

HODNOCENÍ DYNAMICKÉ PEVNOSTI DŘEVA.**EVALUATION OF THE DYNAMIC STRENGTH OF THE WOOD.**Jaroslav Buchar¹, L.Severa, S.Rolc²**Abstract:**

The deformation behaviour of wood projectiles striking an elastic bar over a range of velocities have been studied. Ten different wood species have been examined. The obtained results have been compared with the results of the quasistatic compression. The significant increase of the crushing strength was detected. The model of the failure development has been proposed.

Key words: Wood, impact loading, dynamic strength, failure wave

ÚVOD.

Dřevo patří k materiálům, které mají strukturu podobnou řadě uměle vytvářených materiálů jako jsou voštiny, pěny apod., tedy materiály, které mají výraznou schopnost tlumit ráz. Mechanikou těchto materiálů se podrobně zabývá např.[1,2]. Dřevo je pak tradičně používáno jako stavební materiál v oblastech se zvýšenou seismickou aktivitou. Jeho využití pro další konstrukce vystavených rázovým účinkům je známo spíše z historie (válečné lodi, fortifikační stavby). Z těchto dob pak pocházejí poměrně rozsáhlé soubory výsledků o mechanických vlastnostech dřeva při daných způsobech zatěžování [3,4]. V současnosti pak existuje jen několik prací věnovaných dané tematice [5 - 8]. Pozornost věnovaná tomuto materiálu souvisí s tím, že se ukazuje možnost jeho využití při konstrukce tlumičů u kontejnerů pro jaderný odpad a v některých dalších aplikacích. Pro výzkum dynamických mechanických vlastností dřev se používá celá řada metod, zejména instrumentované rázové kladivo a metoda Hopkinsonovy měrné dělené tyče. Při výzkumu obdobných vlastností je používáno tzv. Taylorova testu [9], kdy vzorek zkoumaného materiálu je nastřelován na tuhou překážku a ze změn jeho tvaru jsou stanovovány konstitutivní rovnice a jejich parametry [10]. K tomuto účelu byly, pro kovové materiály, vyvinuta řada analytických modelů a numerických simulací. Cílem dané práce je pak posoudit, obdobně jak v [11,12], zda tento test bude vhodný i pro dřevěné vzorky.

EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁL A POSTUP.

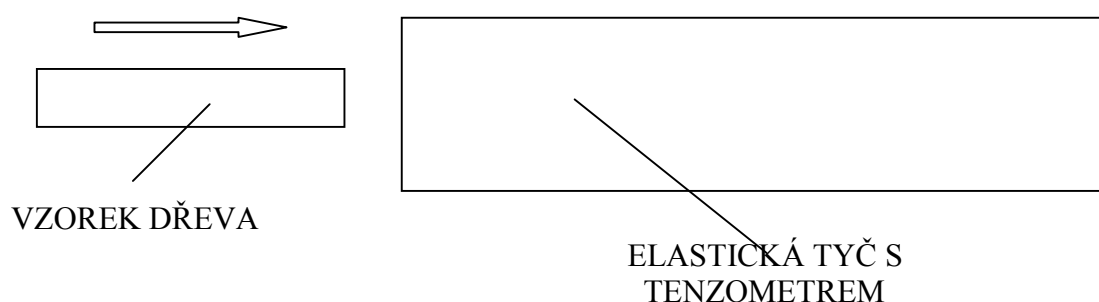
Pro vlastní výzkum bylo použito deset různých typů dřev uvedených v Tabulce 1. Z těchto dřev byly připraveny vzorky pro statické zatěžování v tlaku pomocí zkušebního stroje Zwick. Šlo o hranoly, které byly zatěžovány jednak ve směru růstové osy (L směr) a kolmo na léta (R směr).

