

# Plastový medicínsky odpad: Energetické využitie a environmentálna záťaž

**Nikola ČAJOVÁ KANTOVÁ, Radovan NOSEK, Alexander ČAJA, Alexander BACKA, Martin VANTÚCH**

Žilinská univerzita v Žiline, Výskumné centrum, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

e-mail: [nikola.cajovakantova@uniza.sk](mailto:nikola.cajovakantova@uniza.sk)

## Súhrn

Plastového odpadu stále pribúda a zaťažuje naše životné prostredie. Obrovská záťaž prostredia vznikla hlavne počas pandémie COVID-19, kedy množstvo spotrebovaných plastov prudko narástlo (rúška, respirátory, rukavice). V súčasnosti je nevyhnutné hľadať ďalšie spôsoby ako plastový neseparovateľný odpad efektívne likvidovať a využiť v ďalších procesoch. Spaľovanie plastového odpadu môže priniesť isté benefity v podobe energetického zhodnotenia. Ich spaľovanie vedie k produkcii emisií, ktoré negatívne ovplyvňujú životné prostredie a ľudské zdravie. Tento článok sa zaoberá energetickým využitím plastového odpadu v podobe pelet, ktoré boli vytvorené zo smrekových pilín a z 10 %, 20 % a 50 % plastového odpadu. Pelety boli následne spaľované, pričom sa merali ich emisné parametre a skúmala ich environmentálna záťaž. Koncentrácia plyných emisií a tuhých znečisťujúcich látok bola vyhodnotená pre každú vzorku a porovnaná s koncentráciou získanou pri spaľovaní drevných pelet bez plastového obsahu. Na základe výsledkov je možné zhodnotiť, že vyššia prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií a to najmä produkciu tuhých znečisťujúcich látok.

**Kľúčové slová:** plastový odpad, pelety, spaľovanie, emisie.

## Úvod

Plastový odpad zo zdravotníckych zariadení predstavuje značnú výzvu vzhľadom na jeho potenciál kontaminácie infekčnými materiálmi, čo si vyžaduje starostlivé opatrenia na likvidáciu, aby sa zabránilo šíreniu chorôb. Znečistenie plastovým odpadom predstavuje rozsiahle hrozby pre ekosystémy a ľudské zdravie. Chemikálie z plastov sa môžu vylúhovať do vody, čo má vplyv na vodné organizmy a narúša ekosystémy. Plastový medicínsky odpad navyše často sťažuje recykláciu, čo prispieva k zaťaženiu životného prostredia a vyvoláva obavy o dlhodobú udržateľnosť nakladania s odpadom zo zdravotnej starostlivosti<sup>1</sup>. Ľudské zdravie je priamo ovplyvnené vystavením chemikáliám vyrobeným z plastov, a to kontamináciou potravinového reťazca a priamym kontaktom. Obavy vyvolávajú aj mikroplasty vo vzduchu a pitnej vode. Okrem zdravotných dopadov má plastové znečistenie aj ekonomické a spoločenské dôsledky so značnými nákladmi na vyčistenie, potenciálne škody na cestovnom ruchu a vyčerpanie prírodných zdrojov. Na zmiernenie znečistenia plastmi je nevyhnutný komplexný prístup, ktorý zahŕňa zníženie spotreby plastov, zlepšenie odpadového hospodárstva a vývoj udržateľných alternatív<sup>2</sup>.

Značné množstvo plastov možno nájsť v osobných ochranných prostriedkoch, ktoré sa používajú na ochranu pred vírusovými infekciami a prenosom. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie sa výroba týchto pomôcok počas pandémie koronavírusu (COVID-19) zvýšila o 40 %. Nakladanie s plastovým odpadom sa preto stávalo problematickejšie v dôsledku veľkého nárastu medicínskeho odpadu spôsobeného pandemiou. Na zamedzenie vírusu sa používali hlavne rúška, respirátory, rukavice, plášte a ďalšie ochranné prostriedky. Polyetylén s vysokou hustotou a polypropylén zohrali významnú úlohu pri výrobe ochranných prostriedkov<sup>2</sup>. Podľa štúdie Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) (marec 2020) bolo na reakciu na COVID-19 každý mesiac potrebných približne 89 miliónov tvárových masiek<sup>3</sup>, čo viedlo to k zvýšeniu celosvetovej výroby ochranných prostriedkov. Celosvetová výroba a spotreba

osobných ochranných prostriedkov priniesla novú environmentálnu záťaž. V súčasnosti je nevyhnutné hľadať ďalšie spôsoby ako plastový medicínsky odpad, ako aj ďalší neseperovateľný plastový odpad efektívne likvidovať a využiť v ďalších procesoch<sup>4</sup>.

