

VZTAH GEOMETRIE PROFILU LOMOVÉ PLOCHY A RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA

E. Přemyslovská, P. Koňas

Došlo: 10. ledna 2006

Abstract

PŘEMYSLOVSKÁ, E., KOŇAS, P.: *Relation between geometry of fracture surfaces and impact work of wood composite materials*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 2, pp. 91–96

The aim of this work is description of geometry of fracture surfaces of wood composite materials (cement-bonded particleboard, gypsum-bonded fibreboard and wood particleboard) using fractal analysis and exploration relation between fractal dimension and impact work. Fractal dimension determined by filtration, volumetric and robust Box-Counting methods and Richardson method is different considering type of material and method. Proportional relationship between fractal dimension (computed by robust BC method) and impact work of mentioned materials was found in other cases non-proportional relationships were founded.

fractal dimension, particleboard, fibreboard, impact work

Fraktální analýza poskytuje účinný nástroj k popisu geometrie objektu vyjádřené jeho fraktální dimenzí. Od prací Mandelbrota et al. (1984) bylo v materiálovém inženýrství stanovení fraktální dimenze geometrických útvarů rozsáhle aplikováno pro účely charakterizace geometrie povrchu lomu a byl hledán vztah k mechanickým vlastnostem materiálů. Dosaďované výsledky ukazují, že pro různé materiály není jednoduché najít zobecnitelné závislosti. Některé práce udávají přímo úměrnou závislost mechanických charakteristik na fraktální dimenzi geometrie objektů (Ray et al., 1992; Mecholsky et al., 1989). Jiné nacházejí pro stejné charakteristiky různých materiálů závislost nepřímo úměrnou (Mu et al., 1988; Su et al., 1991; Lin et al., 1993; Saouma et al., 1994; Wang et al., 1988). Další práce nenalezly žádnou závislost a fraktální dimenzi popisující geometrii lomových ploch považují za univerzální konstantu (Bauchaud et al., 1990; Bauchaud et al., 1993; Silberschmidt, 1992; Maloy et al., 1992; Schmittbuhl et al., 1994). Zásad-

ní rozdíly mezi těmito výsledky mohou být vysvětlitelné zejména metodami použitými pro výpočet fraktální dimenze (Charkaluk et al., 1998). Tato práce se zabývá posouzením fraktální dimenze charakterizující geometrii profilu lomu kompozitních materiálů na bázi dřeva (cementotřísková deska, sádrovláknitá deska, dřevotřísková deska) a hledáním jejího vztahu k rázové houževnatosti. Cílem práce je vyhodnocení nových výsledků a jejich porovnání s výsledky dosaďovaného výzkumu.

MATERIÁL A METODIKA

Pro měření byly použity tři materiály, cementotřískové desky CETRIS® firmy CIDEM Hranice a.s. (CTD), jež jsou složeny ze smrkové a jedlové dřevní hmoty (63 % podílu hmoty), portlandského cementu (25 %), vody (10 %) a hydratačních přísad (2 %). Dále plošně lisované dřevotřískové desky o tl. 10 mm určené pro použití v suchém prostředí (DTD), výrobce

nebyl určen. DTD jsou spojeny syntetickou pryskyřicí termoreaktivního typu – močovinoformaldehydovým lepidlem (UF) v množství 5–13 % sušiny na a.s. třísky. A třetím zkoumaným materiálem byly sádrovláknité desky firmy Fermacell o tloušťce 10 mm (SVD). Základními surovinami pro výrobu SVD desek jsou sádra, vláknitá surovina (dřevo, starý papír), voda a přídavné látky pro regulaci doby vytvrzování.

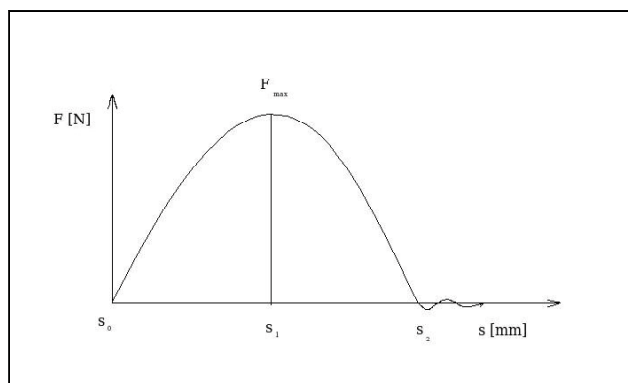
Vzorky byly nařezány z deskových materiálů na velikost $1 \times 1 \times 5,5$ cm v počtu 187 kusů pro každý materiál.