Pro dynamické zatěžování bylo použito zařízení, které je znázorněno na obr.1. Vzorek dřeva ve tvaru válečku o průměru 7 mm délky 40 mm je určitou rychlostí nastřelován na

¹ Prof.Ing.J.Buchar, DrSc., Ing.L.Severa, Zemědělská 1, 613 00 Brno, email : buchar@mendelu.cz

² Doc.Ing.S.Rolc, CSc., VTU Ochrany, Rybkova 2, 602 00 Brno

elastickou tyč (z vysoce pevné oceli) , která je opatřena tenzometrem. Pro urychlování je použito pneumatického zařízení, které umožňuje dosáhnout rychlosti až 300 m/s. Pro případ, že vzorek se deformuje elasticky , je možné stanovit velikost napětí ve vzorku, σ , které vzniká na kontaktní ploše vzorek - tyč a to buď analyticky, nebo numerickým výpočtem. V obou případech roste toto napětí lineárně s dopadovou rychlostí. Z tenzometrického měření pak můžeme velikost tohoto napětí stanovit experimentálně. Experimenty pak probíhaly tak, že jsme postupně zvětšovali dopadovou rychlost, až došlo k poškození vzorku. Dané napětí tak odpovídá jakési mezi pevnosti stanovované při statickém zatěžování.



Obr.1. Schéma dynamického zatěžování dřevěných vzorků.

EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY A DISKUSE.

STATICKE ZATĚŽOVÁNÍ.

Při tlakovém zatížení ve směru L pozorujeme oblast odpovídající plastické deformaci u kovů, ve skutečnosti jde o oblast ztráty stability vláken (pevnost na vzpěr). Ve směru R pak rozsah této oblasti téměř konstantního napětí klesá a je reprezentována inflexním bodem. Hodnoty meze pevnosti v tlaku jsou dány v tabulce 1 .

Tabulka 1. Tlaková pevnost testovaných dřevin. (Průměrná vlhkost vzorku 11 - 12%, údaj reprezentuje průměr z 20 - 25 měření).

Dřevo	Hustota (kg/m ³)	Mez pevnosti ve směru L (MPa)	Mez pevnosti ve směru R (MPa)
Modřín	575	59 (57,5)	9,6(9,24)
Jasan	450	43(45)	6,0(6,30)
Olše	380	40(38)	4,7(4,49)
Bříza	480	50(48)	7,3 (7,17)
Javor	690	67 (69)	15,5(14,81)
Topol	328	34(32,8)	3,8(3,35)
Borovice	520	51(52)	4,9(8,41)
Buk	676	69 (67,6)	14,5(14,22)
Dub	605	60(60,5)	11(11,39)
Smrk	429	43,5(42,0)	5,9(5,73)

V závorce jsou uvedeny hodnoty napětí pro vznik poškození. Jak uvádí celá řada prací tak pro toto napětí (crushing strength) σ_c platí .

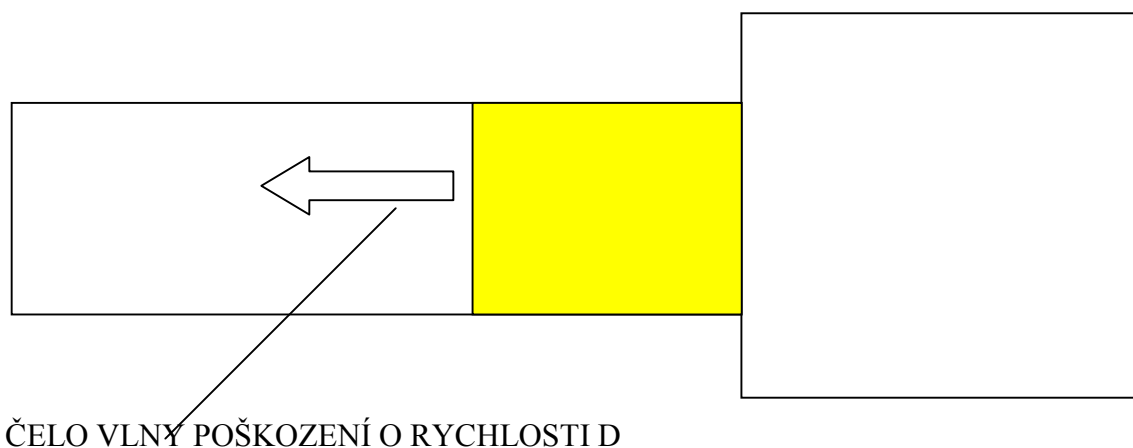
$$\sigma_{cL} = 150 \rho / \rho_s$$

$$\sigma_{cR} = 1.4 \sigma_{cT} = 70 (\rho / \rho_s)^2$$

kde L označuje zatížení ve směru podélné osy, T ve směru tečném k vláknům a R kolmo na vlákna. ρ označuje hustotu dřeva a ρ_s hustotu buněčné stěny, která je pro veškerá dřeva stejná a rovna 1500 kg/m^3 . Tyto vztahy byly odvozeny na základě experimentů při statickém zatížení. Je zřejmé, že naše výsledky platnost výše uvedených vztahů spíše potvrzují, než vyvracejí.

