

## Metódy vhodné pre zúžitkovanie zvyškových odpadov a ich hodnotenie

Edita Augustínová<sup>1</sup> a Hans - Friedrich Hinrichs<sup>2</sup>

### Method advisable for residual waste disposal and their evaluation

For 30 years, pyrolysis has been trying worldwide to become a means of utilizing wastes in competition with the conventional and proven incineration by means of grate firing, but so far without much success. Except for the single-stage BKMI-process of the first generation, they are all combined double-stage pyrolysis processes of the second generation. The second stage lies within the high-temperature range and is designed either als incineration or as a gasification stage in order to avoid the weak points of the grate-firing process, especially with regard to the efficient utlilyation of energy in the process of refuse incineration. The third step of the examination deals with the process of refuse inciration. The third step of the examination deals with the analytic evaluation, which, in a narrower sense, means the technical functions, the ecological harmlessness and the profitability of the examined pyrolysis processes. The method applied is the efficiency analysis as it is best suited to cope with the problems of multidimensional assessment. With the help of this methods it is shown that the combined pyrolysis is capable of avoiding part of the weaknesses of the grate-firing process without shifting the problems.

**Key words:** pyrolyse, waste, assesment,

### Úvod

Napriek celoeurópskemu úsiliu o minimalizáciu, zníženie a látkové využitie odpadov zostáva ešte časť zvyškového odpadu, t.j. odpadu, ktorý obsahuje značný podiel organických zložiek. Pritom sa jedná o odpad, ktorý môže byť využitý iným spôsobom, alebo spracovaný, napr. termicky, alebo uložený bez využitia na skládky.

V oblasti hospodárenia s odpadmi na základe legislatívnych úprav nie je povolené v rámci krajín Európskej únie ukladať zvyškový odpad na skládkach. Pre deponovanie zvyškového odpadu musí byť splnená požiadavka na veľmi nízku hodnotu straty žiňaním. Túto požiadavku môžeme dosiahnuť využitím termických metód.

Požiadavky na technológiu termického spracovania odpadov, ktoré stanovilo právo Európskej únie pre ŽP ako aj národné zákony o emisiách a ich vykonávacie predpisy, spĺňa podľa súčasného stavu techniky spaľovanie. Napriek tomu túto technológiu obyvateľstvo ťažko akceptuje. Súvisí to so vznikom emisií škodlivých látok a zvyškov po spálení, eliminovanie ktorých predstavuje vyššie technické a finančné náklady na stavbu a prevádzku spaľovacieho zariadenia.

Táto situácia bola podnetom pre hľadanie a posúdenie možností uplatnenia iných termických metód zúžitkovania zvyškového odpadu. Tieto metódy by mali spĺňať tak technicko-ekonomické, ako aj ekologické predpisy a aj sociálne a politické požiadavky. Preto ako nové metódy pre zúžitkovanie zvyškových odpadov boli pre hodnotenie vybrané tie, ktoré sa vyvíjali na báze pyrolýzy. Cieľom hodnotenia bolo dokázať, že tieto metódy sú konkurencieschopné metóde spaľovania na rošte tak v oblasti technickej, ako aj ekonomickej a mohli by sa stať efektívnym nástrojom hospodárenia so zvláštnym odpadom po roku 2000.

### Popis problému

V oblasti odpadového hospodárstva patrí metóda spaľovania odpadu na rošte k štandardným metódam. Používa sa od prelomu tohoto storočia, keď bolo zavedené z hygienického hľadiska. Pozitívne aspekty (redukcia objemu a možnosť využitia vzniknutej energie) stoja oproti negatívnym (napr. nákladné čistenie spalín, odpadových vôd, hospodárnosť zariadení v závislosti od kapacity, a pod.).

Od metód, ktorých pôvod spočíva v pyrolýze a ktoré umožňujú premeniť sekundárne suroviny z komunálneho, živnostenského a priemyselného odpadu na znovu využiteľný a mnohostranne použiteľný, uskladňovateľný a transportovateľný produkt - energiu, očakávame oproti klasickému spaľovaniu nasledujúce výhody:

- prevádzkové zariadenie je možné budovať s nižšími nákladmi,
- nižšie množstvá spalín uľahčujú ich čistenie,

<sup>1</sup>Ing. Edita Augustínová, CSc., Katedra Mineralurgie a environmentálnych technológií, Fakulta BERG Technickej univerzity, Park Komenského 19, 043 84 Košice

<sup>2</sup>Dr.-Ing. Hans-Friedrich Hinrichs, HPM – Technocommerz GmbH, Havensteinstraße 50, D – 06045 Oberhausen  
(Recenzovali: Prof. Ing. František Šiška, DrSc. a Ing. Eva Schuarzbacherová)

- pri určitých odpadoch môžeme získať z produktov pyrolýzy základné chemické látky, a tým získať predajné produkty s vyššou hodnotou.