Plastový odpad predstavuje globálny problém. Jeho spaľovanie však môže priniesť isté benefity v podobe energetického zhodnotenia. Vo všeobecnosti je možné odpadové polyméry likvidovať na skládkach, spaľovaním alebo pyrolýzou. Pred ich ďalším použitím sa používajú sterilizačné metódy ako ultrafialové ožarovanie<sup>5</sup> alebo metóda suchého tepla<sup>6</sup>. Alam a kol.<sup>7</sup> vyrábali pelety z hydrotermálne upraveného čistého nemocničného odpadu. Vytvorené pelety len z nemocničného odpadu nespĺňali niektoré z požiadaviek európskych noriem. Vhodným zmiešaním 1 % a 1,5 % tohto odpadu so zvyškom sachalinskej jedle však bolo možné tieto normy splniť. Lesná dendromasa je však stále hlavnou surovinou pri výrobe tuhých biopalív, ktoré sú dôležitou surovinou v štruktúre výroby primárnej energie z obnoviteľných zdrojov energie<sup>8</sup>. Rezaei a kol.<sup>9</sup> sa zaoberali energetickým využitím odpadu z papiera, plastov, domáceho organického odpadu a dreva pomocou pelletizácie. Pelletizácia je účinná úprava na minimalizáciu heterogenity odpadových materiálov<sup>10</sup>. Zvýšenie obsahu plastov z 20 % na 40 % viedlo k zníženiu spotreby energie na ich výrobu a k zvýšeniu výhrevnosti peliet<sup>9</sup>.

Tento článok sa zaoberá energetickým využitím plastového odpadu v podobe peliet, ktoré boli vytvorené zo smrekových pilín a z 10 %, 20 % a 50 % plastového odpadu. Pelety boli následne spaľované, pričom sa merali ich emisné parametre a skúmala ich environmentálna záťaž. Koncentrácia plynných emisií a tuhých znečisťujúcich látok bola vyhodnotená pre každú vzorku a porovnaná s koncentráciou získanou pri spaľovaní drevných peliet bez plastového obsahu.

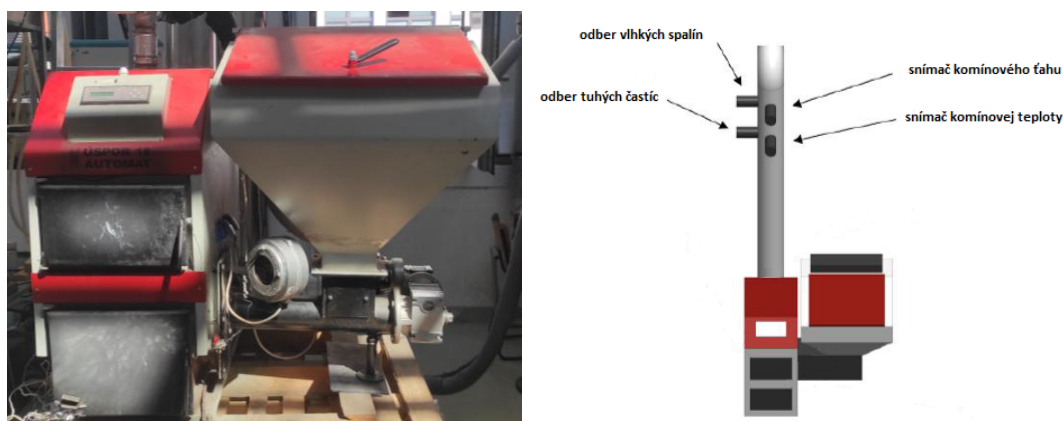
## Materiál a metodika

Pelety boli vyrobené zo smrekových pilín ako hlavného materiálu a jednorázových masiek a FFP2 respirátorov ako sekundárneho materiálu. Jednorázové masky a FFP2 respirátory boli podrvené a pridávané v rovnakom pomere s ich obsahom 10 %, 20 % a 50 % k hlavnému materiálu. Tento materiál bol lisovaný na malom lise na pelety Kovo Novák v spolupráci s University of Agriculture in Krakow. Takto vytvorené pelety s priemerom približne 6 mm boli skladované po dobu 20 dní pri teplote 22 °C a relatívnej vlhkosti 40 – 50 %. Palivové vlastnosti, ako výhrevnosť, vlhkosť a elementárne zloženie peliet (C, H, N, S), sú uvedené v tabuľke 1.

