

ODHAD VLASTNOSTÍ DŘEVA POMOCÍ ZATLAČOVÁNÍ TRNU S RŮZNÝM TVAREM PENETRAČNÍHO HROTU

M. Kloiber, M. Kotlíňová, J. Tippner

Došlo: 29. prosince 2008

Abstract

KLOIBER, M., KOTLÍŇOVÁ, M., TIPPNER, J.: *Estimation of wood properties using pin pushing in method with various shapes of the penetration pin*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2009, LVII, No. 2, pp. 53–60

The existing penetration methods for the identification of the density of wood that forms a part of structures do not make it possible to describe the density in the entire element profile but only on its surface. However, wood density changes throughout the profile which affects the accuracy of the density determination. The instruments used until now based on the principle of a pin shot into the material thus needed to be supplemented with a test during which the pin would be pushed at least to the centre of the measured element. Pins of 3 mm in diameter were manufactured with a special jig fastening them to a universal testing machine. Using the testing machine, the force required to push the pin in was measured at a constant travel speed. It has been found out that the mechanical work needed for the pin penetration correlates very well with the wood density determined in the surroundings of the place where the pin was pushed in.

wooden structures, wood density, diagnostic instruments, penetration method

Dřevo je pro své přirozené mechanické vlastnosti, dostupnost a relativní snadnost při opracování už odnepaměti jedním z nepoužívanějších stavebních materiálů. Dřevěné nosné konstrukce, dekorativní prvky i další části stavební výbavy mohou člověku sloužit celé desítky a někdy dokonce stovky let, pokud se jim dostane náležitě péče. Proto znalost dřeva z pohledu charakteristických rysů, chování, mechanismů rozkladu a případné sanace je velmi významným prvkem pro plánování zachování a zasaňování do původní hmotné substance dřevěných konstrukcí.

Ke zlepšení hodnocení vlastností zabudovaného dřeva slouží moderní nedestruktivní diagnostické přístroje, které potlačují subjektivnost smyslového posuzování a současně jsou velmi šetrné k původnímu materiálu, což je velkou výhodou zejména u památkově hodnotných konstrukcí. Většinu nedestruktivních přístrojů lze použít v konstrukcích „*in situ*“ pro odhadování mechanických vlastností, které jsou ovšem velmi variabilní a mění se především s druhem dřeva. Významný vliv má především hustota, která je základním parametrem při vyhodnocování výsledků. Hustota dřeva vykazuje variabilitu

mezi druhy dřev i v rámci jednoho druhu dřeva, ale také v rámci jednoho stromu a to jak po poloměru kmene, tak i po výšce kmene. Pro zjišťování hustoty je nejvhodnější používání metod založených na hodnocení vníkaní cizího tělesa do materiálu (hloubka vniku při konstantní energii, záznam energie během prostupu tělesa materiálem apod.), které lépe reagují na změny struktury materiálu v průřezu na rozdíl od metod hodnotících celý průřez prvku komplexně, jako jsou např. metody založené na šíření zvuku v celém průřezu.

Jednou z odporových metod je měření pomocí indentoru (např. Pilodyn), které lze zařadit mezi semi-destruktivní testování (Ross a kol., 1999). Poškození testovaného materiálu je velmi malé a téměř zanedbatelné. Nejčastěji používaný model Pilodyn 6J Forest je jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku průniku trnu s průměrem 2,5 mm, vystřeleného do dřeva při konstantní zárazecí práci 6 J. Maximální hloubka průniku trnu je konstrukcí přístroje omezena na 40 mm, tzn. že zjištěné vlastnosti jsou víceméně povrchové (Görlacher, 1987).

Podobně jako indentor, tak i odporová mikrovrtáčka (např. Resistograph) je alternativou pro odhad

hustoty dřeva (Kasal a Anthony, 2004; Feio, 2005). Liší se tím, že nabízí přehled o vnitřním poškození oproti Pilodyn, který je schopen jen penetrace do omezené hloubky. Metoda je založena na měření energie potřebné k prostupu vrtáku s průměrem 1,5–3,0 mm. Posun vrtáku a jeho otáčky jsou neměnné (Rinn, 1994; Rinn a kol., 1996). Výstupem je grafické zobrazení (hustotní profil, dendrogram), ve kterém je zahrnuta eliminace nadměrné spotřeby energie při tření dřívku vrtáku v hlubších vrstvách. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům, resp. hustotě dřeva, zatímco nižší body jsou spojené s nižší hustotou (Machado a Cruz, 1997; Emerson a kol., 1998).

