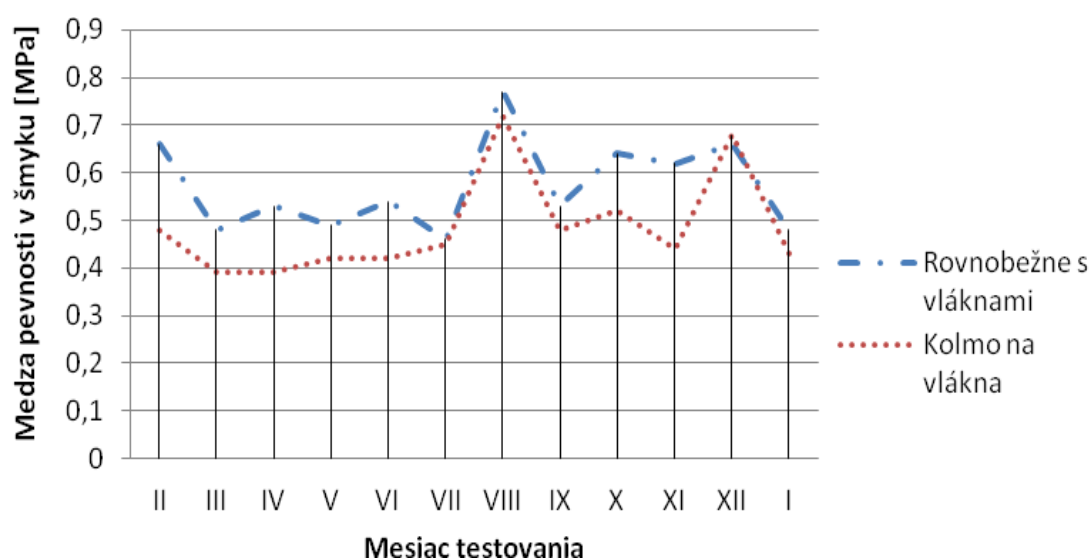
$$\tau = \frac{F_{max}}{S} \quad (1)$$

$\tau$  – medza pevnosti v šmyku [MPa],  $F_{max}$  – zaťažujúca sila [N],  $S$  – šmyková plocha [mm<sup>2</sup>].

Výstupom merania adhézie drevo/kôra bol silovo-deformačný diagram pri zaťažení v šmyku.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Naše výsledky ukázali, že hodnoty šmykovej pevnosti drevo/kôra buka sa pohybujú v závislosti na vegetačnom resp. dormantnom období v rozsahu 0,46–0,67 MPa v pozdĺžnom smere a v rozsahu 0,39–0,67 MPa v tangenciálnom smere (obr. 7). Podobné nízke hodnoty namerali EINSPAHR *et al.* (1972) na severoamerickej drevine *Fagus grandifolia*. Niekoľkonásobne vyššiu adhéziu (1,3–3,0 MPa) namerali uvedení autori na amerických drevinách, ktoré majú v kôre zvýšený podiel sklerenchymatických lykových vlákien (jasene, hikory, platan, topole a pod.).



Obr. 7 Hodnoty adhézie drevo/kôra merané v jednotlivých mesiacoch v pozdĺžnom a tangenciálnom smere v čerstvom stave.

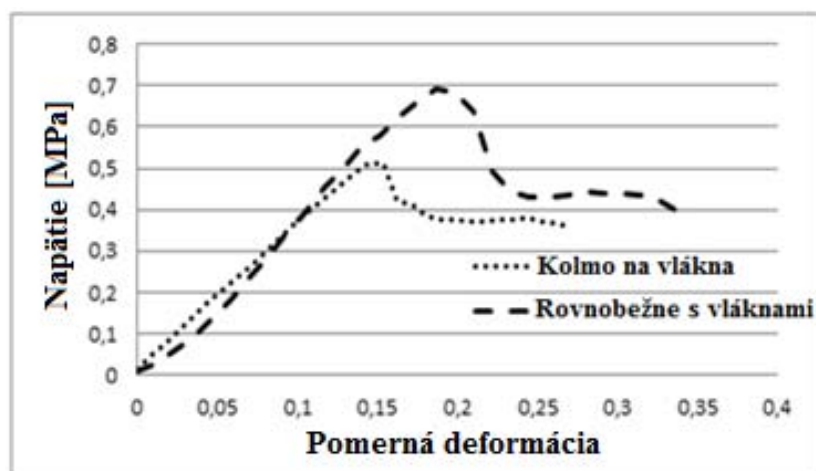
Fig. 7 Wood/bark adhesion values measured in individual months in the longitudinal and tangential directions in the fresh state.