Z mnohých metód, ktoré sa vyvíjali a skúmali v 80-tych rokoch, zostalo iba málo tých, ktoré prekonal štádium vývoja a nachádzajú sa vo fáze komerčnej prevádzky. Z metódy firmy Krauss-Maffei sa vyvinula metóda BKMI, ktorá sa niekoľko rokov využíva komerčne v Burgau, v Nemecku. Z metódy firmy Kiener vyvinula firma Siemens metódu Schwel-Brenn. K týmto metódam môžeme zaradiť aj metódu NOELL a metódu Thermostelect, ktorá je už asi 5 rokov v komerčnom vývoji (Hinrichs, 1996). Všetky tieto metódy majú za cieľ, využiť bezcenné pevné odpady na výrobu plyných produktov, byť efektívnejšie ako spaľovanie a preukázať ekologický, ako aj ekonomický zisk oproti spaľovaniu na rošte.

### Výber a systémové hodnotenie metód na báze pyrolýzy

V procese analýzy a hodnotenia stavu vývoja metód na báze pyrolýzy boli hodnotené tie, ktoré spĺňali hlavné kritérium, a to ukončenie pilotnej fázy. Druhým kritériom bola podmienka, že hmotnostný výkon bol vyšší ako 1 t.h<sup>-1</sup>. Tretím kritériom bola požiadavka zavedenia metódy na trh v blízkej budúcnosti alebo už jej prevádzkovanie.

Týmto kritériám vyhovovali iba nasledovné metódy:

- ❖ jednostupňové
  - BKMI - pyrolýza a priame spaľovanie produkujúce plyn z nízкотепelnej karbonizácie (f. Babcock-Krauss-Maffes-Industrie, Nemecko),
- ❖ viacstupňové / kombinované
  - SBV - pyrolýza a spaľovanie pri vysokej teplote plynu z nízкотепelnej karbonizácie a koksu z nízкотепelnej karbonizácie (Schwel-Brenn-Verfahren f. Siemens, Nemecko),
  - KV - pyrolýza a úprava plynu z nízкотепelnej karbonizácie pre ďalšie energetické využitie (Konversionsverfahren, f. NOELL, Nemecko),
  - TV - pyrolýza a úprava plynu z nízкотепelnej karbonizácie pre ďalšie energetické využitie (Thermostelect Verfahren, Švajčiarsko/Taliansko).

Hodnotenie týchto metód sa sústredilo na porovnávanie nameraných údajov a na ich ocenenie. Analyzované bolo technické vybavenie a jeho funkčnosť, boli sledované a hodnotené vplyvy na ŽP a dodržiavanie zákonov, predpisov a noriem, ktoré sa vzťahujú na produkty reakcií a ich množstvá, ako aj energetické schopnosti. Hodnotenie nákladov a ziskov bolo finančné, čím boli objasnené aj ekonomické aspekty.

Uskutočnené systémové hodnotenie umožnilo stanoviť prednosti skúmaných metód a upozornilo na ďalšie možnosti ich vývoja. Pri hodnotení sme sledovali, do akej miery je potenciál metód na báze pyrolýzy využitý, a najmä do akej miery je konkurencieschopný vzhľadom na potenciál metódy spaľovania na rošte, ktorá je v súčasnosti na trhu najviac využívaná.

### Postup hodnotenia

Pre komplexné hodnotenie vybraných metód spracovania zvyškového odpadu na báze pyrolýzy boli stanovené technické, technologické, environmentálne, ekonomické a bezpečnostné požiadavky. Tieto požiadavky boli zostavené do katalógu cieľov podľa tzv. vyšších cieľov, a to funkčných, zákonodarných a hospodárskych.

Funkčné ciele zahŕňajú všetky ciele, ktoré umožňujú dosiahnuť vyššiu technickú výkonnosť, ako napr. technický stav a vývoj, potrebu zdokonalenia techniky, vstupné látky, prevádzkové pomocné látky, účinnosť, flexibilitu a pohotovosť.

Zákonodarné ciele obsahujú ciele, ktoré sa pozitívne prejavujú pri plnení zákonov a noriem, súvisiacich s ochranou a tvorbou životného prostredia, napr. látky znečisťujúce ovzdušie, zúžitkovanie produktov, výstavba a prevádzkovanie skládky a bezpečnosť prevádzky.

Hospodárske ciele slúžia na určení výkonov s minimálnymi nákladmi a na posúdenie ekonomickej výhodnosti metódy, ako napr. investičné náklady, prevádzkové náklady a výnosy.

Pre určenie hospodárnosti a porovnanie zariadení pre rôzne termické technológie na zúžitkovanie zvyškového odpadu nestačia klasické metódy hodnotenia. Je vhodné využiť metódy analytického hodnotenia, zaoberajúce sa relevantnými kritériami a charakteristikami alternatív daného systému, ktoré sú hodnotené zvlášť, potom pre každú alternatívu je stanovená celková hodnota úžitku (Patzak, 1982)

Ako metóda analytického hodnotenia pre posúdenie alternatívnych termických metód pre zúžitkovanie zvyškového odpadu na základe pyrolýzy bola zvolená metóda analýzy úžitkovej hodnoty, ktorú vyvinul Zangemeister (Hinrichs, 1996).

Analýza úžitkovej hodnoty umožňuje posúdiť rôzne, principiálne využiteľné varianty riešenia, v tomto prípade rôzne termické metódy spracovania odpadov, ktoré sa vo svojich vlastnostiach kvalitatívne a kvantitatívne odlišujú. Táto metóda prihliada na veľké množstvo vlastností, ktoré sú v tomto prípade definované v katalógu cieľov ako vyššie ciele, ďalej rozdelené na podciele a jednotlivé kritériá.

Pre hodnotenie, či a za akých okolností sú metódy na báze pyrolýzy budúcim prostriedkom termického zhodnotenia zvyškových odpadov, uskutočnili sa nasledujúce analýzy:

- 1/ Analýza smerníc, pravidiel a základných noriem v právnej oblasti životného prostredia.
- 2/ Analýza kritérií odpadového hospodárstva zvyškových odpadov.
- 3/ Analýza spôsobilosti metód na báze pyrolýzy pre termické zhodnotenie zvyškových odpadov.
- 4/ Analýza zvolených metód na báze pyrolýzy v porovnaní so spaľovaním na rošte.
- 5/ Hodnotenie metód na báze pyrolýzy a roštového spaľovania.

### **Analýza smerníc, pravidiel a základných noriem v právnej oblasti životného prostredia**

Pri spracovaní odpadov je z pohľadu ochrany životného prostredia dôležitá čistota ovzdušia, ochrana vôd a ochrana proti hluku. Vydanie stavebného povolenia a povolenia na prevádzku zariadenia na termické spracovanie odpadov závisí od smerníc a noriem v právnej oblasti životného prostredia, tak v rámci EU, ako aj v jednotlivých krajinách.

Hraničné hodnoty kritérií pre povolenie ukladať odpad na skládky vieme splniť iba takým spôsobom, pri ktorom vznikajú mineralizované látky, teda termickými metódami nakladania s odpadmi.

Sprísnenie hraničných hodnôt pre emisie sa vo vzťahu k termickým metódam nakladania s odpadmi v Európe neočakáva, a to aj preto, že súčasné hraničné hodnoty sú veľmi prísne a už dnes sú ohrozené podmienky hospodárenia zariadení pre čistenie spalín, ktoré sú príliš drahé, pretože investičné náklady na výstavbu zariadení na čistenie spalín sú vysoké.

Výrobcovia zariadení na čistenie spalín garantujú viac než iba hraničné hodnoty emisií, ktoré sú stanovené zákonmi. Pri výbere toho ktorého zariadenia má najväčší podiel vzájomná konkurencia ponúk. A pretože akceptovateľným bodom sú emisie škodlivých látok, musia byť ponuky v tomto smere priaznivé.

### **Analýza kritérií odpadového hospodárstva pre zvyškový odpad**

Pri hodnotení termického procesu premeny zvyškových odpadov sme brali do úvahy fyzikálne a chemické vlastnosti pevných látok. V porovnaní s tradičnými palivami je nápadnejšia nedostatočná homogenita zvyškového odpadu. V termickom procese miestne a časové kolísanie látkového zloženia a v širších súvislostiach aj variabilná zrnitosť sťažujú optimálny priebeh termického procesu. Pre zabezpečenie optimálneho priebehu je potrebné škodlivé látky z odpadu odtriediť a zhodnotiť. Oddelením plastov sa značne zníži tvorba emisií Cl. Predtriedenie papiera a obalov má za následok zníženie obsahu síry a toxických ťažkých kovov (tlačiarenská farba). Touto selekciou síce dôjde k značnému zníženiu emisií škodlivých látok, ale tepelná výhrevnosť poklesne tak výrazne, že spaľovanie alebo pyrolýza sú sotva možné.

Emisie je možné ovplyvniť nezávisle od zloženia vstupných látok dobrou prevádzkou určitej metódy.

### **Analýza spôsobilosti metód pre termické využitie zvyškových odpadov –možnosti pyrolýzy**

Oproti tradičným termickým metódam spracovania odpadov vidíme v metódach, ktorých základ tvorí pyrolýza, pri využití pre zvyškové odpady, zásadne tieto možnosti:

- zariadenia s malou vsádzkou, asi do 10 t.h<sup>-1</sup>, majú priaznivejšiu štruktúru nákladov ako spaľovne odpadov s rovnakou vsádzkou,
- spracovanie rôzneho odpadu, zameniteľnosť zloženia odpadu, t.j. nakladania tiež s kvapalnými odpadmi a s vytriedenými zvláštnymi odpadmi,
- objem spalín o 50 % nižší ako pri spaľovaní na rošte,
- znovuzískanie energie a surovín, v prípade, keď budú zvyšky vytriedené pre ďalšie spracovanie,
- pevné zvyšky sú nevyluhovateľné, najmä pri kombinovaných metódach, pri ktorých vzniká ako zvyšok škvárový granulát.

Pri ďalšom hodnotení sme zisťovali či sú tieto možnosti využité, a či uvedené technológie obstoja v súťaži s inými termickými metódami nakladania so zvyškovým odpadom, najmä s bežne využívaným spaľovaním na rošte.

### **Analýza zvolených metód na báze pyrolýzy v porovnaní so spaľovaním na rošte**

Analýza vyššie uvedených metód obsahuje rozsiahly popis jednotlivých metód, najmä ich technických problémov. Pre analýzu boli dôležité produkty reakcií a ich hodnotenie vplyvu na životné prostredie. Analýzu uzatvára energetická bilancia pre zistenie stupňa účinnosti a hodnotenia nákladov a ziskov (Hinrichs, 1996).

### Výsledky hodnotenie kritérií podľa katalógu cieľov – príklady

Uvedené príklady sa vzťahujú na hodnotenie podľa kritérií katalógu cieľov pre metódy na báze pyrolýzy a spaľovanie na rošte. Ich cieľom je ukázať postup hodnotenia zákonodarných a hospodárskych cieľov.

#### Funkčné ciele – technický stav vývoja metódy

Kritérium – technický stav vývoja metódy bolo hodnotené dosiahnutou úrovňou techniky. Ako indikátor slúžil stav vývoja metódy, ktorý bol definovaný odstupňovaním vyvinutá technika (tj. metóda je bežne v prevádzke), demonstračné zariadenie (laboratórne zariadenie), pilotné zariadenie (tj. prototyp) a poloprevádzkové zariadenie (tab.1):

Tab. 1. Popis technického stavu vývoja.

	metóda SBV	metóda TV	Metóda KV	metóda BKMI	spaľovanie na rošte
Vyvinutá technika				X	X
Demonštračné zariadenie					
Pilotné zariadenie	X	X			
Poloprevádzkové zariadenie			X		

(Zdroj: Hinrichs, 1996)

Metóda spaľovania na rošte je plne vyvinutá, využíva sa už niekoľko desiatok rokov a je funkčná v niekoľko sto zariadeniach. Táto metóda dosiahla maximálne hodnotenie. Metóda BKMI je prevádzkovaná ako komerčné zariadenie od roku 1997 a práve týmto dokazuje svoju spôsobilosť. Je potrebné ale vziať do úvahy, že táto metóda nespĺňa požiadavky TA-Siedlungsabfall pre rok 2005. Ide o chýbajúce interné zúžitkovanie pyrolýzneho koksu, preto v zmysle recyklačného hospodárenia vo vzťahu k látkovej recyklácii, k šetreniu zdrojov, atď. nedosiahne potrebnú úroveň. Zariadenia, ktoré využívajú metódu SBV a TV sú ešte v štádiu prototypov. Zariadenie s metódou SBV sa nachádza od októbra roku 1996 vo výstavbe ako komerčné zariadenie, s kapacitou od 150 000 t.rok<sup>-1</sup>. V roku 1997 sa začala výstavba komerčného zariadenia s metódou TV v Karlsruhe. Metóda KV nedosiahla zatiaľ prevádzkové uplatnenie, a preto bola hodnotená nízkym číslom.

Vektor dosiahnutých cieľov.

	metóda SBV	metóda TV	metóda KV	metóda BKMI	spaľovanie na rošte
Hodnotenie	7	6	4	8	10

(Zdroj: Hinrichs, 1996)

Tab 2. Hodnoty koncentrácií emisií a garantované hodnoty jednotlivých metód vo vzťahu k hraničným hodnotám podľa zákona č. 17.BImSchV.

Komponenty škodlivých látok	17.BImSchV [mg . m <sup>-3</sup> ] priem.denná hodnota	Metóda SBV [mg . m <sup>-3</sup> ]		Metóda TV [mg . m <sup>-3</sup> ]		Metóda BKMI [mg . m <sup>-3</sup> ]		Spaľovanie na rošte [mg . m <sup>-3</sup> ]	Metóda KV [mg . m <sup>-3</sup> ]
		meraná hodnota	garantovaná hodnota	mer. hodn.	Garant. Hodn.	mer. hodn.	garant. hodn.		
<b>Celkový prach</b>	10	< 0,05	5	< 1,4	5	< 3		0,9	-
<b>CO</b>	50	5	41	<b>51</b>	50	-		30,7	-
<b>C cel.</b>	10	0,28	3	< 1	3	< 5		-	-
<b>HCl</b>	10	< 0,2	5	0,9	2,5	2	<b>9,2-92</b>	0,7	-
<b>HF</b>	1	< 0,02	0,1	< 0,1	0,5	< 0,1		0,09	-
<b>SO<sub>2</sub></b>	50	0,8	20	1,1	2,5	16,8	7 - 29	1,2	-
<b>NO<sub>2</sub></b>	200	< 70	70	<b>72</b>	100	<b>493</b>	< 200	74,2	80
<b>Cd, Ti</b>	0,05	< 0,0005	0,005	0,005	0,01	0,014		-	0,0009
<b>Hg</b>	0,05	< 0,0001	0,01	0,009	0,025	0,128	0,004-0,035	-	0,0022
<b>Σ ťažké kovy</b>	0,5	< 0,0012	0,05	0,15	0,15	< 0,5		-	0,043
<b>PCDD / PCDF</b>	0,1* 10 <sup>-6</sup>	4* 10 <sup>-9</sup> <sub>6</sub>	0,1* 10 <sup>-6</sup>	1,2* 10 <sup>-9</sup>	0,03* 10 <sup>-6</sup>	-		-	0,015* 10 <sup>-6</sup> <sub>6</sub>

Silne vytláčené hodnoty predstavujú prekročené hraničné hodnoty  
Prevádzkové a emisné údaje (obdobie spracovania 1.1.-31.12.94) RZR Herten, 1995

(Zdroj: Hinrichs, 1996) \*

Tab.3. Obsah privádzaného kyslíka pre hraničné hodnoty emisií rôznych relevantných procesov spaľovania.

Charakter zariadenia	Obsah privádzaného kyslíka	Metóda
Zariadenie na čiastočné alebo úplné odstránenie pevných alebo kvapalných látok spaľovaním	11 obj. %	Spaľovanie na rošte Schwel - Brenn (SBV) Konverzná metóda (KV)
Motorové spaľovacie zariadenie	5 obj. %	Spaľovanie syntézneho plynu plynovým motorom - Thermostelect (TV)
Zariadenie pre termický rozklad nehorľavých pevných alebo kvapalných látok pri deficite kyslíka (pyrolýza)	3 obj. %	BKMI

(Zdroj: Hinrichs, 1996)

Vektor dosiahnutých cieľov uvádza výsledky hodnotenia metód podľa kritéria koncentrácia emisií.

Vektor dosiahnutých cieľov

	metóda SBV	metóda TV	metóda KV	metóda BKMI	spaľovanie na rošte
Hodnotenie	10	6	6	6	8

(Zdroj: Hinrichs, 1996)

### Hospodárske ciele - suma investícií

Pri investičných nákladoch boli hodnotené štandardné koncepcie so strednou kapacitou od 150 000 t<sub>odpadu</sub> .rok<sup>-1</sup> pre jednotlivé metódy a ich výrobcov.

Tab. 4. Závislosť kapacity investičných nákladov pre termické metódy zúžitkovania odpadu.

Ukazovateľ	metóda SBV	metóda TV	metóda KV	metóda BKMI	spaľovanie na rošte
Veľkosť zariadenia [t.rok <sup>-1</sup> ]	a) 100 000 b) 150 000	a) 150 000 <sup>1)</sup> b) 300 000 <sup>2)</sup>	a) 100 000 b) 150 000	35 000	150 000
Zariadenia – Σ investícií ( vrátane stavby, montáže) [mil.DM]	a) 215 b <sub>1</sub> ) 300 b <sub>2</sub> ) 225	a) 210 - 255 b) 300	a) 250 b) 315	55 <sup>3)</sup> 110 <sup>4)</sup>	270
Technické zariadenie samostatne [mil.DM]	b <sub>1</sub> ) 225 b <sub>2</sub> ) 168,8	a) 157,5-191,2	200 252		207,5
Špecifické investičné náklady [DM.t <sub>odpadu</sub> <sup>-1</sup> ]	a) 2 150,- b) 2 000,-	a) 1 400,- do 1 700,-	a) 2 500,- b) 2 100,-	1 571,- <sup>3)</sup> 3 143,- <sup>4)</sup>	1 800,-

<sup>1)</sup> Ponuka u Alba <sup>2)</sup> Výrobné údaje bez zemných, murovacích a betonovacích prác <sup>3)</sup> Počiatočná suma investícií na zariadenie

<sup>4)</sup> Súčasná suma investícií na zariadenie

Cieľom hodnotenia bolo zistiť, aké nízke, resp. aké vysoké sú absolútne a špecifické investičné náklady pre jednotlivé metódy. Údaje pre hodnotenie boli získané z rôznych zdrojov.

Vektor dosiahnutých cieľov

	metóda SBV	metóda TV	Metóda KV	metóda BKMI	spaľovanie na rošte
Hodnotenie	6	8	5	3	10

(Zdroj: Hinrichs, 1996)

### Výsledok hodnotenia metód na báze pyrolýzy a metódy spaľovania na rošte

Hodnotenie metód na báze pyrolýzy a metódy spaľovania na rošte vyjadruje úžitkovou hodnotou každej metódy stupeň splnenia cieľov, ktoré boli stanovené v katalógu cieľov. V tabuľke 5 sú uvedené súhrnné výsledky celkovej a čiastkovej efektívnosti jednotlivých metód, z ktorých sme pomocou hodnotovej syntézy zostavili poradie úžitkovej hodnoty jednotlivých metód.

Hodnotenie podľa tabuľky 5 ukazuje, že okrem metódy spaľovania na rošte aj metóda Schwel-Brenn-Verfahren (SBV) dosahuje takmer rovnako vysokú celkovú úžitkovú hodnotu, a tým aj vysoký stupeň splnenia cieľa. Celková úžitková hodnota oboch metód sa od seba len trochu odlišuje, takže splnenie cieľa metódou SBV môžeme pokladať za rovnaké ako splnenie cieľa metódou spaľovania na rošte.

Aj metóda Thermoselect-Verfahren (TV) dosahuje vysokú celkovú úžitkovú hodnotu a má šance patriť ku konkurencieschopným metódam. Súvisí to hlavne s tým, že touto metódou sa dosiahnu zákonodarné ciele, ako aj mimoriadne dobré zhodnotenie produktu, t.j. zvyškového odpadu.

Tab.5. Matica úžitkových hodnôt.

CIELE	METÓDA SBV	METÓDA TV	METÓDA KV	METÓDA BKMI	SPAĽOVANIE NA ROŠTE
Technický stav vývoja	112	105	89	112	150
Technická spotreba	250	240	178	229	290
Vstupné látky	100	100	96	100	90
Pomocné pracovné látky	66	70	63	70	46
Účinnosť	143	95	74	36	113
Flexibilita	100	100	85	90	55
Pohotovosť	32	32	32	64	80
<b>Funkčné ciele</b>	<b>813</b>	<b>742</b>	<b>617</b>	<b>701</b>	<b>824</b>
Škodliviny ovzdušia	186	136	122	83	146
Využitie produktov	174	244	188	102	126
Skládky	200	200	120	80	180
Bezpečnosť	218	260	143	224	300
<b>Zákonodarné ciele</b>	<b>778</b>	<b>840</b>	<b>573</b>	<b>509</b>	<b>752</b>
Investície	150	200	125	75	250
Prevádzkové náklady	340	220	180	215	380
Zisky	330	200	170	85	280
<b>Hospodárske ciele</b>	<b>820</b>	<b>620</b>	<b>475</b>	<b>375</b>	<b>910</b>
<i>Hodnota celkového úžitku</i>	<i>2411</i>	<i>2202</i>	<i>1665</i>	<i>1585</i>	<i>2486</i>

Hospodárnosť metódy závisí vo veľkej miere od kapacity zariadení na zužitkovanie odpadov. Požiadavka odpadového hospodárstva na decentralizované menšie zariadenia s kapacitou medzi 50 000-100 000 t<sub>odpadu</sub>.rok<sup>-1</sup> sa vyrovná kapacitne väčším zariadeniam vyššími špecifickými nákladmi na úpravu odpadu. Oproti tomu sú náklady na dopravu odpadu od producentov do zariadenia nižšie. Z výsledkov hodnotenia vyplýva, že pre uvedené množstvo odpadu sa stanovené hospodárske ciele dajú najlepšie splniť metódou spaľovanie na rošte.

Multikriteriálnym hodnotením metódou analýzy úžitkovej hodnoty prichádzame k výsledku, že metódy na báze pyrolýzy prostredníctvom metódy Schwel-Brenn-Verfahren a metódy Thermoselect-Verfahren vykazujú ako nástroj zhodnotenia zvyškového odpadu dostatočný potenciál, ale nahradenie metódy spaľovania na rošte, ako nástroja odpadového hospodárstva, nie je v súčasnosti na základe vykonaného výskumu ešte odôvodnené.

## Zhrnutie

Cieľom hodnotenia bolo objektívne posúdiť, či metódy na báze pyrolýzy, ktoré sa vyvíjajú už takmer 30 rokov, sú v oblasti odpadového hospodárstva vhodným prostriedkom na termické spracovanie zvyškového odpadu z domácností a z priemyslu.

Výsledky analýzy úžitkovej hodnoty ukázali, že metóda Schwel-Brenn-Verfahren a metóda spaľovanie na rošte najlepšie splnili cieľový program. S nepatrným odstupom nasleduje metóda Thermoselect-Verfahren, aj napriek nevýhodám z hľadiska verifikovateľnosti niektorých krokov postupu, hlavne v oblasti lisovacieho kanálu. Konečný dôkaz o vysokej disponibilite tohto technologického kroku poskytne až komerčná prevádzka takéhoto zariadenia.

Pri metóde BKMI a konverznej metóde hodnotenie ukazuje, že sa týmto metódam bude potrebné i naďalej venovať výskum. Ako ukazuje výsledok hodnotenia, metóda spaľovania na rošte a aj metóda Schwel-Brenn-Verfahren sú metódami, ktorým v budúcnosti budeme môcť pripísať najvyšší stupeň využitia pri termickom zhodnotení zvyškových odpadov, aj keď metóda Schwel-Brenn-Verfahren je finančne náročnejšia.

Na základe hodnotení môžeme povedať, že metódy na báze pyrolýzy v najbližších desiatich až dvadsiatich rokoch nebudú môcť nahradiť v odpadovom hospodárstve metódu spaľovania na rošte.

V oblasti odpadového hospodárstva aj v budúcnosti bude stále viac požadovaná vysoká technická, ekologická a ekonomická výkonnosť termických zariadení na zužitkovanie zvyškových odpadov. Tieto požiadavky bude možné splniť aj metódami na báze pyrolýzy, napr. metódou Schwel-Brenn-Verfahren.

### Literatúra

- Patzak, G.: Systematik-plannung komplexer innovativer Systeme. *Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.*
- Zangemeister, I.: Effectiveness Measurement of Information Systems through NAPS; Nutzwert Analyse-Programm-System. *Angewandte Informatik 1975, München: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4, Aufl., 1976.*
- Hinrichs, H.-F.: Pyrolyse als Mittel zur thermischen Verwertung von Restabfällen. *Dizertačná práca, Košice, 1996.*