

**Expertizní posudek  
o využití škvár ze spaloven tuhých komunálních  
odpadů (TKO)**

Spoluautor Jan Navrátil

**13 stran**

**Květen 1992**

# COMING

spol. s r. o.

Export-import-trading-obchod  
Výroba-montáž-kompletace  
Zkoušení-atestace-certifikace  
Inženýring-konsultace-expertisy

**Špičkové materiály, pokročilé technologie, nové systémy**

Pr o t o k o l 92050240

Využití škvár ze spaloven tuhých komunálních odpadů /TKO/

Soubor námětů pro vymezení záměru projektu

Ing.Dr.Richard A. B a r e š, DrSc.  
ústřední ředitel

## 1. Úvod - situace

TKO představují ekologickou zátěž: co do složení jsou reservoárem kontaminace až intoxikace životního prostředí, svým množstvím ničí krajinu. Pacifikace TKO cestou spalování nevyžaduje na vstupu významný vklad energie vzhledem k jejich vlastní výhřevnosti. Spaliny a pozůstávající popel však ve svých objemech nesou autogenní tepelnou investici. Racionální ošetření vystupujících zbytků, zejména topeništní škváry a zachycovaného úletu, by mělo spočívat ve využití potenciálu, dodaného jim exotermní destrukcí TKO.

## 2. Výchozí materiál

Spalovenské škváry patří k abnormálním sklům stejně jako k umělým hydraulitům či syntetickým puzzolánám, a to silně zásaditým při značné nehomogenitě a proměnlivosti složení: obsahují kovové částice příp. jiné podíly vzdorující procesu spalování TKO. K dalším úvahám poslouží následující (%) tabulka orientačních chemických složení některých vzdáleně příbuzných hmot; je patrné, že charakteristickým rysem spalovenských škvár bude výrazný obsah alkalických oxidů.

[% hm.]	sklo vápenaté		spaloven.		uhelný		zásaditá struska	portl. cement
	sodno-	dras.-	škvára	úlet	popilek	popel		
SiO <sub>2</sub>	75 <sub>s</sub>	71	55 <sub>s</sub>	34 <sub>s</sub> ±6 <sub>s</sub>	62 ±20	45 ±14	31 ± 6	24 ±4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	11	18 <sub>s</sub> ±3 <sub>s</sub>	17 ±11	25 ± 9	16 ± 9	7 ±1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	5 <sub>s</sub>	3 ±1	10 ± 6	25 ±20	2 ± 2	4 ±2
CaO	11 <sub>s</sub>	11	9	25 ±5	3 <sub>s</sub> ± 1 <sub>s</sub>	9 <sub>s</sub> ± 8 <sub>s</sub>	45 ±10	62 ±3
MgO	-	-	3 <sub>s</sub>	2 <sub>s</sub> ±0 <sub>s</sub>	1 <sub>s</sub> ± 1 <sub>s</sub>	2 <sub>s</sub> ± 1 <sub>s</sub>	9 ± 9	3 ±2
Na <sub>2</sub> O	13	-	8 <sub>s</sub>	1 <sub>s</sub> ±0 <sub>s</sub>	1 ± 0 <sub>s</sub>			
						0 <sub>s</sub> ± 0 <sub>s</sub>	0 <sub>s</sub> ± 0 <sub>s</sub>	0 <sub>s</sub> ±0 <sub>s</sub>
K <sub>2</sub> O	-	18	5 <sub>s</sub>	1 <sub>s</sub> ±0 <sub>s</sub>	2 ± 2			
SO <sub>3</sub>	-	-	-	4 ±1	1 ± 0 <sub>s</sub>	2 ± 2	2 <sub>s</sub> ± 2 <sub>s</sub>	1 <sub>s</sub> ±1
ztr. ž.	-	-	1 <sub>s</sub>	15 ±5	4 ± 0 <sub>s</sub>	1 ± 0 <sub>s</sub>	-	1 ±0 <sub>s</sub>

### 3. Aplikace

#### 3.1. Balast

Terénní úpravy, jako zavážení roklí, důlních jam a pod., jsou především plýtváním spalovenskou škvárou; i k umělé tvorbě krajinného reliéfu lze využít nadbytku jiných aridních materiálů, které s sebou namnoze nenesou recentní tepelný vklad (1). Nadto je u nově vytvářených zemních těles ze samotné škváry, kterými mohou být např. násypy dopravních komunikací, nutno počítat s jejími genetickými vlastnostmi.