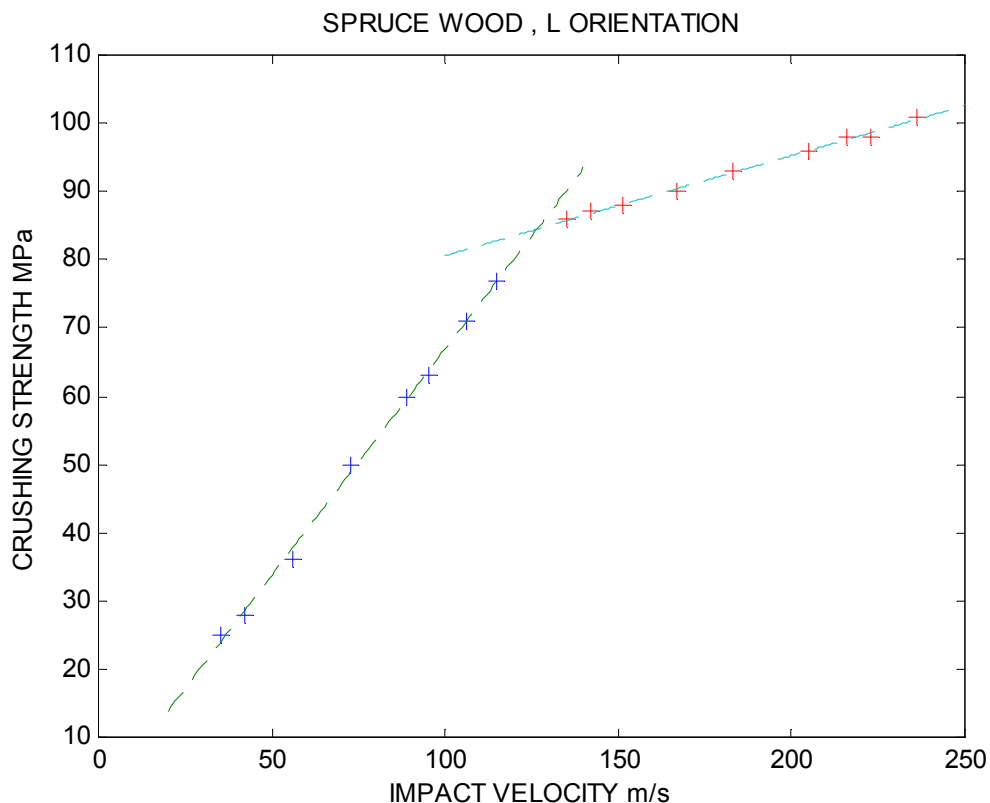
DYNAMICKE ZATĚŽOVÁNÍ.

Použili jsme postupu uvedeného v předcházející kapitole. Ukazuje se, že až do určité rychlosti (tzv, kritická dopadová rychlost V_{cr}) se vzorek dřeva deformuje pouze elasticky. Potom dochází na čele vzorku k poškození, které se s rostoucí rychlostí šíří do vzorku směrem k jeho volnému konci. To, že tyč se deformuje elasticky, umožňuje měřit časovou závislost síly ve vzorku $F(t)$ a tím i napětí $\sigma(t)$ na čele vzorku. (tenzometrické měření). Toto napětí, při zmíněné kritické dopadové rychlosti V_{cr} udává počáteční hodnotu napětí při kterém dochází k poškození vzorku. Zbytek tyče je nepoškozený. Při interpretaci získaných výsledků vycházíme z následující představy znázorněné na obr.2.



Obr.2. Schéma vývoje poškození ve vzorku.

