

Požiarne vlastnosti nových drevných kompozitov obsahujúcich odpadové plasty z automobilov

Iveta ČABALOVÁ^a, Anna DARABOŠOVÁ^a, Martin ZACHAR^b, Jozef KRILEK^c, Vladimír MANCEL^c, Mária OSVALDOVÁ^d, Roman RÉH^e

^a Katedra chémie a chemických technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^b Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^c Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta techniky, Študentská 26, 96001 Zvolen;

^d Katedra ekonomiky, manažmentu a podnikania, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^e Katedra drevárskych technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

e-mail: cabalova@tuzvo.sk

Súhrn

Drevo-plastové kompozity sú materiály, ktoré sa vyrábajú z dreva a syntetických polymérov. Majú množstvo výhod, ako je vysoká odolnosť voči poveternostným vplyvom a dlhá životnosť. Cieľom práce bolo zhodnotiť vplyv plastového plnidla, odpadu z automobilov (lakované, nelakované nárazníky, palivové nádrže) na vybrané požiarne-technické vlastnosti drevotriekových dosiek (DTD) s obsahom plastov. Z požiarne-technických vlastností bola hodnotená teplota vznietenia a rýchlosť odhorievania materiálu. Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že teplota vznietenia sa u kompozitov s obsahom plastov pohybovala od 433°C do 444°C a priemerný čas do iniciácie od 260 s do 308 s. U DTD bez plnidla bola zistená teplota vznietenia 430 °C a priemerný čas do iniciácie 309 s, čo sú v niektorých prípadoch porovnateľné hodnoty s DTD obsahujúcimi plasty. V prípade drevotriekových dosiek obsahujúcich nelakované nárazníky a palivové nádrže sa čas do iniciácie úmerne znižoval (o 31 % u DTD s nelakovanými nárazníkmi, o 20 % u DTD s palivovými nádržami) so zvyšujúcou sa koncentráciou plnidla. Vzhľadom na výsledky výskumu je potrebné vziať do úvahy nižšiu požiarne odolnosť drevotriekových dosiek s obsahom plastového plnidla. Zvyšovať požiarne odolnosť je možné aplikovaním ochranných prostriedkov zakomponovaných buď do vnútra materiálu alebo na jeho povrch.

Kľúčové slová: drevoplastové kompozity, odpadové plasty, automobilový priemysel, teplota vznietenia, rýchlosť odhorievania materiálu, požiarne bezpečnosť.

Úvod

Drevo-plastové kompozity sú produktom, ktorý zohráva dôležitú úlohu vo svete výroby, konštrukcie a dizajnov. Najčastejšie sú drevoplastové kompozity vyrábané spojením drevného hmoty a termoplastu, ako je polyetylén (PE), polypropylén (PP) a polyvinylchlorid (PVC) ¹. Výsledný produkt je povrchovo podobný prírodnému drevu, ale vnútorná štruktúra je vylepšená o zvýšenú tvrdosť, rezistenciu voči oderu, pevnosť v tlaku, ohybe a biologickú degradáciu ². Vďaka ich unikátnosti a odolnosti ponúkajú flexibilné možnosti pre inžinierov a dizajnérov. Kompozity sa často využívajú v priemysle, na výrobu lietadiel, pre priemyslové technológie, lodné stavby a ľahké konštrukcie. Drevo-plastové kompozity, ktoré sú výsledkom spojenia prírodných drevných vlákien a plastických materiálov, majú množstvo výhod v porovnaní s inými konvenčnými materiálmi a aj so samotnými drevnými kompozitmi. Drevo veľmi ľahko

absorbuje vodu a vlhkosť, je ľahko napadnuteľné hubami, dokáže napúčať, a tým dochádza k jeho degradácii. Avšak v kombinácii s iným materiálom, napr. s gumou (drevo-guma kompozity) dosiahne oveľa lepšie vlastnosti³. Použitím gumy v drevotrieskových paneloch môže dôjsť k poklesu niektorých mechanických vlastností, avšak Ayrilmis et al.⁴ uvádzajú zlepšenie hydrofóbných vlastností. Použitím plastov v drevných kompozitoch dochádza k zníženiu ich požiarnej odolnosti, plastový materiál zvyšuje obsah chemického tepla⁵, no zlepšujú sa iné vlastnosti. Spojením polypropylénu s prírodnými vláknami dochádza k zvýšeniu tepelnej stálosti, odolnosť voči UV žiareniu a rezistencie pri kyslých dažďoch v porovnaní s drevnými kompozitmi. Takéto produkty sa bežne využívajú v stavebníctve, ako strešné krytiny alebo rezivo na vonkajšie terasy².

