

Odpady ako alternatívny zdroj energie

P. Kučík, M. Venenyová: Waste as Alternative Source of Energy. Život. Prostr., Vol. 29, No. 6, 285–288, 1995.

The quality of environment has a determining influence on realization of sustainable development. The solution to problems of waste management may significantly contribute to this problem. From the physical point of view waste is the bearer of certain material and energetic potential utilizable to a certain degree of economic effectiveness and ecological carrying capacity. One of the most effective ways of waste liquidation is the utilization of the energetic potential of waste. The contribution mentions the basic procedures of thermal waste treatment – oxidative (combustion) and reductive (pyrolysis and carburization). The both processes have certain advantages and disadvantages and they are very convenient for certain species of waste. However they solve the basic problem - they reduce the amount of waste that ought to be accumulated on dumps. Energy obtained in this way may be used by different ways.

Podľa zákona o odpadoch je „*odpadom vec, ktorej sa chce jej majiteľ zbaviť, alebo nehnuteľnosť, ktorej odstránenie je potrebné z hľadiska starostlivosti o zdravé životné podmienky a ochranu životného prostredia*“. Takáto definícia odpadu odporuje koncepcii trvalo udržateľného rozvoja a nie je úplná ani z odborného hľadiska. Jedným z hlavných predpokladov riešenia problému nakladania s odpadom je zmena v nazeraní naň. Odpad je potenciálnym zdrojom úžitku, a tak treba rozmyšľať, ako ho využiť. Legislatíva napr. neberie do úvahy ani takú významnú skupinu, akou sú tzv. energetické odpady, t. j. „*odpady energie*“. Ide napr. o odpadové teplo z rôznych energetických a technologických zariadení, zariadení v oblasti techniky prostredia a pod. Pritom je známe, že získavanie energie z primárnych zdrojov, jej transformácia a prenos predstavujú významnú ekologickú záťaž.

Z hľadiska fyzikálneho je odpad nositeľom určitého hmotného i energetického potenciálu, ktorý možno s určitým stupňom ekonomickej efektívnosti a ekologickej únosnosti využiť. Tým sa zmenší nielen jeho objem, ale ušetrí sa aj kvalitnejšie primárne zdroje. Z hľadiska využitia odpadov existujú v zásade dve cesty.

1. *Využiť hmotný potenciál odpadov.* V tomto prípade sa odpad stáva surovinou na výrobu ďalších úžitkových predmetov. Pretože tie sa po čase znova stanú odpadom, ide vlastne o vyšší stupeň zužitkovania materiálu. Na spracovanie odpadu ako druhotnej suroviny treba vyna-

ložiť určité množstvo energie, ktorej získanie a premena na niektorú z užitočných foriem spôsobuje spravidla vždy záťaž životného prostredia. Tento spôsob sa však nedá použiť pri všetkých druhoch odpadov.

2. *Využiť energetický potenciál odpadov.* Súčasná energetická technológia umožňuje získavať z odpadov nielen teplo, ale aj elektrickú energiu. Týmto riešením sa okrem podstatnejšieho zredukovania objemu odpadov šetria aj primárne energetické zdroje. Využitie energetického potenciálu odpadov treba v súčasnosti považovať za jeden z najefektívnejších spôsobov ich likvidácie.

Hlavné spôsoby energetického využitia odpadov

Všetky známe, v praxi využiteľné technológie získavania energie z odpadov, sú založené na ich tepelnom spracovaní. V spojení s inými spracovateľskými technológiami umožňuje tepelné spracovanie maximálne využiť energetický aj hmotný potenciál odpadov.