V pozdĺžnom smere merania adhézie sme namerali najnižšie hodnoty v mesiacoch marec až júl. V tomto končiacom zimnom a začínajúcom jarnom období sa kambium dostáva do aktívneho stavu. PRISLAN *et al.* (2009) považujú za začiatok reaktivácie kambia na buku rastúceho v nadmorskej výške 400 m v blízkosti L'ubľany (Slovinsko) polovicu apríla. V tomto období zaznamenali prvé novo sa tvoriace bunky xylému. Kambiálna vrstva je v tomto období najširšia. Kambiálne bunky sú v aktívnom období tenkostenné, cytoplazma má nižšiu viskozitu a typické pre tento aktívny stav je jedna veľká centrálna vakuola (PRISLAN *et al.* 2013). Široká kambiálna zóna, tenkostenné kambiálne bunky a daný stav cytoplazmy môžu byť zodpovedné za nízku adhéziu drevo/kôra vo vegetačnej perióde.

Od júla sa začína diferencovať zóna letného dreva. Ku koncu augusta sa podľa výskumu PRISLAN *et al.* (2013) končí diferencácia posledných buniek ročného kruhu, a prebieha lignifikácia v ostatných vrstvách letného dreva a letného lyka. Kambium sa dostáva do dormantného stavu, dôsledkom čoho je zhrubnutie kambiálnej steny a zvýšenie viskozity cytoplazmy. Tento dormantný stav kambia trvá v našom prípade, keď zima v roku 2014 prakticky neexistovala, do konca decembra. Zima na prechode rokov 2013/2014 bola teplá s najnižšou nočnou teplotou do mínus 5–7 °C. Dormantný stav súvisí nielen so zmenou kvality kambiálnych buniek, ale fyziologicky aktívne zóny bele a lyka

majú v tomto období aj najnižšiu vlhkosť. CHOW a OBERMAJER (2004) dokonca dávajú do korelácie obsah vlhkosti vo vnútornom lyku s adhéziou kôry na dreve. So znižovaním vlhkosti vnútorného lyka exponenciálne stúpa adhézia kôry na dreve.

Napätovo-deformačný diagram znázornený pre oba smery zaťaženia je zobrazený na obr. 8. Diagram vytvára typické dva vrcholy (fázy) pri zaťažovaní skúšobných telies v čerstvom stave. Počiatočná fáza predstavuje lineárny priebeh napätia v závislosti na deformácii. Medza úmernosti sa približuje medzi pevnosti u pozdĺžneho aj tangenciálneho šmykového zaťaženia.



Obr. 8 Napätovo-deformačný diagram pri zaťažení v šmyku.  
Fig. 8 Stress-strain diagram under shear loading.

Na základe mikroskopickej analýzy šmykovej plochy predpokladáme, že v oblasti pružných deformácií prenášajú napätia lykové lúče, ktoré sú dvojakej veľkosti, úzke jednoradové a široké niekoľko radové (ČUNDERLÍK *et al.* 2013). Pri dosiahnutí maximálneho napätia nastáva porušenie lykových lúčov. Tenké lúče sú ustrihnuté v tangenciálnej rovine a hrubé, niekoľko radové lúče sú vytrhnuté zo stržňových lúčov. Tým sa zníži napätie v šmykovej rovine kambia. Kambiálne iniciály a bunky tvoriace ostatné lyko dokážu preniesť veľké plastické deformácie. Druhý vrchol šmykového napätia odpovedá maximálnemu napätiu ktoré je schopné preniesť kambiálna zóna resp. najmladšia lyková vrstva. EINSPAHR *et al.* (1972) pozorovali podobné morfológické zmeny na lykových lúčoch pri šmykovom zaťažení drevo/kôra u duba a javora. Podľa uvedených autorov k vytrhávaniu lykových lúčov dochádza pri skúšaní adhézie drevo/kôra na konci vegetačného obdobia. Na začiatku vegetačného obdobia, kedy šmyková rovina prechádza cez kambiálnu zónu, sú lykové lúče strihané v kambiálnej rovine.

Rozdiel v hodnote medze pevnosti v šmyku pri zaťažení rovnoobežne s vláknami a kolmo na vlákna odpovedá rozdielu v smere namáhania lykového lúča. V oboch prípadoch je lykový lúč namáhaný v tangenciálnej rovine. Pri šmykovom zaťažení rovnoobežne s vláknami pôsobí zaťažujúca sila v smere výšky lykového lúča. Pri šmykovom zaťažení kolmo na vlákna pôsobí zaťažujúca sila kolmo na hrúbku lykového lúča.

## ZÁVER

- Hodnoty adhézie drevo/kôra sú významne ovplyvnené vegetačným a dormantným obdobím.