Další alternativou odporového zjišťování hustoty je penetrační test založený na opakovaném zarážení trnu do dřeva pomocí kladiva s víceméně konstantní dopadovou energií. Tento test založený na penetračním měření jedné vrstvy dřevěného prvku po druhé, umožňuje rozeznávat různé stupně hniloby, které jsou dány počtem úderů o jmenovité energii potřebných na zarážení trnu do hloubky 1 cm (Ronca a Gubana, 1997). S ohledem na vlastnosti popsaných metod je v tomto článku navrženo obdobné zařízení, které nebude trn dynamicky zarážet, ale postupně zatlačovat. Princip zatlačování byl zvolen z důvodu větší přesnosti měření síly, resp. práce s možností měření do hloubky až 10 cm, což pokryje běžné profily dřevěných prvků zabudovaných v konstrukcích.

MATERIÁL A METODIKA

V rámci předběžných penetračních testů byla odzkoušena řada typů trnů z hlediska materiálového složení, způsobu výroby, průměru celého trnu a průměru i typu hrotu (ploché rovné či ve tvaru polokoule). Mezi dostatečně odolné a z hlediska ovlivnění výsledků vhodné patří trny s průměrem 3 mm, vyrobené z tepelně upravované nástrojářské oceli ve dvou provedeních (kulaté a rovné hroty).

Experimenty byly provedeny na dřevě smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.), který byl v minulosti nejčastěji používaný v dřevěných konstrukcích (stavbách) na našem území. Z výřezu byly vyrobeny hranolý průřezu 50 × 50 mm, do kterých se následně zatlačoval trn o průměru 3 mm s tupým hrotem (Obr. 1). Vzdálenost mezi místy pro zatlačování trnu byla zvolena tak, aby vždy mezi dvěma místy, kde se trn zatlačoval, bylo možné následně vyrobit zkušební těleso délky 75 mm. Vzniklé těleso rozměru 50 × 50 × 75 mm odpovídalo svou délkou 1,5 násobku příčných rozměrů, podle požadavků ČSN 49 0110 a ČSN 49 0111. Připravená tělesa (zcela bez vad) v celkovém počtu 48 ks byla následně zatěžována v tlaku podél vláken pro zjištění meze pevnosti a modulu pružnosti. Následně bylo možné pro hodnoty těchto vlastností hledat vztah k naměřeným výsledkům, získaným při zatlačování trnu.

Zatlačování trnu v laboratorních podmínkách na univerzálním zkušebním stroji ZWICK ZH050 si vyžádalo návrh a výrobu přípravku (Obr. 2) pro uchycení a vedení trnu. Zatlačování trnu probíhalo

vždy přesně v radiálním směru, což zajišťoval naklápečí svěrák, sloužící k upnutí těles (Obr. 2), hloubka zatlačení byla ve všech případech 45 mm. Měřena byla síla, potřebná pro zatlačení trnu do dřeva při konstantní posuvné rychlosti 5 mm/min. Jako výsledný parametr byla zvolena celková mechanická práce, která se vypočítala jako plocha pod křivkou pracovního diagramu vzniklou záznamem síly a posunutí příčnicku stroje. Snímání síly probíhalo v intervalu 1 µm dráhy příčnicku. Pro vyhodnocení byla hodnota celkové práce vypočtena jako aritmetický průměr ze dvou měření provedených na hranolu v místech nad a pod oblastí, ze které bylo později zkrácením hranolku vyrobeno zkušební těleso. Pro tyto průměrné hodnoty práce byly hledány vztahy k hustotám (stanoveným dle ČSN 49 0108) odpovídajících zkušebních tělísek, ale také k pevnostem a modulům pružnosti zjištěným na těchto tělíscích při zatížení v tlaku podél vláken.

Pro druhou část experimentu bylo opět použito dřevo smrku ztepilého. Velikost experimentálních tělísek byla 50 × 50 × 150 mm, počet tělísek 46. Druhá část experimentu byla zaměřena pouze na sledování vztahu celkové mechanické práce spotřebované při zatlačování trnu k hustotě dřeva těles, tzn. že zde nebyly provedeny zkoušky mechanických vlastností. Zatlačování trnu zde neprobíhalo mimo těleso (resp. v okolí tělesa – nad a pod ním), ale přímo ve zkušebním tělese. Zásadní ovšem byla změna tvaru trnů. Z důvodu eliminace tření při zatlačování trnu byl průměr trnu 3 mm ponechán pouze na počátku trnu v délce 25 mm, následující část byla zeslabena na 2,5 mm (Obr. 3, 4). Navíc jeden z hrotů byl zakulacen poloměrem 1,5 mm (Obr. 3), na rozdíl od druhého hrotu, který byl ponechán rovný (Obr. 4).