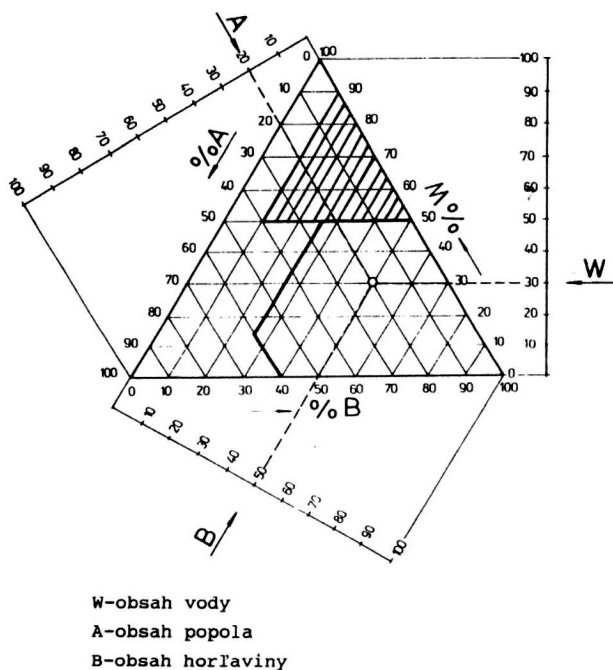
Termické procesy spracovania odpadov je súhrnné označenie pre všetky technológie pôsobiace na odpad takou teplotou, ktorá presahuje medze jeho chemickej stability (Straka, 1991). Rozmedzie teplôt, pri ktorých prebiehajú termické reakcie je veľmi široké (ca 300–2000 °C). Presnejšie rozlíšenie zahŕňa dva základné postupy termického spracovania – procesy *oxidatívne* a *reduktívne*.

Ak je obsah kyslíka stechiometrický alebo vyšší, vzhľadom na spracovaný materiál, ide o *procesy oxidatívne* (horenie s dostatkom alebo nadbytkom kyslíka). Ak je obsah kyslíka v reakčnom priestore nulový alebo podstochiometrický, vzhľadom na spracovaný materiál, ide o *procesy redukčné* (pyrolýza a splynovanie).

Spaľovanie

Pri spaľovaní je dôležitá kvalita a zloženie odpadu, od toho závisí jeho výhrevnosť a horľavosť. Tieto charakteristické vlastnosti sa stanovujú podľa obsahu horľaviny, popola a vody v odpade. Ako pomôcka pri určovaní horľavosti odpadov sa používa tzv. spaľovací trojuholník (obr. 1). Výrazne ohraničená plocha pravého rohu trojuholníka charakterizuje odpad, ktorý bude horieť bez prídavného paliva. Pri známych percentuálnych parametroch odpadu môžeme pomocou tohto trojuholníka zistiť jeho horľavosť.

1. Spaľovací trojuholník



Ak sa vynesené hodnoty nepretnú vo vyznačenej časti trojuholníka, je jeho spaľovanie menej efektívne, t. j. treba ho predtým upraviť, alebo spaľovať s prídavným palivom. Pri odpadoch s vysokým obsahom vody je vhodné využiť spôsob anaeróbnej prípravy bioplynu, ktorý svojimi vlastnosťami spadá do šrafovanej oblasti trojuholníka. Energia

obsiahnutá vo výstupnom produkte sa môže využiť na výrobu pary, teplej vody, resp. elektrickej energie. Keďže spaľovanie prebieha za prítomnosti vzduchu, množstvo odpadových plynov je relatívne vysoké, vzhľadom na obsah dusíka vo vzduchu. Pri prebytku vzduchu sa spaliny ochladzujú o hodnotu tepla, ktorým sa musí zohrievať privádzaný vzduch. Pri nedostatku vzduchu je zasa spaľovanie nedokonalé, so všetkými dôsledkami.

Energeticky sa využíva teplo spalín. A to buď priamo v procese spaľovania (na predúpravu odpadov, sušenie), na výrobu vodnej pary, vykurovanie príslušných prevádzkových hál, prípravu teplej úžitkovej vody, alebo sa využíva na vykurovanie blízkych podnikov či bytovej zástavby.

Na Slovensku sú v prevádzke dve spaľovne komunálnych odpadov – v Bratislave a v Košiciach. Využívajú systém Dusseldorf, realizovaný firmou Babcock. Bratislavská spaľovňa je riešená ako nepretržite pracujúca výrobná pary pre Slovnaft, a. s. Jej výkon je 3×12 t odpadov za hodinu. Zásobovacia komora má kapacitu 7000 m^3 .

V papierni Thunder Bay (Ontario) sa teplo spalín využíva na vykurovanie prevádzkových hál v uzavretom cykle. Spaliny ohrievajú ca 900 t vody za hodinu na $28 \text{ }^\circ\text{C}$. V Grazi (Rakúsko) sa využitím tepla vyrobí 20 t pary za hodinu s teplotou $516 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlakom 10 MPa. Spaľovacie zariadenie firmy PUROTHERM Wien (Rakúsko) je určené na spaľovanie odpadov priemyselných, nemocničných a pod. Americká firma Goodyear Tyre spaľovaním pneumatík bez predchádzajúcich úprav vyrobí 4,1 t pary denne s tlakom 2 MPa.