**Tabuľka 1: Palivové vlastnosti peliet**

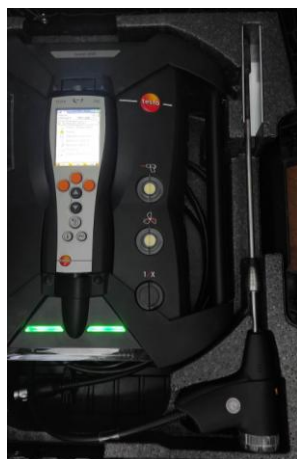
Vzorky	Výhrevnosť (MJ/kg)	Vlhkosť (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
Drevné pelety	17,91	5,18	44,99	6,15	0,00	0,08
Pelety s 10 % plastového odpadu	19,70	7,62	53,73	7,65	0,02	0,07
Pelety s 20 % plastového odpadu	24,70	5,29	57,31	8,70	0,03	0,07
Pelety s 50 % plastového odpadu	30,90	5,28	61,50	9,85	0,05	0,07

Vzorky peliet boli ďalej spaľované v automatickom kotle na pelety LOKCA ÚSPOR 18 AUTOMAT (obrázok 1) s maximálnym tepelným výkonom 18 kW a s retortovým horákom. Dodávku vzduchu na spaľovanie zabezpečoval ventilátor nastavený na úroveň 4, čomu zodpovedá prietok 108 kg/h. Prívod paliva bol nastavený na pomer 18/25 sekúnd (prívod/státie). Merania prebiehali po dobu 30 minút. Tepelný výkon zdroja tepla bol 11,6 kW pre drevné pelety a dosiahol hodnotu až 14,62 kW pri spaľovaní peliet s 50 % plastového odpadu. Obsah kyslíka v spalinách bol v rozsahu 11,3 – 14,9 %. V komíne boli umiestnené meracie sondy na meranie plynných emisií a tuhých znečisťujúcich látok.



Obrázok 1 Použitý automatický kotol na pelety LOKCA ÚSPOR 18 AUTOMAT

Plynné emisie boli merané analyzátorom spalín TESTO 350 (obrázok 2) počas 30-minútových meraní. Koncentrácia oxidu uhoľnatého CO, oxidov dusíka NO<sub>x</sub> a oxidov síry SO<sub>x</sub> bola vypočítaná z nameraných jednotiek ppm na vyhodnocovaciu jednotku mg.m<sup>-3</sup> a prepočítaná na 10% podiel O<sub>2</sub> v spalínach pri atmosférickom tlaku a teplote 0°C.

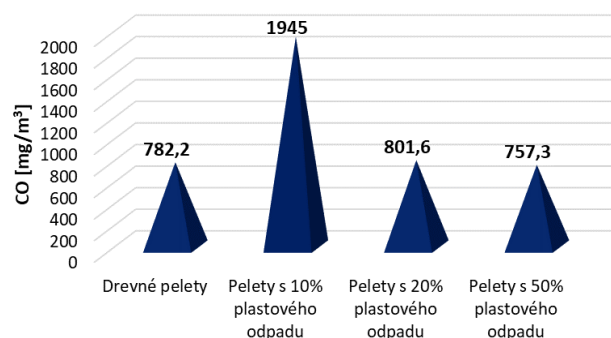


Obrázok 2: Vybavenie na meranie plynných emisií TESTO 350

Tuhé znečisťujúce látky (PM) boli merané gravimetrickou metódou podľa STN ISO 9096. Odber častíc sa realizoval odberovou sondou vhodného tvaru a správnu rýchlosťou podľa izokinetickej podmienky. Na dosiahnutie izokinetickej podmienky bolo potrebné meranie rýchlosti spalín pomocou Pitotovej trubice, ktorá bola pripojená k automatickej odberovej jednotke Tecora. Koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok bola počítaná ako podiel hmotnostného rozdielu filtra so zachytenými časticami a bez nich a objemu vzorky<sup>11</sup>.

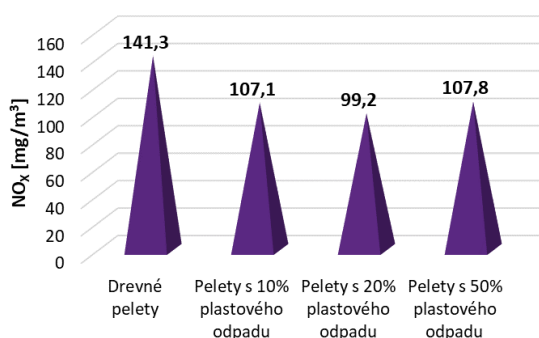
## Výsledky meraní

Výsledky detekcie oxidu uhoľnatého CO sú znázornené na obrázku 3. Najnižšiu koncentráciu CO mala vzorka s 50 % plastového odpadu. Táto hodnota však bola veľmi podobná vzorke drevných peliet bez prítomnosti plastového odpadu. Najvyššia koncentrácia CO bola nameraná pri vzorke s 10 % plastového odpadu.