Zkoušky na zjištění rázové houževnatosti byly provedeny na instrumentovaném Charpyho kladivu PSW 300 E MFL ve spolupráci s Ústavem materiálového inženýrství F. Piška na Fakultě strojního inženýrství VUT Brno. Zkouška spočívá v měření nárazové síly

v závislosti na průhybu zkušební tělesa v průběhu zkoušky rázem v ohybu prováděné v souladu s ISO 148. Plocha pod křivkou závislosti síly na průhybu určuje práci spotřebovanou při lomu zkušební tělesa. K vyhodnocení záznamu bylo použito programového modulu ScopeWin 96. Registrace elektrických signálů byla řešena instalací dvou multifunkčních analogových karet PCA-1216 ze stavebnice „Precision Serie“ a jejich vzájemným propojením typu master-slave.

V předkládané práci je jako charakteristika rázové houževnatosti materiálu použita hodnota celkové mechanické práce absorbované tělesem při přeražení W (viz obr. 1) podle vztahu:

$$W = \int_{s_0}^{s_2} F ds. \quad [1]$$



1: Graf závislosti síly na průhybu při zkoušce rázem na Charpyho kladivu

Vzorky byly po provedené zkoušce směrově osvětleny zařízením se skleněnými vlákny tak, aby bylo dosaženo co největšího kontrastu mezi frontální plochou vzorku (kolmou na plochu lomu) a pozadím. Vzorky byly nasnímány televizní kamerou Hitachi HV C-20 a snímky uloženy v grafickém formátu *.lim (bezztrátová komprese).

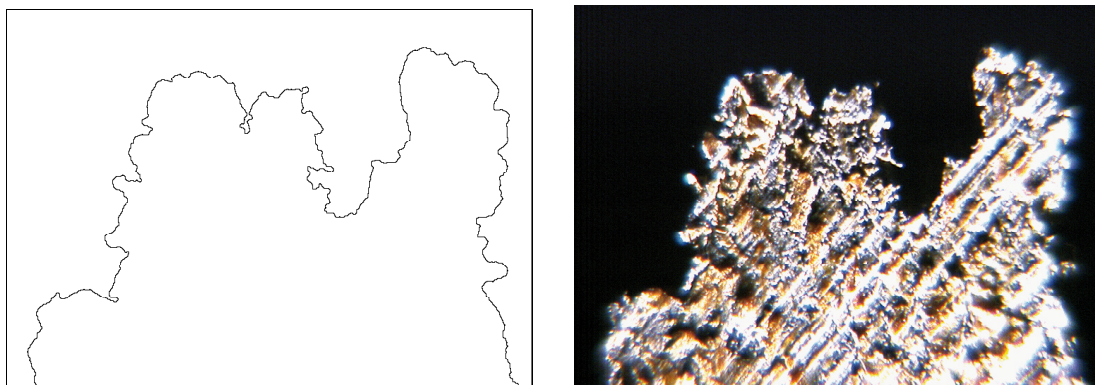
Ke zpracování snímků byl použit systém analýzy a zpracování obrazu LUCIA G, v. 8.0. Výstupem je obraz linie představující průnik plochy profilu lomu a frontální (tj. ke kameře obrácené) plochy vzorku o velikosti 752×548 pixelů (Obr. 2).

Výpočet fraktální dimenze vyjádřené kolmogorovou kapacitou byl proveden pomocí programu, který byl zkompileován pro účel projektu zabývajícího se vztahem mezi fraktálními dimenzemi a mechanickými vlastnostmi testovaných materiálů (Koňas, 2003).

V programu je definovaný proces analýzy obrazu, který je schopen automaticky analyzovat obraz a poskytnout dostatečné množství informací o fraktální podobě obrazu. Jsou použity různé metody získání fraktálních dimenzí; robustní, filtrační a objemová „Box-Counting“ metoda a Richardsonova metoda (Koňas, 2004).

VÝSLEDKY

Z výsledků získaných pro jednotlivé materiály lze usoudit, že kompozitní materiály na bázi dřeva, jejichž významnou složkou je matrice z křehkého materiálu, tj. sádra a cement, (SVD, CTD) dosahují výrazně nižších hodnot celkové mechanické práce W , než materiály s vyšším podílem dřevních vláken spojených UF lepidlem (DTD) (tab. I).