Redukčné procesy – pyrolýza a splynovanie odpadov

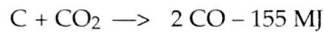
– **Pyrolýza** je chemická deštrukcia látok obsahujúcich uhlík teplom bez prítomnosti kyslíka. Nenastáva vznietenie a horenie látok. Pri pyrolýze vznikajú tuhé a kvapalné produkty. Tuhé produkty sa využívajú ako surovina na výrobu aktívneho uhlia, kvapalným produktom pyrolýzy je najmä voda a frakcia s olejovitým charakterom. Pri spracúvaní komunálnych odpadov sa používa tiež „karbonizácia“, čiže koksovanie.

– **Splynovanie** je proces, pri ktorom sa získava plynné palivo nepriamo – syntézou uhľovodíkov, napr. metánu, za vzniku metanolu, benzénu, propánu, butánu, alifatických uhľovodíkov, parafínu, vykurovacieho oleja atď. Je to endotermická reakcia, ktorá prebieha bez prístupu vzduchu.

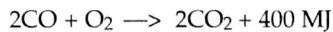
– **Odplynovanie** je priame tepelné spracovanie odpadu obsahujúceho uhľovodíky. Vzniká koksový plyn a tёрný olej, z ktorých sa hydráciou alebo destiláciou vyrábajú palivá, parafín, vykurovací olej, elektrónový koks, ľahko skvapalňujúce uhľovodíky, propán, bután, arómaty, smola atď.

Proces splynovania je založený na troch základných typických reakciách.

1. Ak sa najskôr oxidom uhličitým redukuje uhlík obsiahnutý v odpade, vzniká tzv. „chudobný plyn“ obsahujúci CO.



Pri tejto reakcii sa teplo spotrebúva. Ak sa vzniknuté molekuly dostanú do styku s kyslíkom, nastane ich oxidácia (spalovanie). Pritom opäť vznikne oxid uhličitý CO₂, ale uvoľní sa 400 MJ tepla pripadajúceho na dva kmol oxidu uhoľnatého CO a jeden kmol kyslíka O₂.



Z energetickej bilancie vyplýva, že najprv musíme dodať 155 MJ tepla pri splynovaní a až potom spaľovaním plynu získame 400 MJ tepla. Tento typ reakcie sa nazýva Boudordova reakcia.

2. typom reakcie je *redukcia vodnou parou*. Je to proces, pri ktorom sa teplo spotrebúva. Privedením vodnej pary bez prístupu kyslíka vznikne oxid uhoľnatý CO a vodík H₂, čo je tzv. „vodný plyn“.



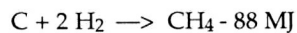
Ak sa produkty tejto reakcie dostanú do styku s kyslíkom, oxidáciou sa uvoľní 480 MJ tepla na jeden kmol uhlíka a vznikne oxid uhličitý a vodná para.



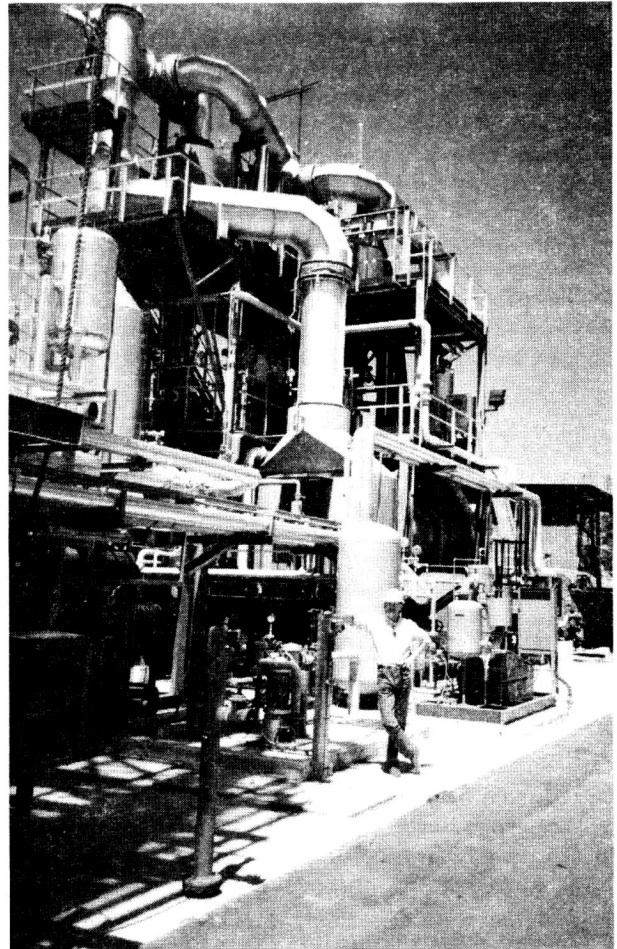
Pri tejto reakcii sa už teplo uvoľňuje. Novovzniknutá vodná para a oxid uhličitý opäť reagujú s palivom (difundujú do neho) a reakcia sa opakuje.

