

STABILIZACE/SOLIDIFIKACE ODPADŮ OBSAHUJÍCÍCH TĚŽKÉ KOVY

ZDENĚK KAFKA a PAVLA ČUDOVÁ

Ústav chemie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6, e-mail: Zdenek.Kafka@vscht.cz

Došlo dne 13.II.2001

Klíčová slova: stabilizace, solidifikace, těžké kovy

Obsah

1. Úvod
2. Základní pojmy
3. Solidifikační technologie
4. Solidifikace odpadů s obsahem těžkých kovů
5. Závěr

1. Úvod

Životní prostředí je v současné době neúměrně zatěžováno stále větším množstvím vznikajících odpadů. V řadě průmyslových procesů je produkován odpad, který obsahuje toxické látky v rozpuštěné nebo vysrážené formě. Mezi tyto kontaminanty patří i těžké kovy, které mohou pronikat do potravního řetězce, kumulovat se v živých tkáních, a způsobovat tak vážné poškození zdraví. Proto je nutné převádět takové odpady do fyzikálně a chemicky stabilní formy, ve které budou přítomné škodliviny od prostředí izolovány. Jednou z metod této úpravy odpadů je jejich stabilizace/solidifikace.

2. Základní pojmy

Pojem stabilizace/solidifikace, uváděný v odborné literatuře¹ a označovaný jako S/S technologie, zahrnuje určitý typ fyzikálně-chemické úpravy odpadu^{2,3}, při které ve skutečnosti probíhají souběžně dva procesy. Kontaminanty obsažené v odpadu se nejprve stabilizují buď zachycením na vhodném sorbentu, nebo převedením na méně rozpustnou (stabilnější) formu pomocí chemické reakce. Většinou jde o chemickou vazbu (fixaci) s různými typy pojiv, aditiv a aktivátorů nebo akceleratorů. Během tohoto děje může docházet k solidifikaci (přeměně sypkého nebo kapalného odpadu na pevný materiál), při níž se vytvářejí fyzikální bariéry zpomalující nebo znemožňující transport toxických látek do prostředí⁴, což je výhodné především z praktického hlediska (lepší manipulace, omezená vyluhovatelnost).

S/S technologiemi lze imobilizovat těžké kovy, některé radionuklidy a různé organické sloučeniny⁵. Uvedené technologie jsou vhodné pro úpravu široké škály odpadů, např.

různých popílků, brusných nebo galvanických kalů⁶, filtračních koláčů obsahujících těžké kovy atd. Zatímco fixace je takový případ solidifikace, kdy malé částice odpadů reagují se složkami solidifikačního média chemicky nebo s ním vytvářejí směsi, při enkapsulaci nejsou složky odpadu schopny tvořit sloučeniny nebo se se solidifikačním médiem mísit. Toto médium pouze obaluje částice odpadu, a tím je izoluje od prostředí⁷.

3. Solidifikační technologie

Pro solidifikaci (imobilizaci) odpadů se využívají následující technologie⁸:

- cementace,
- bitumenace,
- vitrifikace,
- fixace do jiných vhodných materiálů.

Cementace je postup, při kterém se odpad mísí ve vhodném poměru s cementem. Výhodou cementace je její průběh za normální teploty, použití běžných a dostupných zařízení a relativně nízká cena. K dalším přednostem této metody patří skutečnost, že cement není ovlivňován oxidačními činidly. Nevýhodou je však značný objem výsledného produktu, a proto se tato metoda nehodí pro zneškodňování odpadů ukládaných na skládky. V budoucnu se však počítá s využitím takto solidifikovaných odpadů ve stavebnictví.