2: Příklad úpravy obrazu pro výpočet fraktální dimenze pro náhodně vybraný vzorek cementotřískové desky (vlevo neupravený snímek; vpravo výsledná linie profilu povrchu lomové plochy)

I: Výsledné hodnoty pro jednotlivé materiály

Výsledné hodnoty	CTD		DTD		SVD	
	průměr	variační koeficient (%)	průměr	variační koeficient (%)	průměr	variační koeficient (%)
Celk. mechanická práce W [N.mm]	51,14	24,84	108,62	31,19	37,62	16,18
Metody výpočtu fraktální dimenze						
Robustní „Box-Counting“ metoda D1 [-]	1,25	2,18	1,30	2,10	1,22	1,51
Filtrační „Box-Counting“ metoda D2 [-]	1,80	1,53	1,74	1,35	1,82	1,46
Objemová „Box-Counting“ metoda D3 [-]	1,81	1,51	1,74	1,30	1,82	1,48
Richardsonova metoda D4 [-]	1,69	1,66	1,62	0,97	1,69	1,87

Fraktální dimenze spočtené robustní, filtrační a objemovou „Box-counting“ metodou a Richardsonovou metodou vykazují rozdílné hodnoty jak s ohledem na materiál, tak i na metodu výpočtu (tab. I). Středně silnou závislost fraktální dimenze profilu lomové plochy na celkové mechanické práci absorbované tělesem při přeražení vyjadřují korelační koeficienty v rozmezí hodnot 0,41–0,43. Celková mechanická práce nevykazuje dle regresní analýzy rozdílnou míru závislosti na fraktální dimenzi vypočtené podle jednotlivých metod.

Jak vyplývá z obr. 3, mezi fraktální dimenzi spočtenou robustní BC metodou a rázovou houževnatostí materiálů, byla nalezena rostoucí závislost a závislost klesající mezi fraktální dimenzí spočtenou ostatními metodami a rázovou houževnatostí.