Od místa kontaktu se šíří tzv. vlna poškození o rychlosti D. Za čelem této vlny je poškozený materiál a před čelem materiál deformovaný pouze elasticky. Na následujícím obrázku, obr.3, je závislost maxima napětí na čele vzorku v místě kontaktu s tyčí na rychlosti dopadu vzorku pro smrkové dřevo, podélná osa vzorku je orientována ve směru L. Je zřejmé, že tato závislost má zřejmě bilineární charakter. Nejprve roste do dosažení napětí při kterém dochází k poškození (crushing strength) σ_{cL} . V této oblasti se vzorek deformuje ryze elasticky. Napětí v oblasti, kde již dochází k poškození dále roste s rychlostí dopadu vzorku, tzn. toto napětí je závislé na rychlosti zatěžování, resp. deformace.



Obr.3. Závislost napětí na čele vzorku na dopadové rychlosti.

Daný typ experimentu je používán pro tvárné materiály, kde je označován pojmem Taylorův test. Při analýze tohoto testu byla vyvinuta teorie šíření vlny, která může být zcela použita i pro dřevěné vzorky, kde místo rychlosti plastické vlny uvažíme rychlost vlny poškození D. Při zmíněné analýze se vychází buď z předpokladu, že rychlost vlny D je konstantní, nebo závisí na stupni poškození. V dané etapě jsme se zaměřili na prvou hypotézu, která vede ke vztahu pro napětí $\sigma > \sigma_{cL}$:

$$\sigma = \sigma_{cL} + \frac{\rho D(V_o - V_{cr})}{1 - \varepsilon_1}$$

Kde ε_1 je deformace při které dochází ke vzniku poškození. Z výsledků pro statické testy vyplývá, že tato deformace je dána vztahem:

$$\varepsilon_1 = 1 - \alpha \frac{\rho}{\rho_s}$$

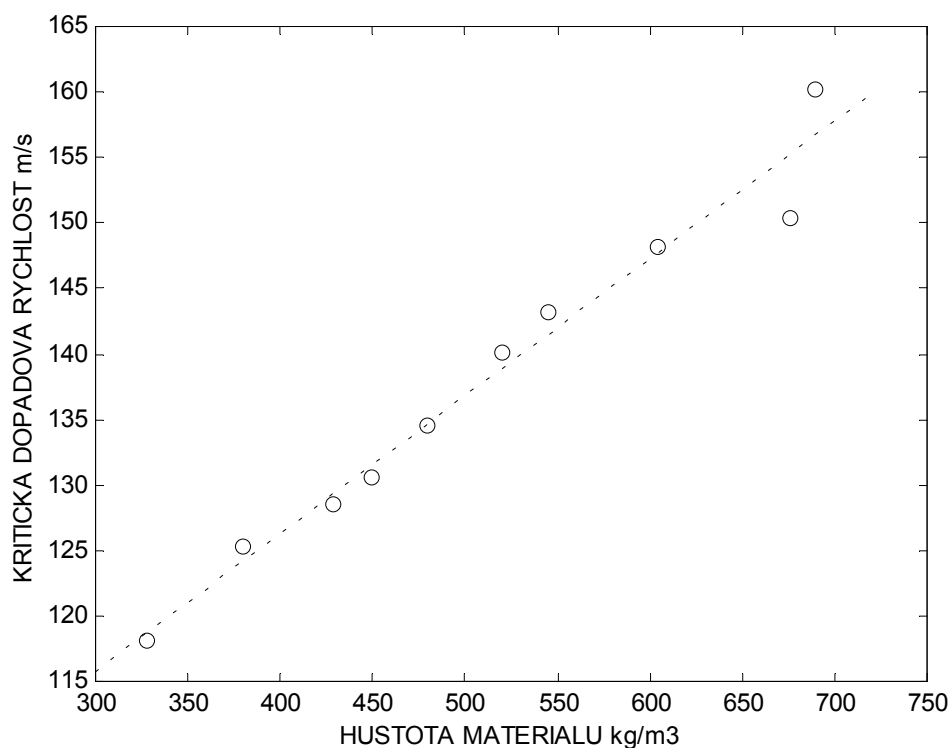
Kde ρ je hustota vzorku a ρ_s je hustota buněčné stěny, která je pro všechna dřeva stejná a rovna 1500 kg/m^3 . α je parametr, který nabývá hodnoty 2. Výše uvedená rovnice v podstatě

vyhovuje experimentálním výsledkům (bilineární závislost) . Výsledky jsou souhrnně zpracovány v tabulce 2, kde ze směrnice závislosti napětí - rychlost dopadu je určena i rychlost šíření vlny poškození D.