V automobilovom priemysle sú plastové komponenty najdôležitejším konštrukčným materiálom. Je to pre ich nízku cenu a hmotnosť, beznáterový farebný povrch s rôznym stupňom lesku, pevnosť konštrukčných kompozitov, tvrdosť a odolnosť voči nízkym teplotám. Exteriérové časti osobného automobilu, ako sú nárazníky, maska chladiča, predné svetlá, interiérové časti, ako palubná doska, sedadlá, obloženie dverí a strechy a kufor, sú vyrobené z plastov⁶. Pri výrobe jedného automobilu sa použije až 13 rôznych druhov plastov. Tie najpoužívanejšie tvoria až 66 %. Medzi túto trojicu patria: PP (32 %), PU - polyuretán (17 %) a PVC (16 %)⁷.

Množstvo rozličných druhov plastov v automobilovom priemysle narastá neustále, tým pádom je vhodné nájsť efektívnejšie separačné metódy a technológie. Keďže každý z týchto materiálov má odlišné chemické zloženie, je potrebné každý plast recyklovať vhodným spôsobom. Jednou z možností je materiálová recyklácia, použiť plast ako súčasť nového produktu.

Táto práca ponúka inovatívne riešenie, a to spojenie odpadových plastov z automobilov a prírodných drevných vlákien do nových kompozitných materiálov - drevotrieskových dosiek, ktoré obsahujú plastové plnidlo. Ako už bolo spomenuté, plast zvyšuje obsah chemického tepla a znižuje požiarne odolnosť drevných kompozitov, z toho dôvodu bolo cieľom tejto práce vyhodnotiť vplyv plastového plnidla, odpadu z automobilov (lakované, nelakované nárazníky, palivové nádrže), na vybrané požiarne-technické vlastnosti kompozitov drevo-plast.

Experimentálna časť

Materiál

Plastový materiál: lakované (PP), nelakované nárazníky (PP) a palivové nádrže (PE) boli získané od firmy Aluex, s.r.o., Zvolen. Jednotlivé plasty boli podrvené pomocou drviča plastov v dielňach Technickej univerzity vo Zvolene na frakciu od 1 – 4 mm. Jednotlivé plasty pochádzali z viacerých autovrakov, preto nie je uvedený bližší popis materiálu a laku.

Drevné častice, pripravené z čerstvej smrekovej guľatiny, boli v experimente spracované v spoločnosti Kronospan, s.r.o, Zvolen, SR. Rozmery častíc bežne používaných pre stredovú vrstvu a vybraných na výrobu jednovrstvových drevotrieskových dosiek boli od 0,25 do 4,0 mm. Častice sa vysušili na obsah vlhkosti 4 %.

Zloženie adhézneho zmesi: Močovino-formaldehýdová (UF) živica Kronores CB 1100 F (Diakol Strážske s.r.o., Strážske, Slovensko), lepidlo, ktoré bolo použité na spojenie drevených častíc a drvenej gumy má obsah pevnej látky 67,1 %, viskozitu 460 mPa·s, čas kondenzácie 55 sekúnd a hodnotu pH 8,6. Do lepiacej zmesi bol pridaný dusičnan amónny NH₄NO₃ (47 %) ako tvrdidlo. Parafín, použitý ako 35 % hmotnosti vodnej emulzie, bol aplikovaný na častice v množstvách 0,6 %.