Alkalicky motivovaná rozpínavost a rozpadovost s vlhkostí - na vrub změny povrchového (mezifázového) napětí - dává předpoklad sesedání, a při jeho velmi pravděpodobné nerovnoměrnosti hrozí ztrátami stability. Pokud jde o vyluhovatelnost, může zásaditost škváry do jisté míry zablokovat migraci pestré palety obsažených minoritních kovů (povětšinou ekologicky nežádoucích) do okolí. To ovšem jen tehdy, bude-li trvale zabráněno pronikání vody (hladové, kyselé, se zvýšeným obsahem chloridů či dusičnanů, nebo dokonce síranové) násypem.

Tepelně isolační zásypy mají smysl, zůstane-li škváře zachována velká mezerovitost, je-li zásyp proveden např. materiálem jedné frakce co největšího rozměru. Avšak ani předpokládaná izolace zásypu proti vodě pravděpodobně nevyloučí působení vzdušné vlhkosti (s kolísáním teploty) na poměrně velký povrch rozměrných kousků škváry s pozůstalým vnitřním pnutím: některá pěnová skla za podobných podmínek úplně degradovala.

### 3.2. Plnivo

Uplatnění škváry jako plniva v pojených materiálech se neobejde bez rozměrové frakcionace a vyžaduje její drcení resp. mletí (čili investice energií). U spalovenské škváry lze očekávat obecně dobrou rozdrůžitelnost (2); vzdorovat budou kovové částice a některé kompaktní kaménky příp. písková zrna. Železné a příbuzné kovové částice by v pojených materiálech většinou vadily; po počátečním drcení škváry je žádoucí jejich magnetická separace s návratem do metalického fondu.

Alkalická nestabilita škváry zpochybňuje její přímé užití jako kameniva v betonech s hydratujícími pojivy. Toto uplatnění by se však mohlo ukázat vhodným u vytrřiděných podílů odolávajících dalšímu mletí. Vysoký obsah alkalií ve škváře na druhé straně naznačuje možnost jejího sintrování (za tepelného vkladu) na štěrkové frakce lehkého (porézního) kameniva. Protože podezření na rozpínavost a rozpadavost trvá, nabízí se škváře úloha jakéhosi taviva směsi buď s elektrárenskými popílky nebo s keramickými jíly (při produkci granulí typu agloporitu resp. keramsitu).

U polymerbetonů nebo plastů, které mají pojmout vysoký podíl filleru (např. odpadových v rámci jejich recyklace), přichází účast škvárové moučky v úvahu jen zcela vyjimečně, a to s pojivy, která nejsou tužena a tvrzena kyselé. Uplatnění jemně mleté škváry jako případného neutralizačního plniva bitumenových vrstev zůstává spojeno s (alkalitou daným) nebezpečím vymývání vodou.

### 3.3. Pojivo

3.3.1. Složení spalovenské škváry nasvědčuje hydratovatelnosti a vede tak k její aplikaci v minerálních pojivech. Z cementářského hlediska jde o hydraulit s nízkým obsahem vápna; tento nedostatek může být odstraněn ve směsi s portlandským slínkem (bohatším vázaným vápnem - alitickým) resp. s hydraulickým vápnem (3). Obsah alkalických kysličníků vnášený do směsné maltoviny škvárou dosáhne (4) řádového zvýšení koncentrace pokládané za bezpečnou co do alkalického rozpínání betonu.

Ani při povážlivé hodnotě alkality nelze vyloučit paradoxní uplatnění spalovenské škváry jako ochranného hydraulitu právě proti jmenovanému rozpínání. Rozhodně však bude účelné vyhnout se při formulaci příp. betonových směsí s takovouto maltovinou typu (podle skladby) železoportlandského cementu veškerým kamenivům s třeba jen mírně zvodněnými alumosilikáty. Rozpínavost je ovšem ovlivnitelná příměsí síranu vápenatého (5); pečlivé nastavení této příměsí bude nutné zejména ke korekci hydratačního tuhnutí (jeho počátku a doby) maltoviny s ohledem na pravděpodobnost alkalického urychlení.

Zmíněný typ maltoviny navozuje eventualitu její kombinace se zásaditou vysokopeční struskou; vzhledem k analogickému složení (až na alkalie) ve značně širokých mezích. Dostupnost takové strusky (a její kvalita) se při aktuálních perspektivách hutnictví železa stává otázkou. V této souvislosti skýtá určitou možnost zatím nevelké cementářské aplikace spalovenský úlet. Pro naznačený železoportlandský typ cementu přichází v úvahu náhrada (i částečná) zásadité vysokopeční strusky tímto úletem (6). Takto vzniklá

směsná maltovina by se od škvárové lišila nižším obsahem alkalických kysličníků (7).