VÝSLEDKY A DISKUSE

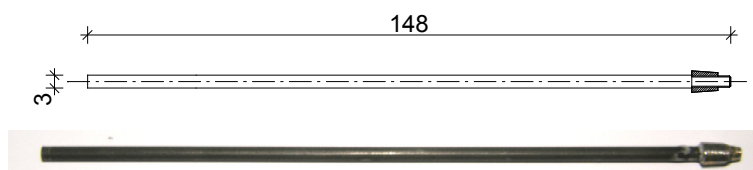
První sada měření byla provedena na 48 vzorcích, s použitím rovného hrotu (Obr. 1). Byla zjišťována závislost celkové práce a hustoty (Obr. 5).

Koeficient determinace pro tuto závislost je $R^2 = 0,75$, z tohoto grafu (Obr. 5) je patrné, že mezi hodnotami je silná závislost, korelační pole je blízko přímky. Korelační koeficient má kladnou hodnotu. Čím má dřevo vyšší hustotu, tím lépe odolává zatlačování trnu. Lze tedy tvrdit, že navržený trn je možné použít pro odhad hustoty dřeva.

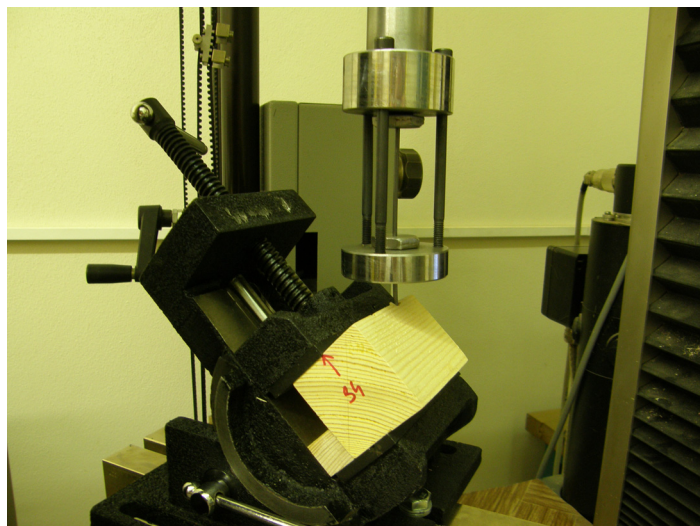
Dalším postupem bylo určení závislosti mezi celkovou prací a průměrnou šířkou letokruhů (Obr. 6).

Tato závislost je nižší, koeficient determinace je $R^2 = 0,53$. Korelační koeficient dosahuje zápornou hodnotu, protože s narůstající šířkou letokruhu u smrku klesá podíl letního dřeva v letokruhu, které má vyšší hustotu a vyšší mechanickou odolnost. Proto je u vzorků s vyšší průměrnou šířkou letokruhů práce potřebná na průnik trnu do dřeva nižší.

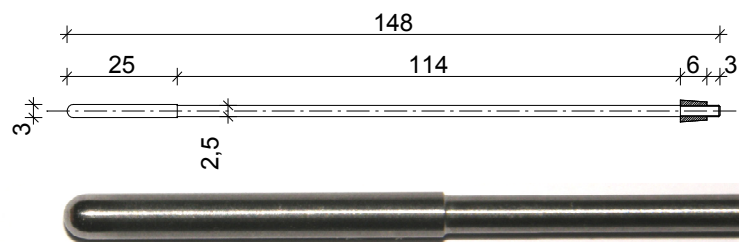
Dalším krokem bylo hledání vztahu mezi mechanickou prací potřebnou k průniku trnu do dřeva a modulem pružnosti v tlaku podél vláken, resp. mezí pevnosti v tlaku podél vláken.



