

***Hodnocení environmentálních
a technologických vlastností škváry
z energetického využívání odpadů
z pohledu její využitelnosti při výstavbě
pozemních komunikací***

**Ivana Chromková, Ilona Kukletová,
Jiří Grošek, Tomáš Zavřel,
Jana Suzová, Jan Salnek**

Tento příspěvek je financován se státní podporou
Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR
v rámci Programu DOPRAVA 2030, při řešení projektu

**CL02000058 Ověření využitelnosti škváry ze
spalování komunálních odpadů a podobných odpadů
z průmyslu jako suroviny pro výstavbu konstrukčních
vrstev pozemních komunikací.**

Řešitel:

Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s.

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

SAKO Brno a.s.

VUSH

 **CENTRUM
DOPRAVNÍHO
VÝZKUMU**

SAKO
B R N O

ŠKVÁRA ze ZEVO

ZEVO - specializovaná technologická zařízení určená k získávání energie z odpadů ve formě páry, horké vody a elektrické energie

- V zemích Evropy v provozu **465 spaloven** MSW, které spalují **cca 90 Mt/rok**
- Odpady spalovány při teplotách 850 až 1100 °C.
- Dochází k **hygienizaci a inertizaci pevných zbytků** po spalování odpadů a **odloučení nebezpečných látek** z přijatého komunálního odpadu.

ŠKVÁRA - hlavní **pevný produkt** po energetickém využití odpadů

- velmi heterogenní materiál, který se skládá z nepravidelně tvarovaných částic a širokého rozložení velikostí částic.
- skládá se z taveniny alkalických kovů, minerálů, kovových sloučenin, keramiky a skla.
- po procesu separace feromagnetických i neferomagnetických kovů, **škvára** tvoří přibližně **20 % hmotnosti původního odpadu**, což odpovídá cca 10 % jeho původního objemu

ŠKVÁRA – potenciál materiálového využití

Náhled na škváru jako na hmotnostně nejvýznamnější pevný odpadní produkt energetického využití komunálních odpadů **se v poslední době změnil**

- naplnění cílů oběhového hospodářství
- **maximální využití odpadů jako náhrady primárních neobnovitelných zdrojů**
 - získávání železných, barevných a vzácných kovů ze škváry
 - využití anorganického materiálu jako **náhrady např. písků a štěrků**

- **téma reálného využívání škváry (WtE) z komunálního odpadu je v EU řešeno různě.** Kombinace přírodních podmínek, technických možností, legislativy, environmentálních rizik a ekonomických nákladů vede k tomu, že **různé země volí odlišné přístupy.**
- **Škváru** ze zařízení na energetické využívání odpadů **lze po separaci kovů úspěšně využít jako náhradu primárních surovin v různých stavebních aplikacích**
- **V dopravním stavitelství** jako stavební materiál se využívá v řadě států Evropy, například v Německu, Francii, Dánsku, Nizozemí, Belgii, Španělsku (Katalánsku), Itálii, Velké Británii či Finsku.

ŠKVÁRA – materiálové využití v evropských zemích

Země	Míra využití škváry	Hlavní způsob uplatnění
Dánsko, UK	Téměř 100 %	Podkladní vrstvy silnic (povoleno i pro vysoce zatížené cesty).
Nizozemsko	Téměř 100 %	Silniční stavitelství, násypy, protihlukové stěny.
Itálie	Vysoká (85 %)	Silniční stavitelství podkladní vrstvy vozovek a násypy. Po úpravě jako kamenivo do betonu.
Německo	Vysoká (80 - 90 %)	Certifikovaný stavební materiál pro silnice a parkoviště.
Francie	Vysoká (80 %)	Silniční stavby, plnivo do betonu (v omezené míře).
Belgie	Střední (35 %, ale 50 % export do okolních zemí)	Silniční stavby, plnivo do betonu (v omezené míře).
Švýcarsko, Norsko, Maďarsko, Švédsko, Litva, Slovensko aj.	Nízká (skládkování)	Klasifikováno jako reaktivní/nestabilní materiál, který nelze bez dalších úprav použít, proto se po separaci kovů většinou ukládá na skládky.

