

E xperimentální A nalýza N apětí

2004

ACOUSTIC EMISSION APPLICATIONS AT MEASURING STEEL-TO-TIMBER CONNECTORS AT TENSION TEST

VYUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE PRO MĚŘENÍ SPOJŮ KOV-DŘEVO PŘI ZKOUŠCE NA TAH

Luboš Pazdera¹, Jaroslav Smutný², Marta Kořenská³, Petra Prouzová⁴, Pavel Vyroubal⁵,
Dušan Janoščík⁶

At the beginning of this millennium developers study in larger volume, than> it be in last century, exploit "natural" and recoverable material. Interest in civil engineering again returns to timber, as very interesting material. Development in timber construction is inseparably linked with development their connections. One of the connection possibilities is utilize steel connecting element. This connection considerably interact construction properties from wood. An essential mechanical property required in these constructions is large strength in tension. Critical construction section becomes even introduced connection. Non-traditional measuring method was using at measuring strength of structure steel-wood-steel too. One of them was acoustic emission method, which belong to group NDT (non-destructive testing method). This method, in contrast to most of other methods, records only active defect in follow structure. Therefore its application in this test can be big acquisition especially in areas development connections. According to expectation critical part was connection steel-wood. Note, that the acoustic emission method reflected defect rise in structure much sooner, than followed by eye, or which it is possible immediately determine by other used methods.

Keywords *timber structure, steel-to-timber joint, acoustic emission*

Klíčová slova *dřevěné konstrukce, spoj dřevo-kov, akustická emise .*

¹ Doc. Ing. Luboš Pazdera, CSc.: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Žižkova 17, 602 00 Brno, , tel.: +420541147657, e-mail: Pazdera.L@fce.vutbr.cz

² Doc. Dr. Ing. Jaroslav Smutný : Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb; Veveří 95, 602 00 Brno, , tel.: +420541147325, e-mail: Smutny.J@fce.vutbr.cz

³ Ing. Marta Kořenská, CSc. : Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Žižkova 17, 602 00 Brno, , tel.: +420541147657, e-mail: Korenska M.@fce.vutbr.cz

⁴ Mgr. Petra Prouzová: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Žižkova 17, 602 00 Brno, , tel.: +420541147743, e-mail: Prouzova.P@fce.vutbr.cz

⁵ Ing. Pavel Vyroubal: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Žižkova 17, 602 00 Brno, , tel.: +420541147664, e-mail: Vyroubal.P@fce.vutbr.cz

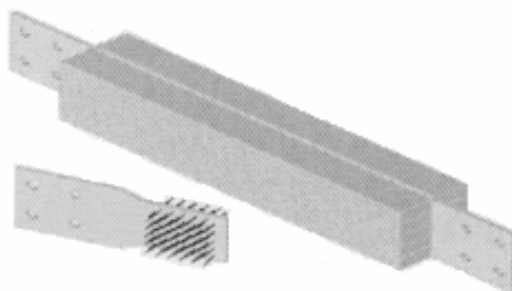
⁶ Ing. Dušan Janoščík, PhD. : Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb; Veveří 95, 602 00 Brno, , tel.: +420541147323, e-mail: Janostik.D@fce.vutbr.cz

Úvod

Na začátku tohoto tisíciletí se vývojáři snaží ve větší míře, než tomu bylo v minulém století, využívat "přirozených" a obnovitelných materiálů. Zájem ve stavebnictví se tak v rostoucím měřítku opět vrací ke dřevu, jakožto velmi zajímavému materiálu. Vývoj ve dřevěných konstrukcích je neoddelitelně spojen s vývojem jejich spojení. Jednou z možností spojení je využití kovových spojovacích elementů. Tato spojení značně ovlivňují vlastnosti konstrukcí ze dřeva. Jednou ze základních mechanických vlastností požadovaných u těchto konstrukcí je velká pevnost v tahu. Kritickou částí konstrukce se stává právě uvedený spoj. Při měření pevnosti struktur kov-dřevo-kov byly použity také netradiční měřicí metody. Jednou z nich byla metoda akustické emise, která patří do skupiny NDT (Metody nedestruktivního testování). Tato metoda, na rozdíl od většiny ostatních metod, zachycuje pouze aktivní defekty ve sledované struktuře. Její použití při této zkoušce proto může být velkým přínosem zejména v oblasti vývoje spojení. Dle očekávání bylo kritickou částí spojení kov-dřevo. Poznamenejme, že akustická emise ukazovala vznik defektů ve struktuře mnohem dříve, než bylo patrné okem, nebo které lze okamžitě určit ostatními použitými metodami. Příspěvek se bude zabývat aplikací Metody akustické emise při tahové zkoušce dřevěného trámu s kovovými spojkami.