Od zatím uvedeného typu cementu se dosti liší žárovzdorný magnesiový cement, který přesto může představovat povrchně podobnou variantu využití spalovenské škváry. Jeho vysokému obsahu kysličníku hořečnatého se totiž lze přiblížit záměnou prve angažovaného hydraulického vápna dolomitickým (8). Na žárovzdornost takové maltoviny přirozeně nelze spoléhat s ohledem na stále připomínanou alkalitu škváry; z tohoto hlediska by se stal nadměrným rovněž její obsah aluminy (9). Zajímavé by ovšem mohlo být podlahovinové uplatnění této magnesiové maltoviny jako pojiva pasivované dřevné drti (10) na způsob xylolitu.

3.3.2. U dosud diskutovaných cementových typů jsou hydraulity minoritní složkou (11); opačnou (přinejmenším) skladbou se vyznačují maltoviny typu cementu vysokopečního nebo příbuzného typu cementu nadsíranového. U těch je možno jen ve vzdálenějším přiblížení prognózovat jakým způsobem a do jaké míry se zdaří probudit a ovládnout vlastní hydrataci strusek - v daném případě škváry - jako majoritní složky. Jde o to, zda při žádoucím vzniku tuhého skeletu maltovinového kamene převzme dominantní úlohu tvorba alkalickovápenatých hydratovaných křemičitanů, nebo vytváření vodného sulfoaluminátu vápenatého (Candlotovy soli), resp. jak energicky a zejména v jaké souslednosti se oba procesy budou na tuhnutí a tvrdnutí maltovinové kaše podílet.

Proto lze vhodnou kombinací složek maltovin dvou naposled uvedených typů nalézt až v poměrně širokém oboru složení (12), kde může být vápenatý kation reprezentován hašeným vápnem (práškovým - za



přítomnosti malého množství vápence) a síranový anion sádrou (demihydrátem). Substituce vápenného hydrátu (tř. bílého) hydraulickým vápnem či portlandským slinkem na jedné straně a sádry sádrovcem (dihydrátem) nebo anhydritem na straně druhé ovšem zásadně mění chod zmíněných hydratačních procesů; nelze ji tedy založit na pouhém stechiometrickém přepočtu (13).

Škvára musí být pro sledovaný účel velmi jemně mleta - k dosažení co možná většího měrného povrchu ve srovnání s běžnými cementy (14). To představuje energetický vklad, za příhodných (zvl. finalizačních) okolností značně omezený mletím za mokra (15), při kterém je však doporučováno chlazení reaktivního meliva.

3.3.3. Naprosto odlišný typ pojiv (16) představují tzv. kyselinovzdorné tmely na bázi vodního skla. Vznik kohese je u nich výsledkem reakcí, vedoucích v podstatě ke zvodnělým alkalickým alumosilikátům. To umožňuje brát spalovenskou škváru v úvahu pod zorným úhlem její skelné fáze - s úmyslem těžit z jinak nepříjemných rysů jejího složení. Vyšší koncentrace alkálií může být zásaditě mobilisována např. sodou, jejíž karbonátový anion současně poslouží k potřebnému zablokování původně nedostatečného vápna. Obsah aluminy lze doplnit jílovou příměsí známého složení; vzácný kaolinit může být pouze jejím modelem (17).

Maltovinové aplikace takových tmelů nejsou rozšířeny, zřejmě z dobrých důvodů, k nimž náleží zejména obavy z korozního působení na vlastní kamenivo (viz zmínku u 3.3.1.) a na kontaktované spoluangažované materiály (při nepotlačitelné migraci vlhkosti), nehledě k pravděpodobnosti lícových výkvětů (analogických nežádoucím mezivrstvám na rozhraních). Tvárnice takto

pojené jako prvky nekombinovaného zdiva (pod speciální omítku, pačok nebo nátěr) nejsou vyzkoušeny. Přesto mají tyto tmely za předpokladu dosažení především objemové stálosti (ale mj. i pasivace povrchu příp. ocelové výztuže) určitou naději na dosti rozsáhlá specifická využití, třeba v plášťovaných pilotách (např. s bývalými osinkocementovými troubami) nebo při plombování kanálů předpínacích táhel a pod.

Navozené spolupůsobení škvárové moučky s jíly skýtá zajímavou eventualitu při míšení a vytváření příslušných těst. Kromě výplňového účinku může škvára zásaditostí přispět ke ztekucení těsta, tj. k relativnímu snížení zpracovatelsky nezbytného obsahu vody a tím k omezení následného smrštění těsta vysycháním; to by prospělo funkci např. pěchovaných (dusaných) isolačních vrstev proti omývací vodě. Positivní vlivy homogenisované jemně mleté škváry nelze vyloučit rovněž při přípravě a zpracování (vč. výpalu) cihlářské hlíny.