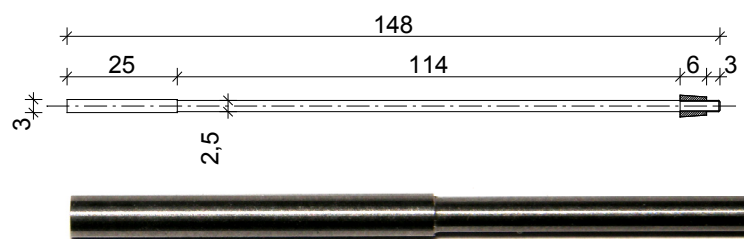
1: Zatlačovací trn s konstantním průměrem 3 mm a tupým hrotem



2: Přípravek pro uchycení a vedení trnu včetně naklápěcího svěráku



3: Zatlačovací trn zeslabený pro eliminaci tření s kulatým hrotem



4: Zatlačovací trn zeslabený pro eliminaci tření s rovným hrotem

I u těchto vlastností byl dosažen dobrý koeficient determinace $R^2 = 0,58$. Čím má dřevo vyšší pevnost, tím se spotřebuje více celkové práce.

Koeficient determinace u závislosti práce na modulu pružnosti je nejnižší ze všech sledovaných závislostí, $R^2 = 0,27$. Lze tedy tvrdit, že při použití rovného hrotu je možné s určitou přesností odhadovat vybrané mechanické i fyzikální vlastnosti dřeva, i když u mechanických vlastností je patrný větší roz-

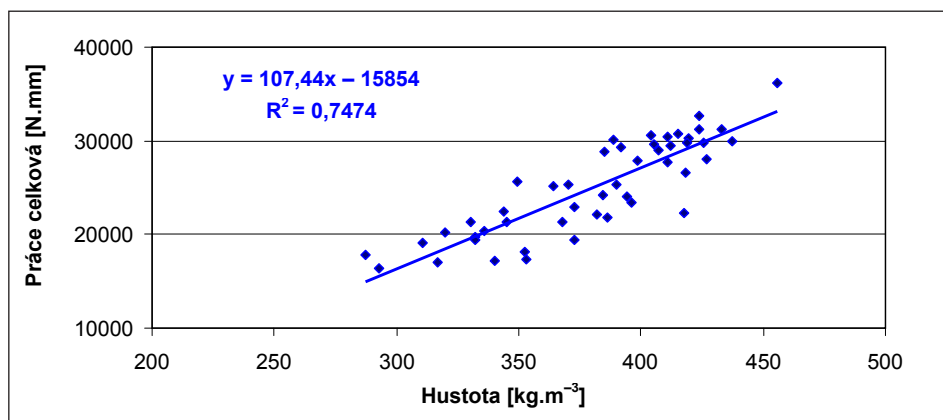
ptyl hodnot v korelačním poli. Důvodem může být i větší variační koeficient samotných hodnot pevnosti dřeva ($v = 19\%$) a modulu pružnosti ($v = 25\%$).

V druhé sadě měření byly použity dva různé typy hrotů, rovné (Obr. 2) a kulaté (Obr. 3). Bylo měřeno 46 ks vzorků. Jelikož v předcházejícím měření nejlépe korelovala mechanická práce s hustotou, byly oba typy hrotů porovnávány právě na základě schopnosti spolehlivě odhadovat hustotu.

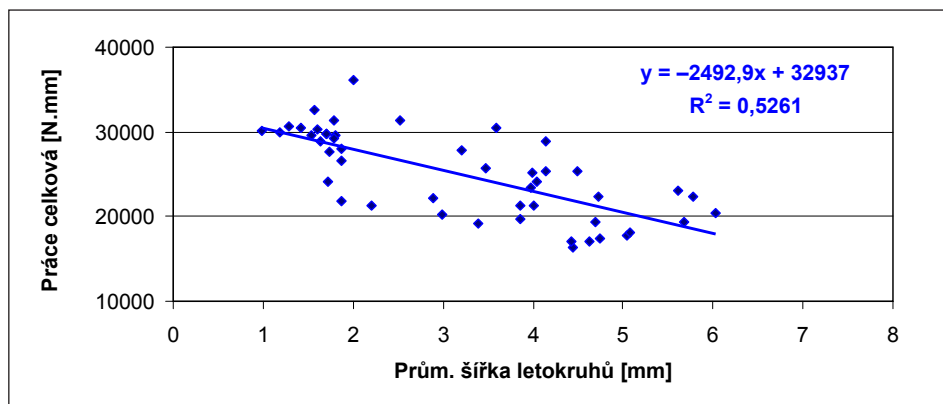
Při použití trnu se zakulaceným hrotem byly zjištěny hodnoty celkové práce v intervalu 20 656,4 N.mm až 45 452,9 N.mm, průměrná hodnota je 31 431,2 N.mm. Koeficient determinace pro závislost na hustotě je $R^2 = 0,86$.