Metodika

Výroba drevotrieskových dosiek s obsahom plastov

Na lisovanie jednovrstvových drevotrieskových dosiek s prídavkom drveného plastu (10, 15 a 20 %) bola použitá UF živica. Adhézna zmes bola pridaná k časticiam v množstve 11 % hmotnosti. Jednovrstvová drevotriesková doska s plastovým plnidlom mala rozmery 360 mm x 280 mm x 15 mm a

bola pripravená v laboratóriách Technickej univerzity vo Zvolene. Obsah vlhkosti častíc zmiešaných s UF živícami bol 9,5 %. Drevotrieskové dosky boli pripravené bežnou technológiou, t.j. najprv predlisovaním časticových rohoží za studena na 1 MPa a následným lisovaním za tepla v tlaku (laboratórny lis CBJ 100-11, TOS, Rakovník, bývalá ČSSR) pri maximálnej teplote lisovanie dosiek v lise 230 °C, maximálny lisovací tlak 6,50 MPa a celkový lisovací čas 356 s, ktorý musel byť dlhší ako pri bežnej výrobe celodrevených drevotrieskových dosiek z dôvodu prítomnosti drvených odpadových plastov. Bolo vyrobených 6 dosiek z každého druhu (tabuľka 1) ^{8,9}.

Tabuľka 1: Označenie vzoriek kompozitov

DTD	Drevotriesková doska bez pridaného plnidla
N10; N15; N20	Drevotriesková doska s 10, 15 resp. 20 %-ným podielom nelakovaných nárazníkov
L10; L15; L20	Drevotriesková doska s 10, 15 resp. 20 %-ným podielom lakovaných nárazníkov
P10; P15; P20	Drevotriesková doska s 10, 15 resp. 20 %-ným podielom palivových nádrží

Stanovenie teploty vznietenia

Teplota vznietenia sa učí podľa ISO 871 ¹¹. Táto norma špecifikuje laboratórnu metódu na stanovenie teploty vzplanutia a vznietenia v teplovzdušnej peci. Princíp skúšky spočíva v zahrievaní vzorky pri rozdielnych teplotách bez použitia otvoreného ohňa. Teplotný profil sa meria pomocou 0,5 mm termočlánkov a zaznamenáva sa pomocou záznamníka údajov ALMEMO® 710. Teplota vznietenia sa zaznamenáva najnižšou teplotou vzduchu, pri ktorej sa vzorka zapáli počas 10 minút. Celkovo sa skúška opakovala päť krát na každú vzorku.

Stanovenie rýchlosti odhorievania materiálu

Skúmali sa požiarne vlastnosti podľa normy ISO 11925-2 ¹², čo zahŕňalo meranie rýchlosti hmotnostného horenia za použitia zariadenia s elektronickou váhou (presnou na dve desatinné miesta), kovovým držiakom vzoriek, ťažidlom, kovovým nosičom sálavého tepla a 1000 W infračerveného ohrievača. Riešenie spočívalo v umiestnení vzorky v držiaku vzdialenej 30 mm od teplého zdroja a následnom meraní rozdielu hmotnosti každých 10 s počas 600 s. Tepelný tok infračerveného ohrievača bol stanovený na 30 kW/m². Vypočítaná bola absolútna rýchlosť horenia u za stanovený časový interval pomocou vzťahovej rovnice:

$$u = (\delta(\tau) - \delta(\tau + \Delta\tau)) / \Delta\tau \quad (1.1)$$

u – absolútna rýchlosť horenia [%·s⁻¹],

$\delta(\tau)$ – hmotnosť vzorky vzorky v čase (τ) [%],

$\delta(\tau + \Delta\tau)$ – hmotnosť vzorky vzorky v čase ($\tau + \Delta\tau$) [%],

$\Delta\tau$ – časový interval, v ktorom boli zaznamenané hodnoty hmotnosti [s].

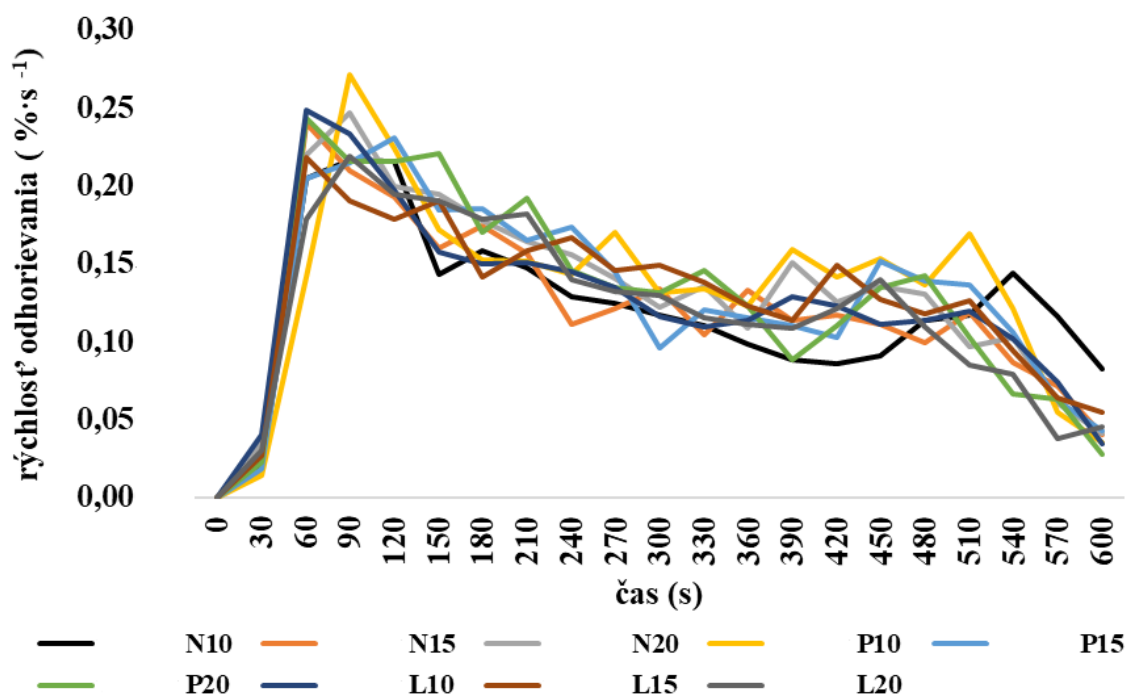
Výsledky a diskusia

Stanovením hodnoty teploty a času vznietenia vzoriek získavame dôležité informácie, ktoré sa používajú na posúdenie požiarnych vlastností materiálov využívajúcich v stavebnom priemysle. Aby sa dosiahla najvyššia požiarne odolnosť, je potrebné, aby bola čo najvyššia teplota a čas do vznietenia experimentálnych vzoriek. Tabuľka 2 uvádza výsledky experimentov pre drevotrieskové dosky s obsahom troch druhov plastov s rôznou koncentráciou. U dosiek s plastovým plnidlom bol dosiahnutý kratší čas a vyššie teploty vznietenia v porovnaní s DTD. Horľavejší materiál predstavujú DTD s obsahom lakovaných nárazníkov v porovnaní s DTD s nelakovanými nárazníkmi. So zvyšujúcou koncentráciou plnidla sa čas do vznietenia zvyšoval u vzoriek DTD s obsahom palivových nádrží. U DTD s obsahom nárazníkov bol čas do vznietenia, s vyššou koncentráciou plnidla, nižší. Mančel et al. (2022) hodnotili drevené kompozity s 10, 15 a 20%-ným podielom plnidla z odpadových pneumatík, resp. odpadovej gumy (zmes koberčekov a tesnení), pričom dosiahli čas do vznietenia od 298 s do 302 s pre DTD s pneumatikami a od 318 s do 352 s pre DTD s gumou.

Teplota vznietenia sa pohybovala od 430,0 °C (DTD) do 442,7 °C (L20). Vo všeobecnosti mali DTD s obsahom plastového plnidla vyššie hodnoty tejto charakteristiky v porovnaní s DTD. U DTD s obsahom lakovaných nárazníkov sa teplota vznietenia so zvyšovaním koncentrácie plnidla zvyšovala (pravdepodobne z dôvodu prítomnosti laku), u palivových nádrží a nelakovaných nárazníkov sa významne nemenila.