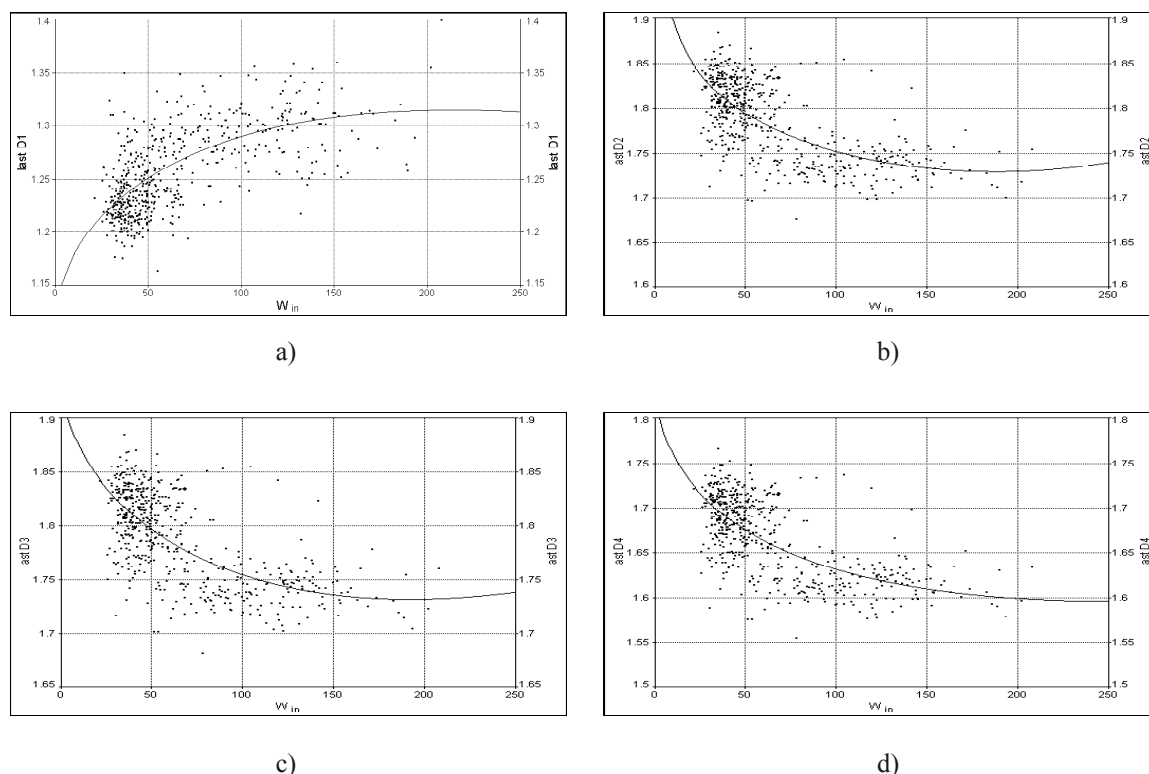
DISKUSE

Výsledky fraktální analýzy povrchu lomu stanovu-

jící fraktální dimenzi profilu povrchu lomové plochy jsou odlišné při použití různých technik výpočtu fraktální dimenze. Se stejným závěrem přichází ve své práci Pande et al (1987).

Hodnota fraktální dimenze spočtená robustní „Box-Counting“ metodou vypovídá více o členitosti povrchu porušení, proto lze říci, že čím je vyšší hodnota fraktální dimenze, tím složitější je povrch, který se projeví v bočním pohledu hladším profilem lomové plochy.

Je možné se domnívat, že filtrační a objemová „Box-counting“ metoda a Richardsonova metoda výpočtu fraktální dimenze vypovídají spíše o pravidelnosti struktury povrchu lomu. Tedy čím nižší hodnota fraktální dimenze, tím pravidelnější je tato struktura (tím méně se v analyzovaném obraze projevuje stochastická materiálových vlastností, popř. šum způsobený grafickou úpravou obrazu a tím menší je rozdíl mezi soběpodobností a soběpřibuzností základní struktury).



3: Graf závislosti fraktální dimenze podle jednotlivých metod na celkové mechanické práci absorbované tělesem při přeražení pro soubor materiálů CTD, DTD a SVD; a) robustní Box-counting metoda; b) filtrační Box-counting metoda; c) objemová Box-counting metoda; d) Richardsonova metoda

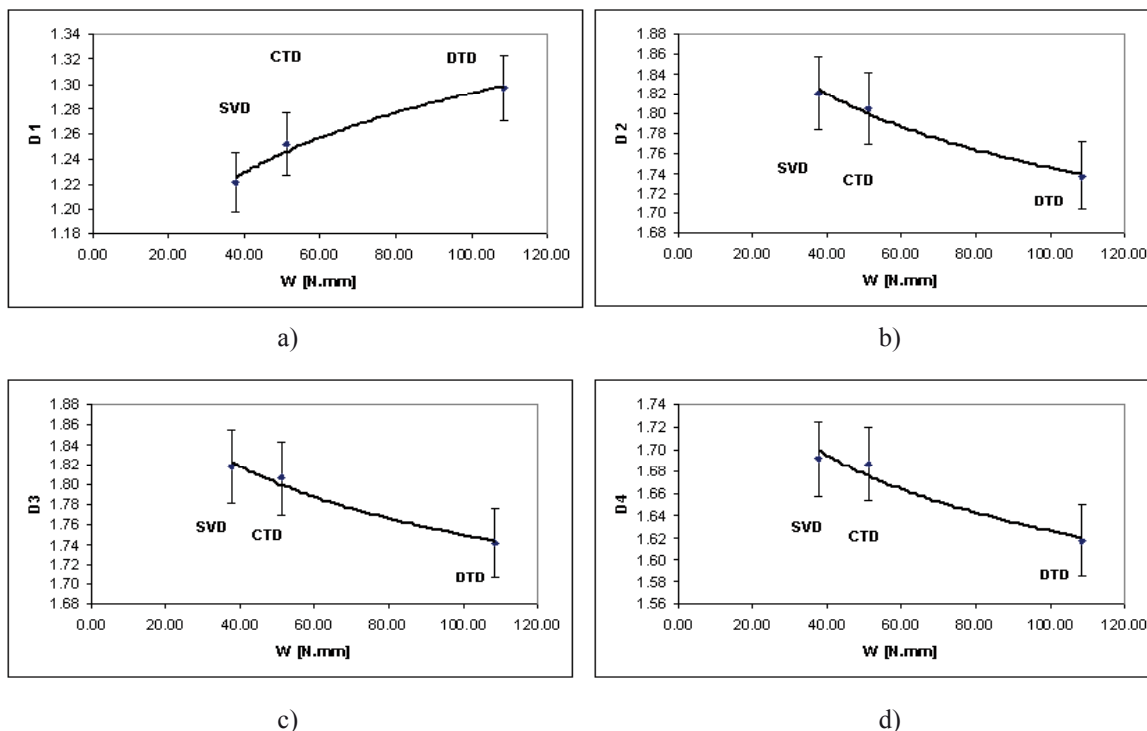
II: Výsledné funkce pro grafy fraktální dimenze a celkové mechanické práce na obr. 3 ($p < 0,001$)