Při použití trnu s rovným hrotem byly zjištěny hodnoty celkové práce v intervalu 23 044,5 N.mm až 49 173,8 N.mm, průměrná hodnota je 34 070,9 N.mm. Koeficient determinace pro závislost na hustotě je o něco nižší, $R^2 = 0,83$.

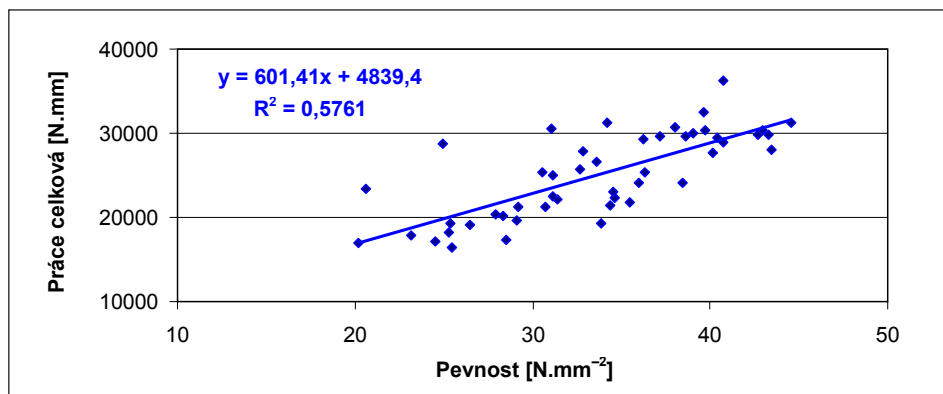
Experimentálními testy bylo prokázáno, že optimální průměr trnu je 3 mm. Pro výrazné snížení tření při zatlačování trnu do materiálu bylo v průběhu výzkumu navrženo zeslabení průměru trnu o 0,5 mm, což se projevilo částečným odstraněním vzestupné síly, která jinak výrazně stoupala s hloubkou zatlačení. Postupné stlačování letokruhů, následné selhání několika „nahrnutých“ letokruhů a s tím související náhlé uvolnění síly v pravidelných krocích posuvu bylo potlačeno pomocí zakulacení hrotu. Takto zaoblený hrot materiálem plynuleji proniká



5: Závislost celkové práce na hustotě



6: Závislost celkové práce na šířce letokruhů



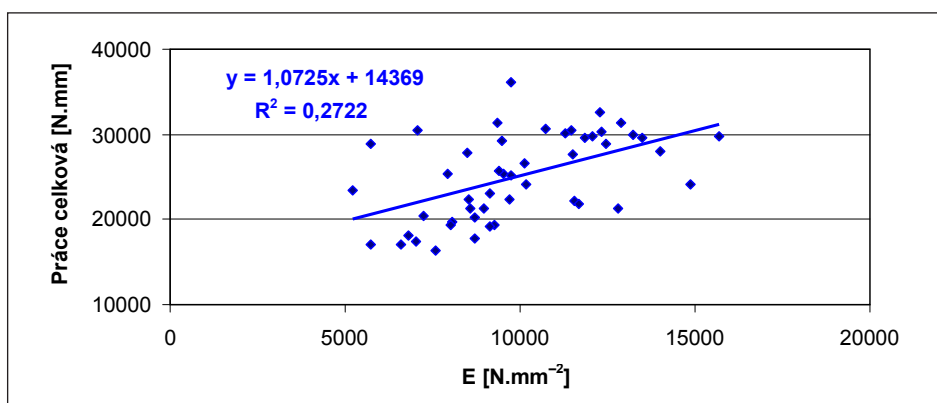
7: Závislost celkové práce na pevnosti dřeva

a zároveň umožňuje zaznamenat dostatečně jemné rozdíly v odporu proti vnikání trnu. Navržená metoda pozvolného zatlačování trnu do dřeva se pro odhad hustoty na základě stanovení mechanické práce osvědčila a to v případě využití obou typů trnů.