- Klimatické podmienky (teplota, vlhkosť), významne ovplyvňujú začiatok vegetačného obdobia. Mierna zima v roku 2014 významne ovplyvnila aktivitu kambia v dormantnom období.
- Šmyková pevnosť pri pôsobení zaťažovacej sily v pozdĺžnom smere je o cca 20–25 % vyššia ako šmyková pevnosť pri pôsobení zaťažovacej sily v tangenciálnom smere.
- Napätovo-deformačné diagramy pri zaťažení v šmyku vykazovali pri oboch smeroch zaťaženia medzu úmernosti veľmi blízku medzi pevnosti. Typickým znakom napätovo-deformačných diagramov boli dva vrcholy.
- Na základe mikroskopickej analýzy šmykových plôch predpokladáme, že za rozdiel v šmykovej pevnosti medzi pozdĺžnym a tangenciálnym pôsobením zaťažovacej sily je zodpovedný smer zaťažovania lykových lúčov.

## LITERATÚRA

- BRAUN, H., J. 1976. Neueste Erkenntnisse über das Rindensterben der Buchen: Grundursache und der Krankheitsablauf, verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. Allg. Forst. Jagdztg 1976, 147(6/7): 121–130.
- ČUNDERLÍK, I., HRČKA, R., RAČKO, V., VILKOVSKÝ, P. 2013. Adhézia kôry na dreve buka. In Vybrané procesy pri spracovaní dreva 2013. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2013, s. 294–300.
- DUCHESNE, I., NYLINDER, M. 1996. Measurement of the bark/wood shear strength: Practical methods to evaluate debarking resistance of norway spruce and scots pine pulpwood. Forest Prod. J., 1996, 46(11/12): 57–62.
- EINSPAHR, D.W., HANKEY, A.W., WINK A.W., BENSON K.M., SWANSON W.J. 1972. Wood bark adhesion and methods of reducing adhesion in hardwood species. Report Projekt 2929, The Institute of Paper Cemistry, Appleton, Wisconsin, 1972, 41 s.
- FISCKUS, M., EPEREN, R.H.V., EINSPAHR, D.W. 1982. Method for obtaining wood/bark adhesion measurements on small samples. Wood Fiber Sci., 1982, 5(3): 219–222.
- GROBBELAAR, F.R., MANYUCHI, K.T. 2000. Eucalypt debarking: an international overview with a Southern African perspective. Forest Engineering Southern Africa, 2000, 68 s.
- CHOVANEC, D., ČUNDERLÍK, I., VÁLKA, J. 1989. Znaky kvality bukových kmeňov. Vedecké a pedagogické aktuality. Zvolen : VŠLD, 1989, 103 s.
- CHOW, S., OBREMAJER, A. 2004. Wood-to-bark adhesion of subalpine fir (*Abies lasiocarpa*) in extreme temperatures. Wood Sci. Technol., 2004, 38(6): 391–403.
- KÚDELA, J. 2011. Bukové drevo, jeho význam a využitie. In Buk a bukové ekosystémy Slovenska. Ed: Barna, M., Kulfan, J., Bublinec, E., Bratislava : Veda, s. 527–528. ISBN 978-80-224-1192-9.
- KÚDELA, J., ČUNDERLÍK, I. 2012. Bukové drevo štruktúra, vlastnosti, použitie. 1 vyd. Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2012. 152 s. ISBN 978–80–228-2318-0.
- PRISLAN, B., GRIČAR J., LUIS DE M., SMITH T. K., ČUFAR K. 2012. Cellular and topochemical characteristics of secondary changes in bark tissues of beech (*Fagus sylvatica*). Holzforschung, 2012, 66: 131–138.
- PRISLAN, P., KOCH, G., ČUFAR, K., GRIČAR, J., SCHMITT, V. 2009. Topochemical investigations of cell walls in developing xylem of beech (*Fagus sylvatica* L.). Holzforschung, 2009, 63(1): 482–490.
- PRISLAN, P., GRIČAR, J., LUIS DE M., SMITH T. K., ČUFAR K. 2013. Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 180: 142–151.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1990. Anatomy of European woods. Verlag Paul Haupt : Bern, Stuttgart, 1990. 800 s. ISBN 3-258-04258-6.
- TEISSIER, DU.C.E., LE TACON, F., NEPVEU, G., PARDÉ, J., PERRIN, R., TIMBAL, J. 1981. Le hêtre. Paris : Institut National de la Recherche agronomique, 1981. 613 s. ISBN 2-85340-372-6.



## **Pod'akovanie**

Táto práca je súčasťou projektu č. 1/0163/12, ktorý bol financovaný Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR.

## **Adresa autorov**

Igor Čunderlík  
Peter Vilkovský  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovensko  
igor.cunderlik@tuzvo.sk  
xvilkovsky@tuzvo.sk