Některé země EU v posledních letech zavedly legislativní změny, které využití škváry ze ZEVO do silničního stavitelství podporují (např. Finsko, Polsko, Litva).

Současná situace využívání škváry ze ZEVO v ČR

- ✓ skládkování
- ✓ jako **technická vrstva pro zabezpečení komunálních skládek**

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Podmínka pro možné, bezpečné využití škváry mimo skládky v souladu s platnou legislativou:

➔ **škvára musí projít technologickým procesem úpravy**, při kterém dochází k **chemické stabilizaci** jejich vlastností a **omezení vyluhovatelnosti sledovaných škodlivin**.

Nejvhodnější typ úpravy - **proces odležení** neboli **imobilizace**.

- tj. kombinace hydratace, karbonatace a oxidace.
- snížení reaktivity a vyluhovatelnosti škodlivých látek.

➔ **V rámci námi řešeného projektu je cílem ověřit vhodný způsob či postup odležení škváry za běžných klimatických podmínek**

Proces odležení škváry v areálu společnosti SAKO Brno

Byl založen **pokus simulující** možná řešení v **odležení škváry**.

Odležení spočívalo v uložení čerstvé škváry na volné vodohospodářsky **zabezpečené ploše v areálu společnosti SAKO Brno do tří oddělených kójí** (zakládek).

U jednotlivých zakládek zvoleny **rozdílné způsoby odležení**:

- **1. kóje:** škvára byla ponechána **bez jakékoli úpravy**, pouze s působením přirozených klimatických vlivů,
- **2. kóje:** škvára byla **jednou týdně překopávána**,
- **3. kóje:** škvára byla **jednou týdně překopávána a dvakrát týdně vlhčena** vodou z vodovodního řadu.

V pravidelných intervalech se prováděly **odběry škváry** s cílem stanovit, v jakém časovém horizontu budou u sledovaných vzorků škváry v průběhu procesu odležení (při konkrétním režimu úpravy) splněny požadované environmentální parametry vycházející z platné legislativy v ČR.

Sledování vlastností škváry – vliv procesu odležení

Na vzorcích škváry bylo sledováno:

- ✓ **celkové chemické složení,**
- ✓ **obsah** sledovaných **škodlivin v sušině a ve výluhu** podle Vyhlášky č. 273/2021 Sb. z pohledu možnosti využití strusky k zasypávání (dle přílohy č. 6, tabulka 6.1 a 6.2)
- ✓ **obsah nebezpečných vlastností odpadů** – výluhové zkoušky dle Vyhlášky č. 8/2021 Sb., přílohy č. 2, tabulky č. 2 pro hodnocení nebezpečné vlastnosti HP15
- ✓ **ekotoxicita** dle Vyhlášky č. 8/2021 Sb., přílohy č. 2, tabulky č.1.

Sledování vlastností škváry – vliv procesu odležení

ZJIŠTĚNO - doba a způsob odležení mají významný vliv na výsledné parametry odležené škváry:

- **Vzorky škváry odebrané cca 1 měsíc od založení nevyhověly** požadavkům přílohy č. 6 Vyhlášky č. 273/2021 Sb. u žádné z testovaných způsobů odležení. **Potvrzena nutnost delší doby zrání a řízené úpravy škváry.**
- **Vzorky odebrané cca 3 měsíce od zakládky prokázaly výrazný pozitivní efekt aktivní manipulace:**
 - překopávaná a vlhčená škvára vyhověla ve všech parametrech,
 - překopávaná škvára bez vlhčení vyhověla ve všech parametrech s výjimkou pH (limit 9–11; zjištěno 11,6),
 - škvára bez úpravy nevyhověla ve více ukazatelích (pH a kovy – Cu, Cr).
- **Potvrzení trendu - i při odběru škváry cca 5 měsíců od zakládky:**
 - překopávaná a vlhčená škvára opět vyhověla ve všech parametrech,
 - překopávaná škvára bez vlhčení - pH stále mírně nad limitem (pH=11,2),
 - zakládka bez úpravy zůstala nevyhovující v některých parametrech.