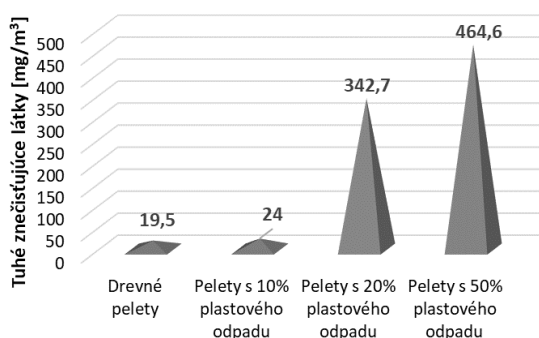
Obrázok 3: Výsledky CO emisií

Výsledky detekcie oxidov dusíka NO<sub>x</sub> sú uvedené na obrázku 4. Najnižšiu koncentráciu NO<sub>x</sub> mala vzorka s 20 % plastového odpadu. Najvyššia koncentrácia NO<sub>x</sub> bola nameraná vo vzorke bez plastového odpadu. Veľmi podobné hodnoty mali vzorky s 10 % a 50 % plastového odpadu.



Obrázok 4: Výsledky NO<sub>x</sub> emisií

Prítomnosť oxidov síry SO<sub>x</sub> nebola zistená. Výsledky detekcie tuhých znečisťujúcich látok (PM) sú uvedené na obrázku 5. Vzorka bez prítomnosti plastového odpadu mala najnižšiu koncentráciu PM. Najvyššia koncentrácia PM bola nameraná pri vzorke s 50 % plastového odpadu.



Obrázok 5: Výsledky emisií tuhých znečisťujúcich látok

V norme STN EN 303-5+A1 (2023)<sup>12</sup> sú definované maximálne emisné limity pre koncentráciu CO na základe automatického prikladania a biogénneho paliva. Tieto limity sú kategorizované podľa triedy: trieda 3: 3000 mg.m<sup>-3</sup>, trieda 4: 1000 mg.m<sup>-3</sup> a trieda 5: 500 mg.m<sup>-3</sup>. Všetky namerané koncentrácie CO spĺňajú triedu 3, avšak triedu 4 nespĺňa vzorka s 10% plastového odpadu a triedu 5 nespĺňa žiadna

vzorka. Podobne pre koncentráciu TZL sú stanovené nasledovné limity: trieda 3: 150 mg.m<sup>-3</sup>, trieda 4: 60 mg.m<sup>-3</sup>, trieda 5: 40 mg.m<sup>-3</sup>. Namerané koncentrácie TZL pri spaľovaní peliet s 20 % a 50 % plastového odpadu nespĺňajú ani jednu z uvedených tried. Avšak drevné pelety a pelety s 10 % plastového odpadu spĺňajú všetky emisné triedy vzhľadom na nameranú koncentráciu TZL.

## Záver

Prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách ovplyvnila najmä produkciu emisií tuhých znečisťujúcich látok (PM). Zvyšujúce sa množstvo plastového odpadu v peletách spôsobilo zvýšenie koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok (z 19,5 mg.m<sup>-3</sup> na 464,6 mg.m<sup>-3</sup>). Koncentrácia CO bola podobná (757,3 mg.m<sup>-3</sup> až 801,6 mg.m<sup>-3</sup>) okrem vzorky s 10% plastového odpadu (1945 mg.m<sup>-3</sup>). Koncentrácia NO<sub>x</sub> bola tiež podobná pre všetky testované vzorky peliet (najvyššia 141,3 mg.m<sup>-3</sup> pre vzorku bez prítomnosti plastového odpadu a najnižšia 99,2 mg.m<sup>-3</sup> pre vzorku s 20 % plastového odpadu). Na základe výsledkov je možné zhodnotiť, že vyššia prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií a to najmä produkciu tuhých znečisťujúcich látok. Z uvedeného dôvodu by bolo vhodné pridávať len malé množstvo plastového odpadu (maximálne 10%), ktoré neovplyvňuje emisie tuhých znečisťujúcich látok vo významnej miere.