graf	funkce	r^2 výb. souboru	r^2 zákl. souboru	a	b	c
a)	$y^{(-1)} = a + bx + cx^{(0.5)}$	0.441	0.438	0.904032477	0.000666787	-0.01955034
b)	$y = a + bx^3 + \ln x$	0.460	0.457	2.047984138	3.24488e-09	-0.06503143
c)	$y = a + bx^{(1.5)} + cx^{(0.5)}$	0.459	0.456	1.947365574	4.05252e-05	-0.02333765
d)	$y = a + bx + cx^{(0.5)}$	0.452	0.449	1.852498242	0.001009231	-0.03218340

Lze tedy říci, že geometrie profilu povrchu lomu DTD má nejnepravidelnější a nejhladší strukturu. Opačných výsledků bylo dosaženo pro SVD, jejichž struktura je ze všech tří měřených materiálů nejméně pravidelná a nejvíce členitá. Hodnoty fraktální dimenze pro CTD jsou ve všech případech blízké hodnotám fraktální dimenze u SVD. To ukazuje na podobné fraktální chování materiálů s křehkou maticí a menším rozměrem a podílem dřevních částic. Tyto materiály mají menší podíl dřevních vláken a na jejich chování mají výrazný vliv mechanické vlastnosti matrice. Právě sádra a cement způsobují vytvoření tohoto typu povrchu. Zároveň zde hraje roli vytržení vláken

z matrice, které tvoří nepravidelnosti povrchu, jež způsobují jeho vyšší hodnotu fraktální dimenze.

Naopak povrch lomu DTD, respektive jeho profil, který je výrazně členitější ve větším měřítku, se s pozorováním na zmenšujícím se měřítku stává stále hladší a pravidelnější, což odpovídá nižší hodnotě fraktální dimenze. To může být způsobeno konstrukcí dřevotřískových desek tvořených převážně dřevními třískami s malým podílem pojiva. V porovnání s povrchem sádry nebo cementu je povrch dřeva na vyšší úrovni rozlišení hladký, což je dáno jeho anatomickou stavbou (Obr. 4).



4: Závislosti fraktální dimenze podle jednotlivých metod na celkové mechanické práci absorbované tělesem při přeražení ; a) robustní Box-counting metoda; b) filtrační Box-counting metoda; c) objemová Box-counting metoda; d) Richardsonova metoda

Na základě získaných výsledků byla potvrzena jak přímá, tak i nepřímá závislost fraktální dimenze na celkové mechanické práci, jak předpokládají Mecholsky (1989), Saouma (1994) a další.

Hodnota fraktální dimenze spočtené robustní „Box-Counting“ metodou a její vztah s rázovou houževnatostí se liší od výsledků ostatních metod a projevuje se přímo úměrnou závislostí.

Výsledky výpočtu fraktální dimenze a jejího vztahu s rázovou houževnatostí pro filtrační a objemovou „Box-counting“ metodu a Richardsonovu metodu jsou si blízké a projevují stejný trend závislosti; s rostoucí hodnotou mechanické práce klesá hodnota fraktální dimenze.

Ověření naznačených závislostí vyžaduje další analýzy na jiných typech materiálů, zdá se ale, že zvolenou metodou je možné aplikovat i na heterogenní, ortotropní materiály.

ZÁVĚR

Přestože dřevo je pro své jedinečné fyzikální a mechanické vlastnosti vhodným materiálem pro konstrukci nových kompozitních materiálů, uplatnitelných v mnoha průmyslových odvětvích, je mu věnováno jen málo prací. Jak pro zlepšení vlastností používaných materiálů, tak i pro rozvoj materiálů nových je nezbytné hledání vztahu mezi jednotlivými charakteristikami materiálu popisujícími jeho tvar a jeho mechanické vlastnosti. I přes několikaleť výzkum stále existují teoretické a experimentální problémy v oblasti stanovení fraktální dimenze fyzikálních objektů, včetně lomových povrchů, a hledání jejího vztahu k mechanickým charakteristikám materiálů. Tyto problémy a související otázky je proto nutné dále řešit pro uplatnění fraktální geometrie v materiálovém inženýrství, zvláště kompozitů na bázi dřeva.