#### 4. Údaje

Následující kvantifikace mají orientační charakter, protože jednak se opírají o dosud nepotvrzené analogie, jednak jsou získány kalkulací z nadmíru sporadických dat. Veškeré aplikační možnosti musí být zváženy na podkladě optimalizačních hledisek, která přirozeně nejsou zahrnuta vyčerpávajícím způsobem. Teprve pro vybrané alternativy přichází v úvahu vymezení obsahu a rozsahu nezbytného pokusného ověření v rámci vyjádřeného záměru.

- ( 1 ) U TKO je udávána vlastní výhřevnost 6,67 MJ/kg.
- ( 2 ) Práci potřebnou k desintegraci spalovenské škváry lze pouze odhadnout na cca 0,15 - 0,35 MJ/kg.
- ( 3 ) Směsnou maltovinu lze složit přibližně z 80% hm. p.c. a 20% hm. škváry, nebo z 65% hm. h.v. a 35% hm. škváry.
- ( 4 )  $R_{20}$  v prvním případě 3,5% hm., ve druhém až 5% hm., což odpovídá sedmi- resp. desetinásobku přípustné koncentrace.
- ( 5 ) Sádra by zde měla být přiměšována v množství okolo 2,5% hm., na sádrovec by připadala asi 4% hm.
- ( 6 ) Při úplné náhradě lze kombinovat 75% hm. p.c. (resp. slinku) a 25% hm. úletu, nebo 58% hm. h.v. a 42% hm. úletu.
- ( 7 )  $R_{20}$  1,5 - 2% hm. jsou troj- až čtyřnásobkem tzv. bezpečné koncentrace.
- ( 8 ) Hořečnatá směsná maltovina by se skládala z 70 - 75% hm. dolom.v. a 25 - 30% hm. škváry.

(9)  $R_2O$  do 4% hm.;  $Al_2O_3$  totéž, tj. dvojnásobek horní meze deklarované pro odolnost magnesiového cementu vysokým teplotám.

(10) Nejspíš při záměsi slabým roztokem chloridu hořečnatého případně velice zředěnou kyselinou solnou.

(11) Tato okolnost pochopitelně nedovoluje uvažovat o simultánním pálení s karbonáty žíravých zemin, především z důvodu energetické bilance - spotřebují více než 3 MJ/kg uhličitánu (tj. okolo 6 MJ/kg produktu).

(12) Převážně škvárová maltovina

[% hm.]	typ vysokop.	typ nadsír.
škvára	78 - 81	83 - 80
haš. vápno	14 - 9	2 - 3
vápenec	2	2
sádra	6 - 8	13 - 15

(13) Přímá exploatace sádrovce event. odpadajícího při odsiřování spalín z kotlů (elektrárenských) na hnědé uhlí tím není vyloučena.

(14) Běžné cementy mají měrný povrch 2100 - 2400  $cm^2/g$  (extrémně pod 1600 resp. nad 3000  $cm^2/g$ ) při měrné hmotnosti 3 - 3,3  $g/cm^3$  (a objemové cca 1,45 ± 0,45  $g/cm^3$ ); škvára pro maltovinové uplatnění (s objemovou hmotností okolo 1  $g/cm^3$ ) vyžaduje přibližně 2400 - 3000  $cm^2/g$  (= lépe více).

- (15) Porovnatelná energetická náročnost mletí suchého (S) a s 30 - 33% hm. vody (M) co do měrného povrchu [cm<sup>2</sup>/g] u podobných meliv

[MJ/kg]	S	M
0,18	1600	3000
0,20	-	3750
0,27	2000	-
0,40	2400	-

- (16) Pokud jde o hydratační procesy blízké čistě fyzikálním, lze jejich průběh redukovat na chování prodloužené v časové ose ( - v podstatě celý bulk resp. volumen se dříve či později zachová stejně). Jinak je tomu u skutečných chemických reakcí, kde je výsledný fenomén regulován interakcí matečného louhu s povrchem solidu (tj. záleží na mobilisovatelnosti výchozích složek). V těchto případech je navozena idea pragmatického koeficientu efektivity složení, závislého od relace povrch/objem solidu vedle průběžné koncentrace reaktantů v likvidu.

- (17) Tmel

[% hm.]		(krajnost)
škvára	70 - 87	(91 )
jíl	15 - 7	( 5 )
silika *)	10 - 4	(2 <sub>s</sub> )
soda bezv.	5 - 2	(1 <sub>s</sub> )

\*) mletý křemen, nízkovápenatý (tř. kyselý) elektrárenský popílek

## 5. Shrnutí

Na základě uvedených námětů je možno cestou interese  
volného uvážení dospět k rozhodnutí o účelnosti ověření  
některých ze zahrnutých způsobů využití škvár ze spaloven  
TKO.

Leden - květen 1992