Bitumenací rozumíme mísení odpadů s asfaltovými typy pojiv, které se provádí za zvýšené teploty. Tato metoda však vyžaduje předchozí odvodnění zpracovávaných odpadů, při kterém se přebytečná voda odpaří např. v odparce a odpad se současně promíchá s bitumenem. Bitumenace je vhodná zejména pro fixaci kalů a kapalných koncentrátů. Ve srovnání s cementací vede ke kvalitnějším produktům z hlediska vyluhovatelnosti i výsledného objemu, který je menší než u procesu cementace. Z tohoto důvodu je vhodná pro zpracování odpadů určených k ukládání na skládku. Takto upravený odpad lze rovněž použít na výrobu směsí pro silniční podklad. Nevýhodou tohoto procesu je uvolňování nebezpečných látek při rozkladu odpadů za vysoké teploty a zvýšené riziko požárů.

Vitrifikace neboli zeskelnatění tavením při vysokých teplotách je aplikována zejména při zpracování toxických zbytků ze spaloven nebezpečného odpadu, eventuálně toxických prachů z filtrů používaných v různých technologiích. Sklotvorné látky jsou často přítomny již v samotném odpadu, ale i v tomto případě se přidávají skelné střepty např. z nevratného obalového skla, čímž se vytvoří spolehlivá základní matrice⁹. Vzniklá skla vynikají vysokou odolností proti působení vody, a proto je tímto způsobem možno zpracovat i odpady s vysokými koncentracemi škodlivých látek. Tato technologie navíc významně snižuje objem, neboť převádí prakticky všechny sloučeniny na oxidy. Výsledné sklo je vysoce inertní, a proto je lze použít k výrobě stavebního materiálu (dlaždice, obklady, střešní krytiny apod). Při vitrifikaci popílků za teploty 1200 °C lze získat po kondenzaci par koncentrát obsahující měď, stříb-

ro, zinek, kadmium a olovo, který je možné dále hutnicky zpracovat. Vitřifikovaný produkt lze také přidávat ke šterku do běžně používaných cementových nebo bitumenových směsí.

Při fixaci jinými pojivy se využívají např. odpadní termoplasty nebo odpadní sádra z procesu odsiřování spalín. Cílem je snížení vyluhovatelnosti odpadu před jeho trvalým ukládáním.

Pro hodnocení vlastností produktů vzniklých solidifikací a posouzení účinnosti solidifikace se využívá řada fyzikálních a analytických metod¹⁰.

4. Solidifikace odpadů obsahujících těžké kovy

Pro solidifikaci odpadů obsahujících těžké kovy, které jsou určeny pro trvalé uložení, se používají různé druhy pojiv. Jsou to:

- hydraulická pojiva, která po smíchání s vodou samovolně tuhnou na vzduchu i pod vodou. Pro tyto účely jsou většinou používány portlandské cementy vyšších pevnostních tříd, struskoportlandské a struskové cementy s vhodnými sorpčními vlastnostmi nebo speciální rychlovazné cementy (jemně mleté portlandské cementy, bezsádrovcové cementy, hlinitanové cementy). Nevýhodou jejich použití je zvyšování objemu vzniklých solidifikátů až na dvojnásobek¹¹. Uvedené typy pojiv byly využity při solidifikaci nebezpečných průmyslových odpadů obsahujících některé těžké kovy¹². Tak např. cement v různém hmotnostním poměru k odpadu byl použit při solidifikaci směsi popílku ze spalovny komunálního odpadu a regenerované soli z roztoku na promývání spalín. Sledovanými kovy byly zinek, kadmium, rtuť, olovo a arsen¹³. Dalším příkladem je solidifikace granulované strusky s obsahem zinku, kadmia a olova vznikající v procesu spalování odpadů¹⁴, odpadů z metalurgických procesů obsahujících olovo, arsen a antimon^{15,16}, odpadů z procesu galvanického pokovování¹⁷ a některých dalších^{18–21}. Portlandským cementem byly rovněž stabilizovány různé typy kalů z elektráren, koželužen a keramických závodů²² a odpady z likvidace automobilů obsahujících azbest²³. Speciálním druhem cementu používaným k solidifikaci je hořečnatý cement sorem, který je kombinací oxidu a chloridu hořečnatého, což jsou vedlejší produkty tzv. Mg-procesu. Při úpravě popílku tímto typem cementu vzniká produkt podobný betonu²⁴.

- nehydraulická pojiva, která tuhnou pouze na vzduchu. Nejčastěji se používá jemné bílé vápno a bílý vápenný hydrát. Po homogenizaci odpadu s tímto materiálem vzniká indiferentní tuhá látka obsahující hydroxid vápenatý, který je pak působením oxidu uhličitého převeden na nerozpustný uhličitán vápenatý. Jako příklad lze uvést solidifikaci kalu obsahujícího kadmium, olovo a chrom bezvodým síranem vápenatým (anhydritem)²⁵, solidifikaci odpadů s obsahem olova sádrou a vápnem²⁶ nebo solidifikaci galvanických kalů obsahujících zinek a nikl a popílku ze spalování průmyslových odpadů s využitím vápenného hydrátu. Produkt připravený uvedenými procesy se ukládá na plochu, kde dochází postupnou reakcí vzdušného kyslíku s hydroxidem vápenatým ke zrání (proces trvá cca 30 dní). Takto upravený solidifikát lze využít v technologii skládkování, např. k přesypu polévatelného materiálu nebo ke zpevnění dopravního systému v tělese skládky. Tím je zajištěn přístup vzdušného oxidu uhličitého k povrchu soli-

difikátu a jeho další dozrávání. Vápnem byl rovněž solidifikován popílek vznikající při zpracování kovů, který obsahoval arsen ve vysoké koncentraci (23–47 hm.%). Tento odpad je produkován v množství několika tun za rok v Belgii a snaha o jeho úpravu je patrná od doby, kdy byl klasifikován jako nebezpečný odpad. Při optimálním poměru odpadu k pojivu byla koncentrace arsenu ve vyluhu snížena z 5 g.l⁻¹ na 5 mg.l⁻¹, protože v přítomnosti hydroxidu vápenatého se ve vyluhu tvoří téměř nerozpustný hydrogenarsenitan vápenatý. V nepřítomnosti hydroxidu vápenatého se však koncentrace arsenu nesnížila pod hranici 55 mg.l⁻¹. Z výsledků je zřejmé, že vyluhovatelnost arsenu klesá se vzrůstajícím přídatkem vápna, přičemž optimální koncentrace 5 mg.l⁻¹ se dosáhne při poměru 4 g Ca na 10 g odpadu a hodnotě pH 12,5. Z hodnoty saturačního indexu *SI* pro hydroxid vápenatý lze odvodit, že při dosažení uvedeného poměru se začne hydroxid vápenatý srážet²⁷.

$$SI(\text{Ca}) = \log \frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]}{K_s}$$

- puzzolánová pojiva, jejichž označení pochází od vulkanického tufu puzzuoli, který byl používán již ve starém Římě pro přípravu tzv. římského cementu. V současnosti využíváme i jiné materiály se shodnými vlastnostmi, např. jemně zrnitý popílek ze spalování práškového uhlí nebo popel ze spalování nebezpečných odpadů. Chemicky se jedná o látky s vysokým obsahem sklotvorného materiálu, který samovolně tvrdne jen výjimečně, a to v závislosti na obsahu reaktivního vápna. Obsahují však kyselinu křemičitou a oxid hlinitý, a mohou proto působením aktivátorů (cement nebo sádra) tvořit tuhnoucí hydrokřemičitany a hydrohliníto-křemičitany vápenaté. Jedná se např. o solidifikaci odpadů obsahujících olovo, arsen a antimon pomocí strusky a vápna nebo solidifikaci odpadů s obsahem mědi, kadmia a olova s využitím popílku²⁸. Odpad lze solidifikovat i pomocí přídatku tzv. metakaolinu^{29,30}. Popílek z fluidního spalování má vlastnosti podobné portlandskému cementu, avšak z důvodu nízké pevnosti v tlaku není jeho využití tak rozšířené. Vhodný je např. při stabilizaci/solidifikaci kovonosných kalů. Při sledování vlivu tohoto popílku na pevnost výsledných solidifikátů a stupeň imobilizace těžkých kovů byly připraveny směsi s odpadem v různých poměrech. Doba tuhnutí byla 28 dnů. Ve většině případů byla vyluhovatelnost přítomných kovů pod hranici 5 %. Nejvyšší pevnost vykazoval solidifikát připravený ze směsi kovonosného kalu a popílku³¹ v poměru 1:1.

- ostatní pojiva jsou zatím pouze předmětem výzkumu. Přídatek siřníku sodného nebo siřníku železnatého do odpadů obsahujících rtuť vede k její přeměně na sulfid. Tento proces je vhodný zejména pro úpravu popílku ze spaloven, popílku získaných z odpadních plynů a dále k úpravě zemin kontaminovaných těžkými kovy³². Při solidifikaci odpadního kalu obsahujícího zinek, měď a olovo portlandským cementem s přídatkem tzv. PFA popílku (pulverized fuel ash) dochází ve srovnání se solidifikátem bez přídatku popílku ke snižování pevnosti vzniklého produktu a zároveň se snižuje i hodnota pH v pórech. I když se předpokládá, že toto snížení hodnoty pH má na stabilizaci přítomných kovů příznivý vliv, má nižší alkalita odpadu solidifikovaného směsí cementu a PFA popílku za následek vyšší vyluhovací rychlost při vystavení solidifikátu působení kyselého média³³. Z dalších pojiv byl využit

lignitový popel, popel z fluidního spalování černého uhlí a různé druhy cementů³⁴ pro solidifikaci tuhých zbytků po čištění plynů vznikajících při spalování odpadů. Z živických pojiv byl využit asfalt, kterým byl solidifikován popel ze spalovny odpadů obsahující velké množství šestimocného chromu. Při tomto procesu došlo k podstatnému snížení objemu solidifikovaného materiálu³⁵ a parametry vyluhovatelnosti solidifikátů vykazovaly nulovou hodnotu. Zajímavé je využití vedlejšího produktu z drčení cukrové třtiny, bagasy. Výhodou je její nízká cena a také jednoduchý proces úpravy, který nevyžaduje náročnou kontrolu. Bagasa byla použita jako redukční činidlo při modelové kontaminaci dusičnanem olovnatým. Ten byl ponechán cca 1 hod. vsakovat do bagasy a pak byl přidán cement. Směs byla důkladně promíchána a ponechána tuhnout ve speciálních nádobkách z borosilikátového skla po dobu 7, 14 a 21 dnů. Získaná tuhá hmota ve tvaru válečků byla rozdrcena a ze vzniklé drti oddělena frakce o velikosti částic pod 0,8 mm. Výsledky potvrdily, že použití bagasy jako přídavku do cementu zlepšuje stabilizaci olova i při jeho vysokých koncentracích. Tak např. při desetiprocentní kontaminaci olovem byla koncentrace ve výluhu u vzorku neobsahujícím bagasu po sedmi dnech tuhnutí 7 mg.l^{-1} , po 14 dnech 5 mg.l^{-1} a po 28 dnech 4 mg.l^{-1} , zatímco u vzorku s přídavkem bagasy pouze $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ pro všechny doby tuhnutí³⁶.

– kombinace různých typů pojiv, které se v současné době používají k solidifikaci tekutých odpadů, kalů, znečištěných půd, filtračních koláčů a popílků³⁷. Portlandský cement ve směsi s popínkem byl použit pro solidifikaci zemin znečištěných sloučeninami kadmia a barya a některými typy organických sloučenin, jako jsou chlorované uhlovodíky nebo aromáty³⁸. Pro zpracování odpadu vznikajícího při různých metalurgických procesech a obsahujícího olovo, arsen a antimon byla použita směs cementu a vápna. Směsí cementu, vápna a vysokopepní strusky byl solidifikován odpad s vysokým obsahem arsenu. Pro optimalizaci tohoto procesu bylo připraveno deset různých vzorků lišících se množstvím a kombinací jednotlivých složek. Testy prokázaly, že koncentrace arsenu ve výluhu závisí vedle hodnoty pH také na obsahu vápníku v důsledku tvorby málo rozpustné vápenaté soli³⁹. Při výzkumu procesu enkapsulace těžkých kovů bylo použito šestnáct různých druhů směsí cementu, popílků, strusky a vápence⁴⁰. Pro imobilizaci těžkých kovů jako jsou zinek, berylium, olovo, arsen a chrom, které jsou obsaženy v odpadech v nízkých koncentracích, byl použit popel s obsahem oxidu, siřičitanu a síranu vápenatého a popílek s vodou⁴¹. Při solidifikaci brusných kalů se do směsi odpadu a puzzolánových pojiv přidává vhodný sorpční materiál, protože přímé mísení olejových kalů a anorganické matrice není dostačující. Olej je nutné nějakým způsobem vázat, a k tomu se využívají různé druhy sorbentů. Nezbytné je ovšem užít takový sorbent, který váže kaly adsorpcí, a kde nejde o pouhé vsáknutí kapalných podílů do užitého materiálu. Z uvedených výsledků vyplývá, že nejvhodnějším sorpčním materiálem je jíla (komerční označení BD) s přídavkem cementu⁴².

– aditiva, která se přidávají k pojivům pro zlepšení vlastností vznikajících produktů. Tak např. přídavkem bentonitu s obsahem sodíku se docílí adsorpce organických kontaminantů a těžkých kovů, přídavek křemičitého prachu zase zvyšuje pevnost v tlaku vzniklého solidifikátu a snižuje jeho propustnost⁴³. Vyluhovatelnost je pak mnohem nižší než při použití

samotného portlandského cementu a v případě těžkých kovů se jedná o snížení dosahující až 70 %. Dalším poměrně často používaným aditivem je hydroxid hlinitý^{44,45}. Při solidifikaci elektrárenského popílku byl použit přídavek aditiva na bázi směsi kalciumsilikátu, kalciumaluminátu a kalciumaluminoferritu. Vzorky suchého popílku byly modelově kontaminovány rozpustnými sloučeninami těžkých kovů (kadmium, olovo a nikl). Z těchto vzorků byly připraveny příslušné solidifikáty, u kterých byl vzhledem k dobrým mechanickým vlastnostem použit poměr pojiva a plniva 1:3, což odpovídá jednomu hmotnostnímu dílu portlandského cementu a třem hmotnostním dílům solidifikovaného média (popílku). Současně byly připraveny solidifikáty s použitím výše uvedených aditiv. Podíl pojiva a plniva byl zachován, přičemž cement byl postupně nahrazován aditivem. Přídavek aditiva měl příznivý vliv na imobilizaci přítomných kovových iontů i na fyzikální stabilitu připravených solidifikátů s extrémně vysokou kontaminací. Výrazné snížení vyluhovatelnosti bylo pozorováno zejména u niklu, kdy při vyluhování směsí anorganických kyselin byl jeho obsah i v případě nejvyšší kontaminace (1500 mg.l^{-1}) nestanovitelný⁴⁶. Přídavek prachu ze škváry vznikající ve vysokých pecích a obsahující vysoce alkalické sírany do portlandského cementu urychluje počátek hydratace, což se projevuje rychlým tuhnutím a tvrdnutím solidifikovaného odpadu. Zvyšuje se tím pevnost vznikajícího produktu a snižuje množství těžkých kovů ve výluhu. Ještě většího účinku lze dosáhnout, když se k takto modifikovanému cementu přidá rychle tuhnoucí činidlo obsahující sulfoaluminát a anhydrit⁴⁷.

5. Závěr

Stabilizace/solidifikace odpadů obsahujících těžké kovy je mezním řešením otázky nakládání s odpady. Je to způsob imobilizace tzv. konečných odpadů, které není možné za současných technických a ekonomických podmínek dále zpracovat. Vedle značné redukce objemu dochází rovněž ke snižování aktivního povrchu umožňujícího únik kontaminantů do životního prostředí. Aplikace této metody připadá v úvahu po vyčerpání všech možností využití odpadu, buď jako suroviny v různých průmyslových procesech, nebo jeho přepracování, případně zhodnocení některé z jeho složek. Cílem této úpravy je převedení odpadů do stavu s trvale sníženou vyluhovatelností.

LITERATURA

1. Means J. L., Smith L. A., Nehring K. W., Brauning S. E., Gavaskar A. R., Sass B. M., Wiles C. C., Mashni C. I.: *The Application of Stabilization/Solidification to Waste Materials*. Lewis Publishers, London 1995.
2. Řičica J.: Odpady 1993 (1), 25.
3. Vondruška M., Samsoněk J.: Odpady 1998 (11), 24.
4. Samsoněk J., Vondruška M., Bednařík V.: Odpady 1999 (10), 14.
5. Fink L., Wahl G.: EPA Environ. Eng. Sourceb. (1998); Chem. Abstr. 128, 26350 (1998).
6. Wolf D.: Plat. Surf. Finish. 69, 1 (1982).
7. Kuraš M.: *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. ČEÚ/VŠCHT, Praha 1994.
8. Alexa J.: Odpady 1993 (1), 7.