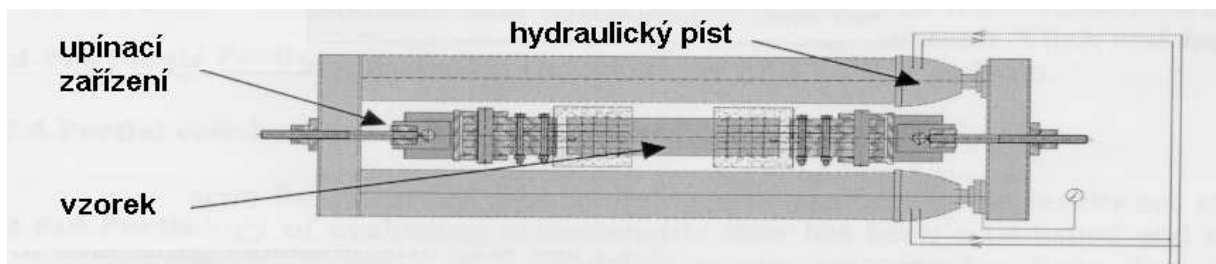
Experiment

Bylo provedeno téměř destruktivní testování pevnosti dřevěného styčníku se spojkami na obou koncích. Zkoušce pevnosti prostým tahem byly podrobeny dřevěné styčníky (obr. 1), které na koncích obsahovaly ocelové spojky (např. obr. 1 vlevo dole). Tyto spojky měly různou konstrukci. Některé spojky byly tvořeny jedním kusem (viz. obr. 1) jiné byly přichyceny pomocí "kolíků".



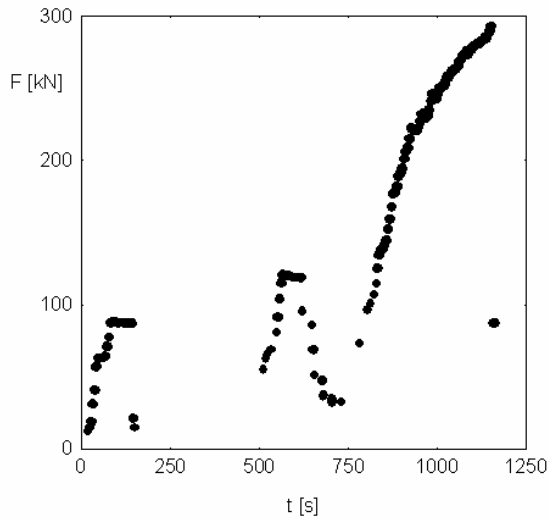
Obr.1 Schéma měřeného vzorku a tvar kovové spojky

Vzorek byl uchycen do přípravku (obr.2) a pomocí hydraulického tlaku namáhán na tah. Sledování chování vzorku bylo také provedeno s využitím metody akustické emise. K měření byl použit měřicí systém LOCAN, který zaznamenává parametry akustické emise.

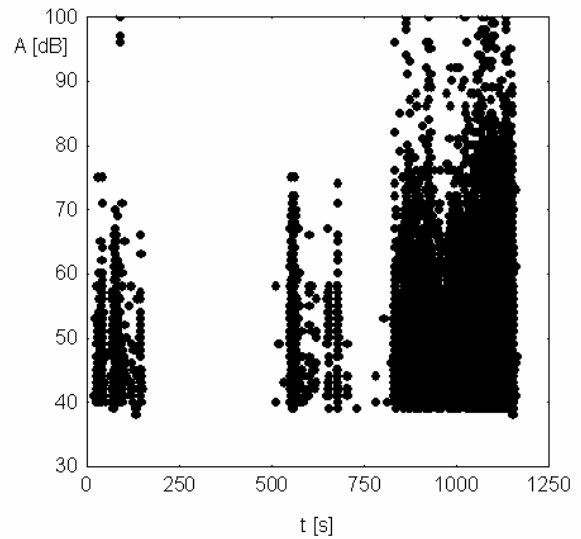


Obr. 2 schéma zatěžování vzorku

Signál akustické emise byl snímán čtyřmi snímači. V průběhu zatěžování byly několikrát sejmuty pomocí osciloskopu YOKOGAWA události akustické emise.

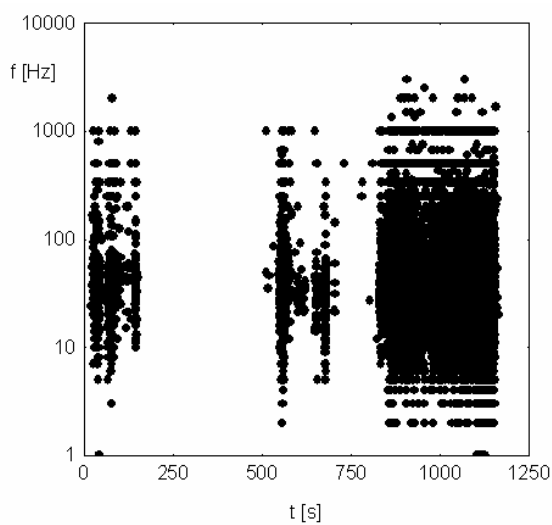


Obr. 3 Průběh zatížení

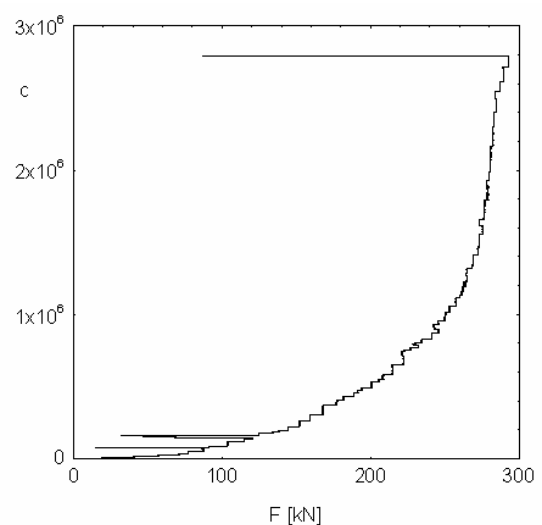


Obr. 4. Amplituda signálu akustické emise

Vzorek byl obvykle zatěžován ve třech předem určených zatěžovacích cyklech. poslední cyklus končil při deformaci měřeného vzorku. Průběh zatěžování na čase je možno sledovat na obr. 3. Tento obrázek navíc ukazuje výskyt událostí akustické emise (proto není průběh spojitý). Každá událost je označena jedním bodem. Na uvedeném příkladu bylo sledováno kolem 18 tis. událostí. Je zde patrné, že při prvním zatěžování vzniká akustická emise až do dosažení maximální hodnoty zatížení prvního cyklu. Při poklesu na "nulovou" hodnotu zatížení je zaznamenaných událostí podstatně méně. Dle očekávání při druhém cyklu je aktivní akustická emise až při vyšším zatížení než tomu bylo při prvním zatěžovacím cyklu. obdobný charakter průběhu je patrný i při posledním zatěžovacím cyklu.



Obr. 5 Historie průběhu průměrné frekvence

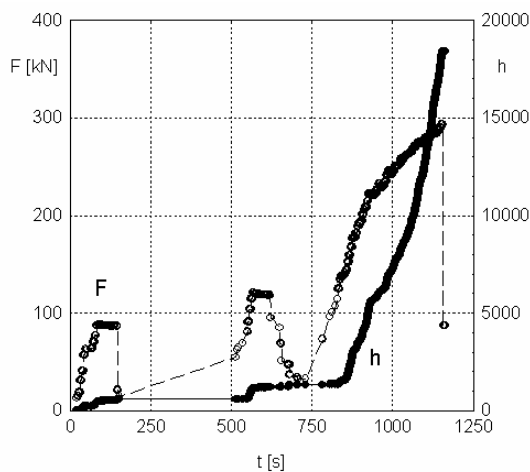


Obr. 6 Kumulativní počet překmitů

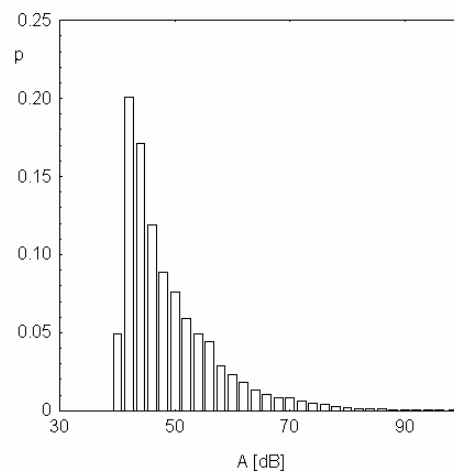
Průběh jednoho z parametrů akustické emise – maximální amplitudy události – ukazuje obr. 2. Z průběhu (při porovnání časové osy se zatížením dle obr. 1) je patrné, že maximální hodnoty v prvních dvou cyklech jsou kolem 70 dB s výjimkou malého časového okamžiku u prvního cyklu, kdy byla zaznamenána deformace kovové spojky a tato hodnota stoupla k maximální hodnotě. Poznamenejme, že maximální hodnota amplitudy je 100 dB. Relativně velká aktivita akustické emise je patrná u třetího zatěžovacího cyklu ihned po překročení maximálního zatížení z předchozího cyklu.

Na obr. 5 lze sledovat průběh průměrné frekvence (počet překmitů dělený délkou trvání události) v čase. Nejčastěji se vyskytují frekvence v oblasti kolem 30 kHz – toto by mělo odpovídat praskání dřeva. V kovu lze očekávat spíše vyšší frekvenční složky.

Průběh kumulativní křivky počtu překmitů akustické emise ukazuje relativně dobrou platnost Kaiserova efektu v případě tohoto měření (obr. 6). Poznamenejme, že dle Felicityho velikost "otevření" na křivce při odtížení a zatížení ukazuje na nelineární chování materiálu resp. struktury spojky kov-dřevo. Tj. Kaiserův jev značí pouze elastické deformace při odlehčování.