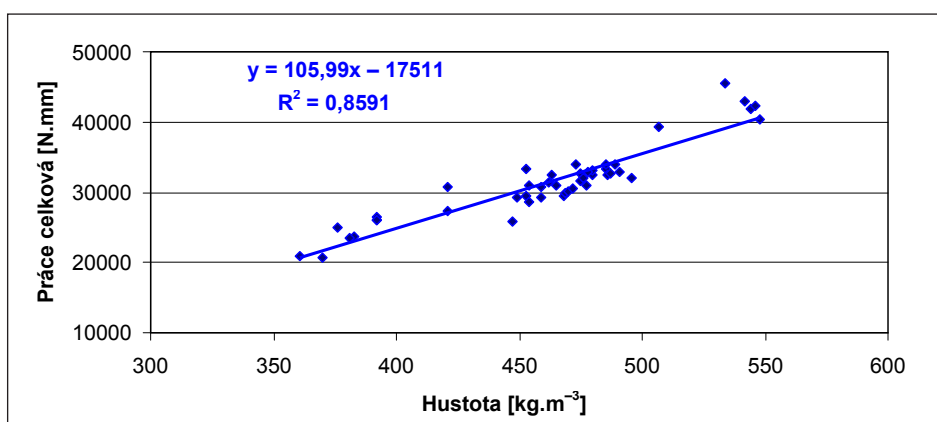
ZÁVĚR

Lze konstatovat, že nově navržená penetrační metoda založená na zatlačování trnu do dřeva, při které

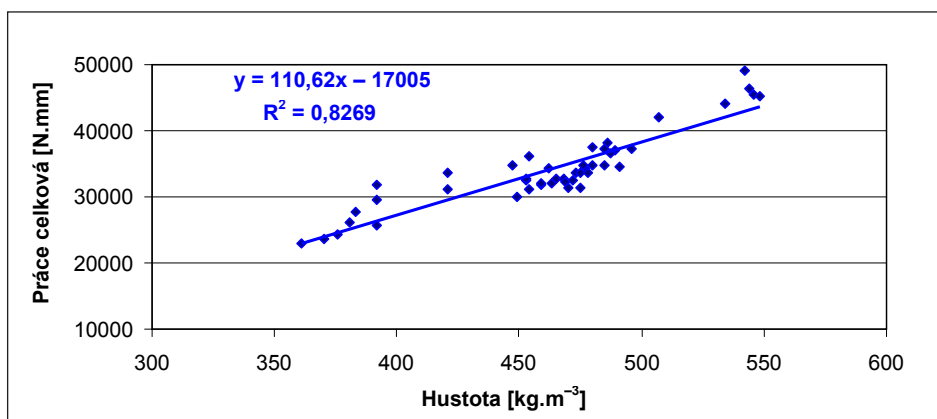
se za konstantní posuvné rychlosti měří síla, vztažená k hloubce vniku trnu, je vhodná především pro odhad hustoty dřeva. Tuto skutečnost potvrdily zejména zjištěné úzké závislosti mezi vypočtenou mechanickou prací vynaloženou na zaražení trnů a hustotou stanovenou na zkušebních tělesech. V případě meze pevnosti a modulu pružnosti při zatížení dřeva v tlaku podél vláken byla zjištěna závislost nižší.



8: Závislost celkové práce na modulu pružnosti



9: Závislost celkové práce na hustotě při použití zakulaceného hrotu



10: Závislost celkové práce na hustotě při použití rovného hrotu

Tento příspěvek přináší pohled na první laboratorní výsledky, kterých je možné dosáhnout s nově navrženou penetrační metodou. Následně se bude třeba zaměřit na zjištění vlivu vlhkosti, která výrazným způsobem ovlivňuje mechanické odporové metody. Pro terénní využití penetrační metody při stavebně-technických průzkumech bude třeba stanovit vliv odklonu směru průniku trnu od čistě ra-

diálního směru, jelikož podmínka přesného vedení trnu v radiálním směru se u zabudovaných dřevěných prvků obtížně dodržuje. Významnou součástí další výzkumné činnosti bude také srovnání výsledků s hodnotami základních mechanických vlastností (při zatížení v tahu, tlaku, ohybu) a rovněž zjištění závislosti s výsledky měření pomocí ultrazvukových metod.

SUMMARY

The improvement of wood qualities assessment in wood forming part of buildings is facilitated by modern non-destructive diagnostic instruments that eliminate the subjectivity of sensory assessment and, at the same time, are very delicate in how they affect the original material. The most appropriate way of density identification is to use resistance methods that better respond to changes in the material structure unlike methods evaluating, in a comprehensive way, the whole cross section of an element, like .e.g methods based on the spreading of sound.

One of the resistance methods is the measuring made while using Pilodyn or Resistograph. Measuring by the means of the Resistograph, based on wood resistance to the penetration of a thin drill, provides an overview of the inner damage. Pilodyn, on the other hand, by which the dynamic pin penetration is performed, is capable only of a penetration reaching down to a limited depth. Another method of resistance identification of density is a surface penetration test based on a repeated pin penetration of wood using a hammer. In view of the features these methods have, this article proposes a similar appliance that will not push the pin into wood dynamically but will gradually press it down to the depth of up to 10 cm which will cover the standard profiles of elements forming part of structures.