9. Kožený J.: *Odpady* 1998 (10), 16.
10. Kafka Z., Vošický J.: *Chem. Listy* 92, 789 (1998).
11. Kuraš M.: *EKO* 1, 26 (1999).
12. Takahashi H., Shinkado M., Hirakida H., Uto F.: *Onada Kenkyu Hakoku* 27, 118 (1975); *Chem. Abstr.* 88, 176635 (1977).
13. Arakida Y., Matsumoto K., Yakai T.: *JP* 53095195 (1977); *Chem. Abstr.* 89, 185587 (1977).
14. Ortego J. D.: *J. Hazard. Mater.* 24, 137 (1990); *Chem. Abstr.* 114, 108303 (1991).
15. Dutre V., Vandecasteele C.: *Stud. Environ. Sci.* 71 (Waste Materials in Construction) (1997); *Chem. Abstr.* 129, 19223 (1998).
16. Dutre V., Vandecasteele C.: *Environ. Sci. Res.* 55, 199 (1998).
17. Csetenyi L. J., Tritthart J.: *World Cem.* 28, 114 (1997).
18. Kamai Engineering Co.: *NL* 90-1121 11 (1990); *Chem. Abstr.* 116, 261851 (1992).
19. Vipulanandan C., Wang S.: *Geotech. Spec. Publ.* 1997, 71.
20. Shimaka T., Hanashima M.: *Waste Manage.* 16, 545 (1997).
21. Wilk Ch. M.: *Warsaw'98, Int. Symp. Exhib. Environ. Contam. Cent. East. Eur.; Proceedings*, str. 72; *Chem. Abstr.* 132, 68562 (2000).
22. Kafka Z., Vošický J.: *Odpady* 1999 (9), 23.
23. Chan Y. M., Agamuthu P., Mahalingam R.: *J. Hazard. Mater.* 77, 209, (2000).
24. Macakova S.: *Fuel Energy Abstr.* 38, 266 (1997).
25. Andres A., Ibanez R., Ortez I., Irabien J. A.: *J. Hazard. Mater.* 57, 155 (1998); *Chem. Abstr.* 128, 221117 (1998).
26. Matsumara M., Yamamoto T., Uemiyu S., Kajima T.: *Kagaku Kogaku Ronbunshu* 25, 752 (1999); *Chem. Abstr.* 131, 233088 (1999).
27. Dutre V., Vandecasteele C.: *Environ. Sci. Technol.* 32, 2782 (1998).
28. Fahriye K., Sertac A., Resat A.: *J. Chem. Technol. Bio-technol.* 69, 240 (1997).
29. Pera J., Thevenin G., Chabannet M.: *Cem. Concr. Res.* 27, 15331 (1997).
30. Jaarsveld J. G. S., Deventer J. S. J., Schwartzman A.: *Miner. Eng.* 12, 75 (1999).
31. Knoll K. L., Bher-Anders Ch.: *J. Air Waste Manage. Assoc.* 48, 35 (1998); *Chem. Abstr.* 128, 131850 (1998).
32. Vondruška M., Sebök T., Kotásek J., Samsonek J.: *Pract. Period. Hazard., Toxic, Radioact. Waste Manage.* 2, 138 (1998); *Chem. Abstr.* 129, 346862 (1998).
33. Kitano M.: *JP* 08117718 A2 (1996); *Chem. Abstr.* 125, 66482 (1998).
34. Poon C. S., Lio K. W.: *Proc. Water Environ. Fed. Tech Conf. Expo. I*, 515 (1998); *Chem. Abstr.* 130, 286290 (1999).
35. Schmidt-Riegraf C., Bambauer U., Dulmer M.: *Forsch. Kraftwerkstechnik* (1998); *Chem. Abstr.* 130, 172362 (1999).
36. Janusa M. A., Champagne C. A., Fanguy J. C., Heard G. E., Laine P. L., Landry A. A.: *Microchem. J.* 65, 255 (2000).
37. Conner J. R.: *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 6, 81 (1994); *Chem. Abstr.* 121, 90576 (1994).
38. Kappler R. H., Brannigen J.: *Proc. 87th Annu. Meet. – Air Waste Manage. Assoc.* 14, 1 (1994); *Chem. Abstr.* 124, 36640 (1996).
39. Dutre V., Vandecasteele C.: *Environ. Sci. Technol.* 32, 2782 (1998).
40. Sákra T., Čulíková P.: *Odpady* 1999 (3), 15.
41. Chang J. E., Lin T. T., Ko M. S., Liaw D. S.: *J. Environ. Sci. Health, Part A* 34, 5 (1999); *Chem. Abstr.* 130, 356495 (1999).
42. Vempati R. K., Mollah Y. A., Chinthala A. K., Cocke D. L., Beegly J. H.: *Waste Manage.* 1995, 15.
43. Jun K. S., Shin H. S., Shin E. B.: *Proc. 7th ISWA Int. Congr. Exhib., Yokohama I*, 283 (1996); *Chem. Abstr.* 127, 166130 (1997).
44. Ecker M.: *DE* 19607031 (1997); *Chem. Abstr.* 127, 238584 (1997).
45. Uejima K., Funahashi T., Hara K., Nomura T.: *JP* 09019673 (1997); *Chem. Abstr.* 126, 216138 (1997).
46. Kafka Z., Březina M., Vošický J.: *EKO* 3, 13 (1999).
47. Park C. K.: *Cem. Concr. Res.* 30, 429 (2000).

Z. Kafka and P. Čudová (*Department of Environmental Chemistry, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Stabilization/Solidification of Wastes Containing Heavy Metals**

The article deals with a limiting solution to the problem of waste manipulation, their stabilization/solidification. Attention is aimed at wastes containing heavy metals, envisaged for permanent storing. The most frequently used solidification technologies are discussed and various kinds of binders having a favourable effect on physical stability and permanent lowering of extractability of the formed products are evaluated.