

WASTE FORUM



RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU
A VÝVOJE PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

ROČNÍK 2010

číslo 5
strana 458 – 542

Patron čísla

**ODPADOVÉ
FÓRUM**

ODBORNÝ MĚSÍČNÍK O ODPADECH A DRUHOTNÝCH SUROVINÁCH

www.odpadoveforum.cz

© České ekologické manažerské centrum 2010

OBSAH

Úvodní slovo šéfredaktora	460
Pro autory	460
Prognóza vývoje odpadového hospodářství v České republice <i>Bohumil Černík, Libuše Benešová, Markéta Doležalová</i>	461
Metoda stanovení produkce komunálních odpadů <i>Zdenka Kotoulová, Bohumil Černík</i>	473
Využití stochastického programování při optimalizaci provozních kapacit zařízení v systému integrovaného nakládání s odpady <i>Lubomír Nondek</i>	484
Srovnání nakládání s biologickým odpadem v integrovaných systémech nakládání s odpady <i>Jiří Hřebíček, Zdeněk Horsák, Jiří Kalina, František Piliar, Miroslav Lacuška</i>	491
Možnosti náhrady nového přírodního drceného kameniva v konstrukčních vrstvách pražcového podloží <i>Petr Kučera</i>	497
Vlastnosti betonu se syntetickými vlákny a recyklovaným kamenivem <i>Vladimíra Vytlačilová</i>	506
Recyklace malých elektrotechnických a elektronických výrobků v současných ekonomických podmínkách <i>Pavel Žák, Ivan Kudláček, Vratislav Žák</i>	513
Fixace olovnatých iontů v alkalicky aktivovaných aluminosilikátových matricích <i>Pavla Rovnaníková, Naděžda Krmíčková</i>	519
Stabilizace/solidifikace odpadu s obsahem olova pomocí fosforečnanového cementu <i>Roman Slavík, Vratislav Bednařík, Markéta Julinová, Simona Svobodová</i>	527
Nonylfenoly v kalech z komunálních ČOV <i>Marie Michalová</i>	533
WASTE MANAGEMENT FORUM (ODPADOVÉ FÓRUM) Specialised Monthly Journal on Wastes and Secondary Materials	539



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

máte před sebou letošní poslední číslo. Je letos již páté, protože minulé, které vyšlo zhruba před měsícem bylo tak říkajíc nad plán, připravili jsme jej společně s organizátory 14. ročníku mezinárodní konference RECYKLÁCIA ODPADOV / WASTE RECYCLING, kterou pořádá Ústav geotechniky SAV v Košicích a která se konala 2. až 3. prosince 2010.

Poněkud jsme tím zmátli některé autory příspěvků z tohoto čísla, kteří se mne dotazovali, proč jejich příspěvek nevyšel. Kdyby si přečetli

Slovo šéfredaktora z onoho čísla, dozvěděli by se, že v letošním roce vyjde ještě jedno číslo (tím je míněno toto, které máte před sebou).

Využívám toho, že toto číslo vychází těsně před Vánoci a chci touto cestou popřát všem dosavadním i budoucím autorům příspěvků pro tento časopis, recenzentům i jeho čtenářům příjemné prožití vánočních svátků a hodně štěstí a osobních i profesních úspěchů v novém roce.

Pro příští rok předpokládám zachování stejných dat uzávěrek pro jednotlivá čísla jako v letošním roce, tj. 8. ledna, 8. dubna, 8. července a 8. října. Znamená to, že **redakční uzávěrka nejbližšího čísla je již 8. ledna 2011.**

Ondřej Procházka

Pro autory

České ekologické manažerské centrum (CEMC) na vydávání časopisu WASTE FORUM nedostává žádnou podporu z veřejných zdrojů. Proto se snažíme minimalizovat náklady spojené s vydáváním tohoto časopisu. Proto je časopis vydáván pouze v elektronické podobě a čísla jsou zveřejňována na volně přístupných internetových stránkách www.WasteForum.cz.

Pro snížení pracnosti přípravy jednotlivých čísel požadujeme, aby autoři posílali příspěvky do redakce v kompletně zalomené podobě se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvané „**printer-ready**“. Pokyny k obsahovému členění a grafické úpravě příspěvků spolu s přímo použitelnou **šablonou grafické úpravy** ve WORDu jsou uvedeny na www-stránkách časopisu v sekci **Pro autory**.

Uveřejnění příspěvků v časopisu WASTE FORUM je v zásadě bezplatné. Nicméně abychom příjmově pokryli alespoň nezbytné externí náklady spojené s vydáváním časopisu (odměny recenzentům, poplatky za webhosting, softwarová podpora), vybíráme symbolický poplatek za uveřejnění poděkování grantové agentuře či konstatování, že článek vznikl v rámci řešení určitého projektu. Více na www-stránkách v sekci **Inzerce**.

WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství

ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Ročník 2010, číslo 5

Vydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, IČO: 45249741, www.cemc.cz

Adresa redakce: CEMC, Jevanská 12, 100 31 Praha 10, ČR, fax: +420/274 775 869

Šéfredaktor: Ing. Ondřej Procházka, CSc., tel.: +420/274 784 448, 723 950 237, e-mail: prochazka@cemc.cz

Redakční rada: Prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D., prof. Ing. František Božek, CSc., prof. Ing. František Kaštánek, CSc.,
prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc., prof. Ing. Karel Obroučka, CSc., doc. RNDr. Jana Kotovicová, Ph.D., doc. Ing.
Vladimír Čablík, CSc., doc. Ing. Lubomír Růžek, CSc., doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc., Ing. Vratislav Bednařík, CSc.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Prognóza vývoje odpadového hospodářství v České republice

Bohumil Černík, Libuše Benešová, Markéta Doležalová

Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Benátská 2, 128 01 Praha 2, E-mail: cernik.bohumil@centrum.cz

Souhrn

Tento příspěvek vznikl na základě řešení projektu výzkumu a vývoje Ministerstva životního prostředí ČR "Odpady obcí – environmentální a sociální problém budoucnosti". Obsahuje věcnou a metodologickou stránku řešení, hodnocení stavu a trendů v systému odpadového hospodářství obcí v ČR do roku 2015/2020. Úvodní analýzou bylo stanoveno osm subsystémů, které byly podrobněji zkoumány z hlediska minulého vývoje s cílem popsat jeho reprezentativní charakteristiky, tj. takové vlastnosti, které dosahovaly nejvýraznějších změn v čase a relevantní faktory, které na tyto změny působily.

Vzniklý prognostický systém, jako modelový obraz reálného systému nakládání s komunálními odpady v ČR, vytvořil základní "architekturu" řešení prognostické úlohy zabývající se hledáním možných budoucností tohoto systému do roku 2020 a klíčových faktorů, které vývoj systému budou ovlivňovat. Budoucnosti systému jsou popisovány na základě vývoje reprezentativních charakteristik s využitím matematického aparátu lineárních regresí a s pomocí stupně naplnění požadavků uživatelů systému v prostředí čtyř scénářů hospodářského vývoje ČR a vývoje právních předpisů v oblasti odpadového hospodářství. Výsledkem prognostické práce je zjištění, že zvolená metoda osvědčila použitelnost v předvídání možných budoucností systému nakládání s komunálními odpady v ČR. Za určující faktor, který indikuje trend spokojenosti jednotlivých uživatelů systému nakládání s komunálními odpady v budoucnu lze považovat vlastnickou strukturu provozovatelů služeb a v ní podíl výkonů poskytovaných privátním sektorem.

Dalším rozhodným faktorem je preference obsluhy větších územních celků spočívající ve vytváření integrovaných regionálních systémů má větší předpoklady pro optimalizaci systémů a efektivní plnění strategických cílů nakládání s komunálními odpady. Rovněž je z uvedených argumentů zřejmé, že v roce 2015 bude pravděpodobně vyprodukováno 2-4 mil. t komunálních odpadů, které nebudou smět být skládkovány. Tato práce představuje první pokus o predikci vývoje oboru odpadového hospodářství v ČR. V odborné literatuře nebyl obdobný metodický přístup zaznamenán.

Klíčová slova: Prognostika, Komunální odpady, Odpadové hospodářství, Veřejná správa, Regresní analýza

Úvod

Odpadové hospodářství České republiky prošlo po roce 1990 zásadními změnami vlastnictví, změnami technologickými i ekonomickými. Zcela nově bylo definováno poslání systému nakládání s komunálními odpady od dřívější "služby veřejnosti" k nynější liberalizované "podnikatelské příležitosti". Podstatným vnějším faktorem pak byla postupná harmonizace právního řádu v souvislosti s členstvím ČR v EU od roku 2004. Ta přinesla nároky na technickou vybavenost území i nároky na pochopení role veřejné správy a to v souvislosti s vytvářením obecních, krajských a národního plánu odpadového hospodářství. To vše v prostředí dynamického nárůstu produkce domovních a živnostenských odpadů souvisejícím se zlepšující se hospodářskou kondicí českých domácností i celé společnosti. Zcela zásadní proměnou prošly v posledních 15 letech postoje veřejnosti i podnikatelské sféry k odpovědnosti za oblast životního prostředí, včetně odpadového hospodářství.

Jak se bude odpadové hospodářství v České republice v tomto "kotli změn" vyvíjet? Které změny jsou pro další vývoj "klíčové"? Jaké nové, dosud nezřetelné, faktory budou hrát v budoucnu roli? Jaká rizika může budoucnost přinést a jaká opatření přijmout? Jaké nerovnováhy mohou vzniknout při různých zájmech veřejného a privátního sektoru v odpadovém hospodářství? Bude možné takové zájmy

sladit? Jak budou naplněna očekávání občanů a obcí v budoucnosti? Jak bude systém ovlivňován budoucím vývojem české ekonomiky i dalším vývojem požadavků právních předpisů? Jak se celá Evropa vypořádá s konkurujícími americkými a asijskými ekonomikami a jaké dopady to bude mít na odpadové hospodářství? Co způsobí probíhající hospodářská krize ?

Lze jistě vyjmenovat další důvody zájmu o možné budoucnosti systému nakládání s komunálními odpady v ČR.

Základní teoretický rámec práce tvoří metodologie prognostiky a pojetí prognostické praxe se zaměřením na řešení normativních predikcí¹¹ a koncept systémové prognostiky¹⁶. Tyto teoretické modely mají fundamentální význam a jakékoliv další prognostické přístupy jsou z nich odvozeny.

Normativní predikce zahrnuje všechny funkční podsystémy předmětu prognózy:

- skutečnost technologickou (poznání se řídí zákonitostmi technických a přírodních oborů),
- skutečnost organizační (poznání se řídí vztahy a postoji osob),
- skutečnost institucionální (poznání se řídí přijatými normami – strategiemi, právními předpisy) a tím představuje neredukovanou prognostickou úlohu s nejrozsáhlejšími nároky na poznání předmětu prognózy a jeho okolí. Někdy se taková řešitelská praxe označuje termínem "výzkum budoucnosti".

K základním krokům výzkumu budoucnosti patří:

- předprognózní analýza (určení informačních potřeb uživatele prognózy),
- hodnotová analýza strategie (dlouhodobé cíle a trendy subjektů),
- srovnávací analýzy (vývojové tendence subsystémů a prvků předmětu prognózy),
- popis vývojových tendencí reprezentativních charakteristik (vztah proměnných veličin),
- tvorba scénářů vývoje okolí předmětu prognózy (vývoj hybných sil),
- simulace vývoje hodnot pro subjekty (naplňování požadavků).

Systémová prognostika pracuje s modelem, který je účelovou reflexí předmětu prognózy. Takový model se označuje jako prognostický systém. Nejedná se o zjednodušení reality, nýbrž o nástroj, který slouží k poznání a následnému ovlivnění vývojových možností. Vývoj prognostického systému pak představuje uspořádaný proces jeho změn, přičemž v průběhu prognostické úlohy je zjišťováno, co se v systému mění, čím je tato změna vyvolána a k jakým důsledkům vede.

Poznání vývojových mechanismů prognostického systému a identifikace relevantních podnětů působících na změny systému pak dovoluje vymezit potenciální stavy prognostického systému. Předmětem prognostické práce tedy není určení budoucnosti předmětu prognózy, nýbrž určení prostoru vývojových možností – tedy budoucností.

Vlastní prognostická práce pak respektuje obvyklé členění poznávacího procesu na:

- deskripci – popis předmětu prognózy (definice prognostického systému a jeho subsystémů a prvků a jeho okolí, včetně popisu jejich vzájemných vztahů; popis vývoje předmětu prognózy v minulosti),
- explanaci – popis vývojových mechanismů (zadání, řešení a modifikace hypotéz),
- predikci – popis vývojových možností (simulace, specifikace klíčových proměnných, ověření prognózy).

Za komunální odpady jsou považovány odpady skupiny 20 Katalogu odpadů vznikající ve sféře bydlení (domovní odpady, objemné odpady) a služeb (živnostenské odpady). Roční evidovaná produkce komunálních odpadů (podle §39 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech) v ČR se v posledních 10 letech pohybuje kolem 4,2-4,6 mil. t¹⁵.

Obor nakládání s komunálními odpady zahrnuje umístění odpadu do sběrné nádoby, svoz komunálních odpadů, zpracování komunálních odpadů v zařízeních a skládkování. Technickou složku oboru představují jednotlivá technologická zařízení, organizační složku pak provozovatelé technologických zařízení (firmy) a institucionální složku příslušné orgány veřejné správy umožňujících činnost těchto provozovatelů na území ČR. Tento předmět prognózy byl transformován do podoby prognostického systému.

Cílem řešení zadané prognostické úlohy vývoje oboru nakládání s komunálními odpady je určit vývojové možnosti prognostického systému do roku 2010/2015/2020 a to na půdorysu očekávaných požadavků uživatelů oboru nakládání s komunálními odpady. V průběhu prací byly definovány čtyři skupiny uživatelů:

- občan (požadavky na odvoz odpadů, umožnění separace využitelných složek, umožnění odložení objemných, nebezpečných odpadů),
- obec (požadavek komplexní a kvalitní služby za nízké ceny),
- stát (požadavek plnění strategií a právních předpisů),
- zpracovatel výstupů (požadavek stabilních a kvalitních dodávek druhotných surovin).

Využití prognostické metodologie k projekci vývoje systému nakládání s odpady na národní úrovni, se zohledněním očekávaných potřeb jednotlivých jeho uživatelů a plnění požadavků právních předpisů, nebylo v dostupné odborné literatuře zaznamenáno.

Metody

Velká setrvačnost v provádění změn struktury i chování oboru nakládání s odpady v ČR vedou k potřebě analyzovat tento obor v dlouhodobých trendech s využitím co nejdelších časových řad relevantních dat. K tomu musel být přizpůsoben i výběr výzkumných metod, které lze rozdělit na:

- informační (literární rešerše, studie),
- analytické (retrospektivní problémová analýza, hodnotová analýza, analýza SWOT, metoda scénářů),
- průzkumné (sociologický průzkum, rozbor složení domovních odpadů),
- statistické (regresní analýza, třídění prvního a druhého stupně, testy významnosti, analýza průměrů, faktorová analýza),
- prognostické (normativní predikce, systémová prognostika, strom významnosti/cílů).

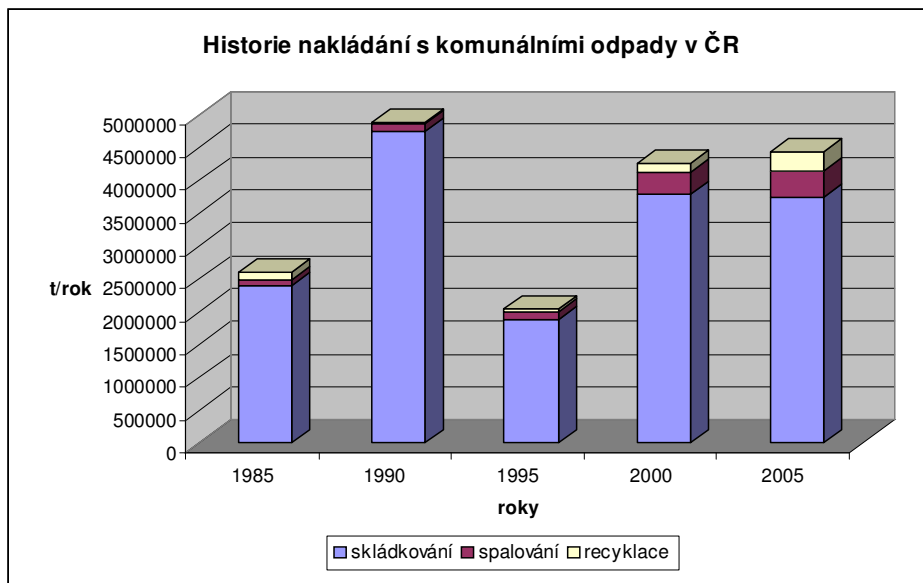
Retrospektivní problémová analýza oboru nakládání s komunálními odpady v ČR od roku 1970⁴ představuje deskriptivní část práce zaměřenou na hodnocení minulých stavů a trendů. Výsledkem této analýzy je konstatování, že klíčovým prvkem oboru nakládání s komunálními odpady v ČR v současnosti je vývoj kvalitativních parametrů ve všech složkách (především ve veřejné správě a u podnikatelských subjektů) v prostředí transparentními pravidly kodifikované volné soutěže a rovněž úroveň vazeb mezi těmito prvky. Druhá část deskriptivní fáze prognózy vývoje oboru nakládání s komunálními odpady v ČR spočívala ve zpracování srovnávacích studií v 8 stanovených aspektech:

- strategické dokumenty,
- právní předpisy,
- veřejná správa,
- technicko-ekonomické charakteristiky,
- produkce a složení komunálních odpadů,
- sociální souvislosti,
- obce,
- podnikatelské prostředí.

Srovnávací studie

Cílem zpracování srovnávacích studií byl podrobný popis vývoje předmětu prognózy v minulosti a na základě časových řad hodnot jednotlivých ukazatelů, identifikace takových ukazatelů, které zaznamenávají v čase nejvýraznější změny. Pouze takový ukazatel může totiž být obrazem změn celého oboru nakládání s komunálními odpady v ČR. Protože čas není vývojovým faktorem, ale pouze měřítkem vývoje, nelze vysvětlovat minulý vývoj na základě jeho prolongace, nýbrž je třeba stanovit předpokládané vlivy, které na změny ukazatelů v minulosti měly největší (pozitivní/negativní) dopady.

Základní informaci o vývoji oboru nakládání s komunálními odpady v ČR v minulých 20 letech podává obrázek 1.



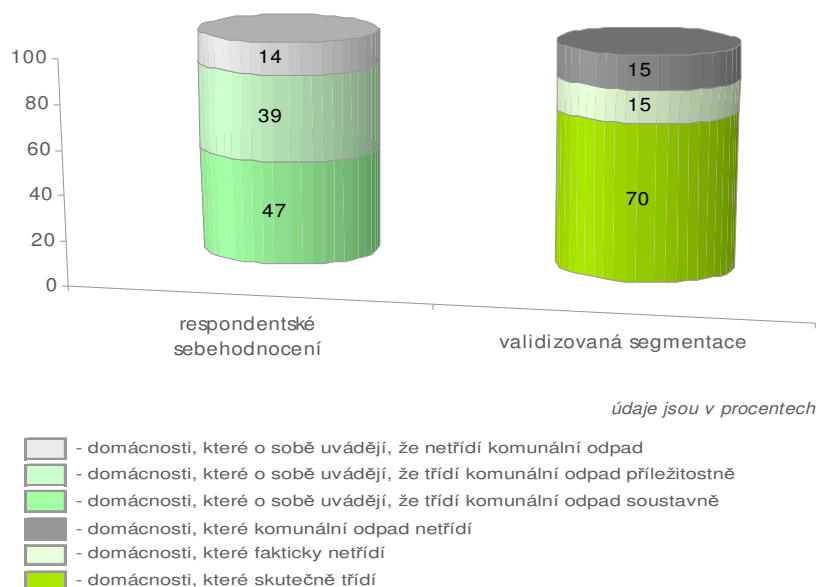
Zdroj: Statistické ročenky životního prostředí ČR, 2006

Obrázek 1: Podíl recyklace, spalování a skládkování komunálních odpadů v ČR v letech 1990-2005

Výkyvy v produkci komunálních odpadů v letech 1990 a 1995 nemají věcný základ, pouze ilustrují nedokonalou evidenci.

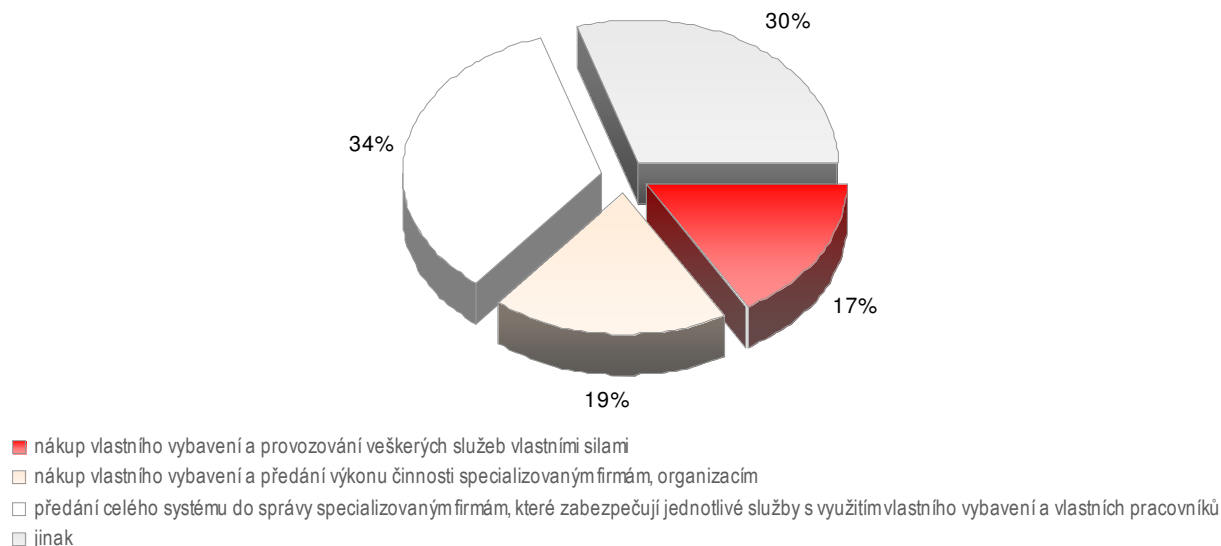
Rovněž složení domovních odpadů, které jsou vedle objemných odpadů a odpadů ze živností, součástí komunálních odpadů zaznamenala v posledních 20 letech zásadní změny. Tato zjištění byla učiněna na základě srovnání výsledků rozborů domovních odpadů. Zastoupení jednotlivých složek domovních odpadů úzce koreluje především se spotřebou relevantních spotřebitelských obalů, s kupní silou obyvatel (vydání domácností) a s celkovou hospodářskou kondicí státu (úroveň HDP).

Podstatné změny se však odehrály i ve spotřebitelském chování obyvatel ČR a v jejich postojích k ochraně životního prostředí. Toto zjištění bylo potvrzeno komplexním výzkumným šetřením provedeným nezávislou společností pro výzkum trhu¹³. K nejzajímavějším konstatováním patří fakt, že podíl obyvatel akceptujících obecní systémy nakládání s komunálními odpady dosahuje 70 %. Za indikátor akceptace byla zvolena účast občanů na separaci odpadů – obrázek 2.



Obrázek 2: Sociologické šetření – podíl domácností třídících odpady

Ve stejném výzkumném šetření bylo rovněž prokázáno, že obce jako původci komunálních odpadů podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, které jsou odpovědné za nakládání se svými odpady, preferují předání služeb spojených s nakládáním s odpady do rukou specializovaných společností – obrázek 3.



Obrázek 3: Sociologické šetření – vztah obcí ke službě spojené s odpady

Dalším významným konstatováním je fakt, že meziobecní spolupráce v této oblasti je pouze výjimečná a ochota obcí či krajů přijmout dlouhodobá řešení systému nakládání s komunálními odpady na regionální úrovni se v období po roce 2002, až na výjimky, nerealizovala.

Podnikatelskou strukturu oboru nakládání s odpady lze v ČR charakterizovat jako stabilizovanou. Velké privátní společnosti jsou a patrně i dále budou, díky svému inovačnímu a investičnímu potenciálu, nejvýznamnějším hybatelem změn v oboru odpadového hospodářství v ČR. Tento fakt zřejmě nezmění ani jedinečná investiční šance daná podporou veřejného sektoru ze strany fondů EU v letech 2007 – 2013. Absence jakékoliv manažerské strategie státu v odpadovém hospodářství, rozhodnutí státu nepodporovat výstavbu nových spaloven a neschopnost veřejné správy dohodnout se na efektivní regionální či nadregionální spolupráci (šance daná Plány odpadového hospodářství krajů zůstala nevyužita) tuto situaci pouze dokresluje. To však implikuje potřebu nastavit nové parametry komunikace veřejného a privátního sektoru, které by zajistily dlouhodobý soulad podnikatelských i veřejných (státních) zájmů v oblasti odpadového hospodářství v ČR.

Proměnné

Díličí srovnávací studie komplexně popsaly předmět prognózy – obor nakládání s komunálním odpadem v ČR – a identifikovaly takové jeho vlastnosti, které dosahovaly v minulosti nejvýraznějších změn. Tak vznikl soubor 14 ukazatelů – reprezentativních charakteristik předmětu prognózy a soubor 28 vlivů – faktorů, které mají pravděpodobně nejvýraznější dopad na vývoj hodnot těchto reprezentativních charakteristik. Tyto soubory byly podrobeny panelové diskusi odborníků.

Vedle toho srovnávací studie odkryly 4 typy uživatelů předmětu prognózy – občany, obce, stát a zpracovatele výstupů a poskytly přehled jejich požadavků na funkci předmětu prognózy a jejich priority (koeficienty významnosti jednotlivých požadavků).

Regresní analýza

Metodou, která předpoví chování (hodnotu) vysvětlované proměnné – reprezentativní charakteristiky – na základě známých hodnot vysvětlujících proměnných – faktorů, je regresní analýza.

Vlastní regresní analýza spočívá v hledání regresních koeficientů " β " v rovnici:

$$EY_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_{ij}$$

kde:

EY_i – reprezentativní charakteristika,

x_{ij} – faktor,

β_0, β_j – parametry regrese,

k – počet nezávislých proměnných.

V případě, že $k > 1$ a lze předpokládat lineární závislost mezi proměnnými, jedná se o vícenásobnou lineární regresi. Řešení těchto rovnic v prostředí MS Excel poskytlo pro jednotlivé reprezentativní charakteristiky a jejich faktory hodnoty parametrů regrese a výstupní regresní statistiku. Byla ověřována vzájemná nezávislost faktorů (Spearman test) a normální rozdělení proměnných (Shapiro-Wilk test). Specializovaná statistická SW nebyly použitelné, protože nedokázaly pracovat s neúplnými časovými řadami dat. Příklad výpočtu pro reprezentativní charakteristiku "počet třídíren" je v následující tabulce:

Tabulka 1: Vícenásobná lineární regrese – počet třídíren

rok	EY třídírny	x1 kvalitativní požadavky na druhotné suroviny	X2 ceny druhotných surovin	X3 výtěžnost separace	X4 odměny obalové společnosti
jednotky	počet	škála	Kč/t	kg/obyv.rok	Kč/t
1990	0	3	3000	1	0
1991	0	3	3000	1	0
1992	0	3	3000	1	0
1993	0	3	2500	1	0
1994	1	4	2600	1	0
1995	2	5	3000	1	0
1996	4	5	3500	1	0
1997	5	6	3800	1,5	0
1998	11	6	4500	2,2	0
1999	19	7	5500	9,3	0
2000	29	7	7000	10,2	4770
2001	31	8	9700	13,2	4910
2002	34	8	7950	16,1	8450
2003	42	9	8900	18,5	10030
2004	55	9	15050	21	11480
2005	60	10	18700	22,9	11560

Regresní statistika

β_4	β_3	β_2	β_1	β_0
0,000653	1,037994	0,001202	1,713332	-9,60727
střední chyba výpočtu regresních koeficientů				
0,000455	0,352635	0,000304	0,587734	2,391285
R ²	S			
0,993091	2,022014	#N/A	#N/A	#N/A
F-statistika	počet st. volnosti			
395,2795	11	#N/A	#N/A	#N/A
vysvětlená variabilita	nevysvět. variabilita			
6464,464	44,97393	#N/A	#N/A	#N/A

Počet třídíren = -9,60727 + (1,713332 x kvalit. požadavky na druhotné suroviny) + (0,001202 x ceny druhotných surovin) + (1,037994 x výtěžnost separace) + (0,000653 x odměny obalové společnosti).

Řešení všech 14 reprezentativních charakteristik prognostického systému⁴ umožnilo provádět relevantní simulace prognostického systému. Časové řady všech proměnných jsou z prostorových důvodů uvedeny v⁴.

Podmínkou další prognostické práce s vývojovými možnostmi prognostického systému popsány uведенými regresními rovnicemi je předpoklad, že platí-li popsané vztahy mezi proměnnými v minulosti, budou platit i v budoucnosti. Oprávněnost tohoto předpokladu přirozeně klesá s horizontem prognózy.

Platí-li uvedený předpoklad, lze matematický vztah mezi proměnnými využít k výpočtu budoucích hodnot závisle proměnné na základě znalosti budoucích hodnot nezávisle proměnných. Klíčovou oblastí je tedy odhad budoucího vývoje hodnot těchto nezávislých proměnných. Vychází se vždy z úvahy, že odhad vývoje ve specifických oblastech nezávislých proměnných je, i s ohledem na jejich počet, přesnější, než přímý odhad vývoje závisle proměnné.

Přibližně polovinu z 28 definovaných faktorů lze označit jako faktory vnější z pohledu prognostického systému a zbývající vnitřní faktory (např. odměny autorizované obalové společnosti, podmínky výběrových řízení obcí, kvalita řízení v podnikatelských subjektech) budou vždy částečně reflektovat vývoj vnějšího prostředí (např. vývoj hospodářství, vývoj právního vědomí). Odhad budoucího vývoje hodnot nezávislých proměnných byl proto proveden několika postupy:

- jiné prognózy (vývoj počtu obyvatel (Český statistický úřad), HDP a výdaje domácností (Ministerstvo financí ČR, Česká národní banka),
- expertní odhady (spotřeba obalů, vývoj požadavků právních předpisů, postup privatizace, modernizace veřejné správy),
- prolongace vývoje (ceny, odměny, bonusy),

a to vždy na pozadí předpokládaného vývoje okolí prognostického systému.

Scénáře

Vývoj okolí prognostického systému pro horizont prognózy 2020 byl popsán metodou scénářů, která představuje chronologické řazení dílčích událostí v okolí prognostického systému na základě logických souvislostí⁴. Byly vyhodnoceny 2 hybné síly budoucího vývoje okolí prognostického systému – právní úprava a vývoj ekonomiky, které v nezávislých extrémních vývojiích vymezují 4 možné budoucnosti – scénáře – vývoje okolí systému.

Scénář 1 – VÍTĚZNÝ BYZNYS

Vysoký hospodářský růst podpořený mj. tvrdou liberalizací, uplatňováním strategického řízení, částečnou privatizací státní správy. Environmentální regulaci budou podléhat jen oblasti, kde se objektivně prokáží pozitivní dopady na životní prostředí; vše ostatní bude záležitost trhu.

Scénář 2 – CO JE DOMA...

Nízký hospodářský růst, politické kompromisy, prosazování "šedé ekonomiky", nacionalismus a vícerychlostní Evropa budou rezultovat v bezfunkčnost EU. Environmentální oblast bude kolbiště bez pravidel.

Scénář 3 – EVROPA

Vysoký hospodářský růst, stabilní politický systém, využití dotací EU a přínosů zahraničního kapitálu, aktivní zapojení do Evropy, která si uvědomila svoji identitu, výhody heterogenity Evropy, kulturní a historické tradice jednotlivých států. Konsenzuální ekologická daňová reforma přinesla nové impulsy v environmentálních technologiích.

Scénář 4 – DO HLUBIN

Nízký hospodářský růst, rozpad EU na původní EU15 a zbytek zemí podléhajících vlivům východu, vítězství bezpráví nad právem, radikalismus, agresivita rezultují v rozval české společnosti. Extrémně-fundamentalistické hnutí prosadilo environmentální regulace, na které dohlíží environmentální policie.

Odborné odhady vývoje hodnot 28 používaných faktorů pro každý popsaný scénář budoucnosti byly pak použity v simulaci vývoje prognostického systému nakládání s komunálním odpadem v ČR.

Výsledky

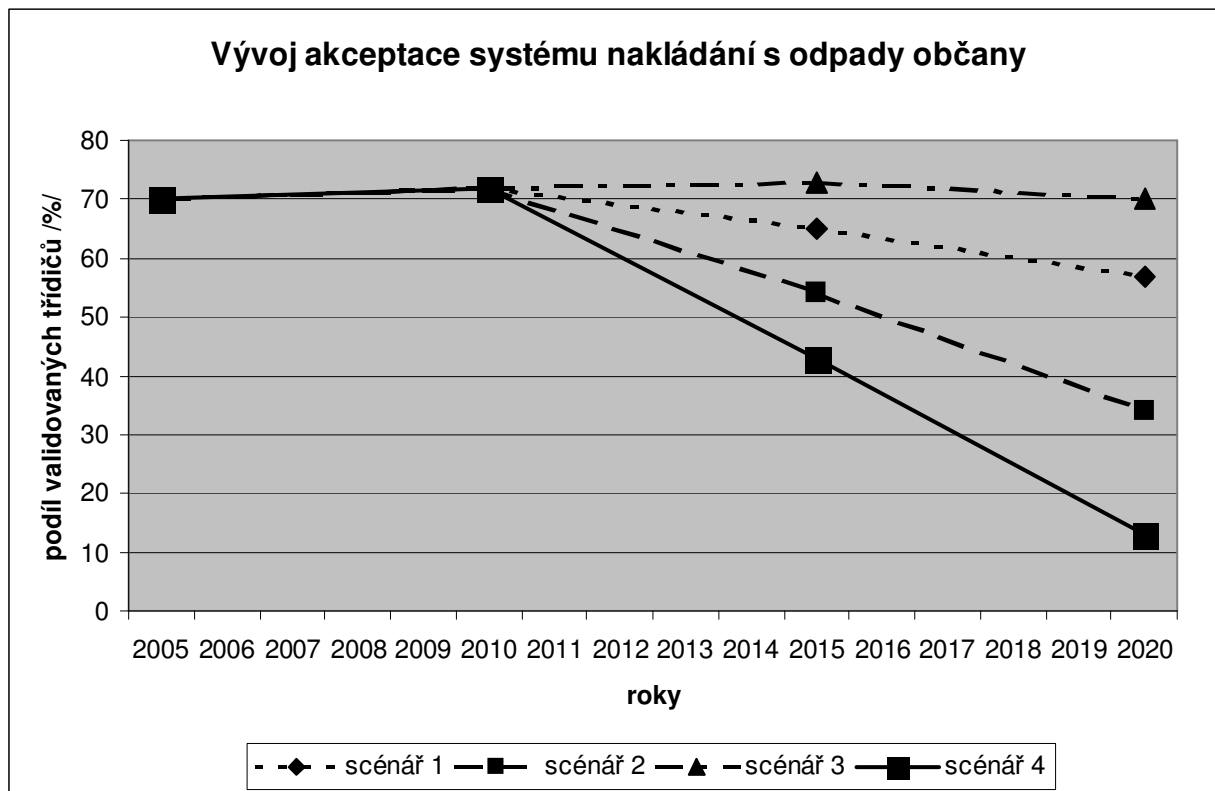
Zpracované simulace budoucího vývoje předpokládají další koncentraci českého trhu nakládání s komunálními odpady – ve scénáři 3 dokonce až k absolutní monopolizaci. To reálně není samozřejmě možné a ani žádoucí s ohledem na ztrátu konkurence. Co je však v jednotlivých horizontech prognózy očekávání hodné, je integrace služeb spojených s odpady do komplexního materiálově-energetického servisu území. Velmi pravděpodobně významné podnikatelské subjekty pochopí, že odpadové hospodářství je jen "odvrácenou tvář" materiálové logistiky a postupně vstoupí i na tento trh.

Varujícím signálem je očekávaný vývoj kvality řízení státní správy. Vrcholné období kvality řízení lze predikovat na rok 2010, pravděpodobně v souvislosti se vzdělávacími a informačními aktivitami subjektů využívajících fondy EU (2007-2013). Klesající tendence po tomto období budou mít pravděpodobně důvod ve fluktuaci pracovníků do privátní sféry. Dobrovolný charakter zavádění moderních metod řízení, atomizace správy (průměrná velikost obce 2400 obyvatel), neschopnost přijmout relevantní politická rozhodnutí (zákon o státní službě, podpora slučování formou společenství obcí) a pravděpodobně nadále rozevírající se "mzdové nůžky" mezi veřejným a privátním sektorem budou očekávanými příčinami tohoto jevu. S výjimkou scénáře 2 bude do budoucnosti klesat aktivita veřejné správy v tvorbě obecních systémů nakládání s odpady a to ve prospěch smluvních podnikatelských subjektů. Analyzované současné tendence většiny českých obcí k out-sourcingu těchto služeb (a dokonce i majetku s tím spojeného) tento již nastoupený trend jen potvrzují. Také politika EU, která služby spojené s odpady nezahrnuje pod statut veřejné služby s povinností garance kvality a transparentnosti cen vůči občanům, to jen dokládá.

Určitým vyvážením vztahu veřejného a privátního sektoru by mohlo být dosaženo přesunem odpovědnosti za další nakládání s komunálními odpady na velké obce (nad 100 000 obyvatel) nebo na kraje doprovázené povinností formulovat představy o svém regionálním systému nakládání s komunálním odpadem. Období po Plánech odpadového hospodářství krajů (2002-2008) však posun krajů v tomto smyslu zřetelně nesignalizuje a klíčovým hybatelem proto budou velké privátní společnosti. Ve srovnání se zeměmi EU15 se však ukazuje, že tento přirozený vývoj bude zřejmě optimální – očekávaným vysokým nárokům v odpadovém byznysu budoucnosti mohou s úspěchem dostát jen ekonomicky efektivně působící, relevantním know-how vybavené, kapitálově vyspělé společnosti schopné zaplatit kvalitní zaměstnance.

Akceptace systému

Celá prognostická úloha je postavena na hodnocení nabídky a akceptace služby nakládání s komunálními odpady. Významné tedy bude nejen to, jaká bude technická vybavenost systému a strategie a kvalita řízení u podnikatelských subjektů a veřejné správy, nýbrž také to, jak zavedené systémy budou akceptovat jejich uživatelé – občané a původci odpadů. Z výsledků je patrné, že akceptace ze strany obyvatel bude v jednotlivých scénářích stagnovat, či klesat, zatímco ze strany původců odpadů stoupat (s výjimkou scénáře 2 a 4) – obrázek 4.



Obrázek 4: Vývoj akceptace systému nakládání s komunálními odpady občany

Stagnace podílu obyvatel na akceptaci existujících systémů nakládání s komunálními odpady vyjádřená reprezentativní charakteristikou "podíl validovaných třídíčů" je vysvětlitelná určitou "standardizací" činností s tím spojených v běžném životě obyvatel, která se bude vždy týkat jen části populace. Současné sociologické průzkumy však varovně hovoří o určité neukotvitelnosti této činnosti, tzn. aktivní akceptace systémů silně odvisí od medializovaných negativních příkladů a musí být proto neustále podporována relevantními impulsy. Jednotlivé scénáře zřejmě popisují obě varianty stavu – stane-li se aktivní využívání systémů nakládání s komunálními odpady občany "běžnou součástí jejich života, o které ani nepřemýšlí a o jejímž smyslu nemusí být přesvědčováni" pak nastane situace popisovaná scénářem 3. V opačném případě může být pozornost občanů stržena konkurenčními tématy a akceptace systému může v budoucnu klesat.

Produkce odpadů

Zvláštní pozornost byla věnována prognóze kvalitativních a kvantitativních charakteristik domovních odpadů. Produkce domovních odpadů se do roku 2015, ve srovnání s rokem 2001, zvýší ze 150 – 200 kg/obyv.rok (podle typu zástavby) až na 315 – 335 kg/obyv.rok. Při očekávaném nárůstu počtu obyvatel to bude znamenat v roce 2015 celkovou produkci domovních odpadů cca 3,6 mil. t/rok a celkovou produkci komunálních odpadů až 6 mil. t/rok (v roce 2005 bylo v ČR evidováno 4,4 mil. t komunálních odpadů).

S ohledem na nutnost omezovat skládkování komunálních odpadů (Směrnice 99/31/ES) a nemožnost výstavby nových spaloven komunálních odpadů (deklarovaná restrikce ze strany státu v Plánu odpadového hospodářství ČR) bude v roce 2015 existovat v ČR dost závažný problém jak naložit s cca 2 – 4 mil. t komunálních odpadů (podle tempa hospodářského vývoje). A to se všemi mezinárodně-právní důsledky pro ČR, protože vyprodukovaná množství komunálních odpadů budou bezpochyby uložena na skládky.

Uživatelé systému

Plní-li předmět prognózy nějaké funkce, tzn. existují-li uživatelé předmětu prognózy se svými požadavky na fungování předmětu prognózy, pak má smysl ptát se, jak budoucí vývoj tyto požadavky naplní, popř. jaké faktory a jak stimulovat k tomu, aby k naplnění požadavků došlo v žádané míře. K tomu je nezbytné, v rámci syntézy prognostického systému, vyslovit předpoklady o tom, jaká(é) reprezentativní charakteristika(y) prognostického systému a jejich vývoj zajistí naplnění konkrétního požadavku a jaká je jejich vzájemná významnost.

Soustava vztahů v rámci syntézy prognostického systému má často podobu stromu významu (relevance tree), v kterém jsou řazeny a kvantitativně hodnoceny relativní významnosti vývoje jednotlivých reprezentativních charakteristik vzhledem k jejich podílu na naplňování relevantních požadavků uživatelů. Prognostické simulace⁴ vypočítaly hodnoty bezrozměrných koeficientů, které indikují trendy v naplnění požadavků jednotlivých uživatelů systému nakládání s komunálním odpadem v ČR v letech 2010, 2015 a 2020. Vyšší hodnota bezrozměrného koeficientu ve srovnání s hodnotou pro rok 2005 znamená vyšší uspokojení daného požadavku a naopak.

Jednoznačně pozitivní vývoj vnímání systému nakládání s komunálními odpady v ČR u všech uživatelů je zaznamenán ve Scénářích 1 a 3, tzn. scénářích s vysokým hospodářským růstem a nízkou/vysokou mírou environmentální regulace. Opačné hodnocení vychází u Scénářů 2 a 4 s nízkým hospodářským růstem a nízkou/vysokou mírou environmentální regulace. Vyplývá z toho fakt, že vývoj hospodářství je pro budoucnost systému nakládání s komunálními odpady v ČR důležitější hybnou silou, než environmentální regulace. Zdá se, že volný trh s minimem pravidel bude nejlepším prostředkem k vytváření potřebných kapacit k nakládání s komunálními odpady.

Je jisté na místě zjistit, které z uvažovaných faktorů mají největší vliv na změnu hodnoty reprezentativní charakteristiky a tím i na změnu bezrozměrného koeficientu indukujícího trend spokojenosti jednotlivých uživatelů systému nakládání s komunálními odpady v ČR v budoucnosti. Jinak řečeno, který z uvažovaných faktorů by bylo vhodné ovlivňovat tak, aby došlo k žádoucímu vývoji. Provedená citlivostní analýza odhalila následující "neuralgické body" systému nakládání s komunálními odpady v ČR v budoucnosti:

- privatizace,
- kvalita zaměstnanců (firmy, úřady),
- počet obcí v systému,

ke kterým se pro rok 2020 pro všechny scénáře přidružují:

- ceny služeb,
- koncentrace trhu,
- podmínky výběrových řízení,
- bariéry zapojení občanů.

Za určující faktor, který indikuje trend spokojenosti jednotlivých uživatelů systému nakládání s komunálními odpady lze považovat vlastnickou strukturu provozovatelů služeb a v ní podíl výkonů poskytovaných privátním sektorem. Kapitálově silné privátní popř. velké městské společnosti, s odpovídajícím know-how a s kvalifikovanými zaměstnanci z hlediska všech uživatelů systému mají předpoklady jeho efektivní modernizace a úspěšného provozu.

Dalším rozhodným faktorem je počet obcí respektive zákazníků napojených na provozovatele systému. Preference obsluhy větších územních celků spočívající ve vytváření integrovaných regionálních systémů má větší předpoklady pro optimalizaci systémů a efektivní plnění strategických cílů nakládání s komunálními odpady.

Výhledově se k rozhodným faktorům řadí výše ceny služeb spojených s komunálními odpady. V případě liberalizace trhu vyvolá zvýšení cen služeb poptávku po jiných způsobech nakládání s odpady, což bude znamenat pozitivní odklon od skládkování. Na druhou stranu vzniká riziko sociálně neudržitelné ceny služeb, zejména pro nízkopříjmové vrstvy obyvatel a z toho rezultující možný únik komunálních odpadů ze systému. To může mít významné dopady do oblasti hygienické, zdravotní

a ochrany životního prostředí obecně. Bude proto nutné, v případě potřeby, ze strany státu uplatnit určitou regulaci ceny služeb.

Dále nabývají na významu faktory, které charakterizují prostředí, ve kterém se výkony služeb uskutečňují, jsou to úroveň koncentrace trhu a podmínky výběrových řízení. Transparentní konkurenční prostředí se subjekty zaručujícími komplexní nabídku a provozování služeb jsou garancí požadované úrovně poskytování služeb.

Za významnou skutečnost modelující budoucí podobu systému nakládání s komunálním odpadem v ČR byly v analýze citlivosti vyhodnoceny bariéry pro zapojení občanů do systému. Jedná se o technické bariéry, tak i o snižování respektu k právním předpisům a snižování ochoty k obětem ve prospěch ochrany životního prostředí. Tato rizika musí být trvale eliminována trvalým informačním a vzdělávacím působením všech účastníků trhu a veřejné správy.

Závěry

Záměrem práce bylo touto prognostickou úlohou popsat vývoj možných budoucností systému nakládání s komunálními odpady v ČR do roku 2015 (2020) a najít nejvýznamnější faktory a popsat možná rizika jeho vývoje. Součástí záměru bylo rovněž specifikovat nástroje k eliminaci možných rizik a navrhnout opatření k realizaci relevantních nástrojů.

Budoucnost oboru nakládání s komunálními odpady v ČR je předurčena vývojem české ekonomiky a environmentální legislativy. S ohledem na provázanost ekonomik ČR a států EU pak předmět prognózy souvisí i s kondicí evropského hospodářství v nejbližších letech a s procesem a výsledky tvorby evropských směrnic relevantních k odpadovému hospodářství.

Výsledkem prognostické práce je konstatování, že s ohledem na očekávaný vývoj kvantitativních a kvalitativních charakteristik domovních (komunálních) odpadů a na požadavky právních předpisů v oblasti recyklace a využívání obalových odpadů, regulace a omezování skládkování a s ohledem na státem deklarovanou restriktci energetického využití komunálních odpadů, lze do roku 2015 očekávat vážné potíže.

Jedním z rozhodujících opatření, k eliminaci důsledků prognózovaného vývoje bude nastavení nových parametrů kooperace veřejného a privátního sektoru (právní stabilita, dlouhodobé podnikatelské jistoty, poplatky za skládkování, ceny a odbyt energií, zkvalitnění výkonu státní správy), které by zajistily dlouhodobý soulad podnikatelských i veřejných (státních) zájmů v oblasti odpadového hospodářství ČR. Integrovaná řešení ve velkých územních celcích (NUTS2, svazové oblasti velkých podnikatelských subjektů či velkých měst) bude dalším logickým krokem.

Literatura

1. ALWAST, H., HOFFMEISTER, J., PASCHLAU, H.: 2005 oder "5 vor 12" – was passiert, wenn nichts mehr passiert?, *Müll und Abfall*, 1/2003, s.16 – 29
2. den BOER, E., den BOER, J., JAGER, J., 2005, Waste management planning and optimisation. Handbook for municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems, final report, Projekt LCA-IWM, ibidem-Verlag, Stuttgart, Deutschland
3. CHRISTIANSEN, K.M., FISCHER, C., 1999, Baseline projections of selected waste streams. Development of a methodology, Technical report No 28, EEA
4. ČERNÍK, B., BENEŠOVÁ, L., KOTOULOVÁ, Z.: Odpady obcí – environmentální a sociální problém budoucnosti, závěrečná zpráva projektu výzkumu a vývoje MŽP ČR SL/7/102/05, 2008
5. DASKAPOULOS, E., BADR, O., ROBERT, S.D., 1998, Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the EU countries and the USA. *Resource, Conservation and Recycling* 24, 155 – 166
6. DYSON, B., CHANG, Ni-Bin, 2005, Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling, *Waste Management* 25, 669 – 679
7. HAASE, H. D., SCHLESINGER, D.: Strukturanalyse der bayerischen Entsorgungswirtschaft, *Müll und Abfall*, 7/2004, s. 312 – 318

8. KARAVERYRIS V.: Prognose von Siedlungsabfaellen, disertační práce na TU Berlin, Fachbereich-Umwelt und Gesellschaft, 2000
9. KARAVEZYRIS, V., TIMPE, K.-P., MARZI, R.: Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste, IMACS, Elsevier Science B.V., 2002
10. KARAVEZYRIS, V., 2006, Prognosemethoden für die Bestimmung der Menge und Zusammensetzung fester Abfälle, Müll und Abfall Lieferung, (1) 1682, 1 – 29
11. PETRÁŠEK, F.: Základy hospodářské prognostiky, skriptum, – Praha, VŠE FNH, 1997, 143 s.
12. POTŮČEK, M.: Systematický rozvoj metodologie prognózování, zpráva výzkumného grantu GA ČR č. 403/03/0109, CESES FSV UK v Praze, Praha, (2003 – 2005)
- POTŮČEK, M. ed.: Manuál prognostických metod, – Praha, SLON, 2006, – 193 s.
13. REMR, J. et al.: Sociální souvislosti nakládání s komunálním odpadem v ČR, zpráva z průzkumu v programu VaV MŽP ČR SL/7/102/05, – Praha, Markent, 2006, – 135 s.
14. SNOEK, M.: Metoda tvorby scénářů a jejich uplatnění, In: Scenarios for the future of teacher education in Europe, ATEE-RDC19, Stockholm, 2002
15. STATISTICKÁ ročenka životního prostředí České republiky 2006, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 2006
16. ZEMAN, M.: Úvod do systémové prognostiky, Příručka specialisty, – Praha: IMP, 1985, 84 s.
17. ZVÁRA, K.: Biostatistika, MFF UK v Praze, Karolinum, 2004

Waste Management Forecasting In the Czech Republic

Bohumil Černík, Libuše Benešová, Markéta Doležalová

Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Benátská 2, 128 01 Praha 2, cernik.bohumil@centrum.cz

Summary

This entry has arisen on the basis of solving objectives of the Research and Development Project of the Ministry of the Environment of the Czech Republic: Wastes from municipalities – environmental and social problem of the future. It deals with the factual and methodological aspect of the solution and the status and trend assessment of the waste management system in municipalities in the Czech republic by 2015/2020. Eight subsystems which have been set in the introductory analysis were studied in more details in term of the past development with a view to describe the representative characteristics thereof, and it means the properties mostly significantly changed in dependence on time and relevant factors acting upon those changes. The created prognostic system as a model view of the real system of municipal waste management in the Czech republic represents the basic architecture of the solution of a forecasting target concerning the search for possible future developments of this system by 2020 and for key factors which are expected to affect the system. Future developments of the system are described on the basis of representative characteristics with the use of the mathematical predictive apparatus of linear regression and regarding to the degree in which the requirements of the users of the system are fulfilled in the environment of four scenarios of economic growth in the Czech republic and the development of waste management legal regulations. Generally, the result of forecasting is the ascertainment that the used method has proved the applicability in the forecasting of possible future systems of municipal waste management in the Czech Republic. As the determining factor indicating trends toward the future satisfaction of users of the waste management system can be considered the ownership structure of waste services operators, and the rate of outputs provided by private sector therein. The further critical factor is the preference for serving bigger territorial units consisting in the creation of integrated regional systems with better assumptions to optimise systems and effectively fulfil strategic objectives of municipal waste management. Based on the arguments given above it is also obvious that 2 – 4 mil. t of municipal waste will be probably generated in 2015 which should not be landfilled.

Keywords: Forecasting, Municipal waste, Waste Management Disposal, Public Administration, Regression analysis

Metodika stanovení produkce komunálních odpadů

Ing. Zdenka Kotoulová^a, Ing. Bohumil Černík^b

^{a)} SLEEKO, Dětská 288, 100 00 Praha 10, kotoulova@quick.cz

^{b)} ENZO, Rezlerova 310, 109 00 Praha 10, cernik.bohumil@centrum.cz

Souhrn

Produkce komunálního odpadu v podmínkách ČR je sledována v Informačním systému odpadového hospodářství (ISOH) Ministerstva životního prostředí. Dalšími zdroji souhrnných informací je databáze Českého statistického úřadu a databáze EKO-KOM, a.s.. Informace o produkci komunálního odpadu uváděné provozovateli těchto databází vykazují často odlišné hodnoty. Příčiny tohoto stavu spočívají především v nejednotnosti vymezení pojmu komunální odpad a souboru vykazujících jednotek. Při zpracování koncepčních dokumentů je většinou vycházeno z dat shromažďovaných v rámci ISOH, která mají původ v evidenci původců komunálních odpadů a osob oprávněných k nakládání s těmito odpady. Kontrola takto evidovaných dat je velmi obtížná. Autoři v tomto příspěvku předkládají ověřený metodický postup stanovení standardů produkce komunálních odpadů a jejich aplikace za účelem zjištění celkové produkce a alokace odpadů v konkrétním území. Jedná se o výsledky řešení výzkumného projektu MŽP SP/II/2f1/2/07 „Identifikace prevenčního potenciálu živnostenských odpadů v ČR a jeho uplatnění v praxi“. Aplikace postupu v území je založena na soustavě standardů, pasportu živností a registru obyvatel. To jsou základní zdroje informací potřebné k naplnění výpočetního programu speciálně vytvořeného k tomuto účelu. Podle dostupných informací je zvolený postup v evropském měřítku zcela unikátní. Takto získaná data využívá samospráva k usměrňování činností v odpadovém hospodářství na svém území.

Klíčová slova: komunální odpad, odpad podobný komunálnímu odpadu, živnostenský odpad, produkce komunálního odpadu, produkce živnostenského odpadu

1. Úvod

Plán odpadového hospodářství České republiky (POH ČR) obsahuje pro komunální odpady kvantifikované cíle materiálového využití a omezování skládkování těchto odpadů. Podle výsledků dosavadních „Hodnotících zpráv o plnění POH ČR“ je dosažení těchto cílů hodnoceno jako problematické. Existuje přitom vysoký potenciál materiálového využití komunálních odpadů obsažených v odpadech ze sféry služeb a (malých) živností (dále jen živnostenské odpady). Tento potenciál není exaktně popsán a je spíše odhadován na základě informací o komunálních a jim podobných odpadech obsažených v některých výzkumných projektech¹ a z (nedostupných) dat zejména svozových firem. Přitom zákonná povinnost obcí i občanů k oddělenému nakládání s komunálním odpadem se týká samozřejmě také těchto živnostenských odpadů.

Komunální odpady jsou z hlediska evidence odpadů v podmínkách ČR definovány jako odpady z domácností a jim podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů². Zatímco základní charakteristiky odpadů z domácností (domovních odpadů) jsou dlouhodobě sledovány, analyzovány a projektovány dokonce i v rámci výzkumných projektů³, informace o podobných odpadech ze živností, úřadů a průmyslu (živnostenské odpady) jsou sporadické, nejednotné a neověřené. Určitým přínosem v této oblasti jsou výsledky řešení projektu výzkumu a vývoje⁴, jehož řešiteli jsou autoři příspěvku.

V rámci výzkumného projektu⁴ byl navržen, realizován a hodnocen metodický postup zaměřený na stanovení produkce komunálních odpadů v konkrétním území. Ověřený postup spočívá ve stanovení standardů produkce komunálních odpadů včetně živnostenských, výběru a zmapování konkrétního území s cílem aplikace standardů za účelem zjištění celkové produkce a alokace odpadů. Standardy produkce jsou stanoveny v činnostech definovaných pomocí CZ-NACE. Aplikace v území je založena na

pasportizaci živností a registru obyvatel. Pro aplikaci standardů na daném území byl vytvořen výpočetní program. Výsledky lze prezentovat jak v číselné podobě, tak lokalizovat pomocí GIS na katastru obce.

Získané informace může obec využít k optimalizaci systému nakládání s odpady na svém území, k rozhodování o zvolené strategii v odpadovém hospodářství a v neposlední řadě v kontrolní činnosti obce. Výsledky výzkumu potvrzují schopnost samosprávného orgánu samostatně realizovat stanovený metodický postup, interpretovat a využít získané informace při výkonu své činnosti správce území.

2. Experimentální část

Hlavní přínosy řešení výzkumného projektu ⁴ jsou zaměřeny na zlepšení situace v oblasti nakládání s komunálními odpady. Konkrétně jde o to identifikovat odpady produkované ve sféře služeb a malých živností, analyzovat produkci a nakládání s těmito odpady a na základě vyhodnocení navrhnout a rozpracovat nástroje směřující k předcházení vzniku odpadů, ke snížení měrné produkce těchto odpadů a ke zvýšení jejich využití.

K naplnění stanoveného cíle jsme přistoupili etapově. Prioritní byla identifikace živnostenských respektive komunálních odpadů. Následovalo vypracování metodiky zjišťování produkce živnostenských odpadů, kde bylo využito zkušeností z postupu uplatněného v roce 2005 pro EKO-KOM, a.s. ⁵. Vlastní výzkumné šetření proběhlo ve spolupráci s nezávislou agenturou (Markent, s.r.o.) ⁶. Šetření je současně podkladem pro stanovení standardů produkce živnostenských/komunálních odpadů. O standardech produkce je podrobněji dále pojednáno.

V navazující etapě jsme výzkumné práce zaměřili na vytipování a rozpracování nástrojů k předcházení vzniku živnostenských odpadů a ke zvýšení jejich využití. V této souvislosti se jedná v podstatě o tři oblasti experimentálních činností. Ve spolupráci s Centrem čistší produkce (CCP) Brno byly zpracovány demonstrační projekty čistší produkce pro vybrané obory živnostenského podnikání, které byly následně přepracovány ve vzorové prevenční manuály. České ekologické manažerské centrum (CEMC) Praha ve spolupráci s řešiteli vyprojektovalo a zprovoznilo internetový portál specializovaný na problematiku živnostenského sektoru www.tretiruka.cz. Cílem provozu portálu je poskytnout živnostníkům relevantní informace k předcházení a využití jimi produkovaných odpadů, informace související s ochranou životního prostředí a jejich celkovou podnikatelskou činností. Třetí oblastí, jejíž výzkumná problematika je v našem příspěvku podrobněji prezentována, je oblast aplikace standardů produkce odpadů v konkrétním území respektive metodický postup výpočtu produkce komunálních odpadů.

Výpočet produkce komunálních odpadů je orientován na stanovení produkce odpadů v konkrétním území. V této etapě prací bylo využito účinné spolupráce zástupců samosprávy města Jaroměř. Výpočet se provádí ve specializovaném výpočetním programu PROKOM. Výsledky lze prezentovat jak v číselné podobě (MS Excel), tak i lokalizovat na katastru obce pomocí GIS. Výpočet je založen na dvou souborech dat, jedná se o

- standardy produkce živnostenských/komunálních odpadů,
- pasport (evidence) živností/služeb na katastru obce.

2.1 Definování živnostenských/komunálních odpadů

Zahraniční informační zdroje dokládají, že jednotná a jednoznačná definice pojmu "živnostenský/é odpad/y" dosud v rámci EU neexistuje. Nejčastěji se tento pojem vymezuje negativně, jako "komunální odpad podobný domovnímu nepočázející z domácností". V některých definicích (Evropská environmentální agentura) ⁷ se k rozlišení užívá faktor četnosti svozu (a to i u domovního odpadu) – "waste which is produced from the daily or routine activity of households and businesses", přičemž komunální odpad svážený nepravdělně či nárazově (např. objemné odpady) již do této kategorie nepatří. Definice OECD ⁸ dokonce používá faktor vlastníka procesu, tj. kdo odpady shromažďuje či si tuto službu objedná – "municipal wastes are waste collected by municipalities or by order of them" se zohledněním faktu zpracování takových odpadů na společných zařízeních. Určitou výchozí pozici v terminologii komunálního odpadu může představovat práce ETC/W ⁷, která rozlišuje "total municipal

waste" jako "household waste" a "other municipal waste". Podobný negativně vymezující postup definice "gewerbliche siedlungsabfälle" je použit s odkazem na Evropský katalog odpadů i v německém nařízení o živnostenských odpadech ⁹. V Bavorsku ¹⁰ se dokonce rozlišují živnostenské odpady z malých živností (Geschäftsmüll) a z velkých živností (Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall), aniž by se rozsah kvantitativně vyjádřil. Anglie ¹¹ zavádí pojem "daily residual commercial waste" a v definici používá výčtový způsob původu odpadů. Dánsko ¹² definuje „živnostenské odpady“ podle druhů původců a přitom používá národní klasifikaci průmyslových činností.

V platné právní úpravě odpadového hospodářství v ČR není samotný pojem „živnostenský odpad“ upraven. Živnostenský odpad je spojován s odpadem podobným komunálnímu odpadu, který je uveden v Katalogu odpadů a který vzniká při (nevýrobní) činnosti právnických osob a fyzických osob oprávněných k podnikání na území obcí (např. v úřadech, v kancelářích, v kulturních a vzdělávacích zařízeních, v síti obchodů a služeb včetně veřejného stravování). V souladu s Katalogem odpadů se jedná o odpad skupiny 20 „Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů), včetně složek z odděleného sběru“. V rámci výzkumného projektu ⁴ byla zvolena definice komunálního odpadu podle tabulky 1.

TABULKA 1: Vymezení pojmu komunální odpad

Oblast ^{b)}	Skupiny odpadů EWC ^{a)}				
	15	18	19	20	Ostatní ^{c)}
Bydlení (domácnosti občanů)					
Služby (občanská vybavenost)					
Výroba (produkční infrastruktura)					

Legenda:

a) EWC – Evropský katalog odpadů

b) veškeré aktivity relevantní z hlediska tvorby odpadů v živnosti provozované na území obce

c) specifické druhy odpadů související s provozovanou aktivitou mimo skupiny 15,18,19,20 (např. upotřebené oleje (skupina 13) v OKEČ 50.20 autosalóny a autoopravny, stavební suť (skupina 17) v OKEČ 52.4 maloobchod – stavebniny.

Za komunální odpad jsou považovány odpady z oblasti bydlení (podskupiny 2001..., 2002..., 2003... mimo odpadů 200302, 200303, 200306), pro které se vžil pojem „domovní odpad“; odpady z oblasti služeb (skupiny 15, 18, 19, 20 a specifické druhy odpadů odpovídající dané činnosti), pro které se převážně používá pojem „živnostenský odpad“. Zde jsou služby chápány v co nejširším smyslu jako veškerý servis pro život občanů (včetně např. zdravotnických zařízení) a fungování obce (včetně např. provozu úřadů veřejné správy). Toto pojetí je dáno výčtovým přehledem podle evropské klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE) ¹³ a může být bezpochyby předmětem další diskuse. Poslední ucelenou oblastí původu komunálního odpadu jsou průmyslové odpady nesouvisející s výrobou (odpady související s přítomností zaměstnanců ve výrobních objektech) zařazené pod skupinu 20, pro které se někdy používá termín „průmyslové odpady podobné odpadům z domácností“.

V souladu s tím lze tedy za komunální odpad považovat všechny odpady z neprodukční infrastruktury vznikající na území obce a vyjádřit je takto:

$$KO = DO + OS + PONV \quad (1)$$

kde:

KO – komunální odpad,

DO – domovní odpad,

OS – odpady ze služeb,

PONV – průmyslové odpady nesouvisející s výrobou.

Specifické sledování kvantitativních a kvalitativních charakteristik "živnostenských odpadů" se na základě dostupných zdrojů provádí v Evropě pomocí různých metodických postupů, většinou se jedná o kombinaci dotazníkového šetření a následného vzorkování s ruční či vizuální klasifikací. V převážné většině případů jsou tato šetření prováděna v rámci sledování vlastností komunálního odpadu.

2.2 Standardy produkce komunálních odpadů

Metodický postup zvolený v rámci výzkumného projektu ⁴ spočívá ve vytvoření soustavy standardů produkce odpadů pro vybrané ekonomické činnosti. Aplikací standardů v konkrétním území se pak získají informace o druhu a množství produkovaných komunálních odpadů.

Standardy produkce živnostenských/komunálních odpadů byly získány komplexním výzkumným šetřením nezávislou společností pro výzkum trhu Markent, s.r.o. Sběr dat byl realizován v letech 2008 – 2009 na základě stratifikovaného náhodného výběru na celém území ČR. Standardy jsou tedy uplatnitelné v jakékoliv obci na území ČR. Standardy představují měrnou produkci všech druhů odpadů (podle Katalogu odpadů), které se v daném typu živnosti (klasifikace CZ-NACE) vyskytují. Jedná se o roční produkci vztaženou ke zvolenému faktoru, např. markety – 1 m² prodejní plochy, hotely – 1 lůžko, úřad – 1 zaměstnanec. Výběr šetřených typů živností zahrnoval veškeré ekonomické činnosti v odvětvových skupinách: drobná výroba (do 25 zaměstnanců), prodej a servis automobilů, markety/obchody, ubytování a stravování, doprava, úřady, školy, zdravotní a sociální zabezpečení, nakládání s odpady, sportovní zařízení, pěstování rostlin.

Data z šetření byla zpracována statistickými postupy a před zařazením do standardů expertně posouzena v rámci týmové spolupráce řešitelů projektu. Některé typy ekonomických činností ¹⁴ nebyly z časových důvodů šetřeny a relevantní standardy byly na základě „Dohody o poskytnutí dat“ převzaty s určitou aktualizací od EKO-KOM, a.s. ⁵. Standardy produkce živnostenských odpadů byly doplněny o standardy produkce domovních a objemných odpadů z centrálně vytápěné (CVZ) a lokálně vytápěné zástavby (LVZ) ³.

Standardy produkce průmyslových odpadů nesouvisejících s výrobou (skupina 20) jsou doplňovány až při samotné aplikaci v konkrétním území. V našem případě ve fázi aplikace byly tyto standardy navrženy na základě vyhodnocení hlášení evidence odpadů průmyslových podniků působících na katastrálním území města Jaroměř za rok 2008. Vznikl tak soubor 61 sad standardů produkce komunálních odpadů (58 – živnosti, 2 – bydlení, 1 – průmyslové odpady nesouvisející s výrobou) a jejich trendů – tabulka 2.

TABULKA 2: Ukázka standardů produkce komunálních odpadů (drobná výroba – tisk)

NACE	OKEČ	FAKTOR	ODPAD	HODNOTA	INTERNÍ TREND
18.11.	22.21	zam.	kód	kg/zam.rok	1 – růst, 2 – pokles, 0 – stagnace
18.12.	22.22	zam.	kód	kg/zam.rok	1 – růst, 2 – pokles, 0 – stagnace
			080300	15	0
			150101	861	0
			150102	101	1
			170201	3	0
			200101	70	2
			200102	29	2
			200108	29	2
			200139	35	2
			200140	32	2
			200201	3	0
			200301	125	2

Standardy produkce jsou vytvořeny většinou pro konkrétní druh odpadu, popř. pro podskupinu (např. 080300 Odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání tiskařských barev). Součástí standardů produkce jsou i výhledové trendy produkce daného odpadu, které byly získány rovněž v rámci komplexního výzkumného šetření.

2.3 Pasport živností/služeb

Aplikace standardů produkce odpadů v konkrétním území probíhala za spolupráce Města Jaroměř. Jednou z podmínek aplikace je užití aktuálního pasportu živností. Pokud takový „pasport“ pro dané

území není k dispozici, je nutné přistoupit k jeho zpracování. Výchozím podkladem pro sestavení je databáze všech ekonomických subjektů registrovaných v našem případě ve městě Jaroměř (ČSÚ, regionální pracoviště Hradec Králové). Tento soubor byl doplněn o subjekty registrované mimo Jaroměř, avšak s provozovnou umístěnou na katastru města. Výsledný soubor subjektů byl rozčleněn na 57 typů živností (podle CZ-NACE) a ke každému subjektu přiřazeny relevantní hodnoty faktorů. U některých odvětvových skupin (např. doprava, úřady, školy, zdravotnictví a sociální služby, hřbitovy) byly hodnoty faktorů dostupné v příslušných odborech MěÚ, avšak u většiny odvětvových skupin bylo nezbytné provést terénní šetření.

Terénní šetření mělo dva hlavní cíle:

- aktualizovat, popř. doplnit výsledný soubor subjektů získaných z ČSÚ,
- doplnit chybějící hodnoty faktorů (zejména počty zaměstnanců, velikost prodejní plochy, počet lůžek, počet míst u stolu, počet jídel/rok, počet návštěvníků/rok).

Terénní šetření v Jaroměři (12 812 obyvatel k 1.1.2009) proběhlo v 6 pracovních dnech za účasti 2 pracovníků MěÚ a 3 brigádníků na studentské praxi. Získaná data byla převedena do požadované struktury a aktualizovala a doplnila výsledný soubor subjektů z ČSÚ. Náročnou činností byla konečná rafinace dat spočívající především v upřesňování typů živností u některých subjektů a v doplňování ojedinělých chybějících údajů (kompletace terénním zjišťováním) a řešení dalších identifikovaných nejasností (např. jeden subjekt má více předmětů podnikání apod.). Data o domácnostech (ulice, č.p., počet obyvatel, způsob vytápění, souřadnice JTS) byla získána rovněž z databáze ČSÚ. Způsob vytápění objektů byl konkretizován zaměstnanci společnosti Energetika, s.r.o. a Technických služeb města.

Pro potřeby prostorové identifikace v prostředí geografického informačního systému (GIS) bylo nutné do struktury dat „pasportu“ začlenit systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) pomocí souřadnic X, Y. To byl zdoluhavý a na přesnost náročný proces. Údaje byly převzaty z databází ČSÚ (ze tří souborů v MS Excel) a na základě společných znaků sloučeny v jeden soubor. Konečnou fází přípravy „pasportu“ bylo přiřazení externích trendů (1 – růst, 2 – pokles, 0 – stagnace) k jednotlivým typům živností, které charakterizují předpokládaný budoucí vývoj daného druhu činnosti na katastrálním území města Jaroměř. Externí trendy byly stanoveny pracovníky MěÚ na základě znalostí vývoje živností v minulosti.

Výsledný „pasport 2009“ (MS Excel) zahrnuje 704 subjektů z oblasti služeb (nejpočetněji jsou zastoupeny obchody – trvanlivé zboží/177 subjektů, drobná výroba – kovo/54, drobná výroba – instalace/52, drobná výroba – stavba/52, auto – oprava/44, restaurace/43, zdravotnictví – ambulantní/39, obchody – netrvanlivé/33) ve 46 typech živností; 1740 obytných budov s 12843 obyvateli (7152 obyvatel v CVZ, 5691 obyvatel v LVZ) a 10 průmyslových podniků (nad 25 zaměstnanců) – tabulka 3.

TABULKA 3: Ukázka pasportu živností (drobná výroba – tisk)

ID	IC	PROVOZ	FORMA ^{a)}	NAZEV	CZ-NACE_1
1	15626041		101	Roman Bauer – PURPLE	181200
2	12941719		101	EDUARD PASEKA, TISKÁRNA – PASEKA	181100
3	25928244		112	Tisk A S, s.r.o.	181200

pokr.

CZ-NACE_2	ULICE	CISLO_P	CISLO_O	MÍSTO	PSC
	nám. Československé armády	48		Jaroměř	55101
	Jaromírova	108		Jaroměř	55101
	Hradecká	597		Jaroměř	55138

pokr.

KONT	TEL	EMAIL	POČET	ZAPOJ_1 ^{b)}	ZAPOJ_2	HODNOTA ^{c)}	JEDNOTKA
				0	0	1	Zaměstnanec
				0	0	2	Zaměstnanec
				0	0	18	Zaměstnanec

pokr.

POZNAMKA	X	Y
	-633063,31	-1026910,67
	-632442,97	-1026885,47
	-633966,12	-1027967,27

- a) podnikatelská forma
 b) 1 – subjekt je zapojen do systému svozu komunálních odpadů (1), separovaného sběru (2) obce; 0 – subjekt není zapojen
 c) hodnota – počet zaměstnanců

„Pasport 2009“, zpracovaný pro město Jaroměř, obsahuje stav subjektů v oblasti služeb, bydlení a podnikání k 06/2009 a jeho aktualizaci je možno provést na základě konkrétní situace a podle dynamiky relevantních změn.

2.4 Program pro výpočet produkce odpadů

Obrázek 1: Záznam o subjektu v SW PROKOM

Pro praktickou aplikaci navrženého postupu výpočtu produkce komunálních odpadů (v případě Jaroměře se jedná o cca 2450 subjektů s průměrně 19 druhy odpadů) byl připraven speciální výpočetní program s názvem PROKOM (PROdukce KOMunálních odpadů). Program zpracovala firma INISOFT, s.r.o. Liberec. Testování programu se uskutečnilo v provozu MěÚ Jaroměř (usnesení Rady č. 0263-10-

2009-OZP-RM). Program je vytvořen v prostředí Microsoft Windows a pro uživatele je volně přístupný na internetovém portálu www.tretiruka.cz.

Do programu PROKOM jsou uloženy „Standardy produkce komunálních odpadů“ (kap. 2.2). Manuál k ovládání je v položce Nápověda (F1). Součástí programu PROKOM je samozřejmě import dat z „Pasportu živností/služeb“ (kap. 2.3). Vložení nového záznamu či editace jakéhokoli již uloženého záznamu je běžné – obrázek 1. Výsledná data se exportují do tabulkového editoru MS Excel – tabulka 4.

TABULKA 4: Ukázka výsledků výpočtu produkce komunálních odpadů

	Typ činnosti	IČ	Název	Ulice	Obec	PS Č
1	Drobná výroba – tisk (do 25 zaměstnanců)	15626041	Roman Bauer – PURPLE	nám. Československé armády 48	Jaroměř	55101
1	Drobná výroba – tisk (do 25 zaměstnanců)	15626041	Roman Bauer – PURPLE	nám. Československé armády 48	Jaroměř	55101
1	Drobná výroba – tisk (do 25 zaměstnanců)	15626041	Roman Bauer – PURPLE	nám. Československé armády 48	Jaroměř	55101

pokr.

CZ-NACE	Počet provozů	Zapojení do KO	Zapojení do sep.	Trend	Faktor	Hmotnost [kg/rok]	Odpad
181200	1	0	0	3	zaměstnanec	15	080300
181200	1	0	0	3	zaměstnanec	0,1	130200
181200	1	0	0	3	zaměstnanec	55	140600

pokr.

Y	X
-1026910,7	-633063
-1026910,7	-633063
-1026910,7	-633063

Tabulka 4 prezentuje 3 řádky z výsledné výpočtové tabulky čítající 47271 řádků. Výše vysvětlený princip výpočtu je možné znovu sledovat na základě dat uvedených v tabulce 2 a 3. Ke každé hodnotě produkce každého odpadu u každého subjektu je přiřazena informace o trendu produkce do budoucna (1 – růst, 2 – mírný růst, 3 – stagnace, 4 – mírný pokles, 5 – pokles), která vznikla na základě kombinace interních a externích trendů (viz výše) a informace o místě vzniku odpadu (souřadnice X,Y). Pro praktickou práci s výsledky výpočtu produkce komunálních odpadů lze navrhnout kontingenční tabulky.

2.5 Výsledky a diskuse

Na základě experimentálních prací provedených na území města Jaroměř v roce 2009, lze předložit dva druhy výsledků, u nichž lze obtížně posoudit vzájemnou významnost. Za prvé bylo prokázáno, že město samo (s malou metodickou podporou) je schopno zpracovat „Pasport živností 2009“ a použít „Výpočetní program PROKOM“. Druhým výsledkem jsou vlastní hodnoty potenciálu produkce komunálních odpadů na katastrálním území města Jaroměř, a to jak v číselné, tak v grafické podobě.

TABULKA 5: Celková produkce komunálních odpadů

Odpad	Produkce	Podíl
	/t/rok/	/% hm./
Domovní a objemné	4266	31,0
Odpady ze služeb (živnostenské)	9151	66,6
Průmyslové odpady nesouvisející s výrobou	331	2,4
Komunální odpady	13748	100

Potenciál produkce všech odpadů (mimo průmyslových souvisejících s výrobou) na území města Jaroměře dosahuje 13748 t/rok, což odpovídá měrné produkci 1070 kg/obyv/rok. Dvěma třetinami se na této produkci podílejí služby (živnosti) a necelou jednou třetinou domácnosti. Poměr produkce odpadů ze služeb (živnostenských) k domovním je dán koeficientem 2,15 a jako takový je vysoký. V evidenci odpadů města Jaroměře (data od svozových organizací) bylo v roce 2008 vykázáno 6477 t odpadů od obyvatel; porovnání dat z výpočtu a z evidence vyžaduje podrobnější rozbor, avšak již nyní se zdá, že náklady spojené s odstraňováním minimálně 2200 t živnostenských odpadů jsou hrazeny občany respektive z rozpočtu města.

TABULKA 6: Produkce komunálních odpadů podle druhů

Odpad	Podskupina	Skupina	Produkce	Podíl	Kumulovaný podíl
	Katalog odpadů		t/rok	% hm.	% hm.
200301			4998	36,4	36,4
	150100		2032	14,8	51,2
		170000	1246	9,1	60,3
200108			1103	8,0	68,3
200101			977	7,1	75,4
200139			623	4,5	79,9
200307			544	4,0	83,9
200102			328	2,4	86,3
	120100		263	1,9	88,2
200202			216	1,6	89,8
		130000	171	1,2	91
200140			146	1,1	92,1
200201			124	0,9	93
Ostatní			977	7,1	100
CELKEM			13748	100	

Tři čtvrtiny potenciálu produkce odpadů (mimo průmyslových souvisejících s výrobou) na území města Jaroměře představuje 5 druhů odpadů: směsný komunální odpad (200301), obaly (150100), stavební a demoliční odpady (170000), biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven (201008) a papír a lepenka (200101). Významnou položkou z hlediska nebezpečnosti jsou odpady olejů (130000).

TABULKA 7: Produkce odpadů ze služeb podle typů živnosti

Odvětvová skupina	Typ živnosti	Produkce	Podíl
		/t/rok/	/% hm./
AUTA	celkem	866	6,3
z toho	benzin	227	
	díly	74	
	oprava	209	
	prodej	356	
DOPRAVA	celkem	26	0,2
DROBNÁ VÝROBA	celkem	701	5,1
z toho	dřevo	50	
	elektro	24	
	instalace	83	
	kovo	323	
	stavba	191	
	tisk	30	

HOTELY	celkem	70	0,5
HŘBITOVY	celkem	130	0,9
KADERNICTVÍ	celkem	69	0,5
KULTURA	celkem	111	0,8
z toho	divadla	48	
	nárazové	9	
	ostatní	54	
MARKETY	celkem	702	5,1
	Do 400 m ²	42	
	400 – 1000 m ²	202	
	1000 – 2500 m ²	458	
OBCHODY	celkem	2052	14,9
z toho	netrvanlivé	187	
	trvanlivé	549	
	stavebniny	1316	
ODPADNÍ VODY	celkem	54	0,4
ODPADY	celkem	66	0,4
z toho	svoz	54	
	úprava	12	
PĚSTOVÁNÍ	celkem	275	2,0
z toho	květiny	247	
	zelenina	28	
RESTAURACE	celkem	1483	10,8
SKLADY	celkem	1122	8,2
ŠKOLY	celkem	775	5,6
z toho	předškolní	144	
	základní	458	
	střední	173	
SPORT	celkem	100	0,7
z toho	bazény	71	
	zimní stadion	29	
UBYTOVNY	celkem	36	0,3
ÚŘADY	celkem	188	1,4
z toho	banky	27	
	hasiči	3	
	pojišťovny	31	
	policie	7	
	pošta	20	
	správa	100	
VÝROBNY JÍDEL	celkem	148	1,1
ZDRAVOTNICTVÍ	celkem	177	1,3
z toho	ambulantní	71	
	nemocnice	74	
	veterina	32	
CELKEM		9151	100

K nejvýznamnějším odvětvovým skupinám z hlediska produkce odpadů na území města Jaroměře patří obchody (především prodejny stavebnin), restaurace a skladové areály; k významným lze přiřadit i živnosti spojené s automobilismem (autosalóny), školy (základní), drobná výroba (kovo) a markety (s prodejní plochou 1000 – 2500 m²).

Výpočet produkce odpadů poskytuje i výsledky za jednotlivé subjekty a jimi produkováné odpady. Z dalších uvedených informací lze například identifikovat nejvýznamnější původce odpadů 150101 a 200101, kteří přitom nemají uzavřenu smlouvu s obcí o využívání nádob na separovaný sběr papíru (podobně i skla a plastů). Podobně lze identifikovat i nejvýznamnější původce nebezpečných odpadů (např. 130200, 130500).

V krátkodobém výhledu lze na území města Jaroměře předpokládat mírný nárůst produkce odpadů. Jedná se zejména o obaly (papír, plasty, sklo), stavební odpady (beton, cihly), složky odděleného sběru (papír, sklo, bioodpady, plasty, kovy), směsný komunální odpad a objemné odpady. U nebezpečných odpadů (2,1 % hm. všech odpadů) tvoří největší podíl odpadní oleje a odpady z odlučovače oleje, které

mají výraznou růstovou tendenci. Výrazně růstovou tendenci mají i nebezpečné odpady z oprav a údržby automobilů.

Vypočtenou produkci komunálních odpadů lze i lokalizovat na katastru města Jaroměře a získat další poznatky, které z numerického vyjádření nejsou zřejmé.

V tomto příspěvku jsou uvedeny pouze některé příklady výsledků výpočtu produkce komunálních odpadů na území města. Uspořádání výstupů výpočetního programu PROKOM si může zvolit každý uživatel podle svých potřeb. Rovněž využití výsledků výpočtu může být v praxi rozmanitější. Využití výsledků této části řešení výzkumného projektu se předpokládá především v následujících oblastech:

- kontrolní činnost obce,
- optimalizace systému,
- strategické rozhodování.

Lze předpokládat, že použitý „pasport živností“ by mohl najít uplatnění i v dalších oblastech ochrany životního prostředí a i v jiných odborech MěÚ (obecní živnostenský úřad, stavební úřad – odbor výstavby, útvar obrany a krize). Zcela mimo sféru MěÚ je pak jeho využití např. jako Katalogu obchodů a služeb (informační zdroj pro občany) nebo jako Katalogu výrobců a poskytovatelů služeb (informační zdroj pro poptávky po výrobcích a službách podporujících lokální kapacity).

Sestavení a průběžná aktualizace „pasportu živností“ vyžaduje alokaci určitých finančních prostředků. Je záležitostí každé obce, aby tyto náklady porovnála s možnými ekonomickými přínosy pro obecní rozpočet a podle výsledků porovnání rozhodla o užití předloženého metodického postupu. Uvedený postup stanovení produkce komunálních odpadů nabízí k takovému projektu pouze aplikační možnosti.

4. Závěry

Výpočet produkce komunálních odpadů je vedle údajů z evidence odpadů podle § 39, zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, dalším informačním zdrojem obcí o produkci živnostenských/komunálních odpadů na jejich katastru. Na rozdíl od evidence odpadů, která sumarizuje data od původců odpadů na základě povinnosti hlášení podle odst. 2 § 39 zákona o odpadech, tedy jakousi podmnožinu původců odpadů, výpočet zahrnuje veškeré subjekty působící na katastru obce. Výsledek výpočtu tak představuje **potenciál produkce** komunálních odpadů.

Předložený metodický postup zaměřený na stanovení produkce komunálních odpadů v konkrétním území, navržený a ověřený v rámci výzkumného projektu je podle dostupných informací zcela unikátní i v evropském měřítku. Postup spočívá ve stanovení standardů produkce komunálních odpadů včetně živnostenských pomocí výzkumného šetření nezávislou agenturou, např. společností pro výzkum trhu. Následná aplikace standardů v konkrétním území je pak založena na ověřené metodice výpočtu produkce odpadů. Její podmínkou je užití aktuálního pasportu živností pro dané území. Výsledkem postupu je stanovení kvantifikovaného potenciálu živnostenských/komunálních odpadů a jejich druhů pro daný územní celek. Při kvantifikaci druhů odpadů jsou vyloučeny obvykle užívané a náročné metody vzorkování odpadů spojené s metodou ruční či vizuální analýzy. V tom tkví jedinečnost zpracovaného postupu

Poděkování

Poznatky uvedené v tomto příspěvku vznikly v průběhu řešení a za finanční podpory výzkumného projektu MŽP SP/II/2f1/2/07 „Identifikace prevenčního potenciálu živnostenských odpadů v ČR a jeho uplatnění v praxi“. Také za aktivní účasti všech spolupracujících subjektů, zejména MARKENT, s.r.o., CEMC Praha, INISOFT, s.r.o. Liberec, CCP Brno a zvláště Města Jaroměř.

Literatura

1. Benešová, L. a kol.: Intenzifikace sběru, dopravy a třídění komunálního odpadu, projekt MŽP VaV/720/2/00, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2003

2. Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a Seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů), ve znění pozdějších předpisů
3. Benešová, L. a kol.: Výzkum vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využití, projekt VaV MŽP SP/2f1/132/08, dílčí výstup, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2008
4. Kotoulová, Z., Černík, B.: Identifikace prevenčního potenciálu živnostenských odpadů v ČR a jeho uplatnění v praxi, projekt VaV MŽP SP/II/2f1/2/07, průběžná zpráva, SLEEKO, Praha, 2009
5. Černík, B., Remr, J.: Kvantitativní a kvalitativní charakteristiky odpadů ze služeb, EKO-KOM, Praha, 2006
6. Kotoulová, Z., Černík, B.: Produkce živnostenských odpadů v ČR, Sborník přednášek ze symposia Odpadové fórum 2009, Výsledky výzkumu a vývoje pro OH, ISBN-978-80-02-02108-7, Milovy, 2009
7. Household and municipal waste: Comparability of data in EEA member countries, EEA – ETC/W, Topic report No 3/2000
8. OECD/Eurostat questionnaires on waste management
9. Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen, 2002
10. Abfallwirtschaft Hausmüll in Bayern, Bilanzen 2003, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004
11. Ploechl, C., Dobson, G., Buell, U.: A Class of Its Own, 2005, UK
12. Regulation on industrial and commercial waste in the City of Copenhagen
13. Sdělení ČSÚ č. 244/2007 Sb., o zavedení Klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE)
14. CZ NACE 96.03 – hřbitovy, 47.54 – maloobchod elektro, 47.81 – maloobchod – stánky, 53.10 pošty, 64.19 – banky, 65.11 – pojišťovny, 86.21 – ambulantní zdravotní péče, 75.00 – veterinária, 82.30 – konference a výstavy, 59.14 – kina, 93.11 – bazény, 96.02 – kadeřnictví

Methodology for Determination of Municipal Waste Generation

Ing. Zdenka Kotoulová^a, Ing. Bohumil Černík^b

^{a)} SLEEKO, Dětská 288, 100 00 Praha 10, kotoulova@quick.cz

^{b)} ENZO, Rezlerova 310, 109 00 Praha 10, cernik.bohumil@centrum.cz

Summary

The generation of municipal waste in conditions of the Czech Republic has been pursued within the Waste Management Information System (ISOH) of the Ministry of the Environment of the Czech Republic. Moreover, the database of the Czech Statistical Office and the database of EKO-KOM Inc. serve as the source of comprehensive information. The data on municipal waste generation that are given by the operators of these databases are often characterised by differing values. The reason is mainly in variation of the definition of the term of municipal waste with respect to the set of reporting units. When processing conceptual documents the authors were mostly keeping to the data that are gathered in the framework of ISOH, and originated from the evidence of municipal waste generators and persons authorised to handle with these wastes. It is very difficult to check data registered in such way. The authors present in this issue a verified methodology for appointing standards for generation of municipal wastes and application thereof in order to find the total production and allocation of wastes in a particular territory. It is concerned with results of the research project of the Ministry of the Environment of the Czech Republic MŽP SP/II/2f1/2/07 „Identification of the potential of prevention of commercial waste in the Czech Republic and its application in practice“. The application of the methods in a territory is based on the set of standards, passportization of businesses and registry of inhabitants. This is a basic source of information needed to fill computational programme specifically created for this purpose. According to the information available the selected method is utterly unique in European scope. The self-government uses these obtained data for co-ordination of activities in the waste management on their territory.

Keywords: municipal waste, municipal waste and similar waste, commercial waste, municipal waste generation, commercial waste generation

Využití stochastického programování při optimalizaci provozních kapacit zařízení v systému integrovaného nakládání s odpady

Lubomír Nondek

Integra Consulting s.r.o., Pobřežní 18/16, Praha 8

e-mail: nondek@volny.cz

Souhrn

Stochastické programování (SP) lze využít k podpoře rozhodování o nových provozních kapacitách, které probíhá za nejistoty dané variabilitou množství generovaných jednotlivými zdroji odpadu. SP tak umožňuje realističtější popis alokace odpadu v souboru zařízení, která tento odpad přijímají (sklárky, spalovny, jednotky mechanicko-biologického zpracování) ve srovnání s odpovídajícím deterministickým optimalizačním modelem. Je uveden ilustrační ekonomický model alokace odpadů mezi sadou zdrojů a zařízení jako ukázka možností stochastického programování v oblasti odpadového hospodářství. Model je snadno škálovatelný a to v závislosti na použité komerční verzi SP řešitele LINGO 12. Umožňuje posuzovat ekonomický vliv poplatků za skládkování nebo spalování.

Klíčová slova: Nakládání s odpady, stochastické programování, optimalizace provozní kapacity, rozhodování za nejistoty

Úvod

Lineární programování (LP) je využíváno k optimalizaci integrovaných systémů nakládání se smíšeným odpadem. Tyto modely jsou obvykle konstruovány jako deterministické, tj. jako vstupní proměnné a parametry jsou zadávány nejlepšími odhady. Model poskytuje jedinou sadu optimalizovaných výstupů (závisle proměnné). Příklad takového modelu i s literaturou věnovanou aplikaci LP a celočíselného programování (IP) v oblasti řízení odpadového hospodářství jsme uvedli nedávno^{1,2}. Problém deterministických modelů spočívá v tom, že nedávají žádnou informaci o tom, jak nejistoty vstupních dat ovlivní výstupy modelování. Například při optimalizaci kapacit zařízení (spalovna, provozní jednotka mechanicko-biologického zpracování, kompostárna, třídící linka apod.) se nebere zřetel na proměnlivou kvantitu nebo složení zpracovávaného odpadu, kolísání cen energie, kolísání poptávky po druhotných surovinách, kompostu apod.

Promítnutí nejistot vstupních proměnných a jejich šíření modelem umožňuje stochastické programování (SP)^{3,4}, které také může modelovat rozhodovací proces probíhající za nejistoty. V oblasti nakládání s odpady aplikovali stochastické programování Maqsood a Huang⁵ (2003) jako dvoustupňový rozhodovací proces. Výsledek je konvertován do deterministického modelu sloužícího ke stanovení spodní a horní hranice ekonomicky přijatelných řešení. Yanpeng Cai a spol.⁶ (2007) a dále He a Huang⁷ (2008) vyvinuli dvousložkový optimalizační model, který generuje různé strategické scénáře kombinací fuzzy (mlhavého) a stochastického programování. Některé okrajové podmínky jsou zadávány jako mlhavý (fuzzy) interval a optimální řešení je hledáno pro hybridní kombinaci náhodných veličin s určitým statistickým rozdělením a veličin charakterizovaných mlhavými intervaly. Model byl ověřován na hypotetickém příkladu optimalizace regionálního systému nakládání se smíšeným komunálním odpadem (SKO).

Popsané modely byly vyvinuty jako součást operačního výzkumu a nejsou komerčně dostupné. Praktickou dostupnost stochastického programování výrazně zpřístupnila nová verze komerčního softwarového nástroje LINGO 12 vhodného pro LP, IP a nelineární programování (NLP). Tato verze dovoluje pomocí SP modelovat víceúrovňové procesy rozhodování za nejistoty^{3,4}. Optimalizační problém je řešen ve dvou stupních (stages): nejprve jako deterministický ekvivalent a pak se v dalším stupni konstruuje množina přijatelných řešení. Tato množina je konfrontována s původním deterministickým řešením a to je rekurzivně optimalizováno

Stochastický proces může být buď popsán sadou expertně vytvořených scénářů (tabulky proměnných), které jsou charakterizovány pravděpodobnostmi jejich naplnění. Alternativně mohou být scénáře vytvořeny náhodně Monte-Carlo vzorkováním za předpokladu určitého statistického rozdělení náhodné proměnné. V takovém případě předpokládáme, že náhodná proměnná má např. normální rozdělení s příslušnou střední hodnotou a rozptylem⁸. LINGO nabízí na výběr 22 různých statistických rozdělení (distribuční funkce).

Stochastickým programováním se řeší např. rozhodovací úlohy^{3,4,8}, ve kterých se optimalizují produkční kapacity a jejich prostorová rozmístění (dopravní úlohy), distribuční sítě (kolísající odběr v jednotlivých bodech), výrobní kapacity (kolísají ceny surovin i poptávka) apod. V případě nakládání s odpady lze tuto techniku aplikovat nejen na projektování kapacit ale i posuzování vlivu na životní prostředí investičních projektů (proces EIA). Také je možno kombinovat analýzu životního cyklu (LCA) s výsledky ekonomického optimalizačního modelování, resp. porovnat deterministickou variantu s výsledkem stochastického modelování.

Cílem tohoto krátkého sdělení je ukázat na jednoduchém příkladu možnost využití stochastického programování realizovaného pomocí řešitele LINGO 12 (Lindo Systems Ltd.) v odpadovém sektoru. Jak již bylo ukázáno dříve¹, v algebraickém programovacím jazyce LINGO je možno vytvářet dobře škálovatelné modely relativně složitých systémů nakládání s odpadem (zdroje odpadu – transportní systém – soubor zařízení). Model také umožňuje odhadnout intervence regulátora (např. změny poplatků za skládkování nebo spalování), které by měly vést k požadovaným environmentálním efektům při co nejnižších společenských nákladech.

Popis modelu

Optimalizační model můžeme popsat sadou okrajových a bilančních podmínek (1) – (3), podmínkou nezápornosti odpadových toků (4) a vztahem pro účelovou funkci MIN (5), jejíž pomocí hledáme minimum celkových nákladů pro systém integrovaného nakládání s odpady tvořený zařízeními, INST(i) a zdroji odpadu, SOURCE(j):

$$\sum_j Y(i, j) \leq X(i) \quad \forall \text{zdroje} \quad (1)$$

$$\sum_i Y(i, j) = \text{WASTE}(j) \quad \forall \text{zařízení} \quad (2)$$

$$\sum_j Y(i, j) \leq \text{TCAP}(i) \quad \forall \text{zdroje} \quad (3)$$

$$Y(i, j) \geq 0 \quad \forall \text{zdroje, zařízení} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{MIN} = & \sum_i (\text{COSTFIX}(i) + \text{COSTINV}(i) * X(i)) + \\ & \sum_i \sum_j (\text{COSTOP}(i) + \text{COSTTRAN}(j) * \text{TRANDIST}(i, j)) * Y(i, j) \quad \forall \text{zdroje, zařízení} \end{aligned} \quad (5)$$

$Y(i, j)$ je množství odpadu (hmotové jednotky, hj) alokované ze zdroje j do zařízení i za časovou jednotku (hj/čas),

$X(i)$ je optimalizované množství odpadu přijaté zařízením i za tuto časovou jednotku (hj/čas),

$\text{WASTE}(j)$ je náhodně proměnlivé množství odpadu generované $\text{SOURCE}(j)$ za časovou jednotku (hj/čas),

$\text{COSTINV}(i)$, investiční náklady v peněžních jednotkách (pj) pro $\text{INST}(i)$ vztahované na přijatou jednotku odpadu (pj/hj),

$\text{COSTOP}(i)$, provozní náklady $\text{INST}(i)$ na přijatou jednotku odpadu (pj/hj),

$\text{COSTFIX}(i)$, fixní náklady při provozu $\text{INST}(i)$ v pj/čas,

$\text{COSTTRAN}(j)$, jednotkové náklady za dopravu odpadu (pj/(hj.km)),

TRANDIST(i, j), matice dopravních vzdáleností mezi zdroji a zařízeními (např. km),
TCAP(i), maximální technická kapacita zařízení (hj/čas).

Model byl realizován v jazyce LINGO, jehož možnosti uplatnění v optimalizaci integrovaných systémů nakládání s TKO byly nedávno představeny odpadářské veřejnosti^{1,2}. Výstavba SP modelu probíhá v prostředí LINGO jako sekvence čtyř kroků^{3,4,7}:

1. Sestavení základního deterministického optimalizačního modelu (core model), viz vztahy (1) až (5),
2. Určení proměnných pro počáteční a rekurní rozhodnutí,
3. Určení náhodných proměnných,
4. Deklarace statistického rozdělení náhodných proměnných, kdy užity mohou být buď uživatelem definované tabulky hodnot proměnných s pravděpodobnostmi z nich vycházejících scénářů anebo statistické distribuční funkce a pomocí nich náhodně generované scénáře (LINGO 12 umožňuje deklarovat 22 statistických rozdělení).

Stochastická část modelu (viz část kódu „SP Model ----+“ je realizována tím, že proměnná $X(j)$, což je optimalizovaná technická kapacita zařízení, je deklarována jako rozhodovací proměnná (stupeň 0) a množství odpadu vznikající ve zdroji j , WASTE(j) je deklarováno jako náhodná veličina se střední hodnotou MEANWASTE(j) a směrodatnou odchylkou SD(j). Pro stupeň 1 je nutno zvolit požadovaný počet náhodně generovaných scénářů. Nepředpokládáme, že WASTE(j) jsou vzájemně korelovány, tj. náhodné kolísání množství vzniklého odpadu v každém zdroji nezávisí na chování ostatních zdrojů.

Z následujícího kódu je patrná schopnost jazyka LINGO podporovat vytváření kondenzovaného a přehledného kódu, který lze odvodit z popisu deterministické části modelu dle vztahů (1) – (5) a doplnit SP částí modelu. Kód zahrnuje deklaraci proměnných, podmínky LP optimalizace a účelovou funkci (celkové náklady), jejíž minimum hledáme. Poslední část níže uvedeného kódu definuje SP model. Zápis neobsahuje komunikaci s datovými zdroji (např. databáze jako soubor MS Excel) ani příp. zpětný přenos výsledků optimalizace, např. $X(i)$ a $Y(i,j)$ do výsledkové části excelového souboru.

MODEL:

! Provozni kapacity za promenne produkce odpadu ve zdrojich (autor L. Nondek,
nondek@volny.cz), stochasticke programovani viz kap. 14 v manualu k LINGO 12;

! Zakladni Model -----+;

SETS:

INST: COSTFIX, COSTINV, COSTOP, X, TCAP;
SOURCE: COSTTRAN, WASTE, MEANWASTE, SD;
ROUTE (INST, SOURCE): Y, TRANDIST;

ENDSETS

DATA:

! Doplnit dle uzite database;
ENDDATA

SUBMODEL MOD1:

! Kapacitni optimalizace $X(i)$;

@FOR(INST(i): [R_CAP]
@SUM(SOURCE(j): Y(i,j)) <= X(i));

! Maximalni provozni kapacita, mezni kapacity;

@FOR(INST(i): [R_TCAP]
X(i) <= TCAP(i));

! Hmotova bilance, zakon zachovani hmoty;

@FOR(SOURCE(j): [R_WASTE]
@SUM(INST(i): Y(i,j)) = WASTE(j));


```
! Nenulovost, nezápornost hmotových toku;
@FOR( INST(i): [R_FLOW]
    @SUM( SOURCE(j): Y(i,j)) > 0);

! Minimalizace celkovych nakladu;
[OBJ] MIN = @SUM( DISPINST(i): (COSTFIX(i)+ COSTINV(i)*X(i))) +
    @SUM( INST(i): @SUM(SOURCE(j): (COSTOP(i) +
        COSTTRAN(j)*TRANDIST(i,j))*Y(i,j)));

! SP Model -----+;
! Rozhodovací promenna je X(i), stupen 0;
@FOR(INST( i): @SPSTGVAR( 0, X( i)));

! WASTE(j) je znahodnena nezavisle promenna, stupen 1;
@FOR( SOURCE(j): @SPSTGRNDV( 1, WASTE(j)));

! WASTE(j) ma normalni rozdeleni se stredni hodnotou MEANWASTE a smerodatnou odchylku
SD;
@FOR( SOURCE( i): @SPDISTNORM( MEANWASTE(j), SD(j), WASTE(j)));

! Zadat pocet scenaru pro stupen 1, naprikklad 20;
@SPSAMPsize( 1,20);

ENDSUBMODEL

! Vypocet -----+;

CALC:
    @SOLVE( MOD1);
ENDCALC

END
```

Principiálně by bylo možno použít stochastické programování i pro integrovaný vícesložkový model pro SKO (separace složek), který je ovšem jako základní model podstatně složitější¹ a tedy pro SP i podstatně výpočetně náročnější. V následujícím příkladu demonstrujeme použití modelu při investičním rozhodování o možnostech provozu nového zařízení s charakterem BAT (nejlepší dostupná technika), jehož provoz je emisně příznivější než zařízení dosavadních avšak za vyšších celkových nákladů.

Výsledky a diskuse

Testovací a demonstrační databáze (MS Excel) obsahuje charakteristiky pro 6 zdrojů odpadů a čtyři zařízení. Testovací vstupní data jsou uvedena v **tabulce 1** (zařízení) a **tabulce 2** (zdroje). V **tabulce 3** jsou uvedeny dopravní vzdálenosti mezi zdroji a zařízeními (např. km).

Tabulka 1: Charakteristiky zařízení přijímajících odpad

Zařízení	Investiční náklady na kapacitní jednotku (pj/hj)	Celkové provozní náklady (pj/hj)	Limitní technická kapacita (hj/čas)	Fixní náklady (pj/čas)	Emisní faktor (hj/hj)
ZARIZENI1	140	20	25000	100000	1
ZARIZENI2	120	10	15000	80000	3
ZARIZENI3	60	3	20000	40000	5
ZARIZENI4	40	2	20000	40000	7

Tabulka 2: Kapacity zdrojů odpadu a jednotkové dopravní náklady

Zdroj/Vzniklé množství odpadu (hj/čas)	ZDROJ1	ZDROJ2	ZDROJ3	ZDROJ4	ZDROJ5	ZDROJ6
	6000,00	8000,00	4000,00	8500,00	10000,00	13500,00
Jednotkové dopravní náklady (pj/hj.km)	1,00	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25

Tabulka 3: Matice dopravních vzdáleností (km)

Zdroj	ZDROJ1	ZDROJ2	ZDROJ3	ZDROJ4	ZDROJ5	ZDROJ6
ZARIZENI1	20	35	15	18	16	18
ZARIZENI2	22	30	20	8	4	8
ZARIZENI3	34	18	22	28	20	8
ZARIZENI4	8,5	25	25	28	30	35

ZARIZENI1 může představovat nejlepší dostupnou techniku (BAT) mající nejnižší emisní faktor (**tabulka 1**), ZARIZENI4 například skládku s relativně vysokými emisemi skládkového plynu. Bez zásahu regulátora nemůže nová investice do ZARIZENI1 vzhledem k vysokým provozním a fixním nákladům konkurovat zejména ZARIZENI3 a ZARIZENI4. Další nízkoemisní ZARIZENI2 je využito pouze ze 2/3 instalované kapacity. Celkové emise vyčíslené dle alokovaného množství a emisních faktorů jsou 280 tis. emisních jednotek. Celkové náklady jsou 93,0 pj na hmotovou jednotku odpadu pro deterministický optimalizační model. Pokud předpokládáme 10% variabilitu složení odpadu, což odpovídá zjištění Benešové a spol.⁹, pak se celkové náklady na hmotovou jednotku odpadu zvýší na 99,59 pj, protože pro scénáře s vyšší než průměrnou produkcí odpadu se odpad větší měrou alokuje do ZARIZENI2 s vyššími náklady. V opačných případech se naopak více alokuje v emisně neefektivním ZARIZENI4 a tím se celkové emise zvýší na 285246 emisních jednotek. Měnit tok odpadu lze zaváděním poplatků (např. za skládkování pokud ZARIZENI3 a ZARIZENI4 jsou skládky) a tím znevýhodnit zařízení s vyššími emisemi.

Pokud regulátor zavede poplatky za skládkování ve výši 120 pj/hj pro ZARIZENI3 a ZARIZENI4 a obdobný poplatek pro ZARIZENI2 ve výši 60 pj/hj, pak odkloní část odpadu ze ZARIZENI3 a ZARIZENI4 do emisně nejlepšího ZARIZENI1 (BAT), jehož kapacita je při této výši poplatků plně využita. Celkové emise jsou 166500 emisních jednotek a celkové náklady na hmotovou jednotku odpadu se zvýší na 192,50 pj/hj. Zásadní je, aby zařízení charakterizované jako BAT nebylo znevýhodňováno poplatky. Při 10% nejistotě generovaných kvantit SKO, tj. s využitím SP dostaneme celkové jednotkové náklady 198,72 pj/hj a celkové emise 193668 emisních jednotek.

Zajímavým rysem SP programování je možnost vyčíslit ekonomicky náklady způsobené stochastickou povahou nezávisle proměnných. V našem případě je to množství vznikajícího odpadu. Model dále poskytuje informaci o minimu účelové funkce v hypotetickém případě, že by operátor zařízení měl dokonalou informaci o budoucích scénářích a podle toho mohl upravit provozní kapacity zařízení (tzv. wait-and-see model). Ekonomicky vyčíslená ztráta informace způsobená náhodností vzniku odpadu ve zdrojích je 5,30 pj na hmotovou jednotku odpadu, což vyvolá v uvedeném příkladu nárůst celkových nákladů o 5,7 %. Z toho vyplývá důležitost co nejpřesnějších projekcí budoucího chování zdrojů, ze kterých vychází projektování kapacit. Špatné odhady vedou buď k neefektivně využitým, nebo nedostatečným kapacitám nových zařízení, tj. k nemožnosti splnění emisních cílů. První případ vede k vyšším společenským nákladům, než odpovídá optimu.

Mnohem efektivnějším nástrojem ke snižování emisí se ukazují být emisní povolenky, které ovšem předpokládají, že emise jsou měřeny nebo odhadovány pomocí emisních faktorů podobně jako ve stávajícím systému EU-ETS (EU emission trading scheme) a je proto možno selektivně penalizovat zařízení podle emisí (např. CO₂ eq.). Zatím bylo modelování vlivu emisních povolenek autorem testováno jen orientačně a to po příslušné úpravě účelové funkce¹⁰, viz rovnice (5). Z praktického hlediska by

model mohl po rozšíření a doplnění databází s reálnými technicko-ekonomickými parametry sloužit jako nástroj na podporu rozhodování. Jak je zřejmé, z výše uvedeného příkladu, výrazná variabilita vstupů vyžaduje při ekonomickém rozhodování užít stochastické programování nebo jinou robustní rozhodovací metodu.

S námi užitou komerční verzí Hyper LINGO 12 je uvedený modelovaný systém škálovatelný až na velikost systému o 5 zařízeních a 100 zdrojích pro 10 scénářů, což znamená, že režim SP silně redukuje velikost modelovaného systému ve srovnání s deterministickým modelem a zvyšuje požadavky na komerční řešitel LINGO. Podle postupu, který jsme popsali^{1,2}, je však možno malé zdroje klastrovat a tím snižovat celkový počet modelovaných zdrojů, což znamená, že s výše uvedenou komerční verzí LINGO 12 lze po úpravě klastrováním zdrojů modelovat do úrovně NUTS 3 (území mající 150 – 800 tis. obyvatel).

Závěr

Stochastické modelování umožňuje realistický popis systému tvořeného zdroji odpadu, které vykazují variabilitu vzniklého množství, a vzájemně se lišícími zařízeními (poloha, kapacity, nákladovost), které tento odpad přijímají (sklárky, spalovny, jednotky mechanicko-biologického zpracování). Ekonomický model alokace odpadů mezi sadou zdrojů a zařízení je představen jako jednoduchý příklad demonstrující princip stochastického programování. Model je škálovatelný na úroveň NUTS3, což závisí na použité komerční verzi řešitele LINGO 12. Stochastický alokační model může také poskytovat výstupy do LCA, kdy je možno v dalším kroku posoudit environmentální dopady různých scénářů zatížených nejistotou. Tyto možnosti jsme ilustrativně modelovali jednoduchými emisními faktory.

Poděkování

Model vznikl díky grantu VaV SP/4b1/147/08; autor děkuje MŽP za podporu práce. Autor dále děkuje recenzentovi panu RNDr. Ing. Miloš Kopovi, PhD. z Matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy za cenné připomínky, které vedly k zlepšení modelu.

Literatura

- [1] Nondek L. (2010): Optimalizační model integrovaného nakládání se směsným komunálním odpadem, WASTE FORUM 3 (2010), str. 167 – 175.
- [2] Nondek L. (2010): Optimization model of integrated waste management, EU Waste Management 2010, European waste management in the view of the waste framework directive, Cologne 8 – 9 June, Conference Proceedings, str. 86 – 97.
- [3] Kall P. and S. W. Wallace (1994): Stochastic Programming, 2nd Edition, John Wiley and Sons, také jako elektronická kniha stažena 10.4.2010, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.631&rep=rep1&type=pdf>
- [4] Birge J.R. a Louveaux F. (1997): Introduction to Stochastic Programming, Series in Operations Research and Financial Engineering, Springer Inc.
- [5] Maqsood I., Huang G.H. (2003): A two-stage interval-stochastic programming model for waste management under uncertainty, J. Air Waste Manag. Assoc. 53(5), str.540 – 52.
- [6] Yanpeng Cai, Huang G.H., Nie X.H., Li Y.P. a Tan Q. (2007): Municipal Solid Waste Management Under Uncertainty: A Mixed Interval Parameter Fuzzy-Stochastic Robust Programming Approach, Environ. Eng. Sci. 24(3), str. 338 – 352.
- [7] He, L.; Huang, G.H. (2008): Optimization of regional waste management systems based on inexact semi-infinite programming, Can. J. Civil Eng., 35 (9), str. 987 – 998.
- [8] LINDO Systems Inc. (2009): LINGO, The modelling language and optimizer, User's guide, Kap. 14, distribuce LINDO Systems Inc., s demoversí programu na <http://www.lindo.com>

- [9] Benešová L., Kotoulová Z., Černík B., Vrbová M. a Křečková K. (2000): Stanovení skladby komunálních odpadů, VaV/720/2/00 „Intenzifikace sběru, dopravy a třídění komunálního odpadu, UK PŘF, Praha.
- [10] Nondek a spol., Závěrečná zpráva k VaV SP/4b1/147/08, Návrh systému hodnocení politik mezi jednotlivými systémy uživatelských informací ve vazbě na efektivní využití výsledků na rozhodovací a informační chování podle modelů a principů udržitelného rozvoje včetně testování a prezentace nástrojů znalostní báze životního prostředí, CENIA 2008 – 2010.

Use of stochastic programming for optimization of operation capacities of installations included into an integrated waste management system

Lubomír Nondek

Integra Consulting Ltd., Prague

e-mail: nondek@volny.cz

Summary

Stochastic programming (SP) has been applied to modelling of investment decision in case of installed capacities under uncertainty related to varying amounts of waste generated by individual sources. SP enables more realistic description of allocation of wastes from sources to receiving installations (landfills, incinerators, mechanical-biological treatment units etc.) as compared with its deterministic equivalent. Economic optimization of waste allocation is carried out to demonstrate potential of SP in waste management. The model can be scaled up to NUTS3 regional units to estimate economic or environmental effects of changed waste disposal charges or tradable allowances.

Keywords: *waste management; stochastic programming; optimization; decision making under uncertainty*

Srovnání nakládání s biologickým odpadem v integrovaných systémech nakládání s odpady

**Prof. RNDr. Jiří Hřebíček, CSc.^a, Ing. Zdeněk Horsák, Ph.D.^b,
Mgr. Jiří Kalina^c, Ing. František Pilar^d, Ing. Miroslav Lacuška, CSc.^e**

^aInstitut biostatistiky a analýz, Kamenice 3, 625 00 Brno,
e-mail: hrebicek@iba.muni.cz

^bSITA CZ, Španělská 10, 120 00 Praha, e-mail: zdenek.horsak@sita.cz;

^cCentrum pro výzkum toxických látek v prostředí, Kamenice 3, 625 00 Brno,
e-mail: kalina@mail.muni.cz

^dEco-management, s. r. o., K Západí 54, 621 00 Brno,
e-mail: pilar@ecomanag.cz

^eEnviro Adviser, e-mail: mlac@zoznam.sk

Souhrn

Článek rozvádí definici biologického odpadu (BO) a jeho vymezení vůči biologicky rozložitelnému komunálnímu odpadu (BRKO), zabývá se možnostmi oddělného sběru a nakládání s biologickým odpadem jako jedním z hlavních pilířů integrovaného systému nakládání s odpady (ISNO) a popisuje studie sběru a nakládání s BO ve dvou srovnatelně velkých městech (Brno, Bratislava). Pozornost je věnována metodice studií i jejich výsledkům ve vztahu k současnému stavu zařízení v obou městech. V závěru konstatuje, že kapacita zařízení pro všechny druhy produkovaných odpadů není dostatečná.

Klíčová slova: Integrovaný systém nakládání s odpady, biologický odpad, Brno, Bratislava.

Integrovaný systém nakládání s odpady

S pojmem integrovaného systému nakládání s odpady je možné se setkat jak v zákoně o odpadech¹, tak v nařízení vlády o plánu odpadového hospodářství².

Uvažujeme-li integrovaný systém nakládání s odpady (ISNO) v souladu se situační zprávou³ jako jednoduchou strategii, která koordinuje sběr, využití a odstranění odpadů v celém odpadovém toku, směřující k optimální účinnosti při respektování ekonomických a environmentálních požadavků, bude nakládání s biologicky rozložitelným odpadem (BRO), tj. jakýmkoli odpadem, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu, tvořit jeden ze základních pilířů takového systému.

Tok BRO patří v ČR mezi nejvýznamnější odpadové toky, v komunálním odpadu (KO), tj. skupina 20 v Katalogu odpadů⁴ tvoří BRO až polovinu celkové produkce KO. Přestože definice ISNO uvažuje veškeré toky odpadů, je účelné zkoumat především právě KO, který má v odpadovém hospodářství specifické postavení a nakládání s ním podléhá zvláštním legislativním požadavkům ve srovnání s ostatními druhy odpadů. Šesticí toků komunálního odpadu (směsný komunální odpad, živnostenský odpad, BRO, elektroodpad, autovraky a odpad z obalů) se zabývá projekt rezortního výzkumu Ministerstva životního prostředí České republiky SPII2f1/30/07: Výzkum integrovaného systému nakládání s odpady a nových podpůrných nástrojů pro jeho zavedení v podmínkách České republiky, který řeší společnost SITA CZ a.s. společně s ECO-Managementem s.r.o. Tento text navazuje na řešení zmíněného projektu a využívá také dvojici studií o nakládání s odpadem v Brně a Bratislavě na tomto projektu nezávislých.

V roce 2008 bylo v ČR dle⁵ vyprodukováno celkem 4 601 088 t KO, což představuje 14,69 % z celkového množství odpadů v tomto roce. BRO obsažený v KO je označován jako biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) a jeho podíl ve směsném komunálním odpadu (SKO) může podle různých průzkumů⁶ překračovat hranici 40 % hmotnosti veškerého SKO. Povinnosti pro biologické zpracování BRO jsou podrobně stanoveny v § 33b zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále Zákon) a ve vyhlášce 341/2008 Sb., kde je v její příloze č. 1 uveden

seznam využitelných BRO podle zařazení v Katalogu odpadů⁴. Motivem zavedení termínu byl odklon materiálů, při jejichž anaerobním rozkladu vzniká skleníkový plyn metan ze skládek, a proto podle uvedeného seznamu BRKO zahrnuje mimo odpadů z kuchyní a zahrad také papír a lepenku, část textilních materiálů, směsného komunálního odpadu (SKO), dřeva a objemného odpadu⁷ a nepostihuje tak přesně složení odpadu, se kterým je uvažováno při zavedení separovaného sběru odpadu (tzv. hnědé popelnice).

Termín *biologický odpad* (BO) definovaný v odstavci b) § 33a zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů vycházející z Evropské směrnice o odpadech⁸ a „zelené knihy“⁹ jako *BRO ze zahrad a parků, potravinářský a kuchyňský odpad z domácností, restaurací, stravovacích a maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu*, který byl zaveden za účelem popisu biologicky rozložitelné materiálově využitelné složky (nejen) KO, vystihuje přesněji tu složku odpadu, se kterou je nakládáno v případě odděleného sběru BRO v komunální sféře.

V níže představených studiích byl BO uvažován jako tok odpadů následujících tří druhů ze seznamu v příloze č. 1 vyhlášky 341/2008 Sb.:

- 20 01 08 biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven,
- 20 01 25 jedlý olej a tuk,
- 20 02 01 biologicky rozložitelný odpad ze zahrad a parků.

V letech 2009 a 2010 provedla společnost ECO-management na základě podobné metodiky dvě studie nakládání s BO a to ve městech Bratislavě a Brně, které jsou srovnatelné svou velikostí i životní úrovní obyvatel. Získané výsledky umožňují zajímavé srovnání produkce a nakládání s BO také na pozadí dalších středoevropských lokalit.

Brno

Cílem studie provedené ve městě Brně (404 037 obyvatel) v roce 2010 bylo zejména stanovení potenciálu produkce BO od občanů a subjektů s majetkovou účastí města Brna, kde se v současnosti stává BO součástí SKO, případně je veden v režimu prevence (domácí kompostování) nebo je s ním nakládáno nelegálním způsobem. Součástí studie bylo ale také stanovení produkce od dalších producentů spadajících do množiny subjektů vymezených definicí BO.

Producenti BO byli rozděleni do sedmi skupin (sběrná střediska odpadů, příspěvkové organizace města Brna, úřady města Brna, firmy spravující veřejnou zeleň, obchodní řetězce, restaurační provozy a jídelny, SKO od občanů a ostatní producenti), ke kterým bylo přistupováno odlišným způsobem při zjišťování jejich možné produkce BO.

BO ze sběrných středisek odpadů pochází většinou od občanů, v menším množství od firem, které jej předávají prostřednictvím fyzických osob, aniž by za něj uhradily příslušné poplatky. Údaje bylo možné převzít z evidence odpadů na magistrátu města Brna (MMB), který byl zadavatelem studie.

Pro zjištění údajů od organizací zřizovaných městem Brnem případně s jeho majetkovou účastí byla použita metoda kombinování přímých osobních nebo telefonických dotazů spojená s využitím údajů z evidence odpadů MMB, stejně tomu bylo při zjišťování údajů od obchodních řetězců, kde se jedná pouze o několik větších subjektů.

U restaurací, hotelů, stravovacích zařízení a jídelen byly provedeno dotazníkové šetření v úzké spolupráci s MMB, který těmto organizacím zaslal elektronicky příslušné dotazníky. Tyto organizace byly vybrány na základě detailního průzkumu ekonomických činností všech subjektů z evidence v registru ekonomických subjektů¹⁰ ve městě Brně, které provozují některou z činností souvisejících s pohostinstvím nebo stravováním. Návratnost dotazníků na MMB byla uspokojivá ve výši 64 % u hotelů, 25 % u stravovacích zařízení a jídelen a 18 % u restaurací.

Detailní průzkum si vyžádala situace v oblasti nakládání s odpadem z veřejné zeleně, která je v kompetenci městských částí. Celkem bylo kontaktováno 39 subjektů, které zasílají nebo by měly zasílat roční hlášení do evidence odpadů na MMB. Čtyři městské části Brna resp. subjekty ošetřující u nich městskou zeleň nebyly schopny k tomu poskytnout relevantní informaci. Proto v těchto, převážně menších městských částech Brna byla produkce BO stanovena výpočtem z ploch městské zeleně dle Regionálních informačních servisů¹¹ a výnosu odpadu 20 02 01 ve výši 4,5 t/ha podle starší studie¹². Produkce tohoto odpadu od občanů ve výši 6 687 t/rok byla získána jako násobek plochy soukromých

zahrad a předpokládaného výnosu 3,75 t/ha odpadu ze zeleně a byla připočtena k potenciálu produkce BO v SKO.

Produkce BO v SKO totiž tvoří majoritní podíl na potenciálu produkce ve městě Brně. Za účelem určení podílu BO v SKO bylo město rozděleno dle statistických dat¹³ na zástavbu sídlištního, vilového a venkovského typu. Kompilací několika studií a řady analýz SKO ve městě Brně⁶ byly získány hodnoty pro hmotnostní obsah BO v SKO: 19,11 % pro venkovskou, 20,97 % pro sídlištní a 29,57 % pro vilovou zástavbu. Hodnoty získané na základě průzkumů v letním období byly dále vyděleny koeficientem 1,49 reprezentujícím poměr celoročního průměru BO vůči zvýšenému obsahu BO v SKO v letních měsících¹⁴.

K předpokládané produkci zmíněných sedmi skupin producentů BO lze dále připočíst přibližně 2 522 t/rok dřeva vhodného ke kompostování, 15 327 t/rok BO z SKO od firem a 3 000 t/rok odpadů skupiny 02 z potravinářského průmyslu.

Celkový potenciál produkce BO ve městě Brně shrnuje tabulka 1:

Tabulka 1: Odhad potenciálu produkce BO ve městě Brně

Producent	Kvalifikovaný odhad produkce [t/rok]
	Celkem BO
Sběrná střediska odpadů	1 429
BO občané (průměrně 22 % z SKO od občanů včetně zahrad)	19 686
Příspěvkové organizace města Brna	1 282
Úřady města Brna	14
Údržba veřejné zeleně	2 253
Stravovací zařízení	6 425
Obchodní řetězce	379
Ostatní organizace	5 950
Celkem BO	37 418
BO z SKO od firem (22 % z SKO od firem)	15 327
Celkem BO včetně BO z SKO od firem	52 745

Zjištěný potenciál BO 52 745 t/rok překračuje o 39,7 % množství BO zjištěného z evidence odpadů dle Magistrátu města Brna.

Bratislava

Obdobná studie byla provedená v Bratislavě (431 061 obyvatel) v roce 2009. Studie měla podobnou strukturu i metodiku zjišťování potenciálu BO. Producenti BO byli však hruběji rozděleni pouze do tří skupin s dalším podrobnějším dělením na občany (BO jako součást SKO), stravovací provozy (hotely, jídelny a restaurace) a odpady z údržby zeleně.

Při odhadu potenciálu a dosažitelnosti BO z údržby zeleně byly využity údaje o udržovaných zelených plochách v městě Bratislavě. Za sečenou plochu byla považována hodnota sečených městských travnatých ploch v jednotlivých městských částech, případně odhadnuty trvalé travní porosty na základě údajů z Štatistického úradu Slovenskej republiky (ŠÚ SR) a analýzy orthofotomaps města Bratislavy.

Výtěžnost obecních ploch veřejné zeleně ve městě Bratislavě byla stanovena podle provedených průzkumů, které uvádějí množství BO z udržovaných městských ploch v rozsahu 4,5 t/ha až 16,5 t/ha za rok¹⁵. Pro výpočet byl použit koeficient na dolní hranici: 5 t/ha.

Při stanovení odhadu potenciálu a dosažitelnosti odpadů z restaurací, hotelů a jídelen byla využita data z dotazníkového šetření, které probíhalo v úzké spolupráci se zadavatelem studie – společností Odvoz a likvidácia odpadu, a.s. (OLO), která provozuje spalovnu komunálních odpadů a vykonává na území celé Bratislavy svoz KO a oddělený sběr povinně separovaných složek KO. V dotazníkovém šetření bylo společností OLO osloveno písemně cca 1 600 subjektů (provozovatele restaurací a jídelen v různých typech subjektů: komerčních i státních) ve městě Bratislavě, přičemž odpovědělo 243

subjektů, které uvedly denní produkci odpadů dohromady cca 4,3 t. Průměrně tak vychází hodnota 18 kg/den pro jeden subjekt. Po extrapolaci na počet oslovených subjektů byl vypočítán odhad produkce BO ve výši cca 10 512 t/rok. Počet získaných odpovědí byl zřejmě negativně ovlivněn tím, že se šetření uskutečnilo v období, kdy byla novelou zákona o odpadech zrušena v SR povinnost obcí zavést od 1. ledna 2010 separovaný sběr BRO. Všeobecným problémem zůstává v SR zvýšení spolehlivosti údajů o vzniku některých druhů BRO skupiny 20. Uvedené se týká zejména odpadů 20 01 08 a 20 01 25¹⁶.

Vzhledem k tomu, že ve městě Bratislavě se neprovádí analýzy složení SKO jako je tomu ve městě Brně, tak pro stanovení odhadu množství BO v SKO byly byty ve městě Bratislavě rozděleny dle statistických dat ŠÚ SR¹⁷ na byty v bytových a rodinných domech. Předpokládaný podíl BO v SKO byl na základě místních zkušeností v Bratislavě výrazně odlišný od údajů pro město Brno. Průměrná roční produkce BO byla stanovena přibližně ve výši 80 kg/rok pro jednoho obyvatele v rodinném domě a pouhých 20 kg/rok pro jednoho obyvatele v bytovém domě. K této hodnotě byla dále připočtena produkce dočasných rezidentů ve městě Bratislavě ve výši 10 kg/rok na osobu. Produkce BO v SKO byla odhadnuta z celého objemu SKO zpracovávaného společností OLO, bez odečtení části BO produkovaného firmami, tak jak to bylo provedeno ve městě Brně.

Odhadovaný potenciál produkce BO v Bratislavě shrnuje tabulka 2:

Tabulka 2: Odhad potenciálu produkce BO ve městě Bratislavě

Producent	Kvalifikovaný odhad produkce [t/rok]
BO z SKO (občané + firmy)	12 190
Odpady z údržby zeleně	18 375
Odpady z restaurací, hotelů a jídelen	11 680
Celkem BO	42 245

Zařízení na zpracování odpadů v Brně a Bratislavě

Stěžejními zařízeními pro zpracování odpadů, konkrétně energetické využití, jsou v obou městech spalovny komunálního odpadu, které působí ve čtvrtích Brno-Slatina a Bratislava-Vlčie Hrdlo. Brněnská spalovna má po rekonstrukci provedené v letech 2009 až 2010 kapacitu 224 000 t/rok a bratislavská spalovna má po rekonstrukci od roku 2002 kapacitu 135 000 t/rok.

Podobná je také situace v anaerobním využití BO, neboť v žádném z obou měst ani jeho nejbližším okolí není v současnosti v provozu bioplynová stanice pro suchou ani mokrou fermentaci, která by byla schopna zpracovat významné množství BO a ani není podobné zařízení ve stádiu výstavby. Několik bioplynových stanic o kapacitách v řádu tisíců tun ročně je v provozu v přilehlých regionech obou měst, ale téměř výhradně jsou v nich zpracovávanými substráty zemědělské odpady, případně čistírenské kaly.

Situace v aerobním zpracování BO v kompostárnách je však v obou lokalitách značně rozdílná. Oproti Bratislavě, kde nebyla na území města v roce 2009 v provozu žádná kompostárna s významnou kapacitou, má město Brno k dispozici kapacitu 70 000 t ve společnosti Centrální kompostárna Brno a v dalších zařízeních o kapacitě 36 000 t ve městě a jeho blízkém okolí.

V případě realizace separovaného sběru BO posuzovaného v obou studiích se jeví v Bratislavě jako nevyhnutelná výstavba zařízení na zpracování BO, například bioplynové stanice. V případě Brna lze konstatovat, že volná kapacita kompostáren dostatečně pokrývá potenciál produkce BRO z údržby zeleně a vhodných kalů z čistíren odpadních vod, ale pro využití BRO z kuchyní a stravoven je vhodné vybudovat alespoň jednu bioplynovou stanici s kapacitou zhruba dvě až tři desítky tisíc tun odpadů ročně. Ze závěrů obou studií vychází jako efektivnější pro zpracování BO od občanů technologie suché anaerobní digesce, která si postupně nachází cestu do slovenského i českého odpadového hospodářství.

Středoevropské srovnání

Celkový potenciál produkce BO na obyvatele (včetně produkce firem a institucí) činí podle provedené studie ve městě Brně přibližně 131 kg/osobu, v Bratislavě pak 98 kg/osobu. Nižší hodnotu produkce BO na osobu v Bratislavě lze částečně vysvětlit méně podrobným členěním producentů a hlavně nižším odhadovaným množstvím BO v SKO, kde nebyl předpokládán nárůst BO po zavedení separace.

Zajímavé je rovněž srovnání s německým městem Passau¹⁸, které od roku 2005 provozuje sdružené komunální bioplynové stanice ve svozové oblasti s asi 400 000 obyvateli a jeho projektovaná zpracovatelská kapacita činí 39 000 t/rok. Kromě bioplynové stanice je v této svozové oblasti umístěno ještě 11 kompostáren na odpad ze zeleně s celkovou kapacitou 40 000 t. Nutno podotknout, že výtěžnost BO od občanů zde činí 130 kg/osoba/rok (v Brně 52 kg/osoba/rok a v Bratislavě 28 kg/osoba/rok) a celková výtěžnost BO dosahuje 198 kg/osoba/rok.

Další zajímavé srovnání přináší studie projektu 7. rámcového programu EU „Integration of Solid waste management Tools into specific settings of European and Asian Communities“¹⁹, která na základě výzkumu ve 330 správních obvodech v Německu uvádí, že současná výtěžnost BO od občanů v Německu v průměru činí 60 kg/osoba/rok (v rozmezí od 23 do 182 kg/osoba/rok) a 20 kg/osoba/rok pro zahradní odpad. Účast domácností na separovaném sběru BO činí ve zkoumaných správních obvodech 54 % v průměru a pohybuje se od 43 % až do 81 % v závislosti na regionu.

Závěr

Motivem pro zpracování obou studií bylo posouzení možného zavedení separovaného sběru BO v uvedených městech v horizontu příštích let přibližně do roku 2020. Jednotná evropská legislativa (konkrétně směrnice o skládkách odpadů²⁰) stanovuje v České i Slovenské republice totožné podmínky pro nakládání s BRO, které znamenají, že je nutné odklonit BO z proudu SKO, a zabránit tak jeho skládkování.

Je však nutné konstatovat, že z údajů o nakládání s SKO v Brně i Bratislavě shodně vyplývá, že k naplnění požadavků zmiňované směrnice již v obou městech došlo díky zařízením na energetické využití odpadů. Brněnská i bratislavská spalovna pokrývají regionálně legislativní požadavky směrnice o skládkování a zavedení separovaného sběru a využití BO se tak jeví pro vedení obou měst spíše dobrovolnou ekologickou aktivitou s možným politickým potenciálem, představující ovšem v každém případě určitou zátěž městského rozpočtu.

S ohledem na hierarchii způsobů nakládání s odpady dle zákona o odpadech¹ a směrnice o odpadech⁸ nutno zdůraznit nadřazenost materiálového využití nad jiným využitím, např. energetickým. To v případě Bratislavy znamená požadavek na vytvoření předpokladů pro materiálové využití BRO kompostováním a v případě Brna lepší využívání již existujících kompostovacích kapacit.

Kapacita zařízení na materiálové využití BRO není v obou městech dostatečná, v Brně je v současnosti lépe vyřešena pouze možnost kompostování, kde má Centrální kompostárna dostatečnou kapacitu. Před definitivním rozhodnutím o zavedení separovaného sběru BO je však nutno v obou městech posoudit jeho začlenění do integrovaného systému v oblasti nakládání s odpady jako základního konceptu umožňujícího koordinovaný přístup k nakládání s odpady a co nejvyšší míru provázání jednotlivých postupů a technologií jak pro BO tak pro ostatní toky odpadů.

Literatura

1. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně dalších zákonů (zákon o odpadech), v platném znění.
2. Nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky.
3. *Situační zpráva k Realizačnímu programu POH ČR pro komunální odpady* (2004).
4. Vyhláška č. 381/2001 Sb., Katalog odpadů, ve znění pozdějších předpisů.
5. Webová stránka <http://isoh.cenia.cz/groupisoh>, staženo 12. 12. 2009.

6. Benešová L.: Výzkumná zpráva projektu VaV MŽP č. SP/2f1/132/08, 2009.
Studie popisující složení domovního odpadu ve městě Brně od společnosti QZP, s. r. o.
Studie složení odpadu ve městě Brně z roku 2010 od společnosti Tanzer Consulting.
7. Kalina J.: *Diplomová práce*. Masarykova univerzita, Brno.
8. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic.
9. Zelená kniha o nakládání s biologickým odpadem v Evropské unii (KOM(2008)811)
10. Webová stránka <http://www.info.mfcr.cz/ares/ares.html.cz>, staženo 20. 4. 2010.
11. Webová stránka <http://www.risy.cz>, staženo 18. 4. 2010.
12. Dědek K.: Výzkumná zpráva projektu VaV MŽP č. SL/7/115/05, 2006.
13. Webová stránka <http://www.czso.cz/xb/edicniplan.nsf/publ/13-6224-03-2001>, staženo 7. 10. 2010.
14. Hřebíček, J., Friedman, B., Hejč, M., Horsák, Z., Chudárek, To., Kalina, J., Piliar, F.: *Integrovaný systém nakládání s odpady na regionální úrovni*. Littera, Brno 2009.
15. Webová stránka <http://biom.cz>, staženo 29. 3. 2009.
16. Lacuška, M.: Odpady 10, 20 (2010).
17. Webová stránka <http://px-web.statistics.sk/PXWebSlovak/index.htm>, staženo 12. 4. 2009.
18. Webová stránka <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komunalni-biopllynova-stance-u-passau-v-bavorsku>, staženo 13. 3. 2010.
19. Webová stránka http://www.wadef.com/projects/isteac/StudyReport_Biowaste_Separation_Effects.Work_Results.pdf, staženo 11. 9. 2010.
20. Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů implementovaná vyhláškou č. 294/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v aktuálním znění.

Comparison of bio-waste management in integrated waste management systems

**prof. RNDr. Jiří Hřebíček, CSc.^a, Ing. Zdeněk Horsák, Ph.D.^b,
Mgr. Jiří Kalina^c, Ing. František Piliar^d, Ing. Miroslav Lacuška, CSc.^e**

^aInstitut biostatistiky a analýz, Kamenice 3, 625 00 Brno, e-mail: hrebicek@iba.muni.cz

^bSITA CZ, Španělská 10, 120 00 Praha, e-mail: zdenek.horsak@sita.cz;

^cCentrum pro výzkum toxických látek v prostředí, Kamenice 3, 625 00 Brno, e-mail: kalina@mail.muni.cz

^dEco-management, s. r. o., K Západí 54, 621 00 Brno, e-mail: piliar@ecomanag.cz

^eEnviro Adviser, e-mail: mlac@zoznam.sk

Summary

This paper explains the definition of bio-waste and its position towards biodegradable municipal waste and deals with possibilities of separate collection and managing with bio-waste, which is one of the main components of integrated waste management systems. Furthermore it describes two studies on collection and managing with bio-waste in two different Central European cities (Brno, Bratislava). Finally it concludes, that available waste treatment facilities are not sufficient for the whole production of bio-waste in considered cities.

Keywords: Integrated waste management system, bio-waste, Brno, Bratislava.

Možnosti náhrady nového přírodního drceného kameniva v konstrukčních vrstvách pražcového podloží

Petr Kučera, Martin Lidmila

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,

e-mail: petr.kucera.2@fsv.cvut.cz, martin.lidmila@fsv.cvut.cz

Souhrn

Článek komentuje současné přístupy ke zřizování konstrukčních vrstev pražcového podloží a uvádí možnosti využití recyklátů jako náhrady nového přírodního drceného kameniva. V experimentální části pak shrnuje dílčí výsledky laboratorních zkoušek vybraných vlastností stmelených směsí s významným podílem recyklátů a vedlejších produktů.

Klíčová slova: pražcové podloží, recyklát, šterkodrt', výzisk, stmelená směs, asfaltová emulze

1 Úvod

V současné době je zřetelná snaha uplatňovat principy opětovného využití výrobků a materiálového využití odpadů tak, jak to ukládá zákon o odpadech¹. Tento trend lze sledovat i ve stavebnictví, které je průmyslovým odvětvím s nejvyšší produkcí odpadů. V oblasti železničních staveb dlouhodobě dochází k opětovnému využívání součástí železničního svršku (kolejnice, upevňovadla, pražce i kolejové lože). Jako perspektivní se jeví také využití recyklovaných materiálů v konstrukčních vrstvách pražcového podloží a to buď ve formě nestmelených nebo stmelených směsí. Motivací je především úspora přírodních zdrojů. Bez patřičné ekonomické opodstatněnosti by však tyto principy na trhu neobstály. Proto lze využití recyklovaných materiálů očekávat především za těchto předpokladů:

- stavba probíhá v oblastech, kde je nedostatek zdrojů přírodního kameniva a je k dispozici dostatečné množství materiálu vhodného k recyklaci,
- rozsah stavby je takový, že se vyplatí zřízení dočasného recyklačního centra,
- bude-li mít recyklovaný materiál či směs lepší užitné vlastnosti než přírodní kamenivo.

Zřizování vrstev ze stmelených směsí je technologicky náročnější a vyžaduje speciální mechanizaci. Jejich uplatnění lze hledat v případech, kdy by provedení vrstvy z nestmelených směsí nepřineslo potřebný efekt nebo bylo ekonomicky nevýhodné. Příkladem může být nutnost zvýšení únosnosti zemní pláně nebo požadavek na nepropustnost vrstvy pražcového podloží.

2 Nestmelené směsi pro konstrukční vrstvy

Konstrukční vrstvy pražcového podloží musí zajišťovat především:

- dostatečnou únosnost na horním povrchu konstrukční vrstvy (tzn. na pláni tělesa železničního spodku),
- ochranu zemní pláně před nepříznivými účinky mrazu,
- odvodnění zemní pláně resp. pláně tělesa železničního spodku.

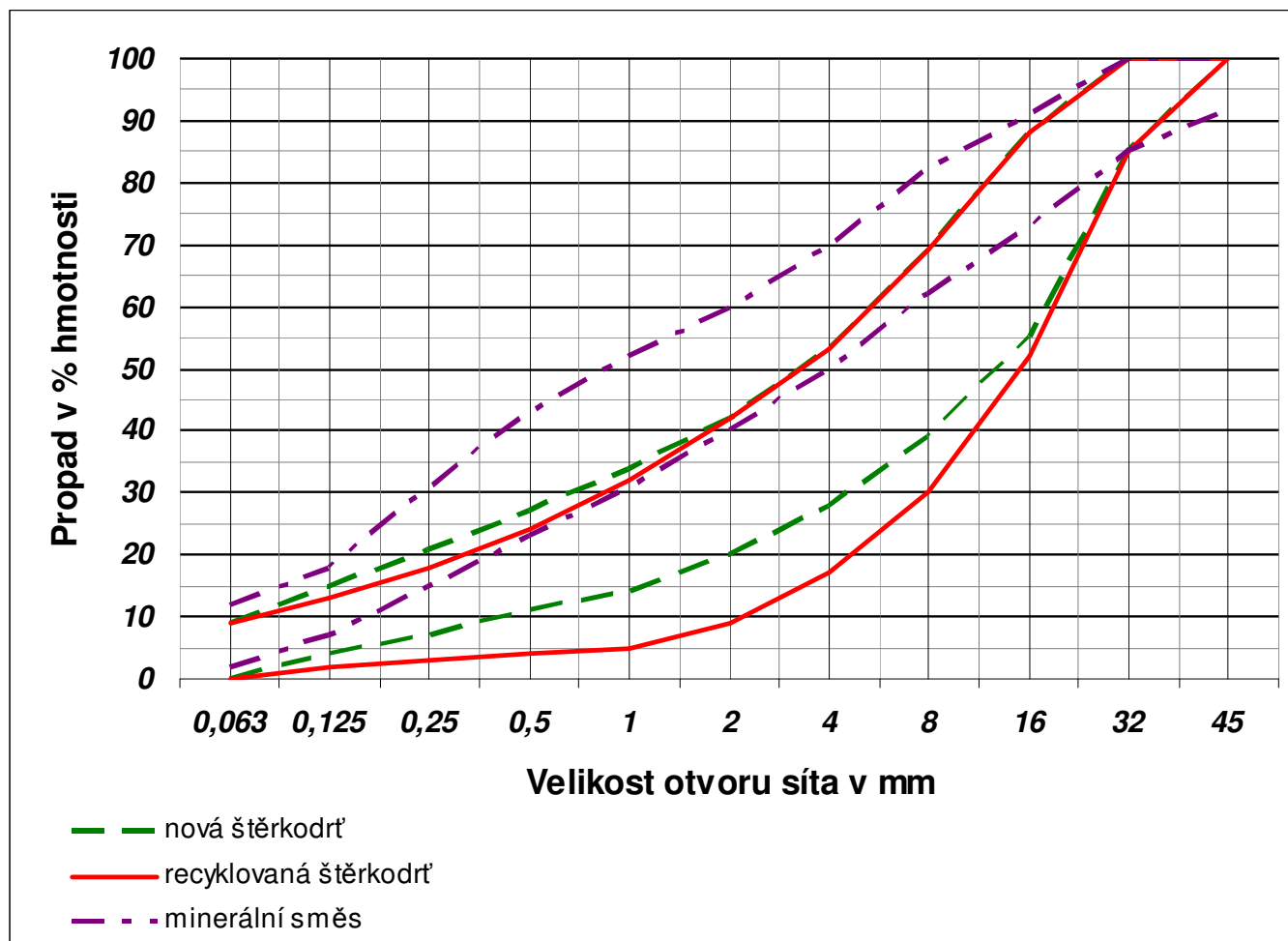
Pro zřizování konstrukčních vrstev se v současné době v oblasti železničního stavitelství užívá především šterkodrti. Použitelnými materiály jsou rovněž tzv. minerální směs, recyklovaná šterkodrt',

tříděná vysokopecní struska a štěrkopísek. Dva posledně jmenované materiály se v současnosti uplatňují jen v omezené míře a článek se jimi nezabývá. Jako potenciálně vhodný materiál se naopak ukazuje betonový recyklát, o němž se Obecné technické podmínky (OTP)² a předpis SŽDC S4: Železniční spodek³ nezmiňují.

2.1 Šťerkodř z nového přírodního kameniva

Nejčastěji používaným materiálem pro provádění konstrukčních vrstev pražcového podloží na železničních tratích v ČR je šťerkodř frakce 0/32 případně 0/22. Kamenivo je získáváno těžbou v lomech, následným drcením a tříděním na danou frakci. Požadavky jsou kladeny na vybrané technické vlastnosti, konkrétně zrnitost (viz graf 1), z níž se odvozují další vlastnosti; nenamrzavost, propustnost a filtrační kritérium vůči zemině zemní pláň. Sleduje se rovněž zhutnitelnost a číslo nestejnosrnnosti. Dále je předpisem omezen obsah nadsítného, jemných a cizorodých částic a míra zahlinění. Z hlediska odolnosti kameniva proti mechanickému poškození a působení vody a mrazu jsou kladeny požadavky na otlukovost v bubnu Los Angeles (otlukovost LA), trvanlivost (případně mrazuvzdornost) a nasákavost. Porovnání požadavků na jednotlivé materiály je uvedeno v tabulce 1³.

Graf 1: Porovnání požadavků na zrnitost u nové šťerkodři, recyklované šťerkodři a minerální směsi



2.2 Minerální směs

Minerální směsi se pro zřizování konstrukčních vrstev železničního spodku používají v případě, kdy je požadována malá propustnost nebo vyšší únosnost pláně tělesa železničního spodku. Malá propustnost (požaduje se koeficient propustnosti max. $1 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$) je důsledkem většího podílu jemné frakce v minerální směsi (viz graf 1). Minerální směs se vyrábí míšením alespoň dvou frakcí drceného přírodního nebo recyklovaného kameniva v mísícím centru. Maximální obsah recyklátu ve směsi je stanoven na 70 % hmotnosti³. Požadavky na minerální směs jsou uvedeny v tabulce 1. Zásadní rozdíly se týkají především předepsaných hodnot propustnosti, otlukovosti LA a obsahu jemných částic. Pokud je vstupem pro výrobu minerální směsi také recyklovaný materiál, je nutné doložit jeho ekologickou nezávadnost stejně jako u recyklované šterkodrti (viz níže).

2.3 Recyklovaná šterkodrt'

Recyklovaná šterkodrt' se v praxi obvykle získává předrcením výzisku z kolejového lože, ze kterého byla předtím odstraněna frakce 0/8 případně 0/16. Vlastnosti recyklované šterkodrti jsou ovlivněny mnoha faktory. Konkrétně původem a mineralogickým složením původního kameniva do kolejového lože, charakterem a intenzitou provozu na železniční trati, klimatickými podmínkami a samozřejmě dobou, po kterou bylo kamenivo vystaveno vlivům provozu a povětrnosti. Z hlediska zrnitostního složení je hlavním nositelem kvality drobná frakce. Drobná frakce je tvořena cizorodými částicemi a úlomky kameniva, které bylo poškozeno údržbou (zejména podbíjením) resp. působením zatížení, vody a mrazu. Mezi cizorodé částice lze řadit materiál, který:

- proniká do kolejového lože z nižších vrstev pražcového podloží,
- se dostává do kolejového lože spadem z projíždějících nákladních vozů,
- má původ v přetrvávajícím provozu osobních vozů bez uzavřeného systému WC,
- je přinášený větrem,
- je pozůstatkem provozu parní trakce např. saze a uhelný prach.

Při třídění výzisku pomocí sít samozřejmě nelze odstranit všechny částice menší než je velikost oka použitého síta, neboť na povrchu hrubé frakce dochází k ulpívání drobných částic. Právě drobná frakce je hlavním nositelem nevhodných vlastností a znečišťujících látek. Znečišťující látky mají svůj původ zejména v:

- úniku paliv a maziv z vozidel,
- opotřebením součástí železničního svršku a vozidel,
- aplikací herbicidů pro potírání růstu vegetace,
- úniku impregnačních látek z dřevěných pražců.

V důsledku toho je u recyklované šterkodrti nutné důsledně sledovat ekologickou nezávadnost. Jsou omezeny maximální koncentrace vybraných škodlivin a to odděleně ve vodním výluhu frakce 8/32 a v pevné fázi frakce 0/8³. Další technické požadavky jsou většinou obdobné jako v případě nové šterkodrti (viz kap. 2.1). I zde však lze nalézt některé rozdíly. První z nich se týká zrnitosti. U recyklované šterkodrti její dovolený rozsah širší než u šterkodrti z nového kameniva a předpis je tedy v případě recyklovaného materiálu benevolentnější (srovnání viz graf 1). Další zásadní rozdíl v požadavcích pak spočívá v tom, že u recyklované šterkodrti již není třeba prokazovat vlastnosti, které byly předtím stanoveny u kameniva nového, a u nichž se předpokládá, že se vlivem provozu, údržby, povětrnosti a času nezměnily (nasákavost, otlukovost LA, trvanlivost; viz srovnání v tabulce 1). Toto neplatí docela, pokud kamenivo kolejového lože, z něhož pochází výzisk, obsahuje vápenec. V takovém případě je třeba stanovit procentuální obsah vápence ve výzisku a rovněž otlukovost v bubnu LA.

Tabulka 1: Porovnání základních technických požadavků na materiály pro konstrukční vrstvy³

Vlastnost	Požadovaná hodnota			Podle normy
	Štěrkodrt'	Minerální směs	Recyklovaná štěrkodrt'	
číslo nestejnozrnnosti C_u	min. 15			ČSN EN 933-1
nadsítné v % hmotnosti	max. 15 %			ČSN EN 933-1
koeficient propustnosti	10^{-4} až 10^{-6}	$< 1 \cdot 10^{-6}$	10^{-4} až 10^{-6}	TNŽ 73 6949
cizorodé částice	max. 1 % ¹⁾	max. 1 %	max. 1 %	ČSN 72 1180
otlukovost LA v % hmot.	max. 50 % ²⁾	max. 25 %	max. 40 % ⁵⁾	ČSN EN 1097-2
nasákavost v % hmotnosti	max. 3 %	max. 3 %	-	ČSN EN 1097-6
jemné částice	max. 9 %	max. 7 %	max. 9 %	ČSN EN 933-1
míra zahlinění ztrátou sušením v % hmot.	max. 1 %	-	-	ČSN 72 1187
míra zahlinění zkouškou metylenovou modří v g/kg	max. 10	-	-	ČSN EN 933-9
trvanlivost – úbytek frakce v % hmotnosti po 5 zkušebních cyklech (frakce 8/16) ³⁾	max. 12 %	-	-	ČSN 72 1176
mrazuvzdornost – úbytek frakce v % hmotnosti po 10 cyklech frakce (8/16) ⁴⁾	max. 4 %	-	-	ČSN EN 1367-1
horní hranice % obsahu vápence ve výzisku	-	-	max. 30 %	ČSN EN 932-3
¹⁾ frakce > 4 mm ²⁾ frakce 8/32 resp. 8/22 ³⁾ nevyhovuje-li štěrkodrt' tomuto kritériu, je rozhodující zkouška odolnosti proti mrazu ⁴⁾ zkouší se tehdy, když štěrkodrt' nevyhovuje zkoušce trvanlivosti ⁵⁾ v případě výskytu vápence ve výzisku; frakce 8/32 resp. 8/22				

2.4 Betonový recyklát

Vlastnosti betonového recyklátu závisí na složení a jakosti betonové směsi při výrobě primárního výrobku, působení vlivů okolního prostředí (např. povětrnost, teplota či agresivita) a stáří materiálu. Dále pak na čistotě recyklátu, neboť významný podíl cizorodých částic (např. cihelné drti) může vést ke zhoršení fyzikálních a mechanických vlastností recyklátu. V oblasti silničního stavitelství se lze setkat s využitím betonového recyklátu do ochranných a podkladních vrstev vozovek. Předpisy upravující podmínky při stavbě železničních drah umožňují aplikaci betonového recyklátu do vrstev označovaných jako „mechanicky zpevněné zeminy“. Stranou zájmu zatím stojí možnost použití kvalitních (jednodruhových) betonových recyklátů do konstrukčních vrstev pražcového podloží jako náhrady přírodní štěrkodrti resp. výroba stmelovaných směsí s významným podílem betonového recyklátu. Tyto možnosti jsou od roku 2010 ověřovány v rámci výzkumných úkolů probíhajících na Katedře železničních staveb, Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Zkoumaný betonový recyklát z železničních pražců byl vyroben v březnu 2010 na recyklační základně v Předměřicích nad Labem. Drcení, během něhož byly separovány nežádoucí součásti pražců (např. ocelová výztuž a hmoždinky), proběhlo pomocí čelistového drtiče Metso Nordberg LT 105. Pražce pocházely ze zrušené vlečky panelárny přiléhající k areálu recyklační základny. Celkem bylo nadrceno 12 pražců typu PB2 a SB8 vyrobených z vysokopevnostního betonu jakostní třídy B500. Drcený materiál byl tříděn na frakce pomocí dvousítné

třídíčky Powerscreen 600. Nadrcením 12 pražců vzniklo 1,45 t recyklátu frakce 0/32 a 32/63 v poměru cca. 3:1⁴. Z dosavadních výsledků výzkumu je patrné, že zkoumané vlastnosti betonového recyklátu vyhovují požadavkům na novou šterkodrt^{2,3}.

3 Uplatnění recyklovaných materiálů ve stmelených směsích

Recyklovaný materiál lze v konstrukčních vrstvách pražcového podloží využít několika způsoby. Jedná se zejména o:

- náhradu nového přírodního kameniva v nestmelených konstrukčních vrstvách v plném nebo částečném rozsahu,
- aplikaci do vrstev mechanicky zpevněných zemin,
- výrobu stmelných směsí pro stabilizované vrstvy pražcového podloží podle přílohy 13 předpisu³.

V současné praxi se pro výrobu stabilizovaných vrstev jako pojiva nejčastěji používá cementu nebo vápna. V této části jsou shrnuty zkušenosti s výrobou a laboratorními zkouškami tří typů stmelných směsí s většinovým podílem recyklovaných materiálů – recyklované šterkodrti resp. betonového recyklátu. Společným znakem je rovněž použití asfaltové emulze jako pojiva a to samotného nebo v kombinaci s cementem resp. fluidním popílkem. Vzhledem k použité kombinaci pojiv se zkoumané směsi vymykají platným předpisům v oblasti železničního stavitelství. Přesto bylo snahou co nejvíce se držet postupů předepsaných normami pro směsi stmelné hydraulickými pojivy^{5,6} a technickými podmínkami Ministerstva dopravy pro recyklace vozovek za studena⁷.

Základní návrhové parametry stabilizací jsou uvedeny v tabulce 2³. Výchozím parametrem pro návrh složení stmelných směsí byla zvolena pevnost v prostém tlaku stanovovaná na tělesech tvaru válce o průměru 100 nebo 150 mm. Tělesa byla, v závislosti na rozměrech, vyráběna metodikou a vybavením pro zkoušku Proctor standard resp. Proctor modifikovaný⁸. Způsob zrání zkušebních těles byl v případě obou směsí zvolen na základě technických podmínek⁷, a to vzhledem k použití asfaltové emulze jako pojiva. Zrání probíhalo vždy první den ve formě resp. v neprodyšném obalu, poté byla tělesa vyjmuta a nadále zrála na vzduchu při teplotě 20±2 °C. Celková doba zrání činila 3, 7 nebo 28 dnů. Cílem experimentů bylo především ověřit, zda budou směsi za daných podmínek dosahovat požadovaných pevností v prostém tlaku a stanovit, jaký vliv bude mít částečná náhrada betonového recyklátu fluidním popílkem.

Tabulka 2: Základní návrhové parametry stabilizací³

Vlastnost	Požadovaná hodnota
tloušťka vrstvy po zhutnění	min. 0,25 m
Proctor Standard PS	min. 100 %
relativní ulehlost I_D	min. 0,9
modul přetvárnosti na vrstvě stabilizace $E_{p \text{ stab}}$	min. 60 MPa
hodnota metylénové modři	0 – 2
pevnost v prostém tlaku	min. 2,5/1,0 ^{*)} MPa
odolnost proti mrazu a vodě	min. 3,5/1,2 ^{*)} MPa
*) Platí pro použití v zemním tělese a podloží	

3.1 Směs s obsahem recyklované šterkodrti

Pro laboratorní zkoušky byla zvolena recyklovaná šterkodrt' odebraná z deponie stavby „Optimalizace trati Beroun – Zbiroh“. Jedná se o recyklovanou šterkodrt' frakce 0/32, která byla vyrobena z pročištěného a předrceného výzisku, vytěženého z přilehlého traťového úseku. Dále byl odebrán vzorek podsítného z procesu čištění vytěženého výzisku. Na základě laboratorních zkoušek (vlhkost, zrnitost, Proctor standard) byla navrženo následující složení receptury (označeno jako směs 1) vyjádřené v hmotnostních procentech:

směs 1:

- 69,6 % recyklované šterkodrti frakce 0/32,
- 17,4 % materiálu vzniklého jako podsítné při čištění výzisku z kolejového lože,
- 5 % vody,
- 5 % asfaltové emulze Eurovia Emultech P,
- 3 % portlandského cementu CEM II/B-S 32,5R.

Návrh zohledňuje zkušenosti z oblasti silničních staveb, kde se doporučuje kombinovat jako pojivo asfaltovou emulzi a cement. Zkušební tělesa byla vyrobena pomocí přístroje a metodiky pro Proctorovu standardní zkoušku⁸. Po 3 resp. 7 dnech zrání byla stanovena jejich pevnost v prostém tlaku. Zrání probíhalo první den za stálé vlhkosti (zajištěno pomocí PVC obalu) a po zbylou dobu s možností vysychání v laboratorních podmínkách. Výsledné pevnosti zkušebních těles v prostém tlaku⁹ jsou uvedeny v tabulce 3¹⁰.

Tabulka 3: Pevnost v prostém tlaku zkušebních těles ze směsi 1¹⁰

Celková doba zrání [dny]	Pevnost v prostém tlaku v MPa			
	těleso č. 1	těleso č. 2	těleso č. 3	Průměr
3	1,44	1,45	1,35	1,41
7	2,23	2,09	2,08	2,13

3.2 Směs s obsahem betonového recyklátu

Z betonového recyklátu byly vyrobeny dvě směsi, první obsahovala pouze recyklát, asfaltovou emulzi a vodu, do druhé směsi bylo navíc přidáno předem stanovené množství fluidního popílku z elektrárny Ledvice. Receptura směsí (označení 2 a 3) byla následující:

směs 2:

- 92 % betonového recyklátu frakce 0/32,
- 2 % vody,
- 6 % asfaltové emulze Eurovia Emultech P.

směs 3:

- 75 % betonového recyklátu frakce 0/32,
- 15 % fluidního popílku z elektrárny Ledvice,
- 4 % vody,
- 6 % asfaltové emulze Eurovia Emultech P.

Zjištěné hodnoty pevnosti zkušebních těles v prostém tlaku⁹ jsou uvedeny v tabulce 4 a 5.

Tabulka 4: Pevnost v prostém tlaku zkušebních těles ze směsi 2

Celková doba zrání [dny]	Pevnost v prostém tlaku v MPa			
	těleso č. 1	těleso č. 2	těleso č. 3	Průměr
3	0,54	0,44	0,65	0,54

Tabulka 5: Pevnost v prostém tlaku zkušebních těles ze směsi 3

Celková doba zrání [dny]	Pevnost v prostém tlaku v MPa			
	těleso č. 1	těleso č. 2	těleso č. 3	Průměr
3	1,22	1,08	0,99	1,10
7	1,62	1,51	1,54	1,56
28	2,85	2,81	2,63	2,76

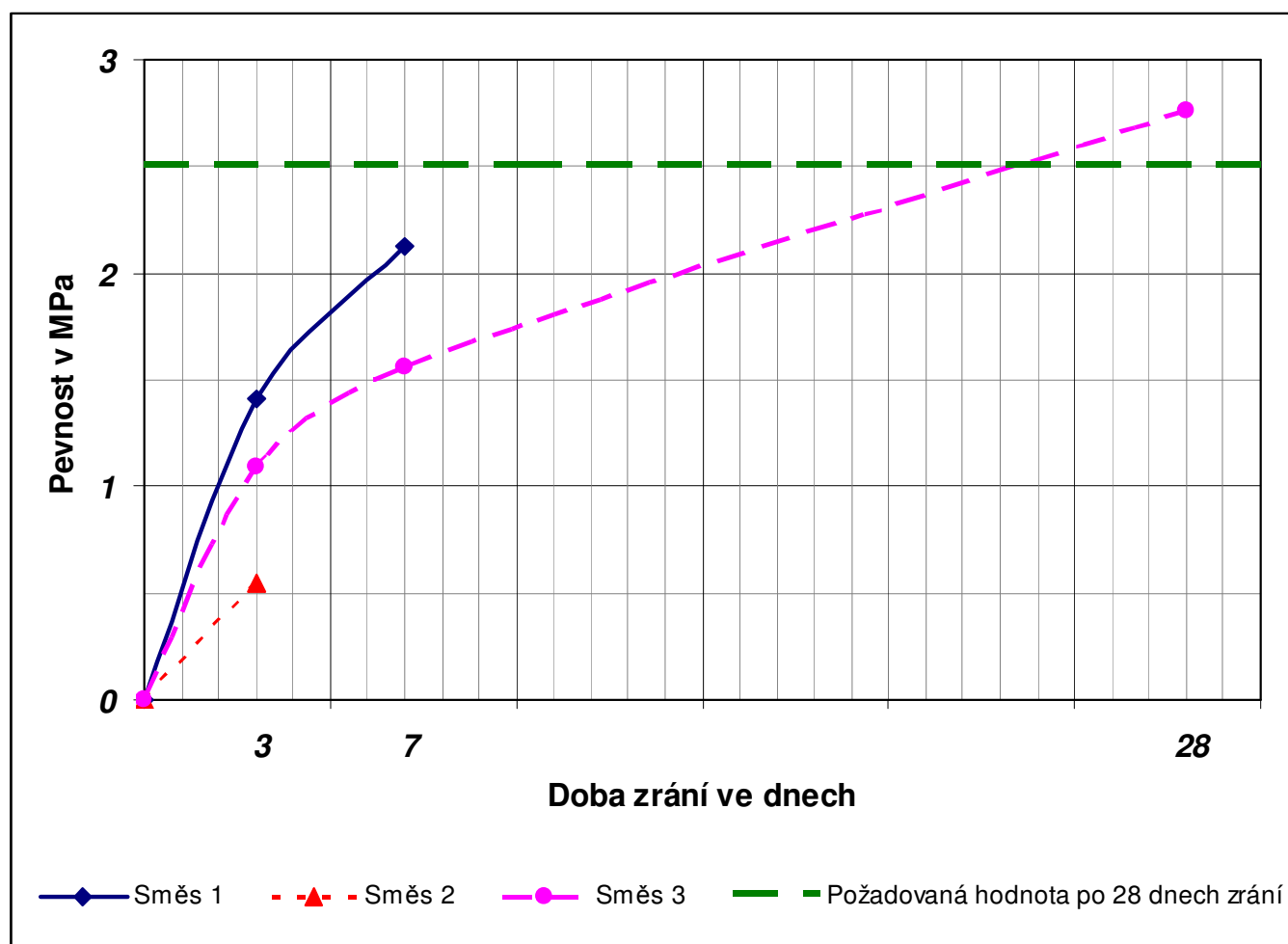
3.3 Zhodnocení výsledků

Dosažené hodnoty pevnosti v tlaku zkušebních těles v závislosti na době jejich zrání pro obě výše popsané směsi jsou uvedeny v grafu 2. Z grafu vyplývá následující:

- aplikací asfaltové emulze v kombinaci s cementem resp. fluidním popílkem lze výrazně zlepšit deformační charakteristiky vrstev ze zkoumaných recyklovaných materiálů,
- směs 1 s obsahem cementu vykazuje výrazně rychlejší nárůst pevnosti v prvních 7 dnech zrání,
- směs 1 dosáhla již po 7 dnech pevnosti v tlaku 2,13 MPa, což odpovídá třídě pevnosti C_{1,5/2,0} klasifikace podle pevnosti v tlaku⁴
- směs 2, u které nebyla asfaltová emulze kombinována s dalším pojivem, dosáhla po 3 dnech pevnosti v tlaku 0,54 MPa, což je méně než 50 % hodnot u směsí 1 a 3,
- směs 3 dosáhla po 28 dnech zrání pevnosti v tlaku 2,76 MPa, čímž splňuje požadavek na stabilizace³.

Během výzkumu byly získány i některé další poznatky o vlastnostech a chování obou směsí. Bylo možné sledovat, že i po vzniku významných plastických deformací zkušebních těles (pozorovatelných pouhým okem) dochází k dalšímu nárůstu pevnosti.

Graf 2: Srovnání pevnosti v prostém tlaku zkušebních těles ze směsi s obsahem recyklované šterkodrti (směs 1) a betonového recyklátu (směs 2 a 3)



Závěry

Dosavadní výsledky laboratorních zkoušek prokázaly, že z pohledu mechanických vlastností lze jednodruhový betonový recyklát úspěšně využívat jako náhradu přírodního drceného kameniva do konstrukčních vrstev pražcového podloží. Klíčovým úkolem v dalším období řešení projektu bude stanovení modulu deformace materiálu. Tato veličina je základním parametrem, který je v praxi využíván při navrhování konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku, jako vícevrstvého systému, podle modulu přetvárnosti. Současně s řešením mechanických vlastností bude sledována problematika aplikace betonového recyklátu z pohledu ekologických požadavků.

Z výsledků laboratorních zkoušek pevnosti v prostém tlaku stmelených směsí vyplývá nutnost kombinovat asfaltovou emulzi s dalším pojivem. V případě použití asfaltové emulze v kombinaci s cementem nebo fluidním popílkem jsou zjištěné hodnoty dostatečné pro použití směsi v pražcovém podloží. Překážkou pro aplikaci asfaltové emulze v oblasti železničních staveb je skutečnost, že v příslušných předpisech nejsou definovány návrhové postupy a požadavky.

Poděkování

Článek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT 2010 číslo SGS10/142/OHK1/2T/11.

Literatura

1. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Sbírka zákonů 2001.
2. OTP č.j. 25 640/06 – OP: Štěrkopísek, štěrkodrt' a recyklovaná štěrkodrt' pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku. (2006).
3. SŽDC S4: Železniční spodek. (2008)
4. Šablatura J.: *Bakalářská práce*. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2010.
5. ČSN EN 14 227-1: Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi stmelené cementem. (2008).
6. ČSN EN 14 227-3: Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 3: Směsi stmelené popílkem. (2008).
7. TP 208: Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena (2009).
8. ČSN EN 13286-2 ZMĚNA Z1: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška. (2007).
9. EN 13286-41: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směrů stmelěných hydraulickými pojivy. (2004).
10. Kučera P., Lidmila M., Mondschein P.: *Recyklace odpadů XIII, Ostrava, 27 listopadu 2009, Sborník přednášek* (Fečko P., Čablík V., ed.) str. 143. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2009.

Possibilities of compensation of new natural crushed stone in the track bed layers

Petr Kučera, Martin Lidmila

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Railway Structures, Thákurova 7, 166 29 Prague 6

Summary

The article comments recent approach a track bed layers installation and introduces the possibilities of recycled materials utilization instead of new natural crushed stone. Furthermore, there is a summary of partial laboratory tests of selected characteristics of bound materials with the application of recycled materials and by-products in the experimental part of the article.

Keywords: track bed, recycled material, sub-ballast, ballast material for re-use, bound material, bitumen emulsion

Vlastnosti betonu se syntetickými vlákny a recyklovaným kamenivem

Vladimíra Vytlačilová, Jan Vodička

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
e-mail: vladimira.vytlacilova@fsv.cvut.cz

Souhrn

Jedním z nových řešení v oblasti recyklace stavebního odpadu je využití kameniva získaného recyklací stavebního odpadu – cihelné nebo betonové sutě, jako plné náhrady za přírodní kamenivo při výrobě betonu se syntetickými vlákny. V příspěvku jsou shrnuty výsledky experimentálního programu, jehož cílem bylo prokázat základní mechanicko-fyzikální vlastnosti kompozitu s použitím různých druhů vláken spolu s cihelným nebo betonovým recyklátem. Charakteristiky tohoto kompozitu, prokázané v rámci experimentálního programu jsou dostatečné pro využití recyklátů zejména v nově budovaných zemních konstrukcích v dopravním a vodním stavitelství.

Klíčová slova: stavební a demoliční odpad, recyklace, syntetická vlákna, vláknobeton, mechanicko-fyzikální vlastnosti, experimentální program

Úvod

Velký objem spotřebovávaných materiálů ve stavebnictví představuje značný potenciál pro využití recyklovaných materiálů v nových konstrukcích. Rychle ubývajícím zdroje neobnovitelných nerostných surovin, energetická náročnost jejich získávání, negativní vlivy na životní prostředí při jejich těžbě, zpracování i následném využití jsou impulsem pro hledání nových možností v rámci „udržitelné výstavby“. Jednou z možností, jak přispět ke snížení hromadícího se odpadu produkovaného stavebnictvím a úspoře přírodních zdrojů kameniva je využití recyklovaných a recyklovatelných materiálů v betonovém stavitelství. Materiálů, vhodných k recyklaci a následnému opětovnému použití ve stavebnictví, je přitom celá řada^{1,2}. Můžeme znovu zpracovat nejen stavební a demoliční odpad, odpad vznikající průmyslovou výrobou či těžbou primárních surovin, ale i odpad komunální. Využití odpadních materiálů znamená sice dodatečné náklady na změnu a rozvoj technologií, nabízí však úsporu primárních surovin a významné snížení množství odpadů ukládaných na skládky.

V současné době se již s procesy recyklace ve stavebním průmyslu můžeme setkat často a možnosti uplatnění jsou neustále rozšiřovány³. Recykláty ze stavebních a demoličních odpadů se využívají převážně jako podřadné materiály zejména v dopravním stavitelství při výstavbě silničních a železničních komunikací a při terénních úpravách a rekultivacích jako podkladový a zásypový materiál. Betonový a cihelný recyklát jako kamenivo do nového betonu se používá v omezené míře a nejčastěji pouze jako částečná náhrada přírodního kameniva v rozmezí 10 – 30 %. Větší dávky recyklátu, který navíc musí být tříděn do frakcí stejně jako přírodní kamenivo, jsou limitovány vlastnostmi těchto betonů. Nezanedbatelný je i požadavek na posuzování jeho vhodnosti k výrobě betonu a přísnější kontroly technologie výroby betonu s využitím recyklátu.

Myšlenka vyrobit vláknobeton s náhradou přírodního kameniva recykláty (betonovým nebo cihelným) není myšlenkou zcela novou. V zahraničí již existují různé výsledky výzkumu, které ukazují na reálnost využití tohoto kompozitu ve stavebnictví^{4,5}. Praktické uplatnění však není příliš známo. Nabízená možnost zpracování stavebního odpadu pro výrobu vláknobetonu v ČR vyplynula z výsledků výzkumu uskutečněného na ČVUT v Praze, Fakultě stavební, během několika posledních let. Dále uvedený experimentální program navazuje na již získané zkušenosti s betonem vyrobeným se syntetickými vlákny spolu s plnou náhradou přírodního kameniva cihelnými a betonovými recykláty, které byly získány z recyklačního zařízení ze stavebního a demoličního odpadu^{6–11}.

Experimentální část

Experimentální výzkum

Cílem výzkumu je stanovení a zhodnocení vlastností betonů s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty a stanovení podmínek pro jejich výrobu a vhodného využití ve vytipovaných praktických aplikacích. Experimentální program zahrnuje komplexní přístup k posouzení zkoušeného kompozitu, přičemž předchozí výsledky byly již dříve publikovány např. ⁶⁻¹¹. Příklady možných aplikací navržených na základě modelů jsou pak publikovány v ¹²⁻¹⁵. V rámci uskutečněného programu byla dosud pozornost zaměřena na:

- stanovení vlastností recyklátů vhodných pro výrobu vláknobetonů,
- návrh složení (receptur) (vlákno)betonů s recykláty,
- stanovení návrhového postupu výroby (technologický postup výroby směsi, ukládání, zpracování),
- stanovení mechanicko – fyzikálních charakteristik kompozitu: objemová hmotnost, pevnost v tlaku, příčném tahu a tahu za ohybu, mrazuvzdornost a vodotěsnost, modul pružnosti, chování kompozitu po vzniku trhlin, hodnocení zdravotní nezávadnosti a environmentálních rizik,
- porovnání charakteristik kompozitu vyrobených s recykláty různých zrnitostí,
- sledování vlivu náhrady části množství cementu popílkem,
- statistické vyhodnocení naměřených výsledků,
- navržení možných uplatnění v praktických aplikacích: počítačová simulace chování zemního svahu vyztuženého deskami z vláknobetonu s recykláty a následně vyrobený laboratorní model vyztužené zemní hráze.

Zjištěné výsledky z předchozích experimentálních zkoušek prokázaly příznivý vliv vláken na vlastnosti betonů s recykláty a reálnost uplatnění vláknobetonového kompozitu v reálných aplikacích. Souhrn (rozmezí) základních mechanicko – fyzikálních vlastností vláknobetonu s recykláty je uveden v **tabulce 1**. Na získané poznatky uvedené v publikacích ⁶⁻¹¹ navazuje níže představený experimentální program jehož cílem byla optimalizace návrhu kompozitu z hlediska vlivu různých druhů a množství vláken na charakteristiky kompozitu. Při výrobě byl kladen požadavek na minimální ekonomickou, materiálovou a technologickou náročnost s ohledem na možnou implementaci v praktických aplikacích. Experimenty byly prováděny v ústředních laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

Tabulka 1: Souhrn základních mechanicko- fyzikálních vlastností vláknobetonu s recykláty na základě rozsáhlého experimentálního programu

Charakteristiky		Betonový recyklát	Cihelný recyklát
Objemová hmotnost	[kg/m ³]	2000 – 2200	1800 – 2100
Pevnost v tlaku 150x150x150 mm	[MPa]	12 – 30	12 – 28
Pevnost v příčném tahu 150x150x150 mm	[MPa]	1,6 – 2,5	1,5 – 3,3
Pevnost v tahu za ohybu 150x150x700 mm	[MPa]	1,6 – 2,5	1,5 – 2,8
Modul pružnosti 150x150x150, válec 150x300 mm	[GPa]	13 – 18	11 – 15

Klíčové prvky vláknobetonové směsi tvoří čtyři základní složky: kamenivo – cihelný nebo betonový recyklát, cement, voda a vlákna. Jejich konkrétní poměr a vlastnosti jednotlivých složek zásadně ovlivňují výsledné chování vláknobetonové směsi a charakteristiky konečného produktu.

Cihelný a betonový recyklát

Na základě již publikovaných poznatků o recyklátech je zřejmé, že jejich vlastnosti jsou velmi heterogenní s větším rozptylem hodnot v závislosti na konkrétní demolované stavbě. Z tohoto důvodu

není cílem tohoto výzkumu konkrétní stanovení všech zkoušených vlastností recyklátů určených jako plné náhrady přírodního kameniva v betonu dle technických norem platných v případě přírodního (nebo i recyklovaného) kameniva. Hlavní myšlenka vychází z předpokladu, že je třeba zpracovat SDO, tak jak jej lze získat z recyklačních zařízení a navrhnout co nejjednodušší návrhový postup výroby vláknobetonu s recykláty. Podstatou tohoto kompozitu je tzv. široká čára zrnitosti použitého recyklátu, tj. omezení pouze maximální velikostí zrna podle parametrů reálné konstrukce, určené k aplikaci vláknobetonu. V tomto experimentálním programu byl použit pro výrobu cihelný (smíšený recyklát s převážným podílem cihelného zdiva) a betonový recyklát získaný z recyklační linky f. WEKO frakce 0/32 mm. Množství recyklátu bylo dávkováno v rozmezí 1566 až 1680 kg/m³.

Syntetická vlákna

Vlákna vhodná pro výrobu by měla být ze skupiny tzv. konstrukčních syntetických vláken. Délka těchto vláken by měla být cca 50 mm, aby došlo po ztvrdnutí vláknobetonu k provázání především hrubých zrn recyklátu s vlákny, a to díky soudržnosti mezi těmito komponenty přítomností cementového kamene. Tím dojde k vytvoření prostorové kostry struktury tohoto kompozita. V rámci tohoto experimentálního programu byla zkoušena vlákna od výrobců eMZet (Forta Ferro – polypropylenová monofilamentní nefibrilující vlákna vyráběná ze 100 % nového polypropylenu v kombinaci se síťovým (fibrilovaným) vláknem), Sklocement Beneš (BeneSteel – vysokopevnostní polymerová makrovlákna) a Grace Construction (syntetická vlákna Strux). Množství vláken ve zkoušených recepturách bylo stanoveno na základě předcházejících experimentálních zkoušek s vlákny na 0,5 a 1 % celkového objemu, aby byl prokázán jejich výraznější vliv ve struktuře betonu s recykláty a zároveň s ohledem na minimální ekonomické náklady.

Nevýhodou těchto vláken je poměrně vysoká cena, která omezuje širší využití vláknobetonu. Proto je v poslední době sledována možnost náhrady syntetických vláken vlákny získanými z odpadových PET lahví. Výhodou uvedeného řešení by mělo být výrazné snížení ceny vláknobetonu díky tomu, že syntetická vlákna, která jsou průmyslově vyráběná, lze nejen ekonomicky, ale i ekologicky nahradit odpadními vlákny z nápojových PET lahví používaných k baleným vodám. Vlákna z PET lahví jsou navíc druhou složkou vláknobetonového kompozita vyrobenou z odpadu. Pro zkoušky byla vlákna nastříhávána z odpadových PET lahví o délce 60 – 90 mm a šířce 1 – 2 mm. Vzhledem ke skutečnosti, že pevnosti těchto nastříhaných vláken jsou cca desetinou pevnosti vláken vyráběných průmyslově, byla hmotnostní dávka vláken pro zkoušky zvýšena na 1,5 % objemového vyztužení.

Cement

Množství cementu bylo stanoveno na základě předchozích experimentů v hodnotě 260 kg/m³ (z hlediska dostatečných pevností pro předpokládané aplikace). Tato hodnota je uvedena jako minimální hmotnost cementu v EN pro konstrukční betony. Všechny zkoušené receptury byly vyrobeny s portlandským cementem CEM II/B – V 32,5R.

Voda

Vodní součinitel se pohyboval v rozmezí 0,55 – 0,65 a byl upravován tak, aby byla docílena požadovaná zpracovatelnost. Z důvodu požadavku na minimální cenu kompozitu byly receptury modifikovány tak, aby nebylo třeba použít žádné přísady a příměsi zlepšující vlastnosti betonů při zachování dostatečné zpracovatelnosti.

Experimentální zkoušky

Měření základních mechanicko-fyzikálních vlastností bylo provedeno podle standardních testovacích metod pro běžný beton dle příslušných norem ČSN EN pro jednotlivé stanovení zkoušených charakteristik. Pevnost v tlaku a pevnost v příčném tahu byla odzkoušena na normových zkušebních krychlich o hraně 150mm, pevnost v tahu za ohybu na trámčích o velikosti 100x100x400mm. Zkoušky byly prováděny po 28 dnech od jejich vyrobení.

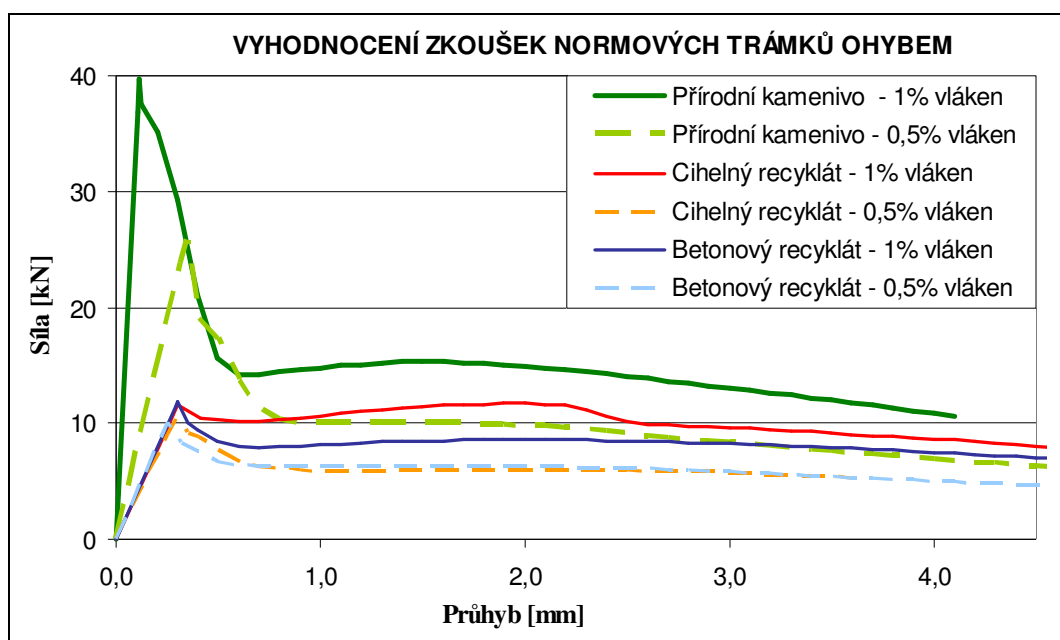
Výsledky a diskuse

Výsledky zkoušek – stanovení pevnosti v tlaku, příčném tahu a v tahu za ohybu spolu s objemovou hmotností jsou uvedeny v **tabulce 2** jako průměr 3 hodnot.

Tabulka 2: Hodnoty měřených charakteristik vláknobetonu s recykláty (MR – cihelný recyklát, BR – betonový recyklát)

Vzorky	Recyklát	Typ vláken	Objemové vyztužení vlákeny	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v příčném tahu	Pevnost v tahu za ohybu
			[%]	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
FM 1	MR	Forta Ferro	0,0 %	2034	21,85	2,14	1,60
FM 2	MR	Forta Ferro	0,5 %	2041	21,97	2,22	1,85
FM 3	MR	Forta Ferro	1,0 %	1842	19,11	1,82	2,44
FM 4	MR	Forta Ferro	1,0 %	2082	25,84	2,97	-
FB 1	BR	Forta Ferro	0,0 %	2085	12,71	1,58	1,81
FB 2	BR	Forta Ferro	0,5 %	2099	13,75	1,69	2,09
FB 3	BR	Forta Ferro	1,0 %	2084	13,83	1,71	2,16
PM 1	MR	PET	1,5 %	2080	28,67	3,07	2,61
PM 2	MR	PET	3,0 %	2013	27,36	3,23	2,57
BM 1	MR	Benesteel	1,0 %	2028	26,96	2,62	2,32
M 2	MR	Benesteel	0,5 %	2002	27,02	2,89	2,24
SB 1	BR	Strux	1,0 %	1982	23,42	1,71	-

Pro navrhování konstrukčních prvků z vláknobetonu je důležité znát pracovní diagram materiálu, který vyjadřuje jeho chování charakteristickým vztahem mezi napětím a poměrným přetvořením, a proto na základě provedených zkoušek byly získané hodnoty materiálových parametrů použity pro sestavení pracovního diagramu vláknobetonu s recykláty. Pro vyhodnocení pracovního diagramu byl použit postup dle TP FC 1-1: 2007. Zjištěný průběh závislosti síla – průhyb byl stanoven na trámcích 150x150x700 mm (**obrázek 1**). Pro výrobu byla použita vlákna FORTA FERRO. Pro srovnání je v grafu uveden i průběh chování vláknobetonu s přírodním kamenivem.



Obrazek 1: Závislost síla – průhyb vyplývající ze zkoušky v tahu ohybem

Závěry

Důsledné poznání chování tohoto nově vyvinutého druhu betonu je podstatné pro jeho následné uplatnění v praktických aplikacích, ke kterému cíle experimentálního výzkumu směřují. Výroba tohoto kompozita přispěje především k řešení problému stále se hromadícího stavebního odpadu, pro který dosud není dostatek uplatnění. Na základě provedeného experimentálního měření byl jednoznačně prokázán příznivý vliv vláken na celkové zpevnění struktury kompozitu pro všechny typy zkoušených vláken. Dodržením technologického postupu výroby lze získat homogenní strukturu recyklovaných betonů jak bez vláken, tak i s vlákny. Mezi hlavní přednosti patří pevnost v tahu a velká přetvárnost při tahovém namáhání, tzv. duktilita.

Na výsledcích je zajímavý vliv syntetických vláken na tlakovou pevnost u vláknobetonu s recykláty. Zatímco velkou řadou zkoušek s vláknobetonu s přírodním kamenivem byl vždy při větších koncentracích syntetických vláken zaznamenán pokles pevnosti v tlaku, byl u vláknobetonů s recykláty zaznamenán vzrůst této pevnosti. Vysvětlení této skutečnosti je třeba hledat v rozdílnosti struktur obou vláknobetonů.

Výsledky zkoušek s použitím vláken z PET lahví se shodují s poznatky z výzkumů publikovaných v ¹⁶⁻¹⁸. Na základě zjištěných poznatků jsou i tato vlákna vhodná pro výrobu a následné využití vláknobetonu s recykláty. V současné době se recykluje přibližně 20 % z celkové produkce PET lahví, kterých je ročně u nás prodáno přibližně 35 000 tun. Více jak 80 % všech PET lahví tedy neprochází recyklací a končí v komunálním odpadu. Užití vláken z PET lahví tak přispívá nejen k výraznému snížení ceny kompozita, ale může přispět i k dalšímu sekundárnímu využití PET lahví. Délka těchto vláken by měla být cca 50 mm, aby došlo po ztvdnutí vláknobetonu k provázání především hrubých zrn recyklátu s vlákny, a to díky soudržnosti mezi těmito komponenty přítomností cementového kamene. Tím dojde k vytvoření prostorové kostry struktury tohoto kompozita.

Snahou tohoto příspěvku je ukázat, že výroba betonu s využitím maximální možné míry (100 %) recyklovaných cihelných a betonových suť je možná a reálná pro praktické využití.

Pro širší uplatnění tohoto kompozitu v praxi je třeba zhodnotit jeho další mechanické – fyzikální i chemické vlastnosti a především také jeho chování z hlediska trvanlivosti, což bude předmětem dalšího experimentálního zkoušení řešitelského týmu.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován za podpory grantového projektu GAČR 104/10/1128 s využitím poznatků z projektu 1M0579 MŠMT ČR v rámci CIDEAS.

Literatura

1. Vytlačilová, V.; Vláknotbetony s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty, Disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 2009.
2. Meyer, C.; Concrete as a green Building Material, Construction Materials Mindess Symposium 2005, Vancouver 2005.
3. M. Škopán, "Analysis of production of recycled material from CDW and possibility of their application as a product" in Recycling 2010, Brno 2010.
4. K. Eguchi, K. Teranishi, A. Nakagome, H. Kishimoto, K. Shinozaki, M. Narikawa, "Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction" Construction and Building Materials 21, 2007.
5. F. Debieb, L. Courard, S. Kenai, R. Degeimbre, „Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates, Cement & Concrete Composites 32 (2010) 421 – 426
6. Výborný, J., Hanzlová, H., Vytlačilová, V., Vodička, J.; Vláknotbeton vyrobený z recyklátu ze stavebního a demoličního odpadu, Beton TKS, 2/2010.
7. V. Vytlačilová, J. Vodička, H. Hanzlová, J. Výborný, "Characteristic of fibre concrete with recycled aggregate – masonry and concrete," in 4rd Central European Congress on Concrete Engineering, Innovative materials and technologies for concrete structures, Opatije, Chorvatsko 2008.
8. J. Vodička, J. Výborný, H. Hanzlová, V. Vytlačilová, "Mixture Design of Fibre Concrete with Recycled Aggregate," in 5th Central European Congress on Concrete Engineering, Innovative Concrete Technology in Practice, Baden 2009.
9. Vodička, J.; Vlastnosti vláknotbetonu s recykláty ve vztahu k jejich možnému uplatnění v praxi, Sborník příspěvků 6. konference Speciální betony – Destrukce – Demolice – Recyklace, Beroun 2009.
10. Vytlačilová, V., Vodička, J.; Využití recyklovaného stavebního odpadu k výrobě vláknotbetonu s možností širšího uplatnění v praxi, Technika ochrany prostředí 2009, Častá – Papiernička, Slovenská republika 2009.
11. Výborný, J.; Vybrané charakteristiky vláknotbetonů s recykláty, Sborník příspěvků 6. konference Speciální betony – Destrukce – Demolice – Recyklace, Beroun 2009.
12. Výborný, J., Vodička, J., Hanzlová, H., Vytlačilová, V.; Zvýšení odolnosti zemní hráze při povodních vložení vrstev vyrobených z vláknotbetonu s recykláty, sborník přednášek 14. ročníku konference Recycling 2009, Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin, Brno 2009.
13. Vodička, J., Vytlačilová, V., Hanzlová, H., Výborný, J.; Modelový příklad aplikace vláknotbetonu z recyklátu pro zvýšení odolnosti hráze v případě přelití vodou při povodních, sborník přednášek 7. konference Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2009, Pardubice 2009.
14. J. Vodička, J. Výborný, H. Hanzlová, V. Vytlačilová, "Application of Fibre Concrete with Recycled Aggregate in Earth Structures," in 5th International conference Fibre concrete 2009 – Technology, Designing, Application, Prague, Czech Republic, pp. 261 – 266, 2009.
15. Vytlačilová, V., Vodička, J., Hanzlová, H., Broukalová, I., Výborný, J.; Model of Earth-fill Dam Strengthened with Fibre Concrete with Aggregate Fully Replaced with Recycled Material, 13th International conference of research institute of building materials, Ekology and new building materials and products, Telč 2009.
16. S. B. Kim, N. H. Yi, H. Y. Kim, J.H.J. Kim, Y.Ch. Song, "Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete, Cement & Concrete Composites 32 (2010) 232 – 240.
17. T. Ochi, S. Okubo, K. Fukui, "Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber," Cement & Concrete Composites 29 (2007) 448 – 455.
18. B.W. Jo, S.K. Park, J.Ch. Park, " Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregate," Cement & Concrete Composites 22 (2008) 2281 – 2291.

Properties of concrete with synthetic fibres and recycled aggregate

Vladimíra Vytlačilová, Jan Vodička

Department of Concrete and Masonry Structures, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague

Summary

This paper is focused on the experimental program aimed at verifying selected material properties of fibre reinforced concrete in which all of the natural stone aggregates is replaced by recycled aggregates – masonry and concrete.

The combination of recycled construction and demolition waste, synthetic fibres and binder creates an unusual fibre reinforced concrete; new composite, which offers a wide field of possible use in construction industry.

The paper presents experimental program and shows results on this composite – mechanical and physical characteristics – density, compressive strength, splitting tensile strength and flexural tensile strength and modulus of elasticity of fibre reinforced concrete. Based on a large series of acquired experimental results on different characteristics of the tested material, it can be judged on the behavior of this composite, which is sufficient enough to be used in ground structures as intended.

The application of this composite material is ensured by the synthetic fibres, which along with the other components constitutes the tough structure of the composite favourable especially under tensile loading due to its high ductility.

Keywords: *Fiber reinforced concrete, recycled aggregate, synthetic fibres, mechanical properties.*

Recyklace malých elektrotechnických a elektronických výrobků v současných ekonomických podmínkách

Pavel Žák, Ivan Kudláček, Vratislav Žák^a

^aFEL ČVUT, katedra elektrotechnologie, Technická 2, 166 27 Praha 6,
e-mail: zakpavel@fel.cvut.cz, kudlacek@fel.cvut.cz

Souhrn

Článek se zabývá dosud málo využívanými formami recyklačního procesu elektrotechnických i elektronických výrobků s dopadem do nákladové i sociální oblasti zaměstnanosti.

Klíčová slova: Recyklace elektrotechnických výrobků, problémy sociální zaměstnanosti, ekonomický profit z odpadu, demontáž, třídění dílů a materiálů.

Úvod

Přijetím směrnice 2002/96/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) byla nastavena povinnost jejich kategorizovaného sběru, využití, opětovného použití a recyklace. Spolu s přijetím směrnice 2002/95/ES o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních byla stanovena pravidla pro konstrukci i recyklaci takových zařízení.

Za současné hospodářské situace, kdy v oboru elektrotechnické a elektronické výroby rostou ceny základních surovin, současně roste tlak na průběžné snižování výrobních nákladů a maximalizaci zisku z odprodeje výrobních odpadů (kovů i plastů). Odprodej vlastních odpadů nebo jejich další využití jsou ve většině podniků relativně dobře ošetřeny a přináší významné snížení výrobních nákladů. Příkladem může být recyklace plastových vtoků po lisování vstřikováním, regranulací a nové použití na méně náročné mechanické díly (např. v posledním kroku u zodpovědného výrobce již jen na pomocné balicí a fixační prvky).

Na základě požadavků stanovených pro nakládání s elektroodpadem v ČR, zákonem č. 185/2001 Sb. o odpadech, jeho novelizací zákonem č. 7/2005 Sb., který vychází z evropské legislativy, plyne dovozci nebo výrobcí povinnost od 13.8.2005 spolupodílet se a zajišťovat financování likvidace elektroodpadu. Prováděcí vyhláška č. 352/2005 Sb., o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady byla schválena 5.9.2005.

Zákonné požadavky nezanedbatelným způsobem zatěžují režijní náklady podniků, neboť financování sběru a náklady likvidačních procesů v současných ekonomických podmínkách prakticky nelze z konkurenčních důvodů zahrnout do ceny výrobku v plné výši. Ani poplatky dle § 37o zákona č. 7/2005 Sb., za zpětný odběr výrobků uvedených na trh do 13.5.2005, tyto náklady nepokrývají v plné míře.

Příspěvek se zabývá touto doposud ve větší míře opomíjenou problematikou využití některých segmentů recyklačních procesů elektroodpadu ke zmírnění dopadů současné hospodářské situace na podniky, nezaměstnané a zejména na pracovníky se sníženou pracovní schopností, pro které je v současné době poměrně obtížné zajistit adekvátní možnosti dodatečného výdělků.

Návrh řešení problému na úrovni výrobce

Za současné situace na trhu řada výrobců elektrotechnických a elektronických výrobků nepracuje v režimu sériové výroby, ale spíše v režimu ohraničených výrobních dávek, vždy na objednávku konkrétního zákazníka. V tomto pracovním režimu mohou a obvykle také vznikají rizika časových prostojů na výrobních pracovištích. Jako vhodná pracovní náplň pro tyto prostoje se jeví demontáž vyřazených výrobků určených pro recyklaci. I částečná separace

montážních sestav, jednotlivých komponent a materiálů přináší podstatně lepší ekonomický profit než předání kompletů výrobků k recyklaci specializovaným firmám. Z hlediska udržení plynulého pracovního tempa na výrobních pracovištích je tato činnost podstatně vhodnější než proplácení prostojů pracovníkům, vysazování z práce nebo nařizování výběru dovolených. Nezanedbatelný je pak i ekonomický výsledek pro podnik, který elektroodpad tímto způsobem předzpracovává a třídí, zejména jedná-li se o barevné kovy nebo vytrídění komponent, které jsou dále zpracovatelné nebo vhodné k odprodeji a dalšímu využití.

Návrh řešení problému na úrovni úřadů práce

Na druhé straně navíc existují v ČR skupiny obyvatelstva, pro které by tato činnost, příp. legální zisk některých z technologických segmentů recyklačního procesu, byly ekonomicky přínosné. Jedná se v první řadě o pracovníky se sníženou pracovní schopností, pro které je za současných ekonomických podmínek často obtížné zajistit adekvátní pracovní náplň. V druhé řadě by se mohlo jednat o pracovní náplň pro osoby sice kvalifikované, ale z hlediska věku dlouhodobě nezaměstnané nebo pro zaměstnávání osob na zkrácený pracovní úvazek.

Stejně účelný a nezanedbatelný by byl i ekonomický výsledek pro obce, které sbírají elektroodpad ve svých sběrných dvorech. Předzpracovávání a třídění na úrovni obcí by snížilo objem odpadů, v důsledku vytrídění barevných kovů nebo komponent, které jsou dále zpracovatelné a tedy vhodné k odprodeji a dalšímu využití. Tak by mohlo být zprostředkovaně dosaženo alespoň minimálního efektu pro občany převážně závislé na sociálních dávkách. Pro tento účel stojí jistě za úvahu zřizování dočasných pracovišť tohoto typu na úrovni větších obcí a s podporou pracovních úřadů. Tato praxe by přinesla účelnou činnost řadě kvalifikovaných pracovníků propuštěných v předdůchodovém období jejich pracovní kariéry. V této skupině by i z psychologických důvodů byla tato činnost vnímána pozitivněji než tzv. „obecně prospěšné práce“ (navíc často nařizované soudy jako trest). Tyto práce jsou svou povahou zcela nekvalifikované a pro zkušené kvalifikované pracovníky frustrující.

Zřizování takovýchto pracovišť je z hlediska vybavení základním ručním nářadím i přístroji nenáročné. Celkové náklady jsou nižší než na rekvalifikaci pracovníků s nejasnou perspektivou jejich budoucího uplatnění, nebo přesvědčování pracovníků k podání žádosti o předčasný starobní důchod.

Další možností použitelnou jak na podnikové úrovni, tak i u organizací předzpracovávajících elektroodpad, je možnost repase. Tímto procesem dochází u dané skupiny výrobků k náhradě poškozených dílů ze zásoby vytěžené z dalších, k recyklaci dodaných výrobků stejného typu, nebo jinými vhodnými náhradami přímo z recyklačního procesu. Jistou nevýhodou jsou vyšší požadavky na kvalifikaci pracovníků. V případě kvalifikovaných pracovníků, kteří jsou delší dobu nezaměstnaní se ovšem jedná o výhodu.

Vymezení rozsahu výrobků recyklovatelných zaškolenými pracovníky

Směrnice 2002/96/ES o OEEZ v příloze IA definuje deset kategorií EEZ. Z této kategorizace lze vzhledem k finanční náročnosti technologického vybavení, pracovním možnostem a pracovním dovednostem většinou pouze zaučených pracovníků (často se zdravotním omezením), vybrat pouze několik kategorií výrobků vhodných pro tento segment recyklačního procesu. Pro výrobní podniky v oboru elektrotechniky a elektroniky (nikoli tedy firmy specializované v oblasti recyklací) tato omezení samozřejmě neplatí. Tyto mohou provádět v oblasti recyklace (tedy spíše „předrecyklace“) veškeré činnosti, které jsou pro ně ekonomicky výhodné a pro něž jsou v souladu s platnou legislativou řádně vybaveny a zaměstnávají vyškolené pracovníky. Při výběru výrobků vhodných pro zpracování navrhovanými postupy je možné vyjít z kategorizace elektrických a elektronických zařízení dle přílohy směrnice 2002/96/ES

1. *Velké domácí spotřebiče* – tuto kategorii je rozumné vyloučit a tuto činnost ponechat specializovaným firmám s adekvátním specializovaným vybavením a infrastrukturou (zejména chladicí spotřebiče jako např. lednice, mrazničky nebo klimatizační jednotky).
2. *Malé domácí spotřebiče* – jsou vhodné pro separaci a roztřídění plastových a kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí od částí z Fe. Vzhledem k širokému sortimentu tvarů hlav šroubů je zde je nutno počítat se souborem speciálních bitů do šroubováků.
3. *Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení* – tato zařízení jsou pro svůj vysoký stupeň unifikace konstrukcí pro zkoumaný účel mimořádně vhodná (sestavy PC, tiskárny a jejich oddělené zdroje, skenery a další doplňující zařízení, dále zejména mobilní telefony a jejich nabíječky apod.). Tato kategorie je z hlediska předrecyklace naprosto bezproblémová i z hlediska nároků na nářadí.
4. *Spotřebitelská zařízení* – tento bod je specifikován velmi široce a stejně široký může být i sortiment zařízení předaných k recyklaci. Rozhodnout o možnosti předrecyklace je možno až po přetřídění odborníkem.
5. *Osvětlovací zařízení* – tato zařízení jsou vhodná pro nenáročnou demontáž a následnou separaci skleněných, plastových a kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí a jejich slitin od částí z Fe. Zářivky lineární, tvarované i úsporné je nutno pouze oddělit do uzavíratelných kontejnerů k předání na recyklaci specializované firmě a současně oddělit klasické žárovky.
6. *Elektrické a elektronické nástroje* (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů) – tato zařízení jsou vhodná pro středně náročnou demontáž a následnou separaci plastových i kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí a jejich slitin od částí z Fe.
7. *Hračky, vybavení pro volný čas a sporty* – tento segment je vhodný pro nenáročnou demontáž (zvláště u hraček) a následnou separaci, plastových a kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí a jejich slitin od částí z Fe.
8. *Lékařské přístroje* (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků) – tuto část sortimentu je lépe vyloučit již jen pro malý stupeň opakovatelnosti v celkovém objemu elektroodpadu a tuto činnost ponechat specializovaným firmám s adekvátním vybavením pro případné repase použitelných dílů.
9. *Přístroje pro monitorování a kontrolu* – tato zařízení jsou vhodná pro středně náročnou demontáž a následnou separaci, plastových a kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí a jejich slitin od částí z Fe. I když se tato kategorie neliší od kategorií č.3 a č.6 je zde na samém počátku nutné posouzení odborníkem.
10. *Automaty* – tento segment je vhodný pro nenáročnou demontáž a následnou separaci, plastových a kovových dílů, případně oddělení Cu a Al částí a jejich slitin od částí z Fe (u hracích automatů i jejich, obvykle dřevotřískové skříně) Problémem mohou být v některých případech jejich rozměry a váha.

Experimentální část

Ověřit, zda celé spektrum výrobků považovaných za vhodné pro navrhovaný proces, bude skutečně vhodné i z hlediska ekologických požadavků na recyklaci, nebylo možné pro relativně krátký čas vyhrazený pro následující experiment. Celý experiment byl proveden v praktických podmínkách během organizační odstávky výroby ve vybraném podniku, který v té době přecházel na nový druh výrobku. Výrobní pracoviště v té době přecházelo na výrobu nově vyvinutého produktu a z tohoto důvodu byla plánována odstávka výroby.

Pracovní pokus byl od počátku příznivě přijat již z hlediska předpokládané účelnosti, kdy ve skladu podniku bylo 19 kusů vyřazených PC, 22 tiskáren (jehličkových i inkoustových), 3 faxy 1 stolní kopírka a 1 kopírka pultová (všechny výrobky byly vyřazené pro svou technickou zastaralost a kromě pultové kopírky byly funkční). Druhým důvodem byla skutečnost, že vedení podniku nepovažovalo za sociálně

přijatelné poslat kvalitní pracovní kolektiv, ani na nucenou dovolenou, ani proplácet pouze 60 % mezd. Navíc bylo již předem počítáno s plynulým náběhem nové výroby a bylo vhodné, aby pracovníci postupně začali pracovat na ověřovací sérii. Jedním z předpokladů pokusu bylo i ověření ekonomických parametrů takového postupu.

Za těchto podmínek bylo výše uvedené množství kancelářské techniky převezeno na dílnu a po krátké instruktáži osmi do procesu zařazených pracovníků (všechny kategorie D, věk 42 ÷ 61), bylo započato nejprve s recyklací PC. Demontáž prvního kusu byla předvedena pracovníkem správy podnikové počítačové sítě, který současně definoval nároky na třídění jednotlivých komponent. Na tomto místě je nutno podotknout, že experiment byl proveden na dílně s pracovníky zkušenými v oblasti elektronické výroby, ale bez znalostí konstrukce PC a jeho komponent. Zkušenosti s recyklačními procesy měli tito pracovníci nulové, neboť na likvidaci vyřazeného sortimentu i technologických zařízení byla doposud nájímána externí firma a předané výrobky byly likvidovány mimo areál podniku. Dozorem a konzultační činností byl pověřen vysokoškolsky vzdělaný pracovník se znalostmi konstrukce a technologií těchto zařízení.

Technologický postup demontáže s cílem separace dílů a surovin k dalšímu odprodeji probíhal následujícím způsobem.

Demontáž PC byla rozdělena do následujících fází:

1. Demontáž krytu PC, vyjmutí jednotlivých mechanik a přídatných desek ze základní desky a roztřídění podle druhů
2. Demontáž zdroje PC
3. Demontáž základní desky PC
4. Demontáže video, zvukových a síťových karet
5. Demontáže disketových mechanik, CD mechanik, pevných disků (tyto byly ukládány zvlášť)
6. Odstrojení zbývající mechanické konstrukce od plastů a uložení, dle druhu materiálu (plast, Fe, ostatní) do připravených kontejnerů

Demonstrace postupu spolu s instruktáží trvala (bez použití elektrických šroubováků) 62 minut. Dalším krokem bylo předvedení demontáže jednotlivých komponent spolu s požadavky na třídění jednotlivých dílů a materiálů. V rámci získání základních pracovních zkušeností každý z pracovníků demontoval jeden PC jako celek, což by v další praxi přicházelo v úvahu pouze pro záchvat pracovníků. V tomto případě se časy na demontáž prvního kusu pohybovaly v rozsahu 30 ÷ 42 minut u dalších kusů byly časy maximálně do 30 minut v závislosti na konstrukci daného PC.

Ze skříně PC byly odstraněny veškeré plastové díly a další neželezné doplňky, které byly následně roztříděny dle pokynů vedoucího technika.

Z demontované základní desky byly odstraněny následující díly:

1. Záložní lithiová baterie (baterie ukládány do zvláštního obalu)
2. Procesor s AI chladičem, případně ventilátorem (procesory s chladiči i ventilátory byly vyčištěny stlačeným vzduchem, technikem přezkoušeny a připraveny pro odprodej obchodníkovi s použitým elektronickým zbožím)
3. Dále byly vyjmuty paměti RAM (odprodej obchodníkovi s použitým elektronickým zbožím)
4. Z desky byly odstraněny (vyložením, výjimečně pájením) všechny další AI chladiče a díly, včetně elektrolytických kondenzátorů a deska byla uložena do kontejneru (odprodej smluvní recyklační firmě)

Osazené desky plošných spojů z celého PC byly po zhodnocení technikem správy IS vyřazeny k další recyklaci (odprodej smluvní recyklační firmě). Z vyřazených desek byly odstraněny všechny AI díly, včetně elektrolytických kondenzátorů, případně i ventilátory (pokud bylo možné jejich vyjmutí).

Demontáž disketových mechanik (o použité neměl obchodní partner zájem):

1. Demontován Fe obal a další Fe díly
2. Vyjmuty osazené desky plošných spojů a uloženy do kontejneru (odprodej smluvní recyklační firmě)

Demontáž CD mechanik probíhala obdobným způsobem:

1. Demontován Fe obal a další Fe díly
2. Vyjmuty osazené desky plošných spojů a uloženy do kontejneru

3. Ze základní desky byly demontovány dva ss motorky, přezkoušeny a připraveny pro odprodej
4. Bylo odděleno maximum plastových dílů

Demontáž zdrojů probíhala obdobným způsobem, zdroje byly technikem přetříděny dle požadavků smluvního odběratele. U nepoužitelných byla provedena následující demontáž:

1. Demontována Fe skříň zdroje a další Fe díly,
2. Ze skříňe zdroje byly demontovány ventilátory, vyčištěny, přezkoušeny a bezchybně připraveny k odprodeji
3. Vyjmuta osazená deska plošných spojů, z ní odstraněny díly s obsahem Cu, Al díly a elektrolytické kondensátory a desky uloženy do kontejneru
4. Bylo odděleno maximum plastových dílů

Demontáž pevných disků (i přes zájem obchodního partnera není v podniku povolen odprodej*):

1. Demontován Al obal
2. Vyjmuty diskové plotny a uloženy v uzamčeném kontejneru.*
3. Vyjmuty osazené desky plošných spojů a uloženy do kontejneru (odprodej smluvní recyklační firmě)

* Diskové plotny z pevných disků jsou dle zvláštních pravidel zakotvených v dokumentaci systému managementu jakosti, vždy uskladněny v uzamčeném kontejneru a poté komisionálně likvidovány. Prodej pevných disků i přístup neoprávněných osob k těmto mechanikám je zakázán. Obdobně jsou před předáním smluvní recyklační firmě ničeny i CD disky a diskety bez ohledu na jejich obsah.

Výsledky a diskuse

Vzhledem k úspěchu s předrecyklačním procesem PC byl tento postup realizován, pouze v modifikované formě i u další výše uvedené vyřazené kancelářské techniky. Zvýšené opatrnosti je potřeba pouze u kopírek, laserových tiskáren a faxů, kde je nutno velmi opatrně zacházet jak s nespotřebovanými náplněmi, tak i kontejnery na zbylé medium. Zde hrozí kontaminace pracoviště obtížně odstranitelným prachovým médiem (tiskovou náplní), které některé druhy vysavačů pouze rovnoměrně rozptýlí po ploše pracoviště. Jinak lze ovšem předrecyklaci tohoto segmentu techniky považovat za nepochybně výnosnou pro vysoký obsah plastů, Cu, Al i Fe. Plasty získané z demontáží jsou, po předchozím přetřídění na základní druhy, předávány firmě k regranulaci a dále jsou z nich vyráběny pomocné fixační a balicí prvky, dílenské přepravní obaly apod. Zde dochází k významné úspoře, vzhledem k rostoucím cenám nových granulátů.

Vzhledem k ekonomické úspěšnosti je pro další podobné výpadky produkce shromažďován elektroodpad vznikající v podniku, např. vyřazená zastaralá nebo nefunkční měřicí a řídicí technika, elektrické rozvaděče nahrazované moderními, vyhovujícími současným normativním požadavkům. Výrobky a montážní materiál převzatý smluvně od zákazníků při instalaci nových zařízení již v budoucnu nebudou bez částečné demontáže a roztřídění materiálů odprodávány recyklačním firmám, pokud to nebude striktně vyžadovat platná legislativa.

Dále byl pozorován velmi příznivý efekt ze strany zainteresovaných pracovníků – tento druh práce byl z jejich strany brán jako *lehká, spíše odpočinková práce*, oproti náročné činnosti při výrobě dílů a sestav technologií SMT. Zde je jako fyzicky i psychicky náročná nejen montáž, ale i kontrola správnosti po osazení i po pájení, prováděná videokamerou i stereomikroskopy.

Při řízených diskuzích byla pracovníky obtížnost takových operací hodnocena jako snadná, po předchozím praktickém školení jako přínosná pro seznámení s relativně novou technikou. Pracovníci vyučení v oboru elektromechanik, bez zkušeností s opravami PC techniky a jejich specifik byli schopni tuto práci provádět bezchybně. Podle jejich vyjádření je takováto činnost zvládnutelná po krátkém zacvičení každému, alespoň minimálně manuálně, zručnému pracovníkovi.

Další zkušenost byla získána při likvidaci elektronářadí na dílně údržby. Zde byl pozorován nepředpokládaný jev – v prvním kole byla prováděna demontáž a v dalším iniciativně opětovná montáž spojená s kompletací provozuschopných kusů. U každého kusu byla provedena normou předepsaná kontrola elektrických spotřebičů a v tomto i laboratorní kontrola testem vysokého napětí. Část z nářadí

byla odprodána vlastním zaměstnancům dle jejich zájmu, druhá část se vrátila do inventáře podniku, jako provozu schopná. Tento způsob recyklace režijními (nikoli jednicovými) pracovníky se ukázal jako ekonomicky výhodný pro obě strany.

Provozní experiment byl doplněn i o recyklaci transformátorových nabíječek mobilních telefonů, které byly získány ze zrušené servisní organizace, dále o několik nabíječek akumulátorových svítilen s gelovými Pb akumulátory. Tato činnost byla hodnocena jako nenáročná a vzhledem k vysokému obsahu Cu i ekonomicky výhodná. Lze říci, že recyklace malých transformátorů, relé, stykačů, případně i motorů apod. může být i ekonomicky výnosnou činností, zejména jako doplňková činnost podniků se vztahem k elektrotechnické výrobě.

Závěry

Po ekonomickém vyhodnocení experimentu bylo konstatováno, že se podařilo překrýt přechodné období při náběhu nové výroby bez ekonomických ztrát, a to v podnikové režii i mzdách a navíc ještě alespoň s minimálním ziskem z likvidovaného majetku nebo výrobků. V období nepříliš příznivém pro podniky s elektrotechnickou výrobou je to současně i jeden ze způsobů udržení zaměstnanosti pro klíčové kvalifikované pracovníky.

Navržená metoda předrecyklace rozhodně není univerzálním, ale pomocným prostředkem k zvýšení výtěžnosti nejen materiálů, ale i komponent v podnikové praxi. Z řady získaných dílů jsou vyráběny jednoúčelové, na trhu nedostupné zkušební přípravky a testovací zařízení pro testy spolehlivosti produkce.

Mimo podnikovou praxi, na úrovni obcí majících např. sběrné dvory, v katastru obce výrobce s produkcí při jejímž prodeji je povinen odebírat od zákazníků použité výrobky apod. je navrhovaný způsob předrecyklace a separace materiálů při maximálním využití volných pracovních sil z ekologického i hospodářského hlediska účelný.

Popsaný postup pomůže řadě kvalifikovaných pracovníků, ochotných v převážné míře pracovat (z psychologického hlediska je se stoupající kvalifikací rostoucí stupeň frustrace při ztrátě zaměstnání), uchovat si lidskou důstojnost účelnou a společensky užitečnou prací, kterou v současné době vykonávají lépe či spíše hůře placení cizinci ze zemí mimo EU.

Zvláště v oblastech mimo městské aglomerace i v oblastech s vysokou mírou nezaměstnanosti by byl tento způsob minimalizace nebezpečného odpadu nesporným přínosem, již v současných podmínkách, natož v podmínkách plánovaných na příští rok.

Tento příspěvek vychází z praxe, bohužel nikoliv jen v oboru elektrotechniky, ale bohužel i znalostí z oblasti psychologie práce, sociologie a psychiatrie. Neobsahuje žádnou převratnou myšlenku, ale vychází z praktických zkušeností a znalostí specifických problémů současného podnikového prostředí v ČR. Pokud by se tímto způsobem podařilo najít uplatnění alespoň pro část kvalifikovaných pracovníků, kteří jsou bez práce nebo o ni v nejbližší době mohou přijít, splnil svůj účel. Autoři jsou ochotni pomoci v tomto případě každému, kdo projeví o tento sociální segment ekologie zájem.

Recycling of small electrical and electrotechnical products in the current economic conditions

Pavel Žák, Ivan Kudláček, Vratislav Žák

Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Department of Electrotechnology

Summary

The article deals with the still underexploited forms of recycling process for electrical and electronic products with the impact on the cost of employment and social field.

Keywords: *Recycling of electrical products, social problems of employment, economic profit from waste dismantling, sorting parts and materials.*

Fixace olovnatých iontů v alkalicky aktivovaných aluminosilikátových maticích

Pavla ROVNANÍKOVÁ, Naděžda KRMÍČKOVÁ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav chemie

Žižkova 17, 602 00 Brno

e-mail: rovnanikova.p@fce.vutbr.cz; krmickova.n@fce.vutbr.cz

Souhrn

Při solidifikaci/stabilizaci toxických odpadů se používají matrice ze silikátových nebo aluminosilikátových materiálů. K vyloučení nepříznivého faktoru emisí CO_2 při výrobě cementu lze pro solidifikaci/stabilizaci použít různé aluminosilikátové vedlejší produkty (odpady), které splňují funkci pevné matrice a dostatečně váží toxické ionty. V práci je provedeno srovnání fixace Pb(II) iontů v maticích připravených alkalickou aktivací popílku z vysokoteplotního spalování a ze spalování biomasy (sláma, piliny). Matrice z elektrárenského popílku z vysokoteplotního spalování aktivovaného roztokem vodního skla a ze směsi popílku a popela ze spalování slámy aktivované vápenným hydrátem byly nejúčinnější pro fixaci Pb(II) iontů.

Klíčová slova: popel, popílek, alkalická aktivace, solidifikace, fixace, olovo

Úvod

Hlavním kritériem úspěšnosti zneškodňování odpadů je snižování vyluhovatelnosti, a to na hodnoty odpovídající jednotlivým třídám vyluhovatelnosti podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. [1]. Solidifikace vede ke snížení pohyblivosti iontů v důsledku jejich zapouzdření do nerozpustné pevné hmoty; v lepším případě pak ionty vstupují do struktury pojivového systému. Tento proces probíhá v případě podobnosti chování stabilizovaného iontu se stavebními částicemi matrice. Při využití některých pojiv pro tvorbu matrice ke zneškodňování toxických látek probíhají obvykle oba procesy, tj. solidifikace i stabilizace, dojde k imobilizaci (fixaci) toxických iontů.

Při procesech fixace se používají nejčastěji anorganické materiály na bázi silikátů, aluminosilikátů, nebo jejich kombinace. Velmi často se pro tyto účely používají hydraulická pojiva na bázi portlandského cementu [2, 3]. Je však nutno zdůraznit, že v současné době je používání portlandského cementu velmi finančně náročné a navíc, výroba cementu je zatížena vysokou produkcí oxidu uhličitého (při výrobě 1 tuny portlandského cementu se uvolní do atmosféry cca 660 kg CO_2) [4]. Z technologického hlediska cement jako základ matrice vyhovuje, ale v některých případech může být negativně ovlivněn proces vytváření pevné struktury cementu při jeho hydrataci, např. při solidifikaci odpadů s obsahem Zn(II) . S ohledem na uvedené skutečnosti se použití portlandského cementu pro solidifikaci odpadů jeví jako méně vhodné.

Pro imobilizaci některých kationů, např. Cd , Cu , Mn , Pb , Zn [5], je vhodné využít aluminosilikátové odpady, které spolu s alkalickým aktivátorem vytvářejí pevnou strukturu pojiva (matrice) se schopností buď pouze zapouzdřit, nebo zabudovat do struktury některé nežádoucí ionty. K tomuto účelu jsou vhodné zejména popílky z vysokoteplotního spalování a hutnické strusky. V dnešní době je snaha využívat tyto materiály v technologii betonu, aby se snížilo zatížení výroby betonu emisemi oxidu uhličitého, takže se stávají strategickou surovinou. Proto k účelům fixace toxických iontů by se měly používat zejména takové odpadní aluminosilikáty, které se v této oblasti nevyužívají a jsou umísťovány na skládkách. Takovými aluminosilikáty jsou např. popílky ze spalování biomasy.

Aluminosilikáty lze aktivovat alkalickými sloučeninami, jako jsou uhličitany, hydroxidy nebo sírany, u některých druhů je dostačující přídavek hydroxidu vápenatého ve formě vápenného hydrátu, někdy se používají kombinace aktivátorů [6]. Vápenný hydrát, zvláště nižších tříd, je z hlediska ceny výhodný a je dostupný. Vlastnosti výsledného produktu, zejména mechanické a účinnost imobilizace, jsou závislé na druhu aluminosilikátového materiálu, jeho poměru k odpadu a na druhu odpadu.

Je nutno také vzít v úvahu vlastnosti některých kovů, které jsou amfoterní a mohou vytvářet v zásaditém prostředí rozpustné sloučeniny, na druhé straně řada kovů tvoří v zásaditém prostředí nerozpustné hydroxidy nebo hydratované oxidy.

V článku je uvedeno porovnání účinku fixace Pb(II) v několika maticích vytvořených alkalickou aktivací aluminosilikátových materiálů.

Alkalická aktivace aluminosilikátů

Některé druhy aluminosilikátů, zejména hutnické strusky, popílky, pálené jílové minerály, ochotně reagují v silně zásaditém prostředí za vzniku oligomerních, nebo až polymerních anorganických řetězců, tvořených SiO_4 a AlO_4 tetraedry, které jsou spojeny přes kyslíkové atomy do několika druhů útvarů $-\text{SiO}_4-\text{AlO}_4-$, nebo $-\text{SiO}_4-\text{AlO}_4-\text{SiO}_4-$, nebo $-\text{SiO}_4-\text{AlO}_4-\text{SiO}_4-\text{SiO}_4-$ [7]. Elektronový přebytek na hliníkovém atomu je vyrovnáván iontem alkalického kovu (Na, K). Vzniklé produkty (nazývané geopolymery, nebo alkalicky aktivované aluminosilikáty), mají výjimečné vlastnosti. V závislosti na složení mají dobré mechanické vlastnosti, jsou stálé za vysokých teplot a zejména mají vysokou chemickou odolnost. Při tvorbě struktury mohou zabudovat do polymerní sítě některé ionty a tím vyloučit nebo snížit jejich vyluhovatelnost.

Popis experimentu

Pro posouzení účinku fixace olovnatých iontů byly vytvořeny matrice z popílku z vysokoteplotního spalování z ČEZ, a. s., elektrárna Chvaletice (označení CHV), směsi popílku a popela ze spalování biomasy – slámy z Bioenergetického centra obce Roštín (označení ROS) a popílku ze spalování pilin z Truhlářství Straka, spol. s r. o., Třebovice (označení TRE). Byly vytvořeny dva druhy matic pro fixaci, a to aktivací popílku upraveným roztokem vodního skla sodného, nebo vápenným hydrátem.

Ke směsi pro přípravu matrice byl dávkován dusičnan olovnatý ve stoupající koncentraci. Ze směsi byla vytvořena zkušební tělíska velikosti $20 \times 20 \times 100$ mm, která byla uložena po dobu 28 dnů v laboratorních podmínkách charakterizovaných teplotou 21 ± 2 °C a R. H. vzduchu 60 ± 5 %. Po 28 dnech byla na tělesech stanovena pevnost v tlaku. Zbytky po mechanických zkouškách byly použity pro stanovení vyluhovatelnosti olova podle ČSN EN 12457-4 [8], hodnocené podle vyhlášky č. 294/2005 Sb.

Charakteristika použitých surovin

Suroviny pro přípravu matic byly charakterizovány velikostí částic a chemickou analýzou. Granulometrie byla stanovena propadem zrn popílků sadou sít o velikosti ok, uvedených v tabulce 1. Stanovení obsahu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO, MnO, K_2O a Na_2O bylo provedeno ICP analýzou, stanovení SO_3 podle ČSN 72 0117, stanovení CO_2 podle ČSN 72 1022 a ztráta žiháním podle ČSN 72 0103. Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 1: Granulometrie použitých surovin

Velikost zrn [mm]	popílek Chvaletice	popílek + popel Roštín	popílek Třebovice
	Obsah [%]	Obsah [%]	Obsah [%]
pod 0,025	23,08	-	-
0,025 – 0,045	53,04	14,44 ^{*)}	25,58 ^{**)}
0,045 – 0,063	9,12	1,44	11,60
0,063 – 0,090	6,91	1,48	20,88
0,090 – 0,125	2,85	0,00	6,12
0,125 – 0,250	4,11	15,92	33,87
0,250 – 0,500	0,47	13,92	1,86
0,500 – 1,000	0,26	8,18	0,08
1,000 – 2,500	0,17 ^{*)}	10,09	0,01
2,500 – 4,000	-	3,78	0,00
nad 4,000	-	30,75	0,00

^{*)} obsah zrn nad 1,00 mm, ^{**)} obsah zrn pod 0,045 mm

Tabulka 2: Chemické složení aluminosilikátových surovin – popílků

Parametr	Jednotka	popílek Chvaletice	popílek + popel Roštín	popílek Třebovice
ztr. ž. 1000 °C	%	2,12	15,92	10,26
SiO ₂	% suš.	52,21	55,95	34,36
Al ₂ O ₃	% suš.	29,59	0,30	6,72
Fe ₂ O ₃	% suš.	8,44	1,45	3,16
CaO	% suš.	1,82	6,20	27,77
MgO	% suš.	1,16	2,66	4,06
MnO	% suš.	-	1,04	2,60
K ₂ O	% suš.	1,66	13,70	6,03
Na ₂ O	% suš.	0,30	0,06	1,53
celk. S jako SO ₃	% suš.	0,86	0,94	0,75
P ₂ O ₅	% suš.	-	2,30	1,85
CO ₃ ²⁻ jako CO ₂	% suš.	-	0,66	8,37

Každý z použitých popílků má jiný původ, popílek CHV je úlet ze spalování převážně hnědého uhlí, popílek a popel ROS jsou zbytky po spalování různých druhů obilné slámy a popílek TRE je úlet ze spalování pilin získaných spálením různých dřevin. Granulometrie ukazuje, že popílek CHV je nejjemnější, 76 % zrn má velikost pod 0,045 mm, popílek TRE 25,58 % a popílek a popel ROS pouze 14,44 %. Směs popílku a popela ROS je poměrně hrubá, téměř 35 % zrn má velikost větší než 2,5 mm. Chemické složení se liší v závislosti na složení spalovaného materiálu a jsou na něm závislé vlastnosti výsledného produktu.

Složení směsí pro výrobu zkušebních těles

Aktivace popílku CHV, ROS a TRE byla provedena v prvním případě upraveným roztokem vodního skla, popílky CHV a ROS byly aktivovány také hydroxidem vápenatým ve formě komerčního vápenného hydrátu. Hmotnostní poměr popílku k vápennému hydrátu byl 10 : 1 (označení směsí Ca), směsi s vodním sklem sodným měly poměr 10 : 1,25 (označení směsí vs). Roztok vodního skla byl charakterizován silikátovým modulem $M_s=1,56$. Směsi byly připraveny se stoupající koncentrací dusičnanu olovnatého tak, aby postupně obsahovaly 5, 10, 15, 20, 25 a 30 g Pb(II) na 100 g základního materiálu tvořícího pojivo, tedy popílku (označení vzorků je 5, 10, 15, 20, 25 a 30 podle obsahu olova). Byl připraven také referenční vzorek bez olovnatých iontů (označení R). Množství vody u jednotlivých směsí bylo voleno tak, aby byla dosažena stejná konzistence na střásacím stolku (byla použita metodika podle ČSN EN 1015-3 [9]).

Výsledky a diskuse

Vzorky připravené z popílku CHV s dusičnanem olovnatým dosahovaly po 28 dnech 50 až 60 % pevnosti referenčního vzorku, pevnost se u vzorků se stoupajícím množstvím olova téměř neměnila, a to jak při aktivaci popílku vodním sklem, tak vápenným hydrátem.

U vzorků vyrobených ze směsi popela a popílku ROS se ukázalo, že aktivací roztokem vodního skla dosáhl referenční vzorek pouze 1,8 N·mm⁻², zatímco aktivace vápenným hydrátem vedla k výrazně vyšší pevnosti, 9,3 N·mm⁻². Přídavkem dusičnanu olovnatého se pevnosti snížily na 1,5 až 1,8 N·mm⁻², a to při obou způsobech aktivace.

Popílek TRE byl aktivován pouze roztokem vodního skla sodného. Pevnosti byly výrazně vyšší u referenčního vzorku, dosáhly 16 N·mm⁻², se stoupajícím přídavkem dusičnanu olovnatého se pevnosti v tlaku postupně snižovaly. Od 15 % hm. Pb(II) na hmotnost popílku byly pevnosti srovnatelné s pevnostmi předchozích vzorků.

Všechny vzorky byly soudržné, nedocházelo k samovolnému drolení vzorku. Z hlediska manipulovatelnosti se solidifikovaným materiálem jsou dosažené mechanické vlastnosti dostačující. Výsledky pevností uvádí tabulka 3.

Nejvýznamnější charakteristikou ztvrdlého produktu je stanovení jeho vyluhovatelnosti. V grafech na obrázcích 1 až 5 jsou uvedeny výsledky vyluhovatelnosti olovnatých iontů, přepočtené na množství vylouženého Pb(II) ze 100 g ztvrdlého produktu. Jak je patrné z grafů, matrice vytvořené alkalickou aktivací různých popílků dvěma aktivátory mají rozdílnou schopnost vázat, resp. zapouzdřit olovnaté ionty.

Tabulka 3: Pevnosti v tlaku za 28 dnů

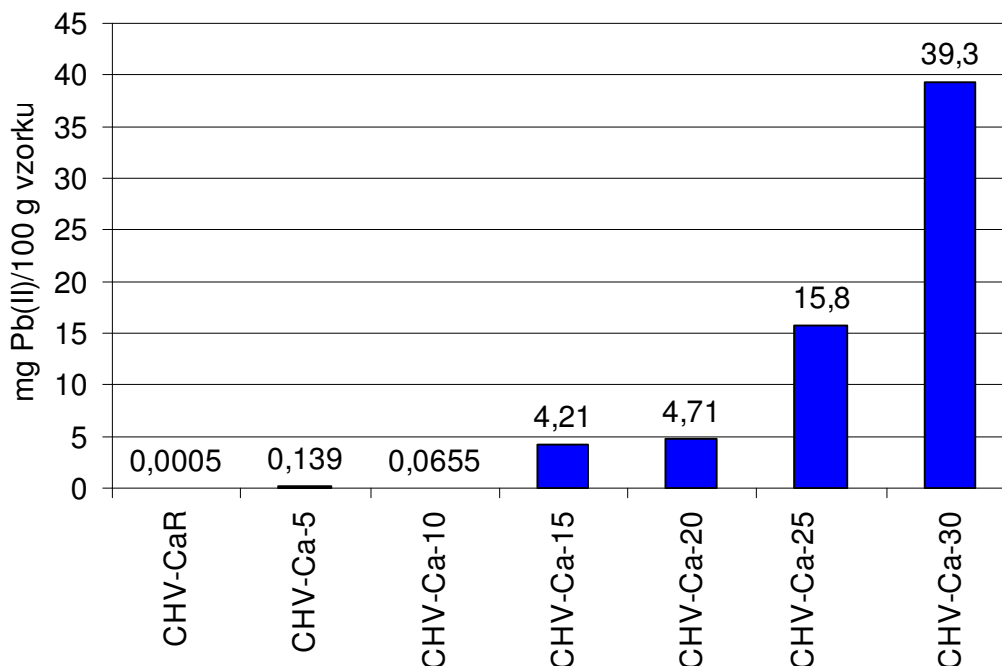
Označení směsi	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Pevnost v tlaku 28 d [N·mm ⁻²]	Označení směsi	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Pevnost v tlaku 28 d [N·mm ⁻²]
CHV-CaR	1160	3,17	CHV-vsR	1320	2,59
CHV-Ca-5	1440	1,74	CHV-vs-5	1420	1,67
CHV-Ca-10	1530	1,63	CHV-vs-10	1520	1,54
CHV-Ca-15	1590	1,62	CHV-vs-15	1560	1,53
CHV-Ca-20	1610	1,50	CHV-vs-20	1570	1,53
CHV-Ca-25	1700	1,56	CHV-vs-25	1680	1,58
CHV-Ca-30	1740	1,49	CHV-vs-30	1720	1,60
ROS-CaR	1570	1,79	ROS -vsR	1540	9,31
ROS -Ca-5	1480	1,67	ROS -vs-5	1370	1,70
ROS -Ca-10	1520	1,63	ROS -vs-10	1470	1,69
ROS -Ca-15	1530	1,52	ROS -vs-15	1490	1,65
ROS -Ca-20	1540	1,45	ROS -vs-20	1520	1,63
ROS -Ca-25	1600	1,49	ROS -vs-25	1600	1,58
ROS -Ca-30	1630	1,50	ROS -vs-30	1620	1,56

Označení směsi	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Pevnost v tlaku 28 d [N·mm ⁻²]
TRE-vsR	1980	16,02
TRE -vs-5	1930	7,01
TRE -vs-10	1850	3,15
TRE -vs-15	1790	1,88
TRE -vs-20	1890	1,67
TRE -vs-25	1940	1,60
TRE -vs-30	1970	1,81

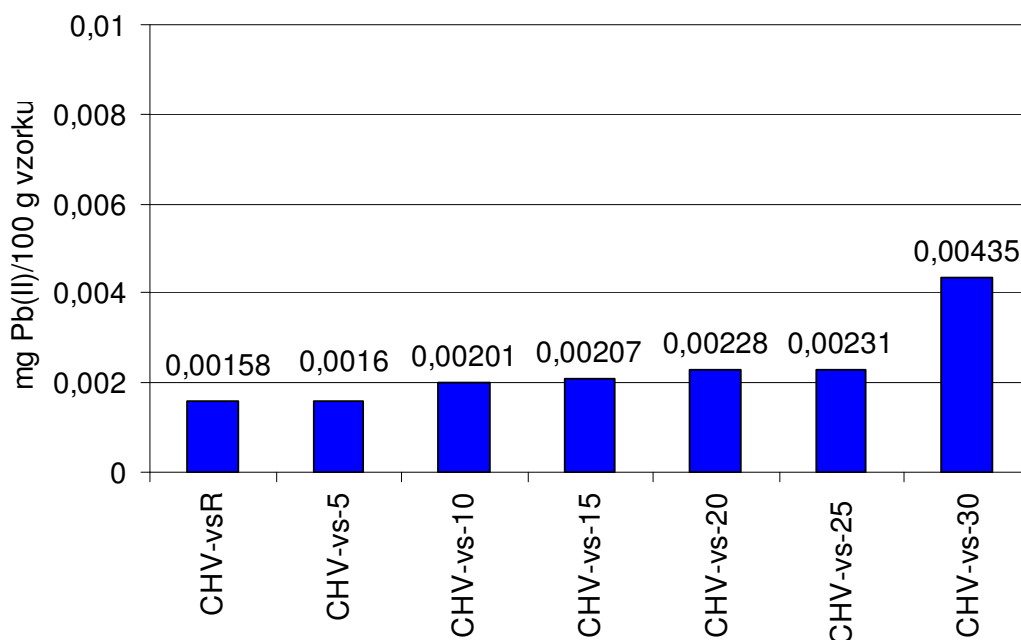
Výsledky vyluhovatelnosti olovnatých iontů ukázaly, že vysoce účinnou maticí pro fixaci Pb(II) je popílek z vysokoteplotního spalování z elektrárny Chvaletice aktivovaný roztokem vodního skla (účinnost je 99,9999 % pro všechny koncentrace přidaného olova). Hodnoty vylouženého Pb(II) jsou nižší než limitní hodnoty I. třídy vyluhovatelnosti uvedené ve vyhlášce 294/2005 Sb. Matrice z popílku CHV aktivovaného vápenným hydrátem je méně účinná; do koncentrace 10 % Pb(II) z hmotnosti popílku je účinnost 99,99 %, hodnoty vylouženého olova vyhovují vyluhovací třídě IIb. Se zvyšující se koncentrací účinnost klesá na hodnotu 99,77 % při 30 % Pb(II). Do koncentrace 20 % Pb(II) vyhovují výluhy vyluhovacím třídám IIa a III, od 25 % Pb(II) jsou koncentrace olova ve výluhu vyšší.

Matrice z popílku a popela ROS aktivovaného vápenným hydrátem zachytí při všech aplikovaných koncentracích olova 99,999 %. Do 10% koncentrace Pb(II) vyhovují hodnoty výluhu vyluhovací třídě I, od koncentrace 15 % jsou hodnoty vylouženého olova pod limitní hodnotou vyluhovací třídy IIb. Účinnost matrice ze stejné směsi popela a popílku aktivované roztokem vodního skla je 99,99 % do koncentrace Pb(II) 15 % z hmotnosti popílku, od koncentrace 20 % Pb(II) účinnost výrazně klesá a při 30% koncentraci olova je účinnost pouze 91,48 %. Do 15 % Pb(II) vyhovují vyloužené koncentrace olova

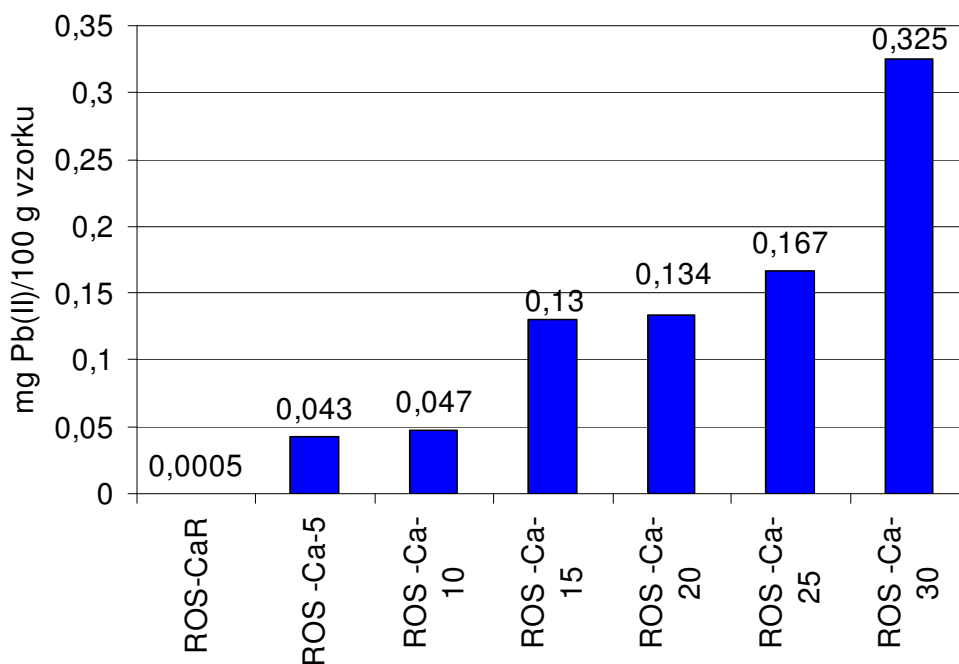
hodnotě vyluhovací třídy IIb, od 20 % olova jsou hodnoty nad limitními hodnotami všech tříd vyluhovatelnosti.



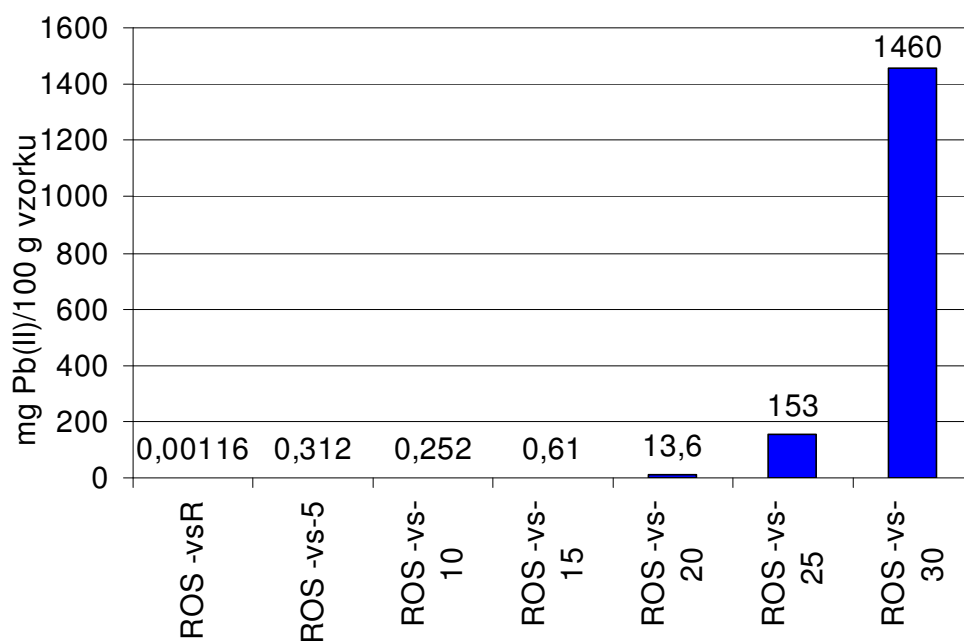
Obrázek 1: Množství vylouženého Pb(II) ze 100 g ztvrdlého vzorku s maticí z popílku CHV a vápenného hydrátu



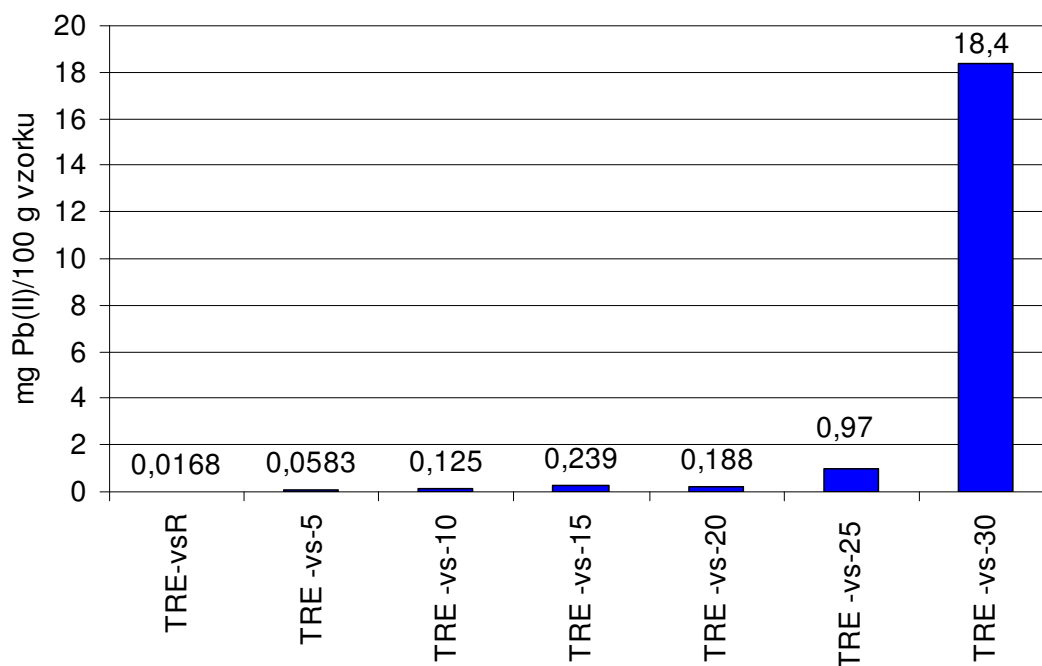
Obrázek 2: Množství vylouženého Pb(II) ze 100 ztvrdlého vzorku s maticí z popílku CHV a roztoku vodního skla



Obrázek 3: Množství vylouženého Pb(II) ze 100 g ztvrdlého vzorku s maticí ze směsi popílku a popela ROS a vápenného hydrátu



Obrázek 4: Množství vylouženého Pb(II) ze 100 g ztvrdlého vzorku s maticí ze směsi popílku a popela ROS a roztoku vodního skla



Obrázek 5: Množství vylouženého Pb(II) ze 100 g ztvrdlého vzorku s maticí z popílku TRE a roztoku vodního skla

Matrice z popílku TRE, aktivovaného roztokem vodního skla, je vysoce účinná (99,999 %) do koncentrace Pb(II) 20 %, od koncentrace 25 % se účinnost snižuje. Do koncentrace 25 % Pb(II) vyhovují koncentrace vylouženého olova vyluhovací třídě IIb, při 30% koncentraci je vyloužené množství nad limitní hodnotou vyluhovací třídy III.

Závěr

Cílem experimentů bylo zjištění účinnosti alkalicky aktivovaných popílků ze spalování biomasy pro fixaci olovnatých iontů a porovnání s účinností aktivovaného popílku z vysokoteplotního spalování. Některé druhy elektrárenských popílků z vysokoteplotního spalování se stávají levnou strategickou surovinou, protože umožňují snížit zatížení emisemi CO₂ výrobu cementu a následně betonu. Proto byla věnována pozornost dvěma popílkům ze spalování slámy a dřeva, které se v současnosti pro účely výroby pojiv nevyužívají a obvykle se ukládají na skládku nebo se používají jako inertní materiál do kompostů. Vlastnosti matic z uvedených popílků byly porovnány s vlastnostmi matic připravených z popílku z elektrárny ve Chvaleticích. Pro snížení finanční náročnosti byl zkoušen také účinek aktivace vápenným hydrátem, který je levnější než upravený roztok vodního skla.

Výsledky ukázaly, že

- nejúčinněji fixuje Pb(II) ionty matrice z popílku CHV aktivovaného roztokem vodního skla (> 99,9999 %) pro všechny studované koncentrace, hodnoty koncentrace olova ve výluzích vyhovují třídě vyluhovatelnosti I,
- aktivace popílku CHV vápenným hydrátem (hydroxidem vápenatým) vytváří matici s nižší účinností při obsazích olova > 20 % z hmotnosti popílku, koncentrace olova ve výluzích od 20 % Pb(II) ve vzorku nevyhovují žádné třídě vyluhovatelnosti,
- směs popílku a popela ROS aktivovaná vápenným hydrátem je vysoce účinná pro všechny studované koncentrace, výluhy vyhovují třídě vyluhovatelnosti I, resp. IIb,
- směs popílku a popela ROS aktivovaná roztokem vodního skla při vyšších koncentracích znatelně snižuje účinnost fixace Pb(II), do 15% koncentrace olova ve vzorku vyhovují hodnoty vylouženého Pb(II) třídě vyluhovatelnosti IIb, od 20% koncentrace je obsah olova ve výluzích nad limitní hodnotou třídy vyluhovatelnosti III,

- matrice z popílku TRE aktivovaného roztokem vodního skla je účinná pro koncentrace olova do 25 % z hmotnosti popílku, koncentrace ve výluhu jsou nižší než hodnota ve třídě vyluhovatelnosti IIb. Se zvyšováním koncentrace olova se účinnost snižuje a koncentrace vylouženého Pb(II) je nad limitní hodnotou třídy vyluhovatelnosti III.

Závěrem lze konstatovat, že v porovnání s ostatními druhy zkoumaných pojiv, nejlépe fixuje olovnaté ionty matrice z popílku z Elektrárny ve Chvaleticích, který je aktivován upraveným roztokem vodního skla. Účinná je také matrice založená na odpadním, dosud nevyužívaném materiálu, tj. směsi popílku a popela ze spalování slámy z Biologického centra v Roštíně, kterou lze aktivovat běžně dostupným vápnem ve formě vápenného hydrátu. Ostatní druhy matic jsou účinné pouze pro nízké koncentrace olova.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021630511.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.
- [2] Stegemenn, J. A., Zhou, Q.: J. Hazard. Mat., 161, 300 (2009).
- [3] Chen, Q. Y. et al.: Waste Manag., 29, 390 (2009). Cement – environmentální stavební materiál současnosti i budoucnosti. Beton TKS, 2008, 34.
- [5] Ciergiczy, Z., Król, A.: J. Hazard. Mat., 160, 247 (2008).
- [6] Dermatas, D., Meng, X.: Eng. Geol., 70, 377 (2003).
- [7] Davidovits, J.: J. Therm. Anal., 37, 1633 (1991).
- [8] ČSN EN 12457-4 Charakteristika odpadů – Vyluhování – Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů. Část 4: Jednostupňová vsádková fáze při poměru kapalné a pevné fáze 10 l/kg pro materiály se zrnitostí menší než 10 mm (bez zmenšení velikosti částic, nebo s ním).
- [9] ČSN EN 1015-3 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešovacího stolku), (červen 2000).

Immobilization of Pb(II) ions in matrix of different aluminosilicate materials

Pavla ROVNANÍKOVÁ, Naděžda KRMÍČKOVÁ

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Chemistry, Žižkova 17, 602 00 Brno, Czech Republic

Summary

Alkali-activated aluminosilicate pastes were used for the immobilisation of lead(II) ions. The fly ash from the combustion of waste straw and wood as an aluminosilicate material, and a sodium silicate solution with silicate modulus M_s 1.56 or a slaked lime were used. Increasing amount of a lead(II) nitrate (5 to 30 % of the mass of fly ash) was added to the matrix of the fly ash – activator mixtures to simulate the stabilisation of a waste material. The compressive strength did not change with the increasing amount of a lead(II) nitrate but it was lower in comparison with the reference sample. Binder based on alkali-activated fly ash from high-temperature combustion and binder composed of straw ash, fly ash and calcium hydroxide were the most efficient for the immobilization lead(II) ions.

Keywords: ash, fly ash, alkali-activation, solidification, immobilization, lead

Stabilizace/solidifikace odpadu s obsahem olova pomocí fosforečnanového cementu

Roman Slavík, Vratislav Bednařík, Markéta Julinová, Simona Svobodová

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav inženýrství ochrany životního prostředí, nám. T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín

tel.: +420 576 031 209, e-mail: slavik@ft.utb.cz

Souhrn

V práci byl testován postup stabilizace / solidifikace (S/S) odpadu, který vzniká při zneškodňování vyřazené munice, použitím fosforečnanového cementu. Tento cement lze připravit například chemickou reakcí iontů kovů obsažených ve vysokopecní strusce s dihydrogenfosforečnanem draselným. Protože odpad obsahoval amfoterní kovy (Pb, Zn), byl pro hodnocení účinnosti S/S navržen komplexní vyluhovací test, který sestával ze tří dílčích vyluhovacích zkoušek v kyselém, alkalickém a vodném médiu. Popsaným postupem se podařilo účinně stabilizovat a solidifikovat až 40 % hm. odpadu, přičemž pevnost solidifikátu v tlaku přesáhla 10 MPa.

Klíčová slova: *stabilizace/solidifikace, fosforečnanový cement, odpad, vyřazená munice, olovo, komplexní vyluhovací test*

Úvod

Technologie stabilizace/solidifikace (S/S) odpadů využívá takových fyzikálně-chemických pochodů, kterými lze dosáhnout imobilizace a fixace rizikových látek obsažených v odpadu. Při použití této technologie je potřeba brát na zřetel jak chemickou povahu odpadu, ale také i chemickou povahu matrice, do které je odpad zapracováván. Nejběžněji používanými maticemi v technologii S/S odpadů jsou sádra nebo energosádrovec, asfalty a asfaltové emulze, organická pojiva (především polymery a pryskyřice), hydraulická pojiva (portlandské cementy, popílký s pucolánovými vlastnostmi) a sklotvorné látky při vitifikaci.^{1,2} Avšak, ne každá z uvedených matic tvoří při styku s odpadem nerozpustné sloučeniny, naopak může docházet k pouhému obalování částic odpadu nebo ke vzniku rozpustnějších sloučenin, například k tvorbě hydroxokomplexů amfoterních kovů při použití silně zásaditého pojiva.

Mezi matrice, které jsou schopné současně uskutečnit stabilizaci i solidifikaci odpadů, lze zařadit skupinu materiálů označovaných jako chemicky vázaná keramika (CBC). Tento skupina materiálu je připravována za laboratorních teplot (obdobně jako cementy), ale jejich struktura i vlastnosti jsou podobné spíše keramice. První zmínky o CBC lze nalézt v literatuře z 19. století, přičemž výzkum a vývoj se soustřeďoval na fosforečnany zinečnaté pro dentální aplikace. Postupem času se výzkum přípravy CBC zaměřil na reakce mezi fosforečnany a různými oxidy kovů (Mg, Al, Si, Ti, Fe, atd.). V roce 1970 byl připraven CBC materiál označovaný jako Ceramicrete[®], který byl později použit při opravách silnic, letišť a při S/S radioaktivních odpadů.³ Ceramicrete[®] je připravován acidoazickou reakcí mezi MgO a KH₂PO₄. Protože příprava Ceramicrete[®] z čistých chemických složek je poměrně nákladná, byly postupně hledány takové suroviny, které obsahují jeden nebo více oxidů výše uvedených kovů. Vhodnými surovinami se ukázaly odpady, jako jsou produkty spalování – popílký a strusky, odpady z těžby železných i neželezných rud. Z těchto surovin připravovaná pojiva se řadí do skupiny fosforečnanových cementů³. Zhongzhe et al.⁴ použili 5 – 30% přídavek vysokopecní mleté strusky při S/S simulovaného odpadu obsahujícího rtuť pomocí fosforečnanového cementu. Zjistili, že 10 – 15% přídavkem vysokopecní mleté strusky do fosforečnanového cementu dosáhla pevnost připraveného materiálu více než 40 MPa a množství rtuti ve výluhu se snížilo z 697,08 µg/l na 2,99 µg/l. Randall et al.⁵ stabilizovali pomocí fosforečnanového cementu dokonce až 70 % simulovaného odpadu obsahujícího rtuť. Ve své práci také prováděli vyluhovací testy při různém pH a zjistili, že nejvíce rtuti se vyloužilo v kyselém a zásaditém prostředí, naopak nejméně rtuti se vyloužilo v neutrálním prostředí. Ke stejným závěrům dospěli Zhang et al.⁶, kteří studovali vyluhovatelnost těžkých kovů ze solidifikovaného kalu při různém pH a množství loužícího média, a Buj et al.⁷ při studiu vyluhování těžkých kovů z matrice solidifikovaných v hořečnato-fosforečnanovém cementu. Jing et al.⁸ a Saeedi et al.⁹ ve svých pracích

studovali závislost rozdílného chování amfoterních kovů ve stabilizovaných a solidifikovaných odpadech na pH prostředí. Jejich výsledky potvrdily, že množství kovů je nejnižší ve vodném výluhu a nejvyšší v kyselém nebo alkalickém výluhu. Rovněž vyslovují závěr, že použití jen jedné vyluhovací zkoušky při konstantní hodnotě pH pro hodnocení nebezpečnosti odpadů je zcela nedostačující.

V této práci byla použita vysokopecní struska jako základní materiál při přípravě fosforečnanového cementu využitelného pro S/S odpadu. Hodnocení účinnosti S/S odpadu bylo provedeno vyluhovacími testy v roztocích o různém pH pro posouzení chování amfoterních kovů stabilizovaných pomocí fosforečnanového cementu.

Experimentální část

1. Použité materiály

a) Vysokopecní mletá struska SMS

Bílý jemně mletý práškový materiál byl získán od firmy Kotouč-Štramberk, s.r.o. a jeho chemické složení zjištěné XRF analýzou u dodavatele je uvedeno v **tabulka 1**.

Tabulka 1: Chemické složení mleté vysokopecní strusky zjištěné XRF analýzou (obsahy sloučenin jsou v hm. %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	S	K ₂ O
39,9	6,7	39,7	0,3	-	1,3	0,4

b) Odpad z likvidace vyřazené munice

Materiál byl získán z VOP-026 Šternberk, s.p., divize VTVÚVM Slavičín. Jednalo se o jemný šedý prášek pocházející z likvidace vyřazené vojenské munice, jehož podrobnou charakteristiku lze najít v práci Bednaříka a kol.¹⁰

c) Ostatní chemikálie

KH₂PO₄ p.a., CH₃COOH p.a., NaOH p.a., Na₂B₄O₇·10H₂O p.a.,

2. Solidifikace odpadu a testování připravených těles

Postup S/S sestával ze dvou kroků, v prvním kroku byl nejprve připraven fosforečnanový cement následovně. Navážky všech práškových komponent (**tabulka 2**) byly nejprve smíchány v hnětači a homogenizovány po dobu 5 minut. Pak byla za stálého míchání přidána ke směsi voda a míchání pokračovalo 2 minuty. Nakonec bylo do kašovitě směsi přidáno takové množství odpadu, aby se jeho množství ve směsi pohybovalo v rozmezí 5 – 40 % hm. Směs byla míchána ještě další 3 minuty a poté byla vpravena do uzavíratelných plastových vzorkovnic ($\phi = 2,76$ cm, $l = 6$ cm). Vzorkovnice po naplnění směsí byly uzavřeny a ponechány po dobu 24 h v klidu při laboratorní teplotě. Po 24 h byly vzorkovnice otevřeny a Vicatovým jehlovým penetrem bylo ověřováno, zda došlo k solidifikaci odpadu. Připravená tělesa byla nakonec ponechána ve vzorkovnících po dobu 6 dnů, a poté byla podrobena fyzikálně-chemickým testům.

Tabulka 2: Navážky jednotlivých komponent pro přípravu fosforečnanového cementu

Komponenta	SMS	KH ₂ PO ₄	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	H ₂ O
m [g]	45	25	5	25

2.1. Komplexní vyluhovací test

Komplexní vyluhovací test, který sestával ze tří dílčích vyluhovacích zkoušek. První zkouška byla prováděna v prostředí kyseliny octové dle metodiky pro charakterizaci toxických vlastností (TCLP, metoda 1311 agentury US EPA). Druhá dílčí zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN 12 457-4 pro charakterizaci odpadů, jejíž použití je předepsáno českou legislativou. Poslední vyluhovací zkouška byla prováděna v prostředí boritanového pufru, jehož zásobní roztok byl připravován smícháním 1000 ml 0,1M NaOH a 1000 ml 0,05M Na₂B₄O₇. Navážka rozdrčeného tělesa o velikosti částic menší než 10 mm byla loužena v desetinásobném množství boritanového pufru po dobu 24 h v uzavřených skleněných

láhvi. Poté byl obsah láhve přefiltrován a změřena hodnota pH a vodivosti filtrátu. Následně byl filtrát okyselen koncentrovanou HNO_3 na hodnotu $\text{pH} = 2,00$. Obsah kovů byl stanovován pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (GBC 933AA, GBC scientific equipment Pty Ltd., Australia) u všech výluhů.

2.2. Stanovení pevnosti v tlaku S/S odpadu

Bylo prováděno podle postupu popsaném v normách ČSN EN 196-1 a ČSN EN 14614-15, kdy jsou zkušební tělesa postupně zatěžována dokud nedojde k jejich destrukci. Tělesa byla před zkouškou vyjmuta ze vzorkovnice, jejich rozměry změřeny a podle potřeby byla zabroušena horní stěna, aby bylo dosaženo rovnoběžnosti dvou protilehlých stěn. Pak bylo těleso vloženo do hydraulického lisu (Trystom HV-62), kde bylo zatěžováno konstantně se zvyšující silou, dokud nedošlo k jeho rozdrčení. Výsledná hodnota pevnosti v tlaku byla vypočtena jako aritmetický průměr z výsledků pevností sady zkušebních těles o minimálním počtu tří kusů.

Výsledky a diskuse

Charakterizace nestabilizovaného odpadu

V **tabulka 3** jsou uvedeny výsledky charakterizace odpadu pomocí komplexního vyluhovacího testu. Hodnoty pH vyluhovacího média se v případě kyseliny octové a vody zvýšily, naopak u boritanového pufru došlo ke snížení hodnoty pH. Porovnáme-li mezi sebou například hodnoty obsahu olova ve výluzích, lze vidět, že nejvyšší množství se vyloužilo v kyselině octové ($\text{Pb} = 584,1 \text{ mg/l}$) a v boritanovém pufru ($\text{Pb} = 0,453 \text{ mg/l}$), naopak nejméně olova bylo stanoveno ve vodném výluhu ($\text{Pb} = 0,096 \text{ mg/l}$). Tuto skutečnost lze očekávat, neboť olovo patří mezi amfoterní prvky, které jsou schopny rozpouštět se jak v kyselém, tak v zásaditém prostředí. Porovnáme-li obsahy sledovaných kovů v kyselině octové s limity agentury US EPA (40 CFR §261.24), kde limit pro Pb je $5,0 \text{ mg/l}$, pro Cr $5,0 \text{ mg/l}$ a Zn 70 mg/l , je zřejmé, že studovaný odpad lze považovat za toxický. Rovněž, v případě limitů daných českou legislativou (vyhláška č. 294/2005 Sb.), kde limity v I. třídě vyluhovatelnosti jsou pro Pb $0,05 \text{ mg/l}$, pro $\text{Cr}_{(\text{celkový})} = 0,05 \text{ mg/l}$ a pro Zn $0,4 \text{ mg/l}$, je překročen limit pro Pb, proto nelze odpad považovat za inertní materiál a je nutné provést S/S. V posledním případě, kdy byl jako vyluhovací médium použit boritanový pufr lze vidět, že i zde jsou poměrně významné hodnoty obsahu vyloužených kovů, které však nelze porovnat prozatím s žádnými limitními hodnotami.