A number of pins have been tested with different compositions of the material they were made of, different manners of production, diameters of the whole pins and their endings as well as types of these endings (flat, smooth ending or ending in the shape of a semisphere). Among sufficiently resistant and, from the point of view of how they affect the results, suitable execution of pins are, eventually, those with the diameter of 3 mm made of thermally treated tool steel in two makes of the pin ending (ball-shaped and flat). Experimental tests were performed using wood of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.).

Out of a cutout of a wooden element, prisms of 50 × 50 mm were made into which a pin was later gradually pushed, under laboratory conditions, with the diameter of 3 mm with a blunt ending. Later, absolutely defectless objects were prepared from the same prism that were in turn loaded under pressure along fibres. Strength limits and elasticity modules were determined. In turn, it was possible to look for a relation for these features' values with the measured results obtained when pushing in the pin.

The newly proposed penetration method based on a pin being pushed into wood while, under a constant travel speed, strength is measured as related to the depth of the pin penetration, is suitable especially for making estimates of wood density. This fact was confirmed especially by the ascertained close relations between the calculated mechanical work exerted on pin penetration and density determined while using test objects. In case of the strength limit and the elasticity module when loading wood under pressure along fibres, the ascertained relation was lower. The experiment proved that the optimal pin diameter is 3 mm. In order to eliminate friction when pushing the pin into the material, the pin diameter was reduced by 0.5 mm in the course of the experiment. The article brings the first laboratory results that may be achieved using the newly proposed penetration method. Later, it will be necessary to focus on the ascertainment of the impact of humidity that significantly affects resistance methods. The important part of further research activities will also be a comparison of the results with values of basic mechanical features (under tensile, pressure, bending loads) and also the ascertainment of the relation to measuring results by the means of ultrasound methods.

SOUHRN

Ke zlepšení hodnocení vlastností zabudovaného dřeva slouží moderní nedestruktivní diagnostické přístroje, které eliminují subjektivnost smyslového posuzování a současně jsou velmi šetrné k původnímu materiálu. Pro zjišťování hustoty je nejvhodnější používání odporových metod, které lépe reagují na změny ve struktuře materiálu na rozdíl od metod hodnotících komplexně celý průřez prvku, jako jsou např. metody založené na šíření zvuku.

Jednou z odporových metod je měření pomocí Pilodynů či Resistographu. Měření Resistographem založené na odporu dřeva průniku tenkého vrtáku poskytuje přehled o vnitřním poškození. Pilodyn při dynamickém zarážení trnu do dřeva je naopak schopen jen penetrace do omezené hloubky. Další metodou odporového zjišťování hustoty je povrchový penetrační test založený na opakovaném zarážení trnu do dřeva pomocí kladiva. S ohledem na vlastnosti těchto metod je v tomto článku navrženo obdobné zařízení, které nebude trn dynamicky zarážet, ale postupně zatlačovat do hloubky až 10 cm, což pokryje běžné profily dřevěných prvků zabudovaných v konstrukcích.

Byla odzkoušena řada typů trnů z hlediska materiálového složení, způsobu výroby, průměru celého trnu a jeho hrotu i typů hrotů (ploché rovné či ve tvaru polokoule). Mezi dostatečně odolné a z hlediska ovlivnění výsledků vhodné provedení trnů ve výsledku patří trny s průměrem 3 mm, vyrobené z tepelně upravované nástrojařské oceli ve dvou provedení hrotu (kulaté a rovné). Experimentální zkoušky byly provedeny na dřevě smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.).

Z výřezu dřevěného prvku byly vyrobeny hranoly průřezu 50 × 50 mm, do kterých se následně v laboratorních podmínkách zatlačoval trn o průměru 3 mm s tupým hrotem. Následně byla z téhož hranolu připravena zcela bezvadná tělesa, která byla následně zatěžována v tlaku podél vláken. Stanoveny byly meze pevnosti a moduly pružnosti dřeva. Následně bylo možné pro hodnoty těchto vlastností hledat vztah s naměřenými výsledky získanými při zatlačování trnu.