Sledování vlastností škváry – příklad vlivu způsobu odležení

Stanovení ekotoxicity dle Vyhlášky č. 8/2021 Sb., příloha č. 2, tabulka č. 1

Zkušební organismus	Doba působení	Požadavky na výsledky zkoušek ekotoxicity	škvára čerstvá	škvára odležená nepřekopaná	škvára odležená překopaná	škvára odležená překopaná vlhčená
			[%]	[%]	[%]	[%]
Bakterie <i>Aliivibrio fischeri</i>	15 minut	neprokáže se při zkoušce inhibice světelné emise bakterií větší než 50 % při expozici 15 minut ani při expozici 30 minut	61,7	32,3	31,7	21,0
	30 minut		66,0	40,0	41,7	29,7
Perloočka <i>Daphnia magna</i> Straus	48 hodin	procento imobilizace perlooček nesmí ve zkoušce přesáhnout 50 %	65,0	46,7	50,0	21,7
Řasa <i>Desmodesmus subspicatus</i>	72 hodin	neprokáže se ve zkoušce inhibice nebo stimulace růstu řas větší než 50 % ve srovnání s kontrolou	47,8	41,2	42,6	24,2
Salát <i>Lactuca sativa</i>	120 hodin	neprokáže se ve zkoušce inhibice nebo stimulace růstu kořene salátu větší než 50 % ve srovnání s kontrolou	96,9	21,4	11,2	21,7

Hodnocení procesu odležení

Z výsledků mnoha analýz ekologických parametrů vyplynulo:

➔ **nejvhodnější režim úpravy je odležení škváry s překopáváním a vlhčením vodou 2x týdně.**

V takovém případě byly **ekologické parametry** bezpečně **splněny** po **cca 3 měsících** od založení pokusu **odležení**.

Z pohledu provozovatele ZEVO Brno tyto výsledky jednoznačně ukazují, že **pro dosažení stabilních a opakovatelných parametrů škváry vhodných k dalšímu materiálovému využití je rozhodující řízení procesu vyžrávání.**

Pravidelné překopávání a cílené vlhčení, podporuje stabilizaci materiálu a zkracuje dobu po níž je možné její materiálové využití v předpokládaných stavebních aplikacích.

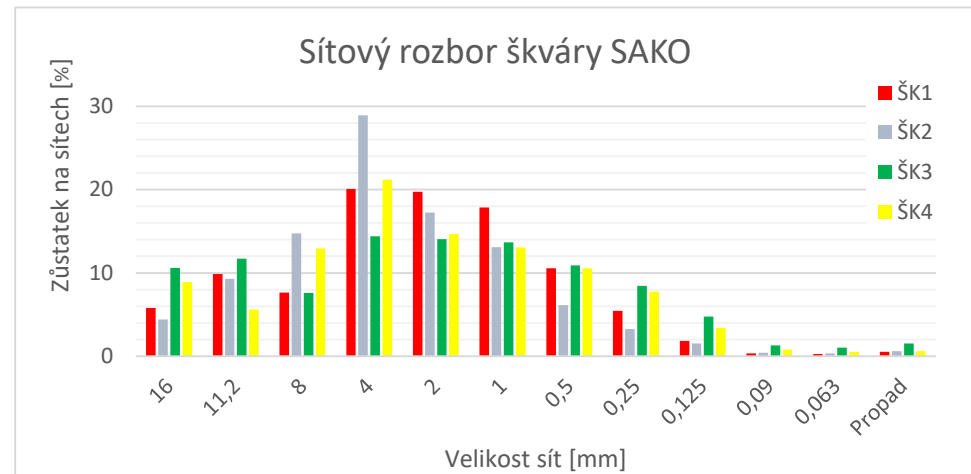
Stabilizace škváry odležením - rychleji probíhají chemické reakce, při kterých aktivní Ca(OH)_2 přijímá vzdušný oxid uhličitý CO_2 a zkoumaný materiál rychleji karbonatuje za vzniku CaCO_3 . Výsledkem je pokles pH škváry, při kterém amfoterní kovy přestávají být vyluhovatelné. V souvislosti s těmito procesy dochází i ke snižování vyluhovatelnosti dalších sledovaných znečišťujících látek.