SOUHRN

Cílem práce bylo provést zkoumání vztahu mezi fraktální dimenzí profilu lomové plochy a mechanickými charakteristikami vybraných materiálů. Provedením Charpyho zkoušky byly získány hodnoty mechanické práce absorbované zkušebním tělesem při přeražení a maximální síly působící na měřený vzorek v průběhu zkoušky. Následné snímání profilu lomové plochy umožnilo na základě analýzy

obrazu provést výpočet fraktální dimenze. Byly použity robustní, filtrační a objemová „Box-Counting“ metoda a Richardsonova metoda. V práci je prokázáno, že fraktální dimenze vykazuje závislost na rázové houževnatosti materiálu při porovnání výsledných dat všech měřených materiálů.

fraktální dimenze, dřevotřísková deska, cementotřísková deska, sádrovláknitá deska, polotvrdá deska, rázová houževnatost

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za podpory projektu Ministerstva školství ČR 6215648902.

LITERATURA

- BOUCHAUD, E., LAPASSET, G., PLANES, J.: *Fractal dimension of fractured surfaces: a universal value?* Europhys. Lett., 1990, 13(1), 73–9.
- BOUCHAUD, J. P., BOUCHAUD, E., LAPASSET, G., PLANES, J.: *Model of fractal cracks*. Phys. Rev. Lett., 1993, 71(14), 2240–3.
- CHARKALUK, E., BIGERELLE, M., IOST, A.: *Fractal and fracture*. Eng. Fracture Mech., 1998, 61, 119–139.
- KOŇAS, P.: *Evaluation of fractal dimensions from bitmap image*. proceeding of MendelNet 03, MZLU Brno, 2003, 71–76
- KOŇAS, P.: *Evaluation of fractal dimensions from bitmap image*, Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis, 2004, LII, no.1, p. 175–182
- LIN, G. M., LAI, J. K. L.: *Fractal characterization of fracture surfaces in a resin-based composite*. J. Mater Sci. Lett., 1993, 12, 470–2.
- MALOY, K. J., HANSEN, A., HINRICHSSEN, E. L., ROUX, S.: *Experimental measurements of the roughness of brittle cracks*. Phys. Rev. Lett., 1992, 68(2), 213–5.
- MANDELBROT, B. B., PASSOJA, D. E., PAUL-LAY, A. J.: *Fractal character of fracture surfaces of metals*. Nature, 1984, 308, 721–2.
- MECHOLSKY, J. J., PASSOJA, D. E., FEINBERG-RINGEL, K. S.: *Quantitative analysis of brittle fracture surfaces using fractal geometry*. J. Am. Ceram. Soc., 1989, 72(1), 60–5.
- MU, Z. K., LUNG, C. W.: *Studies on the fractal dimension and fracture toughness of steel*. J. Phys. D: Appl. Phys., 1988, 21, 848–50.
- PANDE, C. S., RICHARDS, L. R., SMITH, S.: *Fractal characteristics of fractured surfaces*. J. Mater. Sci. Lett., 1987, 6, 295–7
- RAY, K. K., MANDAL, G.: *Study of correlation between fractal dimension and impact energy in a high strength low alloy steel*. Acta Metall Mater., 1992, 40(3), 463–9.
- SAOUMA, V. E., BARTON, C.: *Fractals, fractures, and size effects in concrete*. J. Engng. Mech., 1994, 120(4), 835–54.
- SILBERSCHMIDT, V. V.: *The fractal characterization of propagating cracks*. Int. J. Fracture, 1992, 56, 33–38.
- SCHMITTBUHL, J., ROUX, S., BERTHAUD, Y.: *Development of roughness in crack propagation*. Europhys. Lett., 1994, 28, 585–90.
- SU, H., ZHANG, Y., YAN, Z.: *Fractal analysis of microstructures and properties in ferrite-martensite steels*. Scripta Metall Mater., 1991, 25, 651–4.
- WANG, Z. G., CHEN, D. L., JIANG, X. X., AI, S. H., SHIH, C. H.: *Relationship between fractal dimension and fatigue threshold value in dual-phase steels*. Scripta Met., 1988, 22, 827–32.

Adresa

Ing. Eva Přemyslovská, Ing. Petr Koňas, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika