Organické odpady a průmyslové technologie jejich koprocesingu s uhlím

Vlastimil Kříž[1] a **Jaroslav Buchtele**[2]

Organic wastes and the industrial technologies of their coprocessing with coal

The production of solid waste in the Czech Republic was a round 40 Mt in 2000 – 2002 yearly. The organic compounds in the municipal waste (plastics, polymers, paper, wood, textile) and in the agricultural and forest waste (biomass) are mainly burned and partially landfilled. New industrial waste processes and their heat conversion in mixtures with coal allow an economical and energetically a more efficient utilization. They also open the way to the production of liquid fuels and chemicals.

***Key words**: organic wastes, coal, co-processing coal/wastes, conversion processes*

Odpad je podle legislativy ČR definován podobně jako v EU a v zemích OECD. Odděleně je definován a evidován nebezpečný odpad. Od roku 1998 je odpad evidován ve třech kategoriích: odpad nebezpečný, odpad komunální, odpad jiný. Množství komunálního odpadu vyprodukovaného v ČR se pohybovalo v letech 1998 až 2002 mezi 4,2 až 4,8 Mt/rok, což dokládá tabulka 1 (Ročenka MŽP ČR, 2003).

Tab. 1. Produkce komunálního odpadu v ČR 1998 – 2002 [tis. Tun]
Tab. 1. Total production of municipal waste in the Czech Republic, 1998 – 2002 (103 t)

Rok	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Celková produkce	4 535	4 200	4 258	4 243	4 747

Lze předpokládat, že množství vyprodukovaného komunálního odpadu se nebude v horizontu 2010/2015 výrazněji měnit. Naopak z hlediska složení tuhého odpadu lze očekávat nárůst podílu papíru, plastů, polymerů, kopolymerů, textilu, bioodpadu, ale i hliníkových fólií. Dále bude klesat podíl popela a tuhých stavebních materiálů. Převaha organických uhlíkatých materiálů zvýší výhřevnost komunálního odpadu jako celku zejména v důsledku vysokého podílu složek, které jsou deriváty ropy (polymerů, kopolymerů, plastů) a uhelného dehtu.

Způsob nakládání s komunálním odpadem v ČR v letech 1998 až 2000 uvádí tab. 2. (Ročenka MŽP ČR, 2001).

Uvedené hodnoty dokládají, že v ČR stále přetrvává nejméně vhodný způsob likvidace komunálního odpadu skládkováním bez jakéhokoliv využití ukládaného odpadu. Žádoucí nárůst zpracování odpadu spalováním s využitím produkovaného tepla je umožněn provozem moderních velkých spaloven komunálního odpadu.

Tab. 2. Nakládání s komunálním odpadem v ČR 1998 – 2000 [tis. Tun]
Tab. 2. Municipal waste management in the Czech Republic, 1998 – 2000 (103 t)

	1998	**1999**	**2000**
Aplikace fyzikálních a chemických postupů	¨ 69,0	72,6	85,8
Aplikace biologických metod	625,7	539,7	460,2
Zneškodnění spalováním	4,2	7,5	9,9
Zneškodnění spalováním s využitím tepla	176,1	320,9	27,5
Skládkování	2 109,5	2 720,3	2 803,1
Skladování	57,2	190,3	58,5
Využití jako druhotná surovina	340,5	314,0	249,1
Uloženo do podzemních prostor	< 0,1	30,2	0,0
Nakládání celkem	3382,2	4 195,5	4 094,1

[1] *Ing. Vlastimil Kříž*, ÚSMH AV ČR, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, kriz@irsm.cas.cz
[2] *prof. Ing. Jaroslav Buchtele, CSc., ÚSMH AV ČR, V Holešovičkách 41, Praha 8*, buchtele@irsm.cas.cz
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 2. 9. 2005)

V komunálním odpadu tvoří značný podíl druhotně využitelné suroviny s vysokým energetickým potenciálem. Celkový nárůst objemu plastů je způsoben náhradou tradičních kovových konstrukčních materiálů plasty.

Také v obalové technice je tradiční papír stále častěji nahrazován plasty a vícevrstvými kartonovými obaly.

Výroba plastů v ČR i ve světě vykazuje dlouhodobě stoupající trend. Nárůst výroby plastů se promítá do jejich spotřeby a následně i do množství a složení odpadů. Roční reálnou spotřebu plastů v ČR, včetně materiálů importovaných ve formě výrobků, lze odhadnout na 600 až 700 tis. tun. Do odpadu přechází 20 až 25 % uvedené spotřeby. Směsné odpadní plasty jsou dominantní složkou komunálního odpadu a jsou tvořeny zejména polyetylenem (PE), polystyrenem (PS), polyetylentereftalátem (PET) a polypropylenem (PP), které jsou bohaté uhlíkem a vodíkem. Značná je i energie vynaložená na výrobu těchto plastů. Tab. 3. uvádí spotřebu surovin a energie potřebné na jejich výrobu (Pašek 1996).

Tab. 3. Spotřeba suroviny a energie na výrobu polymerů vyjádřená ropným ekvivalentem (toe)
Tab. 3. Consumption of the raw materials and the energy for the polymers' production expressed in the oil equivalent (toe)

Polymer	**Ropa jako surovina**	**Ropa jako energie**	**Celkem**
	(t.t-1)		
Polyetylen	1,12	1,16	2,28
Polypropylen	1,17	1,38	2,55
Polyvinylchlorid	0,55	1,40	1,95
Polystyren	1,30	1,88	3,18
Kaučuková směs	1,20	2,40	3,60

Poznámka: toe = 42 GJ = 1 tmp (ropa)

Zejména výroba pryže a plastů (polymerů) je spojena se značnou spotřebou ropy, která je v tomto případě výchozí surovinou i zdrojem energie. Tab. 3 ukazuje, že pouhé skládkování jedné tuny odpadní pryže či některého z polymerů představuje nevratnou ztrátu cca 2 až 3,6 tuny ropy a nabízí se proto využít tuto nepoužitou energii. Odpadní plasty a pryž mají vysokou výhřevnost (odpadní pryž 21 až 25 MJ/kg, polyetylen PE 46 MJ/kg, polyetylentereftalát PET 23 MJ/kg), což poukazuje na vhodnost jejich širšího energetického využití. Přesto se převážná část tohoto odpadu likviduje skládkováním a malá část je využívána na nízko kapacitních jednotkách spalováním, bez využití tepla.

V posledním desetiletí dochází v ČR ke stálému nárůstu výroby plastů, chemických vláken a kaučukové směsi (Ročenka MŽP ČR 2003). Tabulka 4 dokládá množství těchto produktů vyrobených z derivátů ropy. Ve spodní části tabulky jsou uvedeny nejrozšířenější typy výrobků z polymerů (sáčky, pytle PE) a z plastů (trouby, trubky, hadice ve variantě neohebné a ostatní).

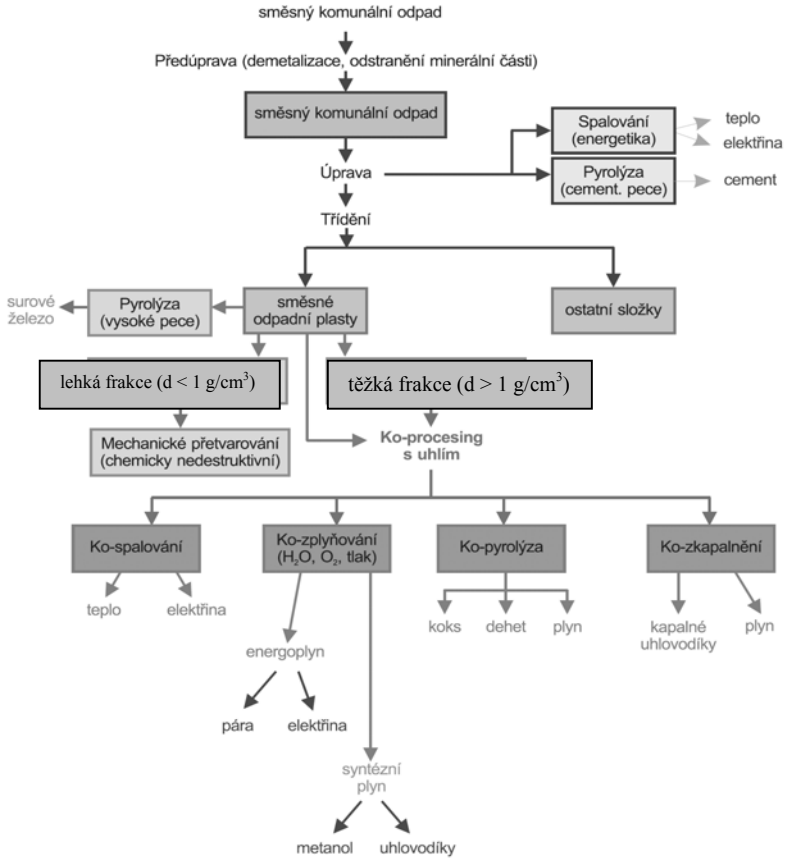
Tab. 4. Produkce vybraných chemických výrobků 1996 – 2002 [tis. Tun]
Tab. 4. Production of selected chemical products in 1996 – 2002 (103 t)

	1996	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Plasty	558	587	597	619	628	776	639
Chemická vlákna	67	71	72	65	63	63	73
Kaučuk směsný	23	30	42	49	61	93	108
Sáčky, pytle PE	11	14	16	19	21	21	24
Trubky, hadice z plastů neohebné	11	11	21	17	14	21	24
Ostatní trubky, hadice z plastů	21	26	29	34	43	31	20

Výroba plastů, polymerů a kaučuku z dovážené ropy zvyšuje ekonomické i technické problémy na českém i evropském trhu ropy. Produkty zpracování odpadních plastů, polymerů a auto-pryž jsou zdrojem finální spotřeby ve formě odpadů, ve kterých je v ČR vázáno až 1 milion tun ropy. Uhlíkatými složkami komunálního odpadu bohatými i vodíkem jsou zejména polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) a polyetylentereftalát (PET), které jsou obtížně separovatelné na jednotlivé složky. Pouze malý podíl separovaných složek umožňuje jejich chemicky nedestruktivní, mechanické přetvarování (armatury, bytové a zahradní doplňky, nádoby na odpad aj.). Zpracování uhlíkatého komunálního odpadu společně s uhlím, tzv. ko-procesingem, je žádoucí většinovou alternativou k mechanické recyklaci.

Základní schéma na obr. 1. (Roubíček, Buchtele, 2002) zjednodušeně charakterizuje postupy zpracování jak samotných odpadních plastů a polymerů, tak i jejich společné zpracování s uhlím.

V řadě zemí OECD podíl skládkovaného komunálního odpadu stále klesá (USA, Kanada, Japonsko, EU). Důvody jsou environmentální (únik metanu ze skládek, znehodnocování půdního fondu) i ekonomické (rostoucí cena pozemků zejména u velkoměstských aglomerací). V zemích EU 15 (výhledově EU 25) je skládkování komunálního odpadu legislativně omezováno.



Obr. 1. Schéma zpracování odpadních plastů samotných a společně s uhlím
Fig.. 1. Scheme of the waste plastics processing alone and mixed with coal

Přijatelnějším postupem využití komunálního odpadu je jeho spalování s využitím získaného tepla. Tento postup se v ČR významně uplatnil u velkoměstských aglomerací v Praze, Brně a Liberci (Ročenka MŽP 2003), kde je využíváno 646 000 t/rok. Charakteristika je uvedena v tabulce 5.

Tab. 5. Spalovny komunálního odpadu s využitím odpadního tepla u velkoměstských aglomerací v ČR
Tab. 5. Municipal waste incinerators with the heat recovery near big city agglomerations in the Czech Republic

Provozovatel	**Lokalizace**	**Kapacita** [t/rok]
Pražské služby a.s.	Praha	310 000
Termizo a.s.	Liberec	96 000
Spalovna a komunální odpady Brno a.s.	Brno	240 000

Dalších 59 provozovatelů spaloven s využitím tepla mají zařízení s nízkou kapacitou do 10 000 t/rok (výjimkou je Aliachem a.s./Synthesia Pardubice, s kapacitou 14 700 t/rok) a celkem zpracovává 110 522 t/rok.

Společné zpracování odpadních plastů s uhlím navazuje na dobrou znalost tradičních průmyslových procesů spalování uhlí (tepelnou energetiku), karbonizaci uhlí (koksárenství) a zplyňování uhlí (plynárenství).

V těchto případech navazuje koprocesing systémů uhlí/odpadní plasty na dobře zvládnuté průmyslové technologie se zázemím diverzifikovaných a dobře ověřených dílčích postupů.

Proces ko-karbonizace uhlí/organické odpady ztrácí v ČR na významu v důsledku stálého snižování výroby metalurgického koksu komorovým koksováním v letech 1992 - 2004 (Roubíček, Buchtele 2002). Příčinou jsou klesající zásoby spékavého uhlí a rostoucí náklady hlubinné těžby černého uhlí. Snižování světové výroby kovů je vyrovnáváno růstem výroby polymerů, ko-polymerů a plastů (přírodních polymerů - kaučuku, hedvábí, vlny, lnu a umělých polymerů - PE, PP, PS, PET aj.). Vzhledem k nízké měrné hmotnosti polymerů a plastů představuje jejich objemový podíl šestinásobek objemového podílu kovů (Ducháček, 1995).

Výzkumně-vývojově nejsledovanějším procesem koprocesingu je ko-zplynění. Rovněž nárůst světových provozovaných i projektovaných kapacit je nejvyšší u průmyslových procesů ko-zplynění (20th Ann.Int. Pittsburgh Coal Conf., Pittsburgh, 2003, ISBN 1-890977-20-9). Pokračují inovace průmyslových zařízení i výzkum/vývoj všech známých postupů zplyňování - v sesuvném pevném loži, ve fluidní vrstvě, v unášené vrstvě (Roubíček, Buchtele, 2002).

Tradiční technikou paro-kyslíkového zplynění v sesuvném loži LURGI pracuje v USA závod postavený na ložisku v oblasti Great Planes (pánev 150 000 km^2, 37 % zásob ložiska). Na 14 zplynovačích vyvinutých v závodech SASOL (JAR) je zplyňováno 18 000 t/den uhlí a je vyráběno cca 1,5 mld. m^3/rok náhradního zemního plynu (SNG). Souběžně je vyráběno 1 200 t/den amoniaku, dále elementární síra a při kryogenní výrobě kyslíku i vzácné plyny neon/xenon. Separovaný CO_2 je odváděn plynovodem do 205 mil vzdáleného ropného ložiska, kde je vtlačován do ropných vrtů s cílem zvýšit těžbu ropy a ropného zemního plynu. (Lukes,Wallach, 2003).

Alternativní technikou zplynění v cirkulujícím fluidním loži (dále CFB) mohou být zplyňovány samostatně uhlí, nebo biomasa. V provozu jsou na Floridě (USA) dva největší průmyslové CFB zplynovače s výkonem 300 MWe. Celkem je ve světě v mnoha menších jednotkách instalován výkon 150 000 MWe. V USA se na emisích skleníkových plynů podílí 83 % CO2 a jeho zdrojem jsou průmysl 21 %, obyvatelstvo 7 %, doprava 30 % a energetika 34 %. Výzkum a vývoj je přednostně zaměřen na inovace spalování uhlí v energetice. Jen v roce 2003 bylo v USA investováno 1,3 mld. USD do technologií ovlivňujících positivně nežádoucí změny podnebí. Srovnání účinnosti provozovaných a vyvíjených postupů umožňuje následující tabulka (Giglio 2003)

Tab. 6. Srovnání účinnosti uhelných elektráren
Tab. 6. Efficiency comparison of coal power plants

Technologie výroby	**Energetická účinnost** [%]
Konvenční práškové spalování a cirkulační fluidní zplyňování	34 – 36
Superkritické práškové spalování a cirkulační fluidní zplyňování	37 – 39
Integrované zplyňování s kombinovaným cyklem (IGCC)	39 – 42
Hybridní spalování/zplyňování s kombinovanými cykly	42 – 44
Spalování zemního plynu s kombinovaným cyklem	52 – 60

Technologie zplynění uhlí ve fluidním loži s kombinovaným cyklem (GFBCC) umožní dosáhnout až 25 % vyšší účinnost než konvenční spalovací technologie. To se projeví o 25 % nižšími emisemi CO_2. Zplyňovací systém je jednoduchý, sestává ze zplynovače, chladiče synplynu, filtrace tuhých částic za horka a transportu polokoksu. Odloučený horký polokoks je injektován do spalovacího kotle. Synplyn je spalován v plynové turbině s připojeným generátorem a získané spaliny vhání horký polokoks do spalovacího kotle, který vyrábí páru pro parní turbinu. Po dlouhodobém ověření na poloprovozní jednotce je připravena stavba provozní jednotky. Funkci zařízení popsal (Giglio, 2003).

Oproti předpokladům o rychlém vývoji zplynovačů s unášenou vrstvou (Lau, 2000) a zejména transportních reaktorů (Munson, Adams, 2003) se předpokládaný vývoj principielně nových systémů poněkud zpomalil. Souběžně jsou však důsledně řešeny problémy odprášení plynu za horka, zachycování těžkých toxických kovů a zvýšení celkové energetické účinnosti. Koordinaci a rámec vývoje ko-zplyňovacích postupů v USA, které jsou nejvýznamnějším partnerem mnohonárodních projektů vymezuje Vision 21 (Technology Roadmap, 2001, National Energy Technology Laboratory, U. S. Depertment of Technology).

Poloprovozní transportní reaktor (TRDU) vyvinutý v USA pracuje s teplotou vystupujícího plynu 980 °C, s rychlostí toku plynu 0,153 m^3/s a s provozním tlakem 9,3 bar. Byl vyřešen problém průtokového reaktoru s promíchávanou zplyňovanou vrstvou a návazně rychlé čištění plynu za horka (2,3 m/s). Ověření bylo provedeno pro černé uhlí, hnědé uhlí a odpadní dřevo (Swanson, 2004).

Závěr

Hlavní souběžně řešené problémy technologie zplyňování uhlí a jeho ko-zplyňování s uhlíkatými odpady jsou následující :

- Zvýšení energetické účinnosti zplynovačů (s pevným ložem, fluidních i únosových)
- Membránová separace kyslíku pro zplynění uhlí (uhlíkatých odpadů)
- Membránové oddělování H2 od CO2 ze syntézního plynu a postupy deponace získaného CO2
- Využití separovaného vodíku v palivových článcích vozidel a v stacionárních zařízeních

Řešené problémy spočívají převážně v změnách konstrukce zařízení a široký okruh specializovaných řešitelských pracovišť (USA, Japonsko, SRN, Austrálie, JAR aj.) dává předpoklady pro průmyslovou realizaci jednotlivých zařízení v horizontu 2015. Ekonomicky a environmentálně přijatelné využití uhlí a pokročilé procesy jeho zplynění a ko-zplynění s uhlíkatými odpady řeší některé zásadní problémy energetiky a životního prostředí v perspektivě 2040/2050.

Tento příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného záměru A VOZ30460519.

Literatura - References

Bonk, D., L., Weinstein, R., E.: Why Solids-Based Combustion Technologies? *In: Proc. 20th Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf., Coal - Energy and the Environment, Pittsburgh, 2003, ISBN 1-890977-20-9.*

Ducháček, V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. *VŠCHT Praha, 1995, ISBN 80-7080-241-3.*

Giglio, R., S.: An Overview of FW-NETL Advanced Power System Programs for Reducing Greenhouse Gases, *In: Proc. 20th Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf., Coal - Energy and the Environment, Pittsburgh, 2003, ISBN 1-890977-20-9.*

Lau, F., S.: Future development prospects for manufactured gas units, *In: Proc. 21st World Gas Conf., Nice 2000.*

Lukes, A.,C., Wallach, D.,L.: The Great Plains Synfuels Plant - An Evolution, *In: Proc. 20th Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf., Coal - Energy and the Environment, Pittsburgh, 2003, ISBN 1-890977-20-9.*

Munson, CH., L. - Adams, J.: Cost Allocation Targets for Vision 21 Plant Modules, *In: Proc. 20th Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf., Coal - Energy and the Environment, Pittsburgh, 2003, ISBN 1-890977-20-9.*

Pašek, J.: Uhlíkaté suroviny, *VŠCHT Praha, 1996, ISBN 80-7080-249-9.*

Roubíček, V., Buchtele, J.: Uhlí, zdroje, procesy, užití. *Montanex, Ostrava 2002, ISBN 80-7225-063-9.*

Statistická ročenka životního prostředí ČR, *Český ekologický ústav Praha, 2001, ISBN 80 -7212-191-X.*

Statistická ročenka životního prostředí ČR, *Český ekologický ústav Praha, 2003, ISBN 80-7212-270-3.*

Swanson, M. et al.: Gasification of Low-Rank Coals in a Transport Reactor, *In: Proc. 21st Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf., Coal - Energy and the Environment, Osaka, 2004.*