Tabuľka 2: Teploty a časy vznietenia drevotrieskových dosák s/bez obsahu plastového plnidla

Vzorka	Čas do vznietenia τ (s)	Teplota vznietenia t (°C)
DTD ³	309±12	430,0±1,2
N10	308±25	442,3±1,8
N15	287±20	443,7±3,9
N20	289±12	442,5±1,3
L10	294±14	433,0±1,5
L15	277±13	435,5±1,7
L20	260±19	442,7±4,2
P10	263±16	436,9±4,2
P15	299±17	436,5±3,1
P20	293±10	438,7±3,3



Obrázok 1: Rýchlosť odhorievania DTD s obsahom plastového plnidla; L- lakované nárazníky, N- nelakované nárazníky, P- palivové nádrže; 10, 15 a 20 – percentuálny podiel plastového plnidla

Na základe výsledkov stanovenia rýchlosti odhorievania materiálu (obrázok 1) môžeme konštatovať, že maximálna rýchlosť odhorievania sa pohybovala v rozmedzí 30 s do 120 s. Najnižší čas do iniciácie bol nameraný u vzorky N20 (27 s) a najvyšší u vzorky P10 (45 s). V prípade DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží čas do vznietenia úmerne klesal so zvyšujúcou sa koncentráciou plastovej drte v kompozite. Výnimku tvoria vzorky lakovaných nárazníkov L10 a L20, ktoré

majú rovnaký čas do iniciácie. Porovnaním drevotrieskových dosiek s obsahom plastov z lakovaných, nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží je možné vidieť, že drevotrieskové dosky s obsahom drte z palivových nádrží dosiahli najvyššiu rýchlosť odhorievania P10 ($0,2714 \% \cdot s^{-1}$). Pri DTD s obsahom lakovaných nárazníkov a palivových nádrží sa s rastúcou koncentráciou plastového plnidla rýchlosť odhorievania znižovala a u DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov sa rýchlosť odhorievania zvyšovala.

Záver

Posúdenie požiarnych vlastností materiálov, ktoré sa používajú v stavebnom priemysle je dôležité pre zabezpečenie bezpečnosti zdravia osôb a majetku. V tejto práci sa hodnotila teplota vznietenia a rýchlosť odhorievania drevených kompozitných materiálov - drevotrieskových dosiek (DTD) s rôznou koncentráciou (10, 15 a 20 %) odpadových plastov z automobilov (lakovaných (L), nelakovaných (N) nárazníkov, palivových nádrží (P)). Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že:

- so zvyšujúcou sa koncentráciou lakovaných a nelakovaných nárazníkov v DTD sa priemerný čas do vznietenia znižoval. Opačný trend bol dosiahnutý u DTD s obsahom palivových nádrží.
- teplota vznietenia sa u vzoriek DTD s obsahom palivových nádrží a nelakovaných nárazníkov takmer nemenila a u DTD s obsahom lakovaných nárazníkov sa zvyšovala.
- rýchlosť odhorievania materiálu sa pohybovala od 30 do 120 s. Najnižší čas do iniciácie bol nameraný u vzorky N20 (27 s) a najvyšší u vzorky P10 (45 s). DTD s 10 %-ným obsahom drte z palivových nádrží dosiahli najvyššiu rýchlosť odhorievania ($0,271 \% \cdot s^{-1}$).

V tejto práci bola zistená vyššia horľavosť DTD s obsahom odpadových plastov z automobilov. Vlastnosti niektorých DTD s obsahom plastov mali porovnateľné požiarne vlastnosti ako bežná DTD, napríklad DTD s 10 %-ným obsahom lakovaných či nelakovaných nárazníkov. Ich horľavosť sa významne nemenila. Bežne sa v komerčne používaných DTD nachádza určité percento plastu z dôvodu využívania recyklovaného dreva. DTD s obsahom automobilového plastu by sa taktiež mohli využívať v nábytkárskom či stavebnom priemysle. Pre zvýšenie požiarnej odolnosti by bolo vhodné aplikovať retardéry horenia (napríklad grafit) do povrchových vrstiev, respektíve pridávať tieto látky medzi drevené častice pred lisovaním dreveného kompozitu.

Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektov a finančnej podpory Agentúry na výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV-22-0034 (50 %), vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR VEGA 1/0027/24 (20%), v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory, financované Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR (20 %) a ako výsledok riešenia projektu IPA (Interná projektová agentúra) TUZVO č. 3/2023 – Výskum vybraných fyzikálnych vlastností nových drevoplastových kompozitov (10 %).

Literatúra

1. Tabarsa, T. Khanjanzadeh, H., Pirayesh, H.: Manufacturing of wood-plastic composite from completely recycled materials. Key engineering materials, 2011, Vol. 471-472, pp. 62 – 66. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.62.
2. Renner J.S., Mensah, R.A., Jiang, L., Xu, Q., Das, O., Berto, F.: Fire Behavior of Wood-Based Composite Materials. Polymers, 2021, Vol. 13, No. 24.
3. Mancel, V. Čabalová, I., Krilek, J., Réh, R., Zachar, M., Jurczyková, T.: Fire resistance evaluation of new wooden composites containing waste rubber from automobiles. Polymers, 2022, Vol. 14, No. 20. DOI: 10.3390/polym13244352.

4. Ayrlimis, N., Buyuksari, U., Avci, E.: Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard. *Waste Management*, 2009, Vol. 29, No. 9, pp. 2553 – 2557.
DOI: 10.1080/10426910902769376.
5. Papadopolus, A.N.: Advances in wood composites. *Polymers*, 2020, Vol. 12, No. 1.
DOI: 10.3390/polym12010048.
6. Paulíková, A.: Štúdiá recyklácie starých vozidiel - dezintegračné a separačné technológie. In Rusko, M., Balog, K. (Eds.) 2007: Manažérstvo životného prostredia 2007, 711 – 727 zo VII. konferencie so zahraničnou účasťou konanej 5. – 6. 1. 2007 v Jaslovských Bohuniciach
7. Panda, A., Orendáč, P.: Analýza materiálov používaných v automobilovom priemysle. *Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch*, 2015, roč. 18, 8 s.
8. Krilek, J., Čabalová, I., Réh, R., Melicherčík, J., Mancel, V.: Drevotriesková kompozitná doska na báze gumy a spôsob jej výroby: patentová prihláška č. 67-2022. 2024a.
9. Krilek, J., Čabalová, I., Réh, R., Melicherčík, J., Mancel, V.: Drevotriesková kompozitná doska na báze plasty a spôsob jej výroby: patentová prihláška č. 66-2022. 2024b.
10. ISO 871: 2022. *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace.*
11. ISO 11925-2:2020. *Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test.*

Fire properties of new wooden composites containing waste plastics from automobiles

Iveta ČABALOVÁ, Anna DARABOŠOVÁ, Martin ZACHAR, Jozef KRILEK, Vladimír MANCEL, Mária OSVALDOVÁ, Roman RÉH

Faculty of Wood Sciences and Technology, Faculty of Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, Slovakia, e-mail: cabalova@tuzvo.sk.

Summary

Wood-plastic composites are materials that are made from wood and synthetic polymers and have a number of advantages, such as high weather resistance and long life. The aim of this work was to evaluate the influence of plastic filler, waste from cars (painted, unpainted bumpers, fuel tanks) on selected fire-technical properties of wood-plastic composites. From the fire-technical properties, the ignition temperature, mass burning rate and calorific value were evaluated. The results show that the ignition temperature and the average time to initiation of the composites ranged from 260 s to 308 s and the average temperature from 433 °C to 443 °C. In the case of particleboard containing unpainted bumpers and fuel tanks, the time to initiation decreased proportionally with increasing filler concentration. Considering the results of the research, it is necessary to take into account their fire resistance and to increase it, apply protective means incorporated either inside the material or on its surface.

Keywords: wood-plastic composites, waste plastics, automotive industry, ignition temperature, the mass burning rate, fire safety.