Obr. 7 Kumulativní počet událostí



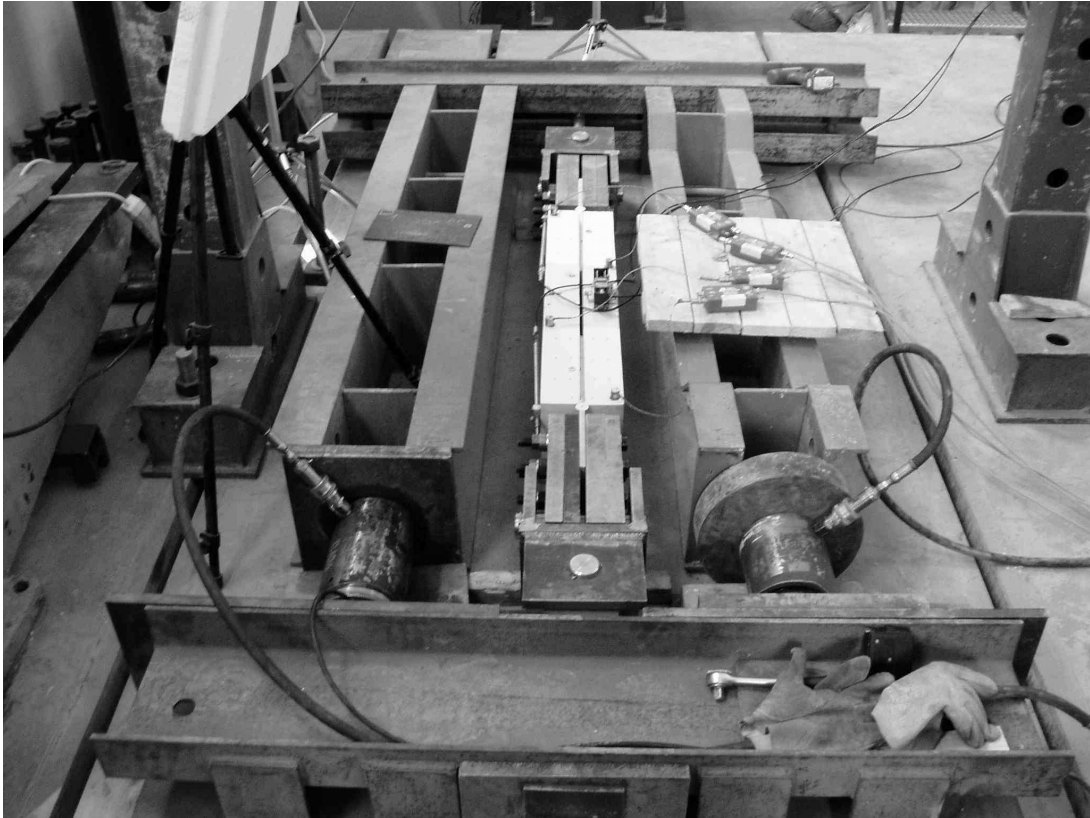
Obr. 8 Relativní rozdělení amplitudy

Často používaným parametrem pro sledování chování struktury vzorku je kumulativní (příp. relativní) počet zaznamenaných událostí. Obr. 7 zachycuje současně charakter zatěžování vzorku (levá osa, body označené F) a kumulativní počet událostí akustické emise (pravá osa, křivka resp. body označené h). Ze sledování těchto dvou charakteristik můžeme usuzovat, že první "významnější" defekty nastávají někde ke konci prvního zatěžovacího cyklu – asi 80 kN. Další skok na kumulativní křivce počtu událostí akustické emise je v oblasti druhého cyklu, kdy napětí resp. síla stoupne nad hodnotu předchozího maxima tj. asi 100 kN. Nejvýznamnější změna směrnice kumulativní křivky je v oblasti nad asi 120 kN. předzvěští konce je pak změna rychlosti růstu počtu událostí v oblasti kolem 220 kN.

Během měření je největší počet událostí akustické emise s amplitudou, která má hodnotu těsně nad nastavenou minimální velikostí signálu, kterou musí překročit, aby signál mohl být detekován. pokles k maximální hodnotě je exponenciální. Tedy, při vzniku amplitudy nad cca 70 dB se v materiálu vytváří nebo šíří nějaké výrazné materiálové změny – je uvolněna relativně velká lokální energie – ve struktuře se vlivem defektu sníží napětí.

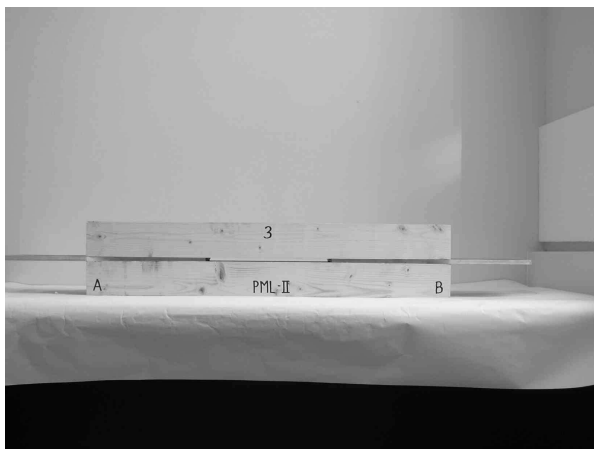
Záběry z měření

Následující obrázky ukazují zařízení na měření (obr. 10) uvedených v předchozím textu (obr. 11). Z obr. 9 lze určit polohu jednotlivých snímačů akustické emise.