Nově navržená penetrační metoda založená na zatlačování trnu do dřeva, při které se za konstantní posuvné rychlosti měří síla vztažená k hloubce vniku trnu, je vhodná především pro odhad hustoty dřeva. Tuto skutečnost potvrdily zejména zjištěné úzké závislosti mezi vypočtenou mechanickou prací vynaloženou na zarážení trnů a hustotou stanovenou na zkušebních tělesech. V případě meze pevnosti a modulu pružnosti při zatížení dřeva v tlaku podél vláken byla zjištěna závislost nižší. Experimentem bylo prokázáno, že optimální průměr trnu je 3 mm. Z důvodu eliminace tření při zatlačování trnu do materiálu došlo v průběhu experimentu k zeslabení průměru trnu o 0,5 mm. Článek přináší první laboratorní výsledky, kterých je možné dosáhnout s nově navrženou penetrační metodou. Následně bude nutné zaměřit se na zjištění vlivu vlhkosti, která výrazným způsobem ovlivňuje odporové metody. Významnou součástí další výzkumné činnosti bude také srovnání výsledků s hodnotami základních mechanických vlastností (při zatížení v tahu, tlaku, ohybu) a rovněž zjištění závislosti s výsledky měření pomocí ultrazvukových metod.

dřevěné konstrukce, hustota dřeva, diagnostické přístroje, penetrační metoda

Článek byl vytvořen za finanční podpory grantových projektů IGA 36/2008 LDF MZLU v Brně, GAČR 103/07/1091 a výzkumných záměrů MSM 6215648902, AV0Z20710524.

LITERATURA

- ČSN 49 0108: Dřevo. Zisťovanie hustoty. 1993.
- ČSN 49 0110: Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vláken. 1980.
- ČSN 49 0111: Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vláken. 1992.
- EMERSON, R., POLLOCK, D., KAINZ, J., FRIDLEY, K., MCLEAN, D., ROSS, R., 1998: Non-destructive evaluation techniques for timber bridges. Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux, Vol. I, pp. 670–677.
- FEIO, A. O., 2005: Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour. Ph.D. thesis – Universidade do Minho, Guimarães, 208 pp.
- GÖRLACHER, R., 1987: Non destructive testing of wood: an in-situ method for determination of density. Holz as Roh-und Werkstoff. Vol. 45, pp. 273–278.
- GRYC, V., HORÁČEK, P., 2007: The Variability of Spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) Wood Density with Present Reaction Wood. Journal of forest science. sv. 53, č. 3, s. 129–137.
- VAVRČÍK, V., GRYC, V., RYBNÍČEK, M., 2008: Variabilita vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva dubu letního. Vliv věku, poloměru kmene a výšky. 1. vyd. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce, 52 s.
- KASAL, B., ANTHONY, R., 2004: Advances in in situ evaluation of timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials. John Wiley & Sons Ltd. London. UK. Vol. 6 No. 2, pp. 94–103.
- KUKLÍK, P., 2007: Stanovení vlastností konstrukčního dřeva. In: Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí, Praha, 10 pp.
- MACHADO, J. S., CRUZ, H., 1997: Avaliação do estado de conservação de estruturas de madeira. Determinação do perfil densidade por métodos não destrutivos. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. No. 42, pp. 15–18.
- RONCA, P., GUBANA, A., 1998: Mechanical characterisation of wooden structures by means of an in situ penetration test. Elsevier Publishing Co., Oxford, England. Construction and Building Materials 12, pp. 233–243.
- ROSS, R., PELLERIN, R., VOLNY, N., SALSIG, W., FALK, R., 1999: Inspection of timber bridges using stress wave timing non-destructive evalua-

- tion tools – A guide for use and interpretation. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-114. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 15 pp.
- RINN, F., SCHWEINGRUBER, F., SCHÄR, E., 1996: Resistograph® and x-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. *Holzforschung – International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and technology of Wood*, Vol. 50(4), pp. 303–311.
- RINN, F., 1994: Catalogue of relative density profiles of trees, poles and timber derived from Resistograph® microdrillings. 9th International Symposium on Non-destructive Testing. Madison, USA, pp. 61–67.

Adresa

Ing. Michal Kloiber, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: kloiber@atlas.cz, Centrum pro historické konstrukce a sídla, pracoviště Telč, Ústav teoretické a aplikované mechaniky (ÚTAM), Akademie věd České republiky, nám. Zachariáše z Hradce 2, 588 56 Telč, Česká republika, e-mail: kloiber@atlas.cz, Ing. Mária Kotlíňová, Ing. Jan Tippner, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: marulink@post.cz, tippner@centrum.cz