## Pod'akovanie

*Táto publikácia vznikla s podporou VEGA 1/0150/22: Energetické zhodnocovanie produkovaného odpadu v súvislosti s pandemiou COVID-19 prostredníctvom peliet ako alternatívneho paliva a VEGA 1/0633/23: Optimalizácia prúdového poľa zamedzujúceho šírenie COVID-19 a ďalších vírusov a baktérií k pacientovi.*

## Literatúra

1. Ganguly, R.K., Chakraborty, S.K.: *Integrated approach in municipal solid waste management in COVID-19 pandemic: perspectives of a developing country like India in a global scenario*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 3 (2021), Article 100087.
2. Ganguly, R.K., Chakraborty, S.K.: *Plastic waste management during and post Covid19 pandemic: Challenges and strategies towards circular economy*. Heliyon, Volume 10, Issue 4, 29 February 2024, e25613.
3. World health organization (WHO): *Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide*, 2020.
4. Čajová Kantová, N., Cibula, R., Szlek, A., Čaja, A., Nosek, R., Belany, P.: *The energy assessment of COVID-19 medical waste as a potential fuel*. Energy Reports, 9 (2023), pp. 4995 – 5003.
5. Hamzavi, I.H., Lyons, A.B., Kohli, I., Narla, S., Parks-Miller, A., Gelfand, J.M., Lim, H.W., Ozog, D.: *Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic*. Journal of the American Academy of Dermatology, 2020, 82 (6), str. 1511 – 1512.
6. Xiang, Y., Song, Q., Gu, W.: *Decontamination of surgical face masks and N95 respirators by dry heat pasteurization for one hour at 70°C*. American Journal of Infection Control, 2020, 48 (8), str. 880 – 882.
7. Alam, M. T., Lee, J.-S., Lee, S.-Y., Bhatta, D., Yoshikawa, K., Seo, Y.-Ch.: *Low Chlorine Fuel Pellets Production from the Mixture of Hydrothermally Treated Hospital Solid Waste*. Pyrolytic Plastic Waste Residue and Biomass. Energies, 2019, 12, 4390.
8. Stolarski, M.J.; Krzyżaniak, M.; Olba-Zięty, E.; Stolarski, J.: *Changes in Commercial Dendromass Properties Depending on Type and Acquisition Time*. Energies 2023, 16, 7973.

9. Rezaei, H., Panah, F. Y., Lim, C. J., Sokhansanj, S.: *Pelletization of Refuse-Derived Fuel with Varying Compositions of Plastic, Paper, Organic and Wood*. Sustainability 2020, 12, 4645.
10. Križan, P., Šooš, Ľ., Kolláth, Ľ.: *Research of Municipal Waste Material Recovery by Briquetting Technology [Výskum materiálového zhodnocovania komunálneho odpadu technológiou briketovania]*. Waste Forum, Issue 2, str.116 – 132, 2022.
11. Holubčík, M., Čajová Kantová, N., Jandačka, J., Čaja, A.: *The Performance and Emission Parameters Based on the Redistribution of the Amount of Combustion Air of the Wood Stove*. Processes, 2022, 10(8), 1570.
12. STN EN 303-5+A1 (2023): *Vykurovacie kotly. Časť 5: Vykurovacie kotly na tuhé palivá s ručným a automatickým prikladaním paliva s menovitým výkonom do 500 kW. Terminológia, požiadavky, skúšanie a označovanie.*

## Plastic medical waste: Energy use and environmental burden

**Nikola ČAJOVÁ KANTOVÁ, Radovan NOSEK, Alexander ČAJA, Alexander BACKA, Martin VANTÚCH**

University of Žilina, Research Centre, Department of Power Engineering, Univerzitna 1, 010 26 Žilina, Slovakia, e-mail: nikola.cajovakantova@uniza.sk

### Summary

*Plastic waste is still increasing and burdening our environment. The enormous burden on the environment arose mainly during the COVID-19 pandemic when the amount of plastic used increased significantly (single-used masks, respirators, gloves). Currently, it is necessary to look for other ways to effectively dispose of non-separable plastic waste and use it in other processes. Burning plastic waste can bring certain benefits in the form of energy recovery. Their combustion leads to the production of emissions that negatively affect the environment and human health. This article deals with the energy use of plastic waste in the form of pellets, which were created from spruce sawdust and from 10%, 20% and 50% of plastic waste. The pellets were then combusted, while their emission parameters were measured and their environmental burden was investigated. The concentration of gaseous emissions and particulate matter was evaluated for each sample and compared with the concentration obtained by the combustion of wood pellets without plastic content. Based on the results, it is possible to evaluate that the higher presence of plastic waste in wood pellets negatively affects the production of emissions, especially the production of particulate matter.*

**Keywords:** plastic waste, pellets, combustion, emissions.