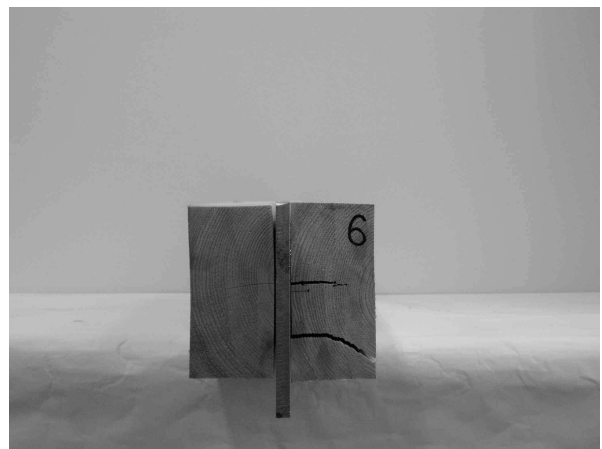


Obr. 9 Pohled na experiment in-situ

Uvedený vzorek po skončení testu měl ve dřevě z čelní strany výrazně viditelné trhliny (obr. 11) a deformované kovové kolíky.



Obr. 10 Pohled na vzorek před testem



Obr. 11 Trhlina na vzorku po ukončení testu

Závěr

Použití metody akustické emise při destruktivním testování může přinést velmi zajímavé výsledky z hlediska počátku příp. průběhu destrukce sledované struktury. Jak již bylo uvedeno v úvodu, tato metoda zachycuje pouze aktivní poruchy ve struktuře. Tyto defekty však zachycuje podstatně dříve než většina obvyklých metod, které ovšem zachycují i neaktivní "poruchy".

Uvedené grafy a jejich popis ukazují možnosti hodnocení tak "jednoduché" zkoušky, jak je zkouška a prostý tah. podrobnějším rozbořením parametrů signálů akustické emise by bylo možné určit "relativní" zdroj signálu – v tomto případě, zda-li vada vznikla při deformaci dřevěné části či kovové.

Další podrobnější analýzou signálů akustické emise pomocí nestandardních postupů se jeví možné získat další informace, které jsou ukryty uvnitř signálu. [2,3,4]

Poděkování

Tento příspěvek vznikl (na Ústavu fyziky a Ústavu železničních konstrukcí a staveb, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně) za podpory a v rámci řešení projektu "Využití vybraných moderních postupů NDT při kontinuálním hodnocení poškození cyklicky zatěžovaných konstrukčních materiálů" č. **GACR 106/02/1319**, projektu "Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí" č. **CEZ J22/98:261100007**. Děkujeme Ústavu dřevěných konstrukcí a staveb (Doc. Bohumil Straka a jeho doktorandi) za provedení vlastní tahové zkoušky a umožnění kooperace. [1]

Literatura (References)

- [1] Straka B.: *Conclusions from Theoretical Analysis, Construction and Behaviour of Timber Spatial Structures* – Proceedings of the 6th World Conference on Timber Engineering, Whistler, BC, Canada, 2000, 6 pp
- [2] Pazdera L., Palkova M., Prouzova P., Korenska M., Smutny J., Martinek J., Bilkova J., Weber Z.: *Development of Acoustic Emission Method at Monitoring of Behaviours of Dynamically Loaded Building Constructions*, Proc. Of the 2nd International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, Slovakia, May 19-22, 2003, ISBN 80-8070-066-4
- [3] Pazdera L., Smutny J.: *Using Non-Traditional Tool - Discrete Wavelet Transformation to Analysis of Acoustic Emission Signal*, proc. of International Internet Conference Acoustic Emission 2001, March - September, 2001, ISBN 80-214-2008-1, pp.73-82
- [4] Smutny J., Pazdera L.: *Wavelet Transformation as Powerful Tool to Analyses of Impulse Signals*, 3rd Conference on prediction, synergetic, behavior of dynamic systems and its application in control theory, physics, chemistry, economy and more, Nostradamus 2000, Technical University of Brno, Faculty of Technology Zlin, October 2 – 3, 2000, pp. 140-146, ISBN 80-214-1668-8