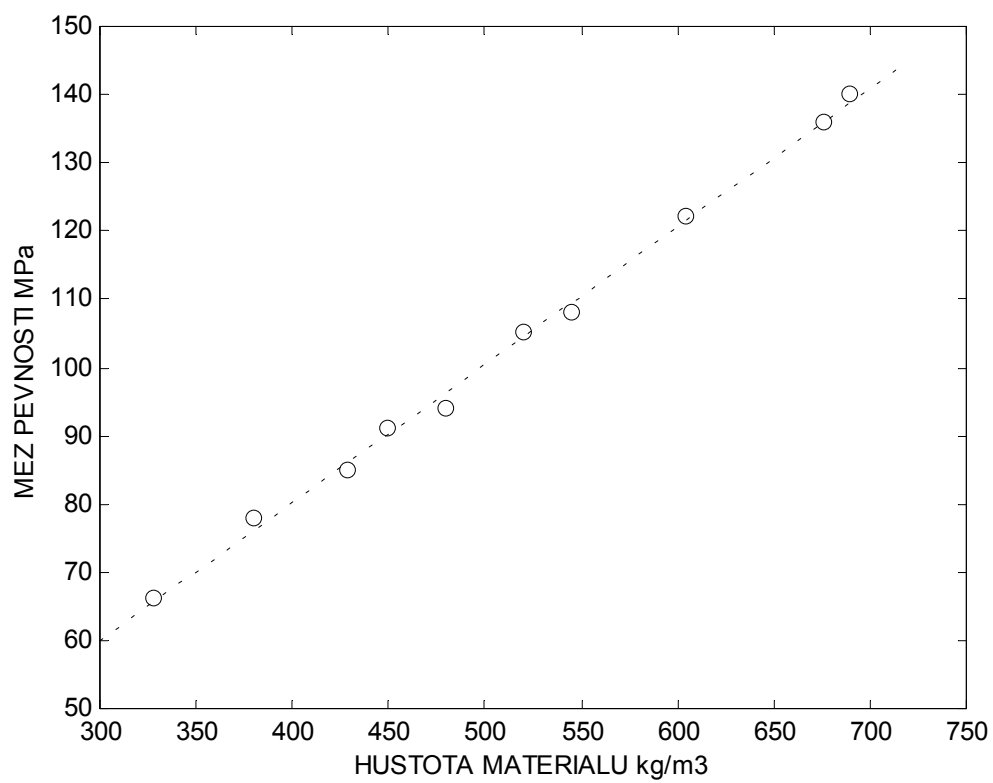
Tabulka 2.Experimentální výsledky pro vzorky o orientaci ve směru L.

DŘEVO	HUSTOTA (kg/m ³)	1-ε ₁	V _{cr} (m/s)	σ _{cL} (MPa)	D(m/s)
Modřín	545	0,7266	143,2	108	255
Jasan	450	0,6000	130,6	91	220
Olše	380	0,5066	125,2	78	185
Bříza	480	0,6400	134,5	94	243
Javor	690	0,9200	160,1	140	270
Topol	328	0,4373	118,1	66	160
Borovice	520	0,6933	140,1	105	250
Buk	676	0,90133	150,3	136	264
Dub	605	0,8066	148,2	122	258
Smrk	429	0,5720	128,5	85	208