Sledování technologických vlastností škváry

Technologické zkoušky škváry –
hodnocení z hlediska použitelnosti jako částečné náhrady přírodního kameniva



Vzorek čerstvé škváry ŠK1



Vlastnost	Jednotka	škvára čerstvá	škvára odleželá nepřekopaná	škvára odleželá překopaná	škvára odleželá překopaná vlhčená	
		ŠK1	ŠK2	ŠK3	ŠK4	
Vlhkost	%	22	13	12	14	
Sypná hmotnost	Volně sypaná	kg·m ⁻³	851	919	1227	1166
	Setřesená	kg·m ⁻³	962	1041	1342	1254

Sledování technologických vlastností škváry

K dalším zkouškám již byly použity jen vzorky čerstvé škváry ŠK1 a škváry odleželé překopávané vlhčené ŠK4. Vlastnosti vzorků škváry byly porovnány se vzorkem přírodního kameniva.

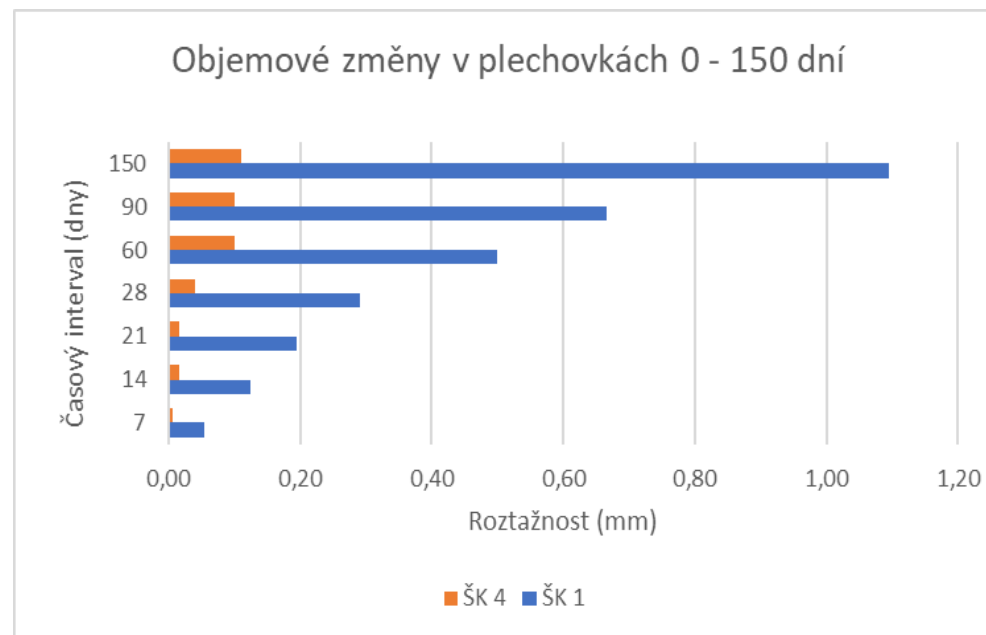
Vlastnost		Jednotka	škvára čerstvá	škvára odleželá překopaná vlhčená	kamenivo přírodní (lom Želešice)
			ŠK1	ŠK4	
Nasákavost	Frakce 4/8 mm	%	13,8	10,9	3,5
	Frakce 8/16 mm	%	8,0	5,8	2,4
Mrazuvzdornost	Frakce 4/8 mm	%	20,3	8,9	1,1
	Frakce 8/16 mm	%	6,5	5,1	0,9
Rozpadavost v autoklávu	Frakce 4/8 mm	%	8,6	1,3	0,0
	Frakce 8/16 mm	%	3,2	0,7	0,0

Pozn.: Principem zkoušky mrazuvzdornosti je stanovení procentuálního úbytku hmotnosti po určitém počtu cyklů zmrazování a rozmrazování. Stejný je princip zk. rozpadavosti v autoklávu.

Sledování technologických vlastností škváry – nenormové zkoušky

objemové změny – roztažnost hutněné škváry v laboratorním prostředí

Vzorky škváry testovány v uzavřených kovových nádobách. Vzorky škváry byly nasypány do nádoby, hutněny dle metodiky standardní zkoušky Proctor a následně zatíženy roznášecí destičkou, na níž byl umístěn hrot úchylkoměru.



Potvrzeno - odležení škváry za jejího postupného překopávání a vlhčení má výrazný vliv na stabilitu a minimalizaci sledovaných objemových změn škváry ze ZEVO.

Sledování technologických vlastností škváry – nenormové zkoušky

Testování kompakované škváry – s důrazem na posouzení objemové stálosti škváry

Testovány vzorky škváry:

- ✓ škvára čerstvá **ŠK 1**
- ✓ škvára odleželá překopávaná vlhčená **ŠK 4** (doba odležení min. 3 měsíce)

Kompaktovány byly tři varianty materiálu

Pojivo	Složení směsi	Označení směsi
Bez použití pojiva	pouze škvára frakce 0/11 mm	1 a 2
Bez použití pojiva	směs 50 % škváry frakce 0/11 mm s 50 % drceného cementobetonového krytu PK frakce 0/4 mm	3 a 4
S použitím pojiva	směs 90 % škváry 0/11 mm s 10 % pojiva CEM I 42,5 R	5 a 6

Pozn.: příprava válečků probíhala v kompakovacím zařízení při tlaku 20 kN.

Sledování vlivu podmínek zrání na vlastnosti zkušebních těles



Sada zkušebních těles (7 dní zrání ve vlhkém prostředí)

Podmínky uložení vzorků po 7 dnech zrání:

- laboratorní prostředí (teplota 20 °C, vlhkost 40 %),
- prostředí vlhkého uložení (teplota 20 °C, vlhkost 90 %),
- propařování (teplota 70 °C, vlhkost 100 %),
- vodní uložení.

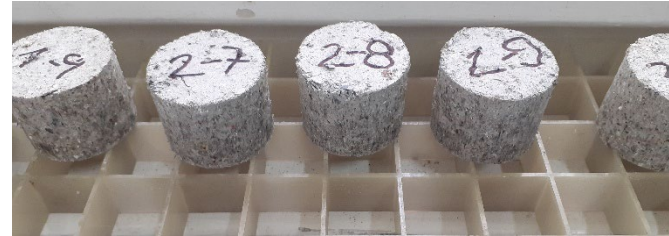
Sledování vlivu podmínek zrání na vlastnosti zkušebních těles



Vlhké uložení



Vodní uložení



Laboratorní uložení

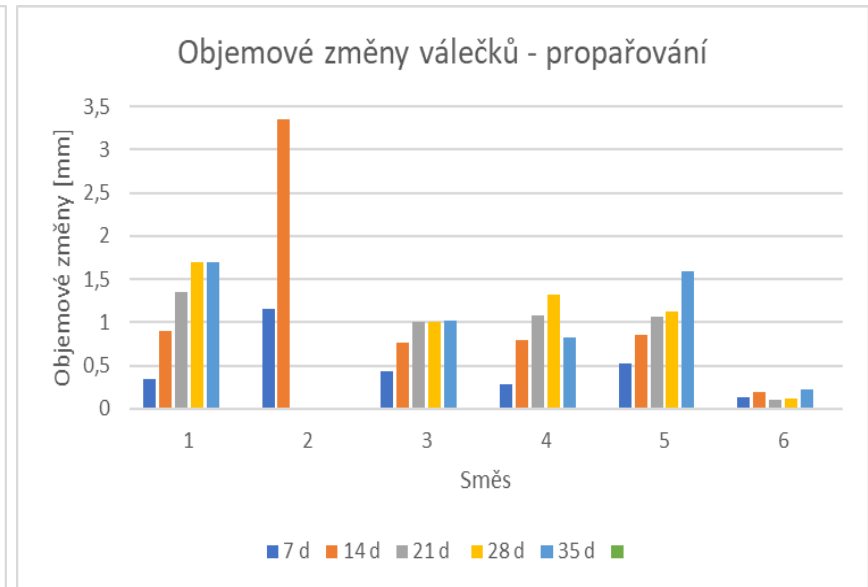
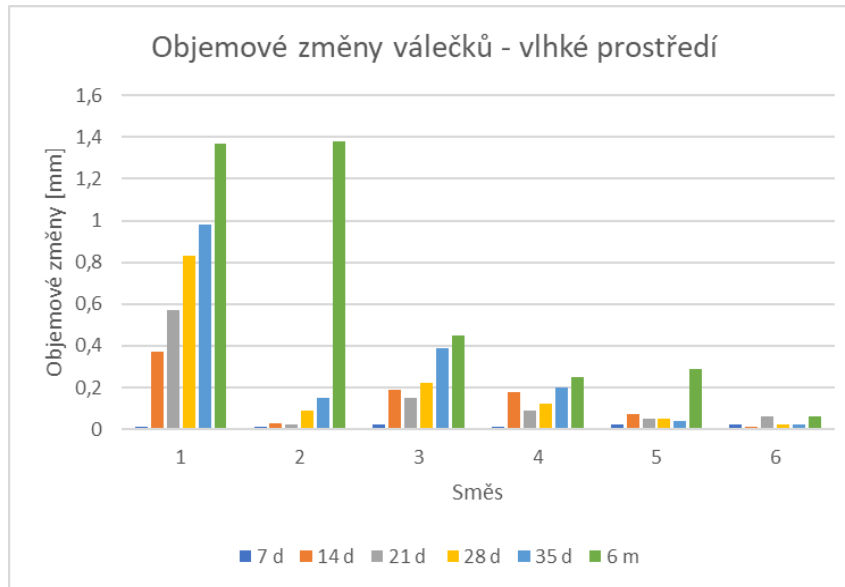


Propařování



Sledování vlastností zkušebních těles

✓ Objemové změny – sledovány průběžně (7 dnů až 6 měsíců)



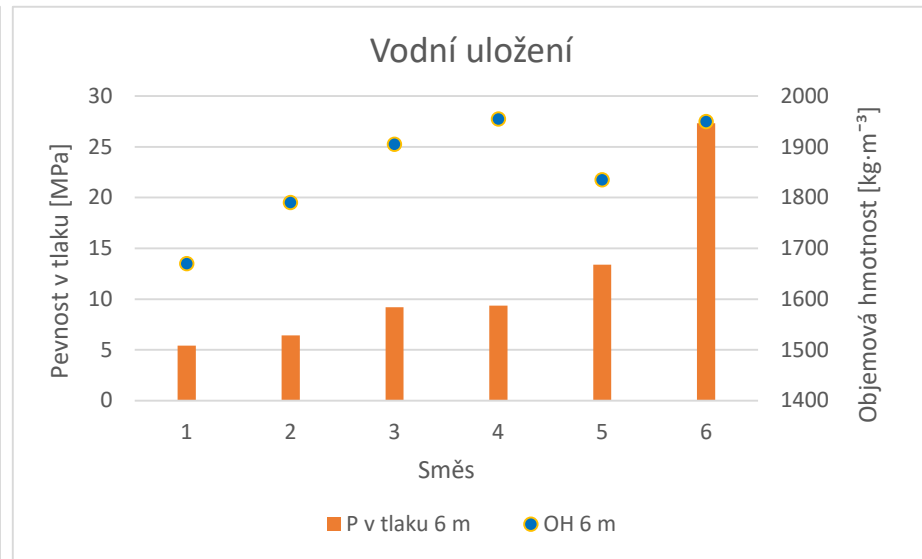
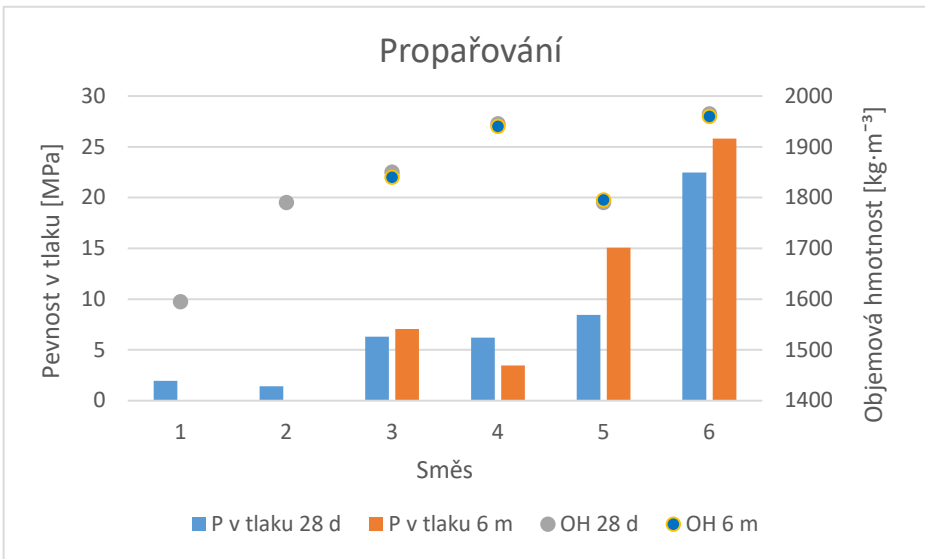
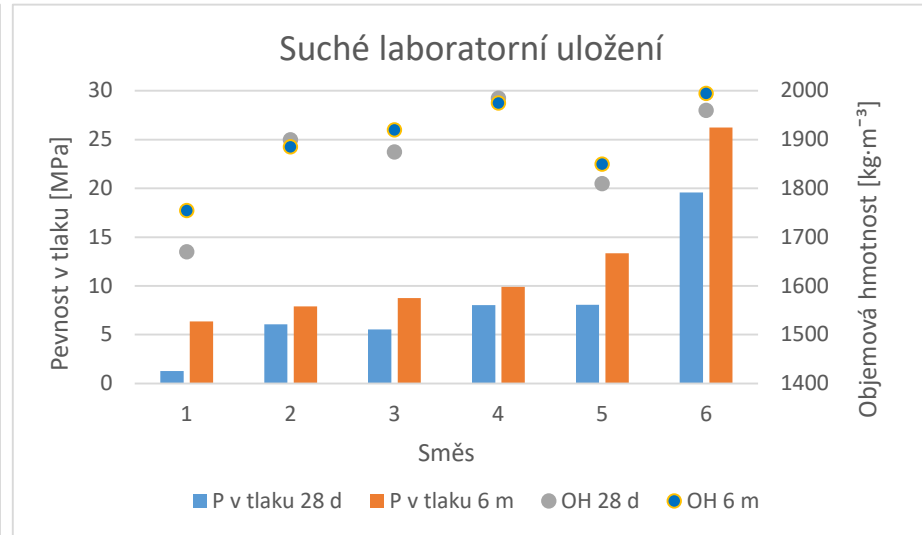
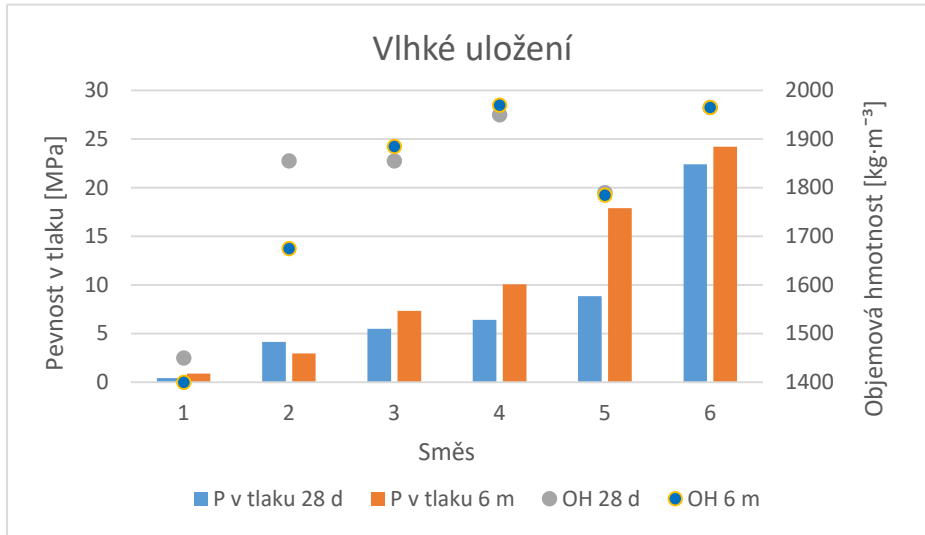
✓ Pevnosti v tlaku a objemová hmotnost vzorků (válečků):

- po 28 dnech
- po 6 měsících působení zvolených typů prostředí








Ve všech parametrech vykazovaly lepší vlastnosti vzorky ze škváry odleželé

Sledování vlastností zkušebních těles









Vizuální posouzení zkušebních těles

Stav zkušebních těles po 6. měsících uložení v suchém prostředí

	Škvára čerstvá – ŠK 1	Škvára odleželá překopávaná vlhčená – ŠK4
Pouze škvára		
50 % škvára + 50 % betonový recyklát ze silnice		
90 % škvára + 10 % pojivo CEM I 42,5		







Vizuální posouzení zkušebních těles

Stav zkušebních těles po 6. měsících uložení ve vlhkém prostředí

	Škvára čerstvá – ŠK 1	Škvára odleželá překopávaná vlhčená – ŠK4
Pouze škvára		
50 % škvára + 50 % betonový recyklát ze silnice		
90 % škvára + 10 % pojivo CEM I 42,5		

Vizuální posouzení zkušebních těles

Stav zkušebních těles po propařování (5 týdnů)

	Škvára čerstvá – ŠK 1	Škvára odleželá překopávaná vlhčená – ŠK4
Pouze škvára		
50 % škvára + 50 % betonový recyklát ze silnice		
90 % škvára + 10 % pojivo CEM I 42,5		

Využitelnost škváry v konstrukčních vrstvách PK

Z laboratorního ověřování vyplývá, že **pro použití škváry ze ZEVO do konstrukčních vrstev pozemních komunikací je nejvíce problematická objemová stálost škváry**, a to vzhledem k významné heterogenitě složení a vlastností škváry i přes splnění environmentálních požadavků daných stávající legislativou.

Problematickou vlastností škváry je také její **objemová hmotnost a vysoká nasákavost**, kde je **zvýšené riziko trvalého zvodnění konstrukčních vrstev**.

To by mohlo způsobit nežádoucí plastické chování konstrukčních vrstev, pokud by byla škvára použita jako samostatná konstrukční vrstva anebo jako součást násypového tělesa, zejména v aktivní zóně zemního tělesa (podloží) PK.

Technologicky a funkčně bezpečné v konstrukčních vrstvách PK:

- ✓ nahrazení části přírodního kameniva škvárou vrstvy typu ŠD (šterkodrti) při aplikaci jako nestmelené konstrukční vrstvy.
- ✓ využití škváry v doplnění křivky zrnitosti směsi recyklátu do vrstev typu RS (recyklované směsi) u technologie recyklace konstrukčních vrstev vozovky za studena na místě s **využitím pojiv**.

Realizace v reálných podmínkách

Využití směsi odleželé škváry se šterkodrtí ve vhodném poměru do spodní, případně horní podkladní vrstvy PK bude náplní ověřování v reálných podmínkách **v prostorách areálu společnosti SAKO Brno, a.s. při rekonstrukci vnitroareálové odstavné plochy**, tzv. vodohospodářsky zabezpečené plochy.

Ověřování technologie výroby směsi, pokládky, ošetřování a testování vlastností konstrukčních vrstev i podloží včetně sledování environmentálních dopadů, tj. případného vyluhování nebezpečných látek, bude dle plánu projektu realizováno v průběhu tohoto roku.



ZÁVĚR

Z výzkumů i reálných aplikací v některých zemích EU vyplývá:

- ✓ **škvára ze ZEVO je vhodná k využití jako ochranná či podkladní nestmelená vrstva v konstrukci pozemních komunikací** nebo jiných liniových staveb, kde nahrazuje tradiční