

RÝCHLOSŤ ODHORIEVANIA DREVA Z RÔZNYCH ČASTÍ STROMU VYBRANÝCH IHLIČNATÝCH DREVÍN

WOOD BURNING RATE OF VARIOUS TREE PARTS FROM SELECTED SOFTWOODS

Danica Kačíková - Linda Makovická-Osvaldová

ABSTRACT

In the paper there is compared wood burning rate of various tree parts (branches, trunk, roots) from pine, fir, spruce, larch. The specimens were thermally loaded by the radiating source. The course of thermal degradation was evaluated by the average burning rate and ratio of the maximum burning rate and time of this determined value. The obtained results showed the influence of tree parts and wood species on calculated fire technical parameters. The values of burning rate of wood from branches were the lowest. The burning rate of trunk wood was the highest in case of spruce.

Key words: burning rate, branches, trunk, roots, spruce, larch, pine, fir, radiating source

ÚVOD

V poslednom desaťročí sa v Európe opakujú katastrofálne lesné požiare hlavne v južných krajinách. Ich výskyt zaznamenáva ale aj stredná a severná Európa, nie sú výnimkou ani na našom území. Jeden z najhorších požiarov (rozsahom a počtom obetí) bol spozorovaný 23. 10. 2000 v ťažko prístupnom teréne na horskom hrebeni v lokalite Krompl'a. Veľký požiar vypukol aj 22. 07. 2007 v katastrálnom území obce Vernár. Vysoký počet lesných požiarov bol evidovaný aj v dôsledku vetrovej kalamity vo Vysokých Tatrách v roku 2004. Z trinástich vzniknutých požiaroch sa najväčší rozhorel 30. 7. 2005 [5, 14].

Lesný požiar je veľmi nebezpečný fenomén, ktorý má negatívne účinky na všetky zložky lesného ekosystému. Je to komplex fyzikálno-chemických dejov, ovplyvňovaných nestacionárnym procesom horenia, výmenou plynov a prenosom tepla [12].

Všetky časti stromu sú horľavým materiálom. Pri lesných požiaroch sú konáre väčšinou rýchlejšie zapálené než kmene. Korene horia pomalšie ale dlhšie. Podľa prevládajúceho šírenia sa ohňa sú lesné požiare rozdeľované na korunové, kmeňové a podzemné [5, 12].

Rýchlosť odhorievania je dôležitou charakteristikou horenia. Variabilita v prípade dreva je spôsobená veľkou heterogenitou materiálu, vplyvom vlhkosti (zmena vlhkosti 10 % spôsobuje zmenu rýchlosti odhorievania 20–30 %) ale aj charakteristikami susedných materiálov [16].

Cieľom príspevku je porovnanie relatívnej rýchlosti odhorievania a pomeru maximálne relatívnej rýchlosti odhorievania delenej časom, kedy bola nameraná, pri termickom zaťažení dreva z konárov, kmeňa a koreňov borovice, jedle, smreka a smrekovca v podmienkach simulujúcich požiar.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Materiál

Na experimenty bolo použité drevo z konárov, kmeňa a koreňov borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.), jedle bielej (*Abies alba* Mill.), smreka obyčajného (*Picea abies* L.) a smrekovca opadavého (*Larix decidua* Mill.). Rozmery teliesok boli 10 × 12 × 150 mm v radiálno-tangenciálnom smere. Vlhkosť vzoriek pred termickým zaťažením bola 8 %. Použitých bolo 15 vzoriek na každé meranie.

Termické zaťaženie

Vzorky umiestnené v držiaku 40 mm pod infračerveným žiaričom typovej rady T-5 s príkonom 1 000 W, povrchovou teplotou telesa 652,7 °C a pracovnou dĺžkou 200 mm boli zaťažované 3 min po 15 minútovom rozohriatí žiariča. Dosiagnutá teplota vo vzdialenosti 40 mm bola 115,4 °C.

Výpočet rýchlosti odhorievania

Každých 15 s počas termického zaťaženia boli odčítavané úbytky na hmotnosti na váhach Sartorius Basic Plus BDBC 200. Rýchlosť odhorievania bola vypočítaná ako hmotnostný úbytok za jednotku času. Priemerná relatívna rýchlosť odhorievania v bola vyjadrená v $\% \cdot s^{-1}$. Vypočítaný bol aj pomer maximálnej relatívnej rýchlosti odhorievania v_{max} a času, kedy bola maximálna rýchlosť odhorievania nameraná t_{max} . Regresné rovnice rýchlosti odhorievania v závislosti na čase termického zaťaženia boli vyjadrené ako polynómy druhého stupňa a tesnosť závislosti bola vyhodnotená vypočítaným koeficientom determinácie r^2 .

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Použitý termické zaťaženie simulovalo prenos energie pri požiari, použitie vzoriek z konárov, kmeňa a koreňov zahrňovalo rôzne druhy paliva pri lesnom požiari.

Počas experimentov vzorky na povrchu postupne tmavli a vytvárala sa čierna zuhoľnatá vrstva. Táto má podľa viacerých autorov [17, 1, 2, 3] autoretardačný charakter, t. j. znižuje rýchlosť odhorievania. Úloha zuhoľnatej vrstvy pri lesných požiariach nie je tak dokonale vysvetlená, ako pri požiariach drevených konštrukcií. Ale zuhoľnaté drevo, najmä z koreňov, môže tlieť a pomaly chladne. Preto sa môže požiar znovu rozhorieť a rozšíriť.

V dôsledku termickej degradácie hlavných zložiek dreva a extraktívnych látok zaťažených vzoriek dochádzalo k úbytku na hmotnosti materiálu. Komplikované fyzikálno-chemické procesy termickej degradácie polymérov a reťazový priebeh reakcií spôsobili zmeny v časovom priebehu vypočítaných relatívnych rýchlostí odhorievania.

V tab. 1 sú uvedené priemerné relatívne rýchlosti odhorievania vzoriek z jednotlivých častí stromu použitých drevín.

Tab. 1 Vybrané požiaro-technické charakteristiky termicky zaťažených vzoriek dreva konárov, kmeňa a koreňov borovice, jedle, smreka a smrekovca (v - priemerná relatívna rýchlosť odhorievania, v_{\max} – maximálna relatívna rýchlosť odhorievania, t_{\max} – čas maximálnej rýchlosti odhorievania) vo vzdialenosti 40 mm od žiariča

Tab. 1 Selected fire-technical characteristics thermally loaded wood specimens of branches, trunk and roots from pine, fir, spruce and larch (v – average relative burning rate, v_{\max} – maximum relative burning rate, t_{\max} – time of maximum burning rate) at the distance 40 mm from

Drevina	Časť stromu	v (%.s ⁻¹)	v_{\max} (%.s ⁻¹)	t_{\max} (s)	v_{\max}/t_{\max} (%.s ⁻²)
Borovica	konáre	0,038	0,062	105	0,59
	kmeň	0,076	0,164	180	0,91
	korene	0,057	0,107	180	0,59
Jedľa	konáre	0,039	0,065	150	0,43
	kmeň	0,054	0,074	180	0,41
	korene	0,069	0,116	180	0,65
Smrek	konáre	0,033	0,054	150	0,36
	kmeň	0,090	0,187	180	1,04
	korene	0,055	0,088	165	0,53
Smrekovec	konáre	0,038	0,066	180	0,37
	kmeň	0,055	0,095	165	0,57
	korene	0,059	0,083	150	0,56

Vo všetkých prípadoch bola najmenšia priemerná relatívna rýchlosť odhorievania zistená pre drevo z konárov. To isté platilo aj pre maximálnu rýchlosť odhorievania. Z drevín boli najnižšie hodnoty vypočítané pre smrekové drevo.

Vzhľadom na množstvo drevnej hmoty, ktorá pri lesných požiaroch zhorí vo forme kmeňov, je dôležité zistenie, že najvyššie hodnoty priemernej rýchlosti odhorievania porovnávaných drevín ako aj najvyššia maximálna rýchlosť odhorievania bola v prípade smrekového dreva, druhé najvyššie hodnoty boli vypočítané pre borovicové kmeňové drevo.

Najvyššie hodnoty priemernej aj maximálnej rýchlosti odhorievania koreňov dreva boli v prípade jedľového dreva.

Jedným z faktorov materiálu, ktorý ovplyvňuje rýchlosť odhorievania dreva, je hustota [1, 6]. To potvrdzujú aj nami stanovené priemerné hodnoty hustoty vzoriek borovicového dreva z konárov, kmeňa a koreňov (455,94; 400,93 a 429,81 kg.m⁻³) zodpovedajú trendu zmien hodnôt rýchlosti odhorievania.

Aj keď materiál s vyššou hustotou je ťažšie zapáliteľný a horí pomalšie, bolo dokázané [2, 4, 8], že pri porovnateľnej hustote je ľahšie zapáliteľný materiál s vyšším obsahom hemicelulózy. Viacerí autori [7, 15, 16] potvrdili štatisticky významnú koreláciu množstva lignínu s rýchlosťou odhorievania. Vyšší obsah lignínu vplyva na znižovanie rýchlosti odhorievania. Z uvedeného vyplýva, že pri odhade trendu zmien rýchlostí odhorievania treba brať do úvahy nielen hustotu materiálu, ale aj jeho chemické zloženie [9, 10]. To je v zhode s nami stanovenými vyššími podielmi lignínu v jedľovom a smrekovom dreve (30,72 a 30,04 %) oproti smreku a borovici (28,35 a 28,14).

Rýchlosť odhorievania je dôležitým parametrom nielen pre modelovania požiarnej odolnosti drevených konštrukcií [7], ale tiež pre matematické modely šírenia lesných požiarov [13]. Dôležitým ukazovateľom je charakterizácia paliva podielom maximálnej hodnoty rýchlosti odhorievania a času dosiahnutia tejto hodnoty. Čím je táto hodnota vyššia, tým sa materiál väčšou mierou podieľa na šírení horenia. Najnebezpečnejšie z tohto pohľadu je kmeňové smrekové a potom kmeňové borovicové drevo.

Vypočítané regresné rovnice závislosti relatívnej rýchlosti odhorievania na čase termického zaťaženia a tesnosti závislosti vyjadrených determináčným koeficientom r^2 sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Rovnice regresie v polynomicom tvare pre priebeh relatívnej rýchlosti odhorievania v závislosti na čase a hodnota spoľahlivosti r^2 pre skúmané časti stromu a dreviny vo vzdialenosti 40 mm od žiariča

Tab. 2 Polynomial regression equations for course of relatively burning rate in dependence on time and determination coefficient r^2 for researched tree parts and wood species at the distance 40 mm from

Drevina	Časť stromu	Závislosť relatívnej rýchlosti odhorievania na čase	Hodnota r^2
Borovica	konáre	$y = -2E-08x^2 + 5E-06x + 0,0001$	0,724
	kmeň	$y = -2E-08x^2 + 5E-06x + 0,0002$	0,885
	korene	$y = -2E-09x^2 + 3E-06x + 0,0002$	0,789
Jedľa	konáre	$y = -2E-08x^2 + 8E-06x + 0,0002$	0,885
	kmeň	$y = -3E-08x^2 + 9E-06x + 8E-05$	0,968
	korene	$y = -3E-08x^2 + 9E-07x + 0,0002$	0,910
Smrek	konáre	$y = -2E-08x^2 + 5E-06x + 0,0001$	0,724
	kmeň	$y = -2E-08x^2 + 4E-06x + 0,0003$	0,868
	korene	$y = -4E-09x^2 + 5E-06x + 0,0002$	0,880
Smrekovec	konáre	$y = -1E-08x^2 + 6E-06x + 2E-05$	0,974
	kmeň	$y = -3E-08x^2 + 8E-06x + 0,0001$	0,950
	korene	$y = -4E-08x^2 + 1E-05x + 5E-05$	0,949

Záporná hodnota koeficientu pred kvadratickým členom regresnej rovnice vyjadruje spomalenie rýchlosti odhorievania v dôsledku priebehu termodegradačných reakcií polymérov dreva [11].

ZÁVER

Vypočítané hodnoty rýchlosti odhorievania prispeli k stanoveniu odolnosti vybraných ihličnatých drevín na reakcie simulujúce podmienky požiaru.

Zo získaných výsledkov vyplýva:

- najnižšie priemerné aj maximálne rýchlosti odhorievania má drevo konárov,
- z dreva konárov má najnižšie hodnoty rýchlosti odhorievania smrek,
- najvyššiu priemernú aj maximálnu rýchlosti odhorievania kmeňového dreva má smrek,
- najvyššiu priemernú aj maximálnu rýchlosť odhorievania koreňového dreva má jedľa,
- k šíreniu horenia vyjadreného podielom maximálnej relatívnej rýchlosti odhorievania a času tejto rýchlosti najväčšmi prispieva smrekové kmeňové drevo.

Získané poznatky potvrdili predpoklad, že rýchlosti odhorievania dreva sú ovplyvňované drevinou (jej hustotou a chemickým zložením, t.j. obsahom hlavných zložiek) ale aj časťou stromu (konáre, kmeň, korene), z ktorej drevo pochádza. Časový priebeh rýchlosti odhorievania je možné vyjadriť polynómom druhého stupňa s tesnou závislosťou.

LITERATÚRA

1. BABRAUSKAS, V. Charring rate of wood as a tool for fire investigations. In *Fire Safety Journal*, 2005, roč. 40, s. 528–554. ISSN 0379–7112.

2. BABRAUSKAS, V. *Ignition Handbook*. Issaquah: Fire Science Publisher, 2003. s. 963–968. ISBN 0–9728111–3–3.
3. BALOG, K., et al. Termická degradácia a chemizmus horenia celulóзовých materiálov. In *Horľavosť materiálov a nebezpečné pôsobenie spodin horenia*. Žilina, 1985, s. 13–19.
4. BALOG, K. – OSVALD, A. – FILIPI, B. Vplyv vonkajších podmienok na zápalnosť dreva a materiálov na báze dreva. In *Wood and fire safety*. Zvolen: Technical University in Zvolen, 2004. s. 135–140. ISBN 80–228–1321–4.
5. HLAVÁČ, P. *Projekt protipožiarnej ochrany lesa na území Vysokých Tatier po vetrovej kalamite*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 67 s. [nepublikované]
6. HOSTIKKA, S. – McGRATTAN, K. B. Large Eddy Simulation of Wood Combustion. In *Interflam 2001*. Edinburgh: Interscience Communications Ltd., London, 2001, Vol. 1, s. 755–762.
7. JANSSENS, M. L. Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire. In *Fire and Materials*, 1998, Vol. 28, s. 199–207. www3.interscience.wiley.com (2005-06-17)
8. KAČÍK, F. et al. *Vplyv horenia na chemické a mikroskopické zmeny smrekového dreva*. Vedecké štúdie 2/2001/B. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001. 85 s. ISBN 80–228–1034–7.
9. KAČÍKOVÁ, D. Dynamika horenia dreva, materiálov a výrobkov na báze dreva. In *Selected processes in the wood processing 2005*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. s. 252–261. ISBN 80–228–1484–9.
10. KAČÍKOVÁ, D. Charring layer formation – an important characteristic of wood at burning and fire. In *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW: Forestry and Wood Technology*, 61, 2007. s. 305–308. ISSN 0208–5704.
11. KAČÍKOVÁ, D. – NETOPILOVÁ, M. – OSVALD, A. *Drevo a jeho termická degradácia*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2006, 79 s. ISBN 80–86634–78–7.
12. KRAKOVSKÝ, A. *Lesné požiare*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. 78 s. ISBN 80–228–1301–X.
13. MCKENZIE, D. – HESSL, A. E. – KELLOG, L.-K.B. Using neutral models to identify constraints on low-severity fire regions. In *Landscape ecology*, 1996, Vol. 21, s. 139–152.
14. OSVALD, A. Les poskytuje rôzne druhy paliva pre lesný požiar. In *Prezentácia prenosného mobilného zariadenia na hasenie lesných požiarov vodnou hmlou*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005, s. 47–54, ISBN 80–228–1483–0.
15. ROWELL, R. M. – SUSOTT, A. R. – DEGROOT, F. W. – SHAFIZADEH, F. Bonding fire retardants to wood. Part I. Thermal behavior of chemical bonding agents. In *Wood and Fiber Science*, 1984, 16 (2), s. 214–223.
16. TRAN, H. C. – WHITE, R. H. Burning Rate of Solid Wood Measured in Heat Release Rate Calorimeter. In *Fire and Materials*, 1992, Vol. 16, s. 197–206. www3.interscience.wiley.com (2005-06-19)
17. WHITE, R. H. – TRAN, H. C. Charring Rate of Wood Exposed to a Constant Heat Flux. In *Wood and Fire Safety*. 1996, s. 175–184. ISBN 80–228–0493–2.

SÚHRN

The calculated values of burning rate are the contribution to the determination of the selected softwoods resistance to the reactions simulating the conditions of a forest fire.

From the obtained results we can conclude:

- wood of the branches has the lowest average and maximum burning rate,
- spruce wood has the lowest burning rates from branches,
- spruce wood has the highest average and maximum burning rates from trunks,

- fir wood has the lowest burning rates from roots,
- spruce trunk wood has the highest influence to the burning spread expressed by the ratio of maximum burning rate and time of the maximum burning rate value.

The obtained knowledge confirmed the assumption the burning rate is influenced by wood species (its density and chemical composition, e.g. amount of the main wood compounds) and also by the tree part (branches, trunk, roots) of wood. The dependence of the burning rate on time was expressed by quadratic polynomial. The values of determination coefficient r^2 confirm the high strength relationship.

Pod'akovanie:

Autori ďakujú za finančnú podporu Slovenskej vedeckej garantovej agentúre (grant č. 1/4378/07).

Adresa autorov:

doc. RNDr. Danica Kačíková, PhD.
Katedra protipožiarnej ochrany
Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika
kacikova@vsld.tuzvo.sk

Ing. Bc. Linda Makovická-Osvaldová, PhD.
Katedra požiarneho inžinierstva
Fakulta špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity
Ulica 1. mája 26, 011 17 Žilina, Slovenská republika