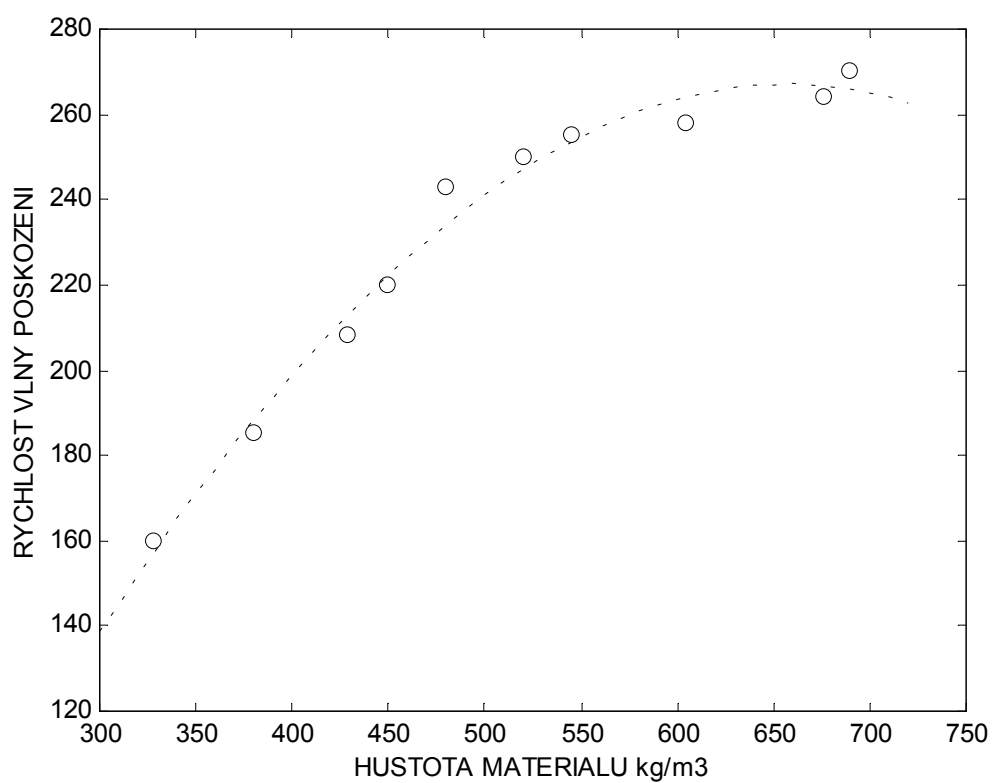
Z obr.4 až 6 je patrné , že jak kritická rychlost, tak odpovídající napětí a rychlost vlny poškození rostou s hustotou materiálu. Rychlost vlny poškození je pak menší jak rychlost podélné elastické vlny ve směru L, která je cca 5000 m/s u většiny uvedených dřev.



Obr.4. Závislost kritické dopadové rychlosti na hustotě dřeva.

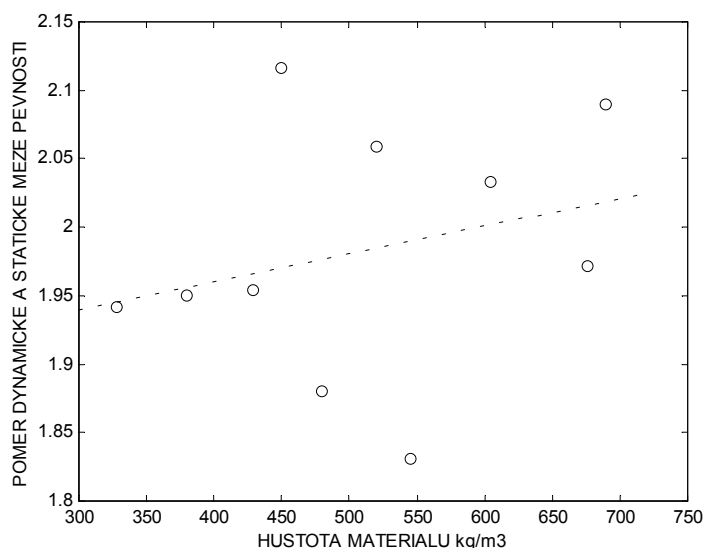


Obr.5. Závislost dynamické meze pevnosti na hustotě dřeva.



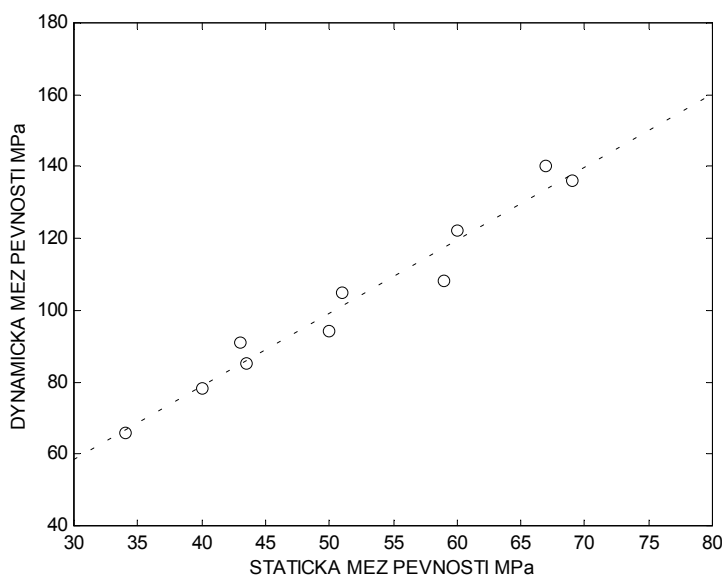
Obr.6. Závislost rychlosti vlny poškození na hustotě dřeva.

Zatímco kritická dopadová rychlost a odpovídající napětí, které můžeme definovat jako jistou dynamickou mez kluzu rostou s hustotou dřeva lineárně, u rychlosti vlny poškození pozorujeme určitou tendenci k nasycení. Uvážíme - li napětí odpovídající kritické dopadové rychlosti jako jistou mez pevnosti, pak je patrné, že její hodnota je vyšší jak mez pevnosti při statickém zatěžování uvedená v tab.1. Na obr.7 je vynesena závislost poměru dynamické a statické meze pevnosti na hustotě dřeva.



Obr.7. Závislost poměru dynamické a statické meze pevnosti na hustotě dřeva.

Je zřejmé, že i přes určitý náznak růstu daného poměru s hustotou dřeva je pro konečné tvrzení zapotřebí řada dalších experimentů. Je vcelku možné, že tento poměr na hustotě dřeva nezávisí. Z obr.8 je pak zřejmé, že dynamická pevnost roste s rostoucí statickou pevností.



Obr.8. Závislost mezi dynamickou a statickou mezí pevnosti testovaných dřev.

Je zřejmé, že daný test , který se uplatnil u kovových materiálů, poskytuje cenné poznatky i pro dřevěné materiály. Pro další ověření bude nezbytné použít numerické simulace , kdy bude použit některý z možných modelů poškození. V každém případě se ukazuje, že pevnost dřeva je rostoucí funkcí rychlosti zatížení, resp. deformace a dále vliv hustoty dřeva. Přitom ,na rozdíl od kovů, není znám mikrofyzikální mechanismus vysvětlující tento efekt.

Poděkování. *Autoři děkují grantové agentuře ČR za finanční podporu v rámci projektu 106/99/1703 a dále děkují za podporu v rámci projektu J08/98:434100004.*

LITERATURA.

1. Gipson,L.J. and Ashby,M.F. 1988. Cellular solids. Oxford :Pergamon Press.
2. W.Goldsmith and J.L.Shackman 1991. Energy absorption by sandwich plates a topic in crashworthiness, Crashworthiness and Occupant Protection in Transportation Systems, AMD - 126/BED - 19, ASME .
3. Johnson,W. 1986a. Historical and present-day references concerning impact on wood. Int. J. Impact Engng 4:161-174
4. Johnson,W. 1986b.Mostly on oak targets and 19th century naval gunnery. Int. J. Impact Engng 4:175-183.
5. Reid,S.R. and Peng,C.1997. Dynamic uniaxial crushing of wood. Int. J. Impact Engng 19:531 – 570.
6. Harrigan,J.J.,Reid.,S.R. and Reddy,T.R.1998. Inertial effects on the crushing strength of wood loaded along the the grain. In : Experimental Mechanics (Allison,Ed.),Balkema,Rotterdam,pp. 193 –198.
7. Severa,L.,Buchar,J.,Vlach,B. and Havlicek,M.1999. behaviour of wood under dynamic three point bending. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelinae Brunensis XLVIII :27-32.
8. Havlicek,M. and Buchar J. 1997. Dynamic mechanical properties of wood at impact loading. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelinae Brunensis XLV :13-21.
9. Johnson,G.R and Holmquist,TJ,1988: Evaluation of cylinder impact test data for the constitutive model . Journal de Physique 1: 853 - 860.
10. Hawkyard J.B., Eaton D. and Johnson W. *Int.J.Mech.Sci.* **10** (1968) 313 - 333.
11. Jones S.E. et al. *J.Engng Mater. Technology* **113** (1991) 228 - 235.
12. Woodward R.L., Burnam N.M. and Baxter B.J. *Int.J.Impact Engng.* **15**(1994) 407- 416.