Splynovanie vodnou parou prebieha rýchlejšie ako oxidom uhličitým a pri tomto postupe treba dodať menšie množstvo tepla. Z toho vyplýva, že proces urýchľuje aj prítomnosť vodnej pary v plameni.

3. Tzv. *metánová reakcia* prebieha tak, že s uhlíkom obsiahnutým v palive reaguje vodík za vzniku metánu, pričom sa spotrebuje 88 MJ na 1 kmol tepla.



S rastúcou teplotou sa táto reakcia potláča, pričom nežiadúci metán odhorí. Využíva sa napr. pri roztavení filtrových prachových častíc i pri chlororganických zlúčeninách, pretože H₂ sa naviaže na Cl a vznikne kyselina chlorovodíková – HCl. Rovnováhou a porovnaním priebehu reakcií pri rôznych teplotách sa zaoberajú napr. Heil a Emundts (1993).



Technológia firmy Babcock je kombináciou pyrolýzy so spaľovaním neupraveného plynu. Systém KWU-Siemens je založený na podobnej technológii, avšak zlepšenej z environmentálneho hľadiska. Vyčistený plyn sa môže spaľovať na vykurovanie, alebo sa využije na pohon motorov a plynových turbín na výrobu elektrickej energie. Systém ANDCO-TORRAX je proces, ktorého výstupom je granulovaná troska. Pyrolýzne a spaľovacie plyny sa spaľujú spoločne a vzniknuté teplo sa využíva na výrobu pary.

Technológia RDF – Refuse Derived Fuel

Ide o palivo, získané z odpadov zo skládok TKO (Straka, 1991). Po oddelení železných a sklenených materiálov z TKO zostáva ľahká, stredná a veľkoobjemová frakcia. Ľahkú a strednú frakciu získame po prechode bubnom s dvoma sekciami. Hrubá frakcia prejde cez tento bubon na ručné prebratie, kým stredná a ľahká sa dajú bud

strojovo spracúvať (granulovať), alebo kompostovať, pretože obsahujú až 70 % kompostovateľných látok. Po separácii možno vhodné materiály (papier, plasty) drviť a na základe rozdielných merných hmotností vyprodukovať niekoľko typov paliva s výhrevnosťou 16–18 MJ.kg⁻¹ s vlhkosťou 8–10 % a obsahom popola 10 %. Toto sa lisuje do peliet. Keďže väčšina ďalších produktov separácie je vhodná na recykláciu a pelety RDF sú vhodnou surovinou pre pyrolýzu, zníži sa objem skládky na 15 %.

Celkový zisk tepelnej energie je 6,10 GJ z 1 t TKO. Okrem úspory energie sa separáciou oddeľuje kovový odpad, papier, zmesové plasty, čistý polyetylén, ktoré sú obsahom najmä hrubej frakcie a zaberajú 11–15 % objemu TKO.

Ekonomika spaľovania komunálnych a priemyselných odpadov

Komunálny odpad má výhrevnosť 5,86–8,4 MJ.kg⁻¹. Preto treba pri jeho spaľovaní použiť ca 15–20 % ušľachtilých palív (uhlie, olej, plyn), ktoré majú úlohu stabilizátora. Podľa niektorých autorov (Tölgessy, Piatrik, 1983) spaľovaním odpadov by sa mohlo nahradiť 3,5 % paliva na vykurovanie miest. Výhrevnosť slovenského energetického uhlia je 9–10 GJ.t⁻¹, ale musíme ho ťažiť spod zeme. Odpady stačí zhromaždiť a priviezť do spaľovne. Spálením sa redukovú na 10–15 % pôvodného objemu a 25–30 % pôvodnej hmotnosti, čím sa redukovú i nároky na veľkosť skládkovacieho priestoru. Zo škvary možno odlúčiť až 5000 t kovu ročne.