Tabulka 3: Obsahy rizikových prvků ve výluzích nestabilizovaného odpadu

Vyluhovací médium	$\text{pH}_{\text{výluh}}$ [1]	κ [mS/cm]	Obsah kovů ve výluhu [mg/l]		
			Zn	Cr	Pb
kyselina octová ($\text{pH}_0=2,88$)	6,3	4,41	74,12	0	584,1
H_2O ($\text{pH}_0=7,00$)	9,4	8,30	0	0	0,096
boritanový pufr ($\text{pH}_0=11,12$)	10,2	16,90	0,067	0,12	0,453

Je tedy zřejmé, že použití komplexního vyluhovacího testu je vhodné pro celkovou charakteristiku chování různých kovů přítomných v odpadech v závislosti na pH loužícího média nebo prostředí.

S/S odpadu pomocí fosforečnanového cementu

V **tabulkách 4 – 6** jsou uvedeny obsahy sledovaných parametrů stanovených při komplexním vyluhovacím testu po provedení solidifikace odpadu. U výluhu solidifikovaného odpadu v kyselině octové bylo zjištěno, že s rostoucím množstvím odpadu v solidifikátu vzrůstá i obsah kovů ve výluhu. Nicméně, limitní hodnoty používané US EPA (40 CFR § 268.48) pro hodnocení toxických vlastností ošetřených odpadů nebyly překročeny ani při 40% hm. obsahu odpadu v matici. Tyto výsledky naznačují, že došlo nejen k solidifikaci odpadu, ale i k jeho stabilizaci. Porovnáme-li obsah olova ve výluhu s výsledky práce

Červinkové et al.¹¹, kdy byly použity pro S/S stejného typu odpadu asfaltové emulze, zdá se, že stabilizace / solidifikace použitím fosforečnanového cementu je účinnější.

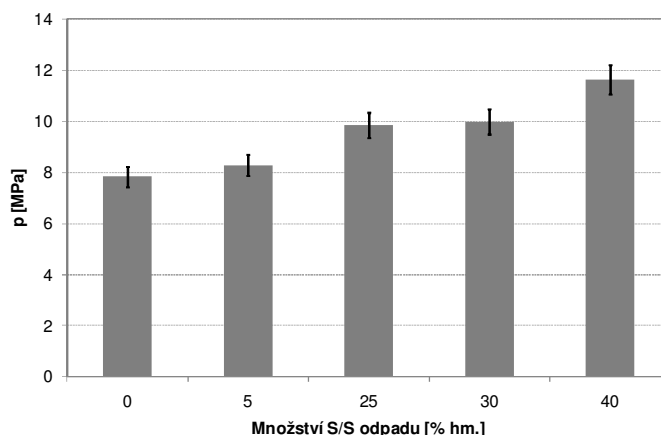
Tabulka 4: Sledované parametry výluhů S/S odpadu v kyselině octové

množství odpadu [% hm.]	Zn [mg/l]	Cr [mg/l]	Pb [mg/l]	pH [1]	κ [mS/cm]
0	0	0	0	5,5	4,35
5	0,701	0,028	0,093	4,1	5,66
25	2,913	0,040	0,296	4,1	6,25
30	3,473	0,091	0,328	4,9	5,51
40	3,608	0,093	0,326	4,4	4,11
limitní hodnoty dle US EPA (40 CFR § 268.48)	4,3	0,60	0,75	-	-

V **tabulka 5**: jsou uvedeny hodnoty sledovaných parametrů vodného výluhu stabilizovaného-solidifikovaného odpadu, který je předepsán českou legislativou. Lze vidět, že s rostoucím množstvím stabilizovaného/solidifikovaného odpadu vzrůstá i množství vylouženého Cr, které však nepřekročilo ani při 40 % stabilizovaného-solidifikovaného odpadu limitní hodnotu 7 mg/l. Srovnáme-li množství Pb ve vodném výluhu neupraveného odpadu (**tabulka 3**) s množstvím Pb ve výluhu stabilizovaného-solidifikovaného odpadu (**tabulka 5**), došlo k významnému snížení. Na **obrázek 1** jsou zobrazeny výsledky měření pevnosti v tlaku po 7 dnech. S rostoucím množstvím stabilizovaného-solidifikovaného odpadu se pevnost v tlaku postupně zvyšovala, a i při 40% obsahu odpadu v solidifikátu byla pevnost v tlaku po 7 dnech tvrdnutí vyšší než 10 MPa. Takto upravený odpad by mohl být přijat na skládku ostatního odpadu (S-OO1).

Tabulka 5: Sledované parametry vodných výluhů S/S odpadu

množství odpadu [% hm.]	Zn [mg/l]	Cr [mg/l]	Pb [mg/l]	pH [1]	κ [mS/cm]
0	0,009	0	0,027	9,3	8,48
5	0,005	0	0,014	9,4	6,05
25	0,005	0,189	0,015	9,9	7,10
30	0,009	1,003	0,022	9,9	7,56
40	0,005	1,454	0,029	9,8	8,61
limitní hodnoty dle vyhlášky 294/2005 Sb. (IIa. třída)	3	7	5	≥ 6	-



Obrázek 1: Pevnost v tlaku těles stabilizovaného-solidifikovaného odpadu po 7 dnech

Pro otestování vyluhovatelnosti amfoterních kovů v zásaditém prostředí byl proveden vyluhovací test v boritanovém pufru, jehož výsledky jsou v **tabulka 6**. Vyšší množství vyloužených kovů bylo zjištěno až při 30 – 40 % hm. stabilizovaného-solidifikovaného odpadu. Pro tento druh výluhu nejsou v legislativě zakotveny žádné limity, proto nelze jejich porovnáním prokázat, zda je odpad v tomto prostředí nebezpečný. Nicméně, při porovnání obsahu kovů ve vodném výluhu (**tabulka 5**) a výluhu v boritanovém pufru (**tabulka 6**) lze vidět, že množství vylouženého Zn je více než 40× vyšší a množství Pb 3× vyšší v alkalickém výluhu. Pouze množství vylouženého Cr se v alkalickém prostředí snížilo přibližně 30×.

Tabulka 6: Obsah sledovaných kovů ve výluhu S/S odpadu v boritanovém pufru

množství odpadu [% hm.]	Zn [mg/l]	Cr [mg/l]	Pb [mg/l]	pH [1]	κ [mS/cm]
0	0,004	0,002	0	10,2	15,84
5	0,007	0,018	0	10,0	17,78
25	0,009	0,037	0	10,2	17,28
30	0,190	0,043	0,074	10,5	16,81
40	0,210	0,048	0,086	10,4	18,57

Závěry

Na základě výsledků této práce lze říci, že stabilizace a solidifikace odpadu z vyřazené vojenské munice obsahujícího amfoterní kovy pomocí fosforečnanového cementu byla úspěšná. Podařilo se solidifikovat až 40 % odpadu a pevnost v tlaku po 7 dnech tvrdnutí překročila 10 MPa. Pro určení účinnosti stabilizace amfoterních kovů se osvědčilo použití komplexního vyluhovacího testu, který sestával ze tří vyluhovacích zkoušek – výluh v kyselině octové (TCLP test dle US EPA), vodný výluh (vyhláška MŽP č. 294/2005 Sb.) a alkalický výluh v boritanovém pufru (pH = 11,12).

Po solidifikaci odpadu nebyly ve výluhu v kyselině octové překročeny limitní hodnoty obsahu rizikových prvků daných US EPA. V případě vodného výluhu, bylo možné solidifikovaný odpad zařadit do II. třídy, a takto upravený odpad by mohl být přijat na skládku ostatního odpadu. Ve výluhu v alkalickém loužicím médiu byl potvrzen výskyt amfoterních kovů (Pb, Zn), které jsou přítomny v odpadu, avšak nebylo možno provést kategorizaci, neboť stanovené hodnoty nelze porovnat s žádnými limitními hodnotami.

Literatura

1. Kafka Z., Vošický J.: Chem. listy. 92, 789 (1998).
2. Kuraš M.: *Odpadové hospodářství*. Ekomonitor, s.r.o., 1. vydání., Chrudim 2008.
3. Wagh A. S.: *Chemically bonded phosphate ceramics*. Elsevier, 1st edition, Amsterdam 2004.
4. Zhongzhe L. et al.: J. Hazard. Mater. 157, 146 (2008).
5. Randall P. M., Chattopadhyay S.: J. Environ. Eng. – ASCE. 136 (3), 265 (2010).
6. Zhang H. et al.: Sci. China, Ser. E: Technol. Sci. 52, (7), 1906 (2009).
7. Buj I. et al.: J. Hazard. Mater. 175, 789 (2010).
8. Jing C., Meng X., Korfiatis G. P.: J. Hazard. Mater. B114, 101 (2004).
9. Saeedi M., Bazkiaei A., Torkaman Z.: Int. J. Environ. Res. 4,(3), 455 (2010).
10. Bednařík V., Vondruška M., Slavík R. Waste Forum. 2, 80 (2009).
11. Červinková M. et al.: J. Hazard. Mater. 142, 222 (2007).

Stabilisation / solidification of lead containing waste by phosphate cement

Roman Slavík, Vratislav Bednařík, Simona Svobodová

Tomas Bata University in Zlin, Faculty of Technology

Department of Environment Protection Engineering

nam. T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín, Czech Republic

phone: +420 576 031 209, email: slavik@ft.utb.cz

Summary

The paper describes testing a stabilisation / solidification (S/S) procedure for discarded ammunition waste using phosphate cement. This cement can be prepared for example by chemical reaction between potassium dihydrogenphosphate and metal ions contained in blast-furnace slag. A complex leaching test for S/S assessment has been designed, because the waste contained amphoteric metals (Pb, Zn). The complex leaching test consists of three partial leaching tests in acidic, basic and neutral mediums, respectively. Up to 40 % of waste has been effectively stabilised / solidified and the compressive strength exceeded 10 MPa.

Keywords: *stabilisation / solidification, phosphate cement, waste, lead, discarded ammunition, complex leaching test.*

Nonylfenoly v kalech z komunálních ČOV

Marie Michalová

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30,
160 00 Praha 6, e-mail: marie_michalova@vuv.cz

Souhrn

Článek podává stručný přehled základních informací o použití, zdrojích úniků a působení nonylfenolů na ŽP ve vztahu na udržitelné nakládání s kaly z komunálních ČOV. Uvádí dopady nonylfenolů na ŽP a zdraví člověka a rizika s tím spojená. Tomuto typu znečištění v kalech z komunálních ČOV nebyla zatím v ČR věnována větší pozornost. Proto se v rámci řešeného výzkumného záměru podrobněji zkoumalo z daného pohledu znečištění kalů mikropolutanty – nonylfenoly a rezidui některých léčiv ve vybraných komunálních ČOV v ČR. V článku jsou předloženy první výsledky měření a vyhodnocení provedených odběrů a rozborů kalů v roce 2009 vztahujících se ke konkrétnímu sledovanému představiteli znečištění 4-nonylfenolu.

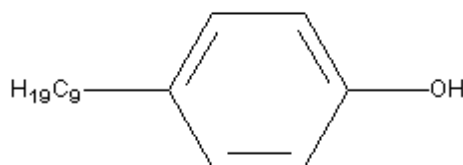
Klíčová slova: kal; komunální ČOV; nonylfenol, rozbor; využití kalů v zemědělství; znečištění

Úvod

Cílem práce bylo zjistit, zda kaly z komunálních ČOV v ČR, které by bylo možno využívat na zemědělskou půdu ve smyslu vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb., o využití kalu na zemědělské půdě¹ obsahují nonylfenoly a stanovit v nich jejich koncentraci. Znečištění kalů z komunálních ČOV mikropolutanty, konkrétně nonylfenoly, nebyla u nás zatím věnována větší pozornost. Důvodů, proč tomu tak je, je více. V případě nonylfenolů je to jejich malé množství v kalech a vyšší provozní náklady na jejich zjišťování. Ve vyspělých státech Evropy je však uvedené znečištění v případě využívání kalů v zemědělství monitorováno a použití kalů s obsahem nonylfenolů v zemědělství zakázáno.

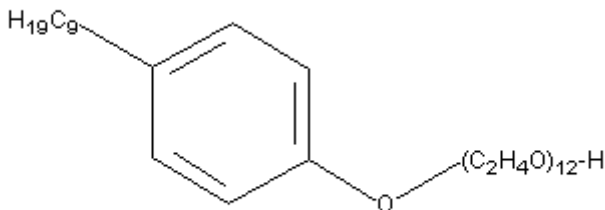
Obecná část

Nonylfenol (NP) je organická sloučenina patřící do širší skupiny alkylfenolů (AP)². Je vybraným ukazatelem a představitelem znečištění, jehož obsah v kalech z komunálních čistíren se sledoval ve VZ02 v subprojektu 1³ spolu s obsahem vybraných farmak. Jako příklad struktury nonylfenolu je na obrázku 1 znázorněna právě struktura 4-nonylfenolu.



Obrázek 1: Struktura 4-nonylfenolu

Další představitel tohoto druhu znečištění – nonylfenoletoxyláty mají ve své molekule oproti nonylfenolům nahrazen vodík fenolické skupiny polyethoxylovaným řetězcem. Struktura nonylfenoletoxylátu je uvedena na obrázku 2.



Obrázek 2: Struktura POE(12) nonylfenol ethoxylátu

Komerční přípravky obvykle obsahují spíše rozvětvené než lineární alkylové řetězce. Tyto přípravky jsou tvořeny směsí látek – uhlovodíkový řetězec může být tvořen různými isomery, stupeň oxyethylace také nemusí být jednotný. Přípravky mohou dokonce obsahovat zbytky původního nonylfenolu a polyethylenglykol.

Nonylfenol se může uvolňovat do prostředí při výrobě a používání přípravků s jeho obsahem. Často se nachází v odpadních vodách právě jako produkt rozkladu nonylfenol ethoxylátů. Nonylfenol ethoxyláty se obdobně jako nonylfenoly dostávají do životního prostředí při procesech výroby a nakládání s nimi. Je to např. při používání průmyslových detergentů a emulgátorů, pesticidních přípravků, mazacích olejů, nátěrů a pryskyřic, kosmetických přípravků, domácích detergentů a ostatních přípravků obsahujících nonylfenol ethoxyláty.

Odhaduje se, že z nonylfenol ethoxylátů vypouštěných do splaškové kanalizace 37 % dosáhne vodních ekosystémů v nezměněné podobě, 46 % se dostane do půdy a 17 % se rozloží^{4,5}.

Zdroje úniků nonylfenolů můžeme shrnout následovně:

- výroba nonylfenolu; v České republice se nonylfenoly nevyrábí
- navazující chemický průmysl (výroba detergentů, plastů, antioxidantů, pryskyřic a barviv)
- používání mycích, odmašťovacích a čistících prostředků s obsahem povrchově aktivních látek (zejména průmyslové přípravky) a přípravků obsahujících nonylfenol ethoxyláty (pesticidní přípravky, pryskyřice a nátěry)

Nonylfenol ethoxyláty se v normálním prostředí rozkládají špatně. Poměrně snadno ztrácejí ethoxylové skupiny pomocí činnosti bakterií a mikroorganismů a přestávají se tak chovat jako detergenty, tato skutečnost se nazývá primární degradabilita. Vznikají tak nonylfenoly, nonylfenoly s jednou ethoxyskupinou a nonylfenoxi karboxylové kyseliny. Tyto produkty rozkladu se však již odbourávají obtížně a jsou navíc ještě toxičtější než původní látka. Nonylfenol vykazuje rovněž tendence k bioakumulaci ve vodních organismech a sorpci na sedimentech. Za aerobních podmínek dochází k biodegradaci na neškodné produkty během desítek dní (v závislosti na teplotě). V podmínkách anaerobních a zejména v sedimentech je biodegradace podstatně pomalejší, a proto můžeme sedimenty považovat za určité rezervoáry představující riziko pro životní prostředí do budoucna (například při změně podmínek). Nonylfenoxi karboxylové kyseliny naopak zůstávají v povrchových (a odpadních) vodách. Kromě biodegradace může ve svrchních vrstvách vody docházet k fotolýze (rozklad za pomoci slunečního záření). V ovzduší se nonylfenol pravděpodobně rozkládá reakcí s atmosférickými radikály.

Ethoxylovaného nonylfenolu bylo v České republice uváděno v letech 2000 – 2003 na trh 60 – 99 tun za rok, p-nonylfenolu pak 12 – 92 tun ročně⁴.

Nonylfenoly jsou výrazně toxické pro vodní organismy. Studie také prokázaly negativní působení nonylfenolů na reprodukční systém u savců (vykazují estrogení aktivitu). Nejvyšší dávka, při které byly negativní změny pozorovány, byla stanovena na 15 mg/kg váhy/den – odhad (EC JRC 2002). Mohou negativně působit na ledviny a játra. Potenciální karcinogenní působení nonylfenolů nebylo dosud dostatečně prozkoumáno.

Nejčastější cesta příjmu nonylfenolů pro člověka je potravou, především konzumací ryb. Nonylfenoly se vážou na tuky. Přímé účinky na zdraví člověka, např. poškození DNA v lidských lymfocytech jsou dále studovány^{4,5}.

V současnosti některé ekonomicky vyspělé státy Evropy, pokud využívají kaly z komunálních ČOV v zemědělství, bedlivě monitorují jejich znečištění. V případě zjištění těchto polutantů v kalech je jejich použití zakázáno (např. Norsko, Dánsko). V Německu a Francii je nejprogresivnějším způsobem nakládání s kaly spalování. Jiné státy řeší problém komplexněji a použití kalů z komunálních ČOV v zemědělství zcela zakázaly (např. Nizozemí, Švýcarsko). V našich podmínkách není zatím tento problém legislativně řešen. Sledovat obsah nonylfenolů v kalech není v případě jejich zemědělského využití vyhláškou MŽP č. 382/2001 Sb.¹ vyžadováno.

Experimentální část

V průběhu roku 2009 se z vytypovaných 3 komunálních čistíren v odlišných velikostních kategoriích – čistírna „A“ (kategorie do 5 tis. EO), „B“ (kategorie nad 100 tis. EO) a „C“ (kategorie 50 – 100 tis. EO) odebíraly vzorky odvodněného kalu. Z každé čistírny pak bylo v období červen – září odebráno 5 vzorků odvodněného kalu a u jedné z čistíren 4 vzorky sedimentů z toku (pod výtokem z ČOV „C“ – kategorie 50 – 100 tis. EO). Celkem bylo v roce 2009 odebráno ze všech 3 čistíren 15 vzorků kalu a 4 vzorky sedimentu (viz tabulka č.1).

Obsah nonylfenolu, konkrétně 4-nonylfenolu byl zkoumán v uvedených vzorcích spolu s rezidui vybraných farmak. Pro jejich stanovení byla použita metoda kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí LC/MS. Postup je podrobněji popsán ve ².

Metoda LC/MS

Technika LC/MS byla Technika LC/MS byla použita v laboratoři VÚV TGM, v.v.i. ke stanovení vybrané skupiny farmak ve vodách (pitné, povrchové a odpadní) a též v kalu. Při analýze kalu je nutno provést zakoncentrování analytů SPE (solid phase extraction) a čištění extraktů GPC (gelová permeační chromatografie).

Pracovní postup

Z pevných vzorků (kalu, sedimentu) se rezidua extrahují metodou ASE (Accelerated Solvent Extraction). K navážce předem vysušeného a upraveného vzorku (lyofilizace, mletí, síťování) se přidá vnitřní standard, extrakční cela se vyplní hydromatrixem a extrahuje se při 100 °C nejprve methanolem a potom methanolem s kyselinou octovou v poměru 20:1. Spojené extrakty se zakoncentrují právě do sucha a odparek se převede do 500 ml MILLIQ vody (demineralizované vody) a kyselinou chlorovodíkovou se upraví pH na 2,3. Po přidání směsného roztoku vnitřních standardů se vzorky filtrují na přetlakovém zařízení přes filtry ze skleněných vláken. Separace analytů se provádí technikou extrakce na tuhou fázi (SPE) s použitím disků BakerBond Speedisk Hydrophobic DVB 8068-06 (J.T.Baker). Po promytí vodným roztokem methanolu a vysušení tlakovým dusíkem se zachycené analyty vymyjí 20% roztokem methanolu (MeOH) v terciárním butylmethyletheru. Zachycený eluát se v proudu dusíku zakoncentruje právě do sucha a odparek se převede do 1 ml roztoku kompatibilního s následnou LC/MS analýzou, tj. 20% acetonitrilu ve vodě. Analýzy takto připravených extraktů se

provádějí technikou kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí. Extrakty velmi znečištěných vzorků je nutno ještě před LC/MS čistit GPC.

Metodika stanovení reziduí léčiv v pevné matrici ještě není ukončena a pokračuje se v jejím zpřesňování.

Výsledky a diskuse

V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky rozborů odběrů provedených v roce 2009 z vybraných čistíren „A“, „B“ a „C“. Podle zpřísněného návrhu draftu Směrnice Rady č. 86/278/EC⁶ patří v současnosti nonylfenoly mezi doporučené sledované organické polutanty v kalech v případě jejich zemědělského či dalšího využití – kompostování.

Doporučovaný a zatím neschválený limit pro tento ukazatel NP/NPE dle tohoto 3. pracovního dokumentu – draftu Směrnice Rady č. 86/278/EC⁶ z roku 2000 je 50 mg/kg sušiny kalu, respektive z roku 2003 je to 450 mg/kg sušiny kalu. V současné době jsou tyto hodnoty uváděné též ve zprávě pro EK⁷ (Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land – Final Report Part III: Project Interim Reports z února 2010).

V hodnocení byla použita pro srovnání přísnější hodnota – 50 mg/kg sušiny kalu.

Tabulka 1: Obsah 4-nonylfenolu a sušiny vzorků kalů a sedimentů

Číslo vzorku	Datum odběru	Označení vzorku	Sušina	4-nonylfenol
			%	mg/kg
3098	8.6.09	A – kal	33,4	5,09
3099	8.6.09	B – kal	47,2	14,10
3100	8.6.09	C – kal	31,4	21,00
3875	8.7.09	A – kal	23,7	3,37
3876	8.7.09	B – kal	44,0	8,40
3877	8.7.09	C – kal	37,2	10,60
s3878	8.7.09	C – sediment	76,8	<0,20
4423	3.8.09	A – kal	28,4	4,96
4424	3.8.09	B – kal	40,4	13,80
4425	3.8.09	C – kal	25,6	12,60
s4426	3.8.09	C – sediment	77,9	0,39
5365	8.9.09	A – kal	20,6	2,66
5366	8.9.09	B – kal	34,2	16,30
5367	8.9.09	C – kal	28,0	11,80
s5368	8.9.09	C – sediment	83,0	0,78
5855	29.9.09	A – kal	19,2	1,28
5856	29.9.09	C – kal	27,6	9,10
5857	29.9.09	B – kal	68,8	12,90
s5858	29.9.09	C – sediment	75,7	0,37

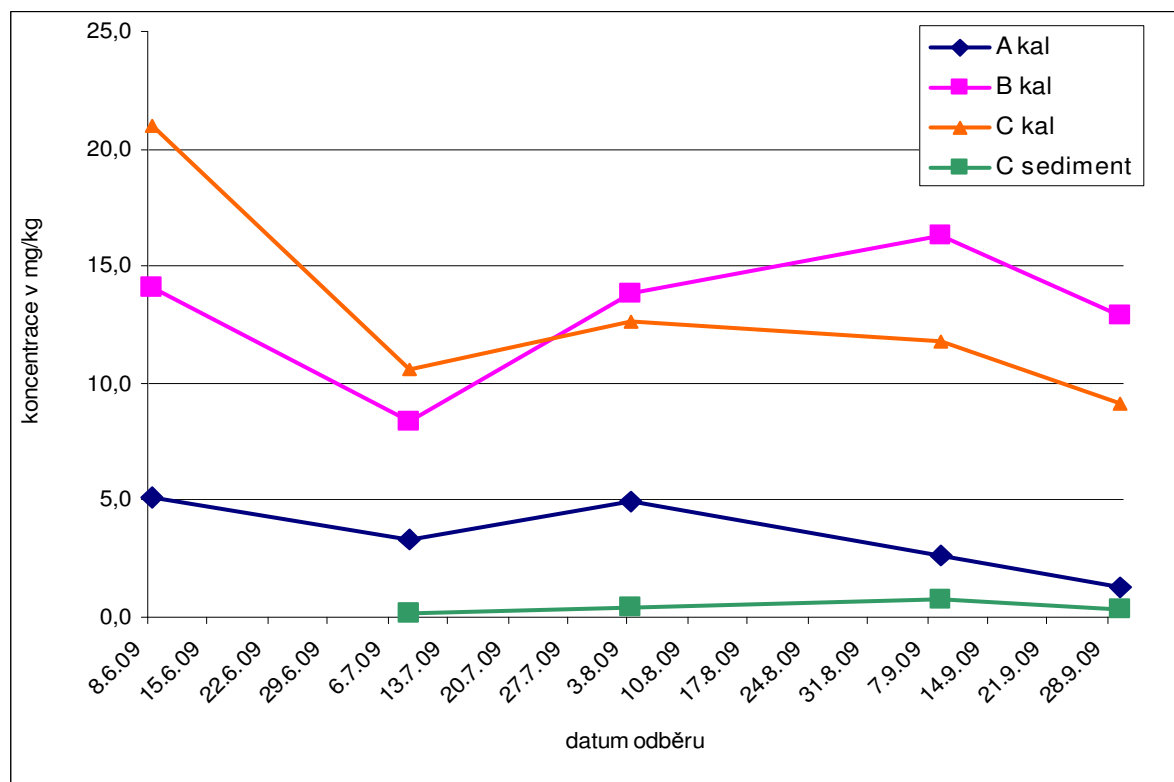
A – ČOV v kategorii do 5 tis. EO

B – ČOV v kategorii nad 100 tis. EO

C – ČOV v kategorii 50 – 100 tis. EO

Graf č. 1 podává přehledně průběh koncentrací 4-nonylfenolu všech sledovaných kategorií čistíren a sedimentu v období červen – září 2009.

Graf 1: Průběh koncentrací 4-nonylfenolu v kalech a sedimentu sledovaných ČOV



Dle dosavadního zjištění je obsah nonylfenolu v kalech pravděpodobně úměrný míře znečištění přitékající na ČOV, zejména znečištění z průmyslu. V čistírně do 5 tis. EO je průměrná hodnota koncentrace nonylfenolu v kalu 3,47 mg/kg. V čistírně do 100 tis.EO, kde je v našem případě průmyslové znečištění poměrně vyšší ve srovnání se znečištěním od obyvatelstva (jedná se zde o železářny, automobilový průmysl, chemický průmysl, dále potravinářský a spotřební průmysl), činí průměr 13,1 mg/kg a v čistírně nad 100 tis EO je průměr 13,02 mg/kg. Všechny hodnoty koncentrací tohoto znečištění se v průběhu sledování pohybovaly hluboko pod doporučeným limitem pro toto znečištění.

Průměrná hodnota znečištění – 0,514 mg/kg v sedimentech odebraných pod výtokem čistírny „C“ v kategorii pod 100 tis. EO představuje pouhé 1 % navrhovaného limitu.

Závěry

Cíl práce byl splněn. Zjištěné hodnoty obsahu nonylfenolu ve všech vzorcích sledovaných čistíren (hodnoty průměru 8,31 mg/kg a mediánu – 8,75 mg/kg stanovených obsahů nonylfenolu) jsou hluboko pod navrhovanou doporučenou hodnotou limitu pro kaly použitelné na zemědělskou půdu dle^{6,7}. Doporučená hodnota limitu pro nonylfenol 50 mg/kg sušiny kalu v kalech, které je možno použít na zemědělskou půdu, nebyla ve sledovaných kalech ani sedimentech nikde překročena ani dosažena. K zobecnění uvedeného tvrzení a k vyslovení reprezentativního závěru nejsou uvedené výsledky zatím zcela dostačující. K tomu by bylo třeba získat větší počet rozborů v delším časovém období a z většího počtu komunálních ČOV v ČR.

Poděkování

Uvedené výsledky a poznatky byly získány díky řešení výzkumného záměru MŽP 0002071102 – Výzkum pro hospodaření s odpady v rámci ochrany životního prostředí a udržitelného rozvoje (prevence a minimalizace vzniku odpadů a jejich hodnocení) subprojektu 1 – Problematika biologicky rozložitelných odpadů v roce 2009 v části Kaly z komunálních ČOV.

Seznam symbolů a zkratek

ASE (Accelerated Solvent Extraction) – extrahovací metoda
ČOV – čistírna odpadních vod
EC JRC – European Commission Joint Research Centre
EK – Evropská komise
GPC – gelová permeační chromatografie.
LC/MS – metoda kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí
MeOH – roztok methanolu
MILLIQ voda – demineralizovaná voda
MŽP – Ministerstvo životního prostředí
NP/NPE – nonylfenol a nonylfenol ethoxyláty
POE(12) – nonylfenol ethoxylát
SPE (Solid phase extraction) – technika extrakce na tuhou fázi
VÚV TGM, v.v.i. – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce
VZ – výzkumný záměr

Literatura

1. Vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb., o využití kalu na zemědělské půdě.
2. Pitter, P.: *Hydrochemie 4. vydání*, vydavatelství VŠCHT Praha, 2009.
3. Michalová, M.: VZ MŽP 0002071102 – Závěrečná zpráva subprojektu 1 Problematika biologicky rozložitelných odpadů, VÚV TGM, v.v.i. Praha, 2009.
4. http://www.irz.cz/repository/latky/nonylphenol_a_nonylphenol_ethoxylaty.pdf, staženo únor 2010.
5. http://www.mzp.cz/cz/program_pro_nebezpecne_latky, staženo únor 2010.
6. 3. prac. dokument (draft) Směrnice Rady č. 86/278/EC (2000).
7. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land – Final Report Part III: Project Interim Reports, Brussels, únor 2010.

Nonylphenols in sewage sludge from municipal sewage wastewater treatment plants

Marie Michalová

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Summary

The article gives a brief overview of basic information on the use, sources of the leaks and effects of nonylphenols on the environment in relation to sustainable treatment of sludge from municipal sewage treatment plants. The article indicates the impact of nonylphenols on the environment and human health and the risks associated with it. This type of pollution in sludge from municipal sewage treatment plants has not received for the present in the Czech Republic greater attention. Therefore in the frame of the research project sludge pollution by micro pollutants along with some selected pharmaceuticals in chosen municipal sewage treatment plants in the country has been investigated in more detail from the given perspective. The article presents the first results of measurements and evaluation of conducted sampling and analysis of sludge in 2009 related to a specific contamination representative studied – 4-nonylphenol.

Keywords: *analysis; municipal sewage treatment plants; nonylphenol; pollution; sludge; sludge use in agriculture*

ODPADOVÉ FÓRUM

WASTE MANAGEMENT FORUM
SPECIALISED MONTHLY JOURNAL ON WASTES AND SECONDARY MATERIALS

BASIC INFORMATION

WHO WE ARE?

Odpadové forum is a monthly journal specialized in wastes and secondary materials. It is the best information source about waste management in the Czech Republic (according to research performed at the end of 2003).

The average number of copies is 2500. The format is A4, the minimum number of pages is 36. It is distributed mainly by subscription and also on exhibitions and conferences or by promotion campaigns.

WHO ARE THE READERS?

The readers of Odpadové forum are:

- Managers and specialists of waste-dealing companies, collecting points etc.
- Managers and specialists of companies which are producing waste
- Workers of local and government authorities
- Scientists, teachers etc.

A typical reader profile: a graduate man working as a top manager in a company with more than 50 employees (speaking about companies which are dealing with waste) or a senior manager (speaking about companies which are producers of waste) with six or more years of experience in the branch.

WHO ARE THE AUTHORS?

The authors of papers are mainly experts and authorities from the branch of waste management. The Odpadové forum is edited by specialists who have long experiences with the topic.

ADVERTISING

The advertising is very efficient, readers take it as important source of information about the topic and about the involved companies. The basic prices of advertising in Odpadové forum are low (32 000 CZK or 1280 EUR/page), especially in comparison with other similar press.

The subscription cost in Czech Republic is 880 CZK or 70 EUR in EU for 11 issues per year.

Price List and Trade Terms of Advertising in the ODPADOVÉ FÓRUM Monthly Journal

SIZE AND PRICES OF ADVERTISEMENTS ON COMMERCIAL PAGES

Size A4	Price (irrespective of colours), VAT not included	Dimensions (width × height), in mm
1/1	32 000 CZK or 1280 EUR	210 × 297 (bleed)
		185 × 254
1/2	16 000 CZK or 650 EUR	185 × 125
		90 × 254
1/4	8000 CZK or 350 EUR	90 × 125
		185 × 61
1/8	4000 CZK or 200 EUR	43 × 125
		90 × 61

Special prices of advertisement on selected pages

Back cover	40 000 CZK or 1600 EUR
Inside front or inside back cover	36 000 CZK or 1440 EUR
Front cover (photo and logo only)	32 000 CZK or 1280 EUR

Company presentation/article, PR promotion (black and white):

1 page	16 000 CZK or 650 EUR
--------	-----------------------

Inserted (set-in) advertisement:

Price is negotiable, depending on the circulation of the particular issue.

Discounts

For repeating 2-3 times	10 %
4-5 times	20 %
6 times and more	negotiable

Surcharges

For required location	20 %
-----------------------	------

Agency commission

Standard charge for procurement of the advertisement	15 %
--	------

PARAMETERS OF THE ADVERTISEMENT BASICS

Basics for offset print:

CMYK colour separation of image setter. CMYK colour density - chemical proof print (Cromalin). Printing frequency 150 lpi, angle frequency C105, M45°, Y90°, K165°. Elliptic printing point.

Data basics for montage and image setting:

Allowable formats of the files: *.PDF, *.TIF, *.EPS, *.JPG, *.BTM, Adobe Illustrator8 and Corel Draw8 (in the lines and colour profile CMYK), please save for McIntosh.

File compression: *.ZIP.

Minimum resolution: 300 dpi/full size (advertisements, photos), 800 – 1000 dpi (logos and pen-and-inks).

Orders of advertisements please send to the editorial office by standard mail or fax only:

České ekologické manažerské centrum, Editorial Office of Odpadové Fórum, Jevanská 12,
100 31 Prague 10, CZ, fax: +420 274 775 869.

Inquiries and details: forum@cemc.cz, www.odpadoveforum.cz

ODPADOVÉ FÓRUM

WASTE MANAGEMENT FORUM
SPECIALISED MONTHLY JOURNAL ON WASTES AND SECONDARY MATERIALS

How to write for the ODPADOVÉ FÓRUM Journal

Journal editors are interested about writers' cooperation with the broadest spectrum of all professionals from all branches of waste management. Some writers are directly requested by the editors and articles are ordered on the specific topic announced in editorial plan or towards up to date problems.

We welcome also unsolicited articles, regardless, if they fit into editorial plan or not. In case of writing an article towards advertise theme, it is important honour the deadline of editorial closing date, which is mentioned in editorial plan. Considering, that majority of space in the issue is occupied by articles, which are connected by the content from some famous subject matters. It is possible that unwanted article, which is misfit to the particular topic, would wait for print even several months to be published. Don't be discouraged by it. Another situation is alongside firm's paid advertising articles or articles that are accompanied by the advertisement.

We are interested mainly by any original pieces, which are informing us about functional experiences of waste management issues in Czech Republic or abroad. For the most part, we are drawn towards practical results of research work, technical development, new technologies, control documentation, management information, and so on.

Requirements for articles' groundwork

Editorial office doesn't have any particular requirements for graphical modifications and "Print ready" option is without cause if it gives more work, both to the author and the redaction. The content of articles may be transmitted by electronic mail or delivered on data carrier in WORD format. Tables are better to be send as an independent files. In any case, images are important to send in graphical formats like PDF, JPG, TIF, BTM, PDF, GIF.... Data graphs may be in Excel form and may contain data sources, so it will be possible to create them again in another more convenient form.

As far as the length of articles, we are interested in maximal conciseness, but not to the detriment of perfection and readability of disserted idea or issue. Optimal printing range for the main article is one or maximum two published pages. One printing page contains about 6500 characters with spaces. Pictures, tables and bigger numbers of indented text and so on, surely diminish the number of characters which are able to fit on one print page.

Price for publishing PR-article (one page, size A4) is 16 000 CZK, approx. 650 Euro. A normal (typical) article – which informs about experiences, technologies etc. and which does not contain a company presentation – is free of charge.

Editorial and deadline plans for 2011

Issue No.	Topic of the month	Editorial closing date	Advertisement Closing date	Despatch
1/2011	Landfilling	November 29, 2010	December 9, 2010	January 7, 2011
2/2011	Utilisation of wastes on the surface of the ground	January 3, 2011	January 13, 2011	February 2, 2011
3/2011	Biologically degradable wastes	January 31	February 10	March 2
4/2011	Integrated systems of waste management	February 28	March 10	March 30
5/2011	Taking back	April 4	April 15	May 4
6/2011	Trade waste Commercial supplement Collection and transport of wastes	May 2	May 12	June 1
7-8/2011	Yearbook of waste management	June 20	June 30	July 20
9/2011	Preventing waste production, Waste/Non-waste	August 1	August 11	August 31
10/2011	Energy recovery from waste	August 29	September 15	October 5
11/2011	Electric waste Commercial supplement Waste processing	October 3	October 13	November 2
12/2011	Composite/layered packaging, tetrapack	October 31	November 10	November 30

Changes of topics reserved

More on

www.odpadoveforum.cz