Aj napriek zavádzaniu prevádzok s využitím odpadového tepla je spaľovanie 10-násobne drahšie ako skládkovanie, v dôsledku vysokých investičných nákladov na zriadenie spaľovní, pretože u nás sa táto technológia ešte nezačala vyrábať. Ďalšou príčinou je to, že energia u nás ešte nedosiahla svetové ceny, čo v konečnom dôsledku tento rozdiel zníži. Podľa niektorých štúdií by mohla byť návratnosť spaľovní domácej výroby asi 4–8 rokov.

Výhodou priemyselných odpadov oproti komunálnemu odpadu je skutočnosť, že na tom istom mieste vzniká väčšie množstvo jedného druhu, a teda sa nemusí nákladne separovať. Tým sa znižujú náklady na jeho druhotné využitie. Energeticky najzaujímavejšie sa javia odpady z plastov. PVC odpad (18,8 MJ.kg⁻¹), pneumatiky (36,2 MJ.kg⁻¹), polyetylénové odpady (41,8 MJ.kg⁻¹), zvyšky plastických koží (25,0 MJ.kg⁻¹), zvyšky reaktoplastov (25,0 MJ.kg⁻¹).

Nezanedbateľné sú odpady vznikajúce v drevárskej a poľnohospodárskej výrobe. Piliny a hobliny (12,5–15,2 MJ.kg⁻¹), suchá borovicová kôra (18,35 MJ.kg⁻¹), slama (14,0 MJ.kg⁻¹) a šupy z pestovaných plodín (12,0–17,5 MJ.kg⁻¹) sa využívajú hlavne na produkciu bioplynu, ktorý má výhrevnosť asi 22–25 MJ.m⁻³.

Kaly z čistiarní odpadových vôd sa vyznačujú veľkým obsahom vody. Po predúprave má kal výhrevnosť 4,2–5,5 MJ.kg⁻¹, ale možno ho využiť aj pri výrobe bioplynu. Výhrevnosť horľavej hmoty primárneho kalu je 23,0–25,0 MJ.kg⁻¹, aktivovaného kalu 17,0–23,0 MJ.kg⁻¹ a primárneho vyhňitého kalu 19,0–25,0 MJ.kg⁻¹.

Porovnanie termických procesov z environmentálneho hľadiska

Pri spaľovaní odpadov vzniká niekoľko typov sekundárnych odpadov, ktoré sa musia bezpečne spracovať, alebo deponovať. Okrem plyných, sú to predovšetkým tuhé produkty, najmä škvara alebo polokoks, častice zo suchého odprášeného spalin, zvyšky z procesu čistenia spalin, ako aj technologických vôd. Tuhé podiely z čistenia a odprášeného spalin sú nebezpečnejšie ako hlavný tuhý zvyšok. Obsahujú veľmi jemné prachy, aktívne kovové oxidy s vysokým podielom ťažkých kovov, ortuť atď., preto s nimi treba zaobchádzať ako s toxickými priemyselnými odpadmi. Ortuť sa musí veľmi nákladne a precízne odstrániť.

Emisie CO vznikajú vtedy, ak všetok uhlík v odpade nezoxiduje na CO₂. Koncentrácia CO je vlastne ukazovateľom účinnosti spaľovania.

Ďalšou dôležitou zložkou plyných emisií sú oxidy dusíka NO_x. Tvoria sa oxidáciou dusíka v odpade pri nižších teplotách (do 1000 °C), alebo viazaním atmosférického dusíka pri vyšších teplotách ako 1000 °C.

Literatúra

- Heil, J., Emundts, J., 1993 : Bedeutung und technischer entwicklungsstand der wichtigsten Abfall-Verkokungstechniken (Pyrolyse) in der BRD. Energieadwendung und Energietechnik, 42, Leipzig.
- Nesvadba, J., Velek, K., 1983: Tuhé odpady. SNTL Praha.
- Skalický, Č., 1994: Bioplyn. Energetika, 4.
- Skalický, Č., 1991: Využití sírnatých uhlí a spalitelných odpadů na výrobu topného plynu. Energetika, 12.
- Straka, F., 1991: Metody likvidace tuhých odpadů. KONEKO VUSTE, Praha.
- Tölgessy, J., Piatrik, M., 1983: Ochrana prostredia v priemysle. SVŠT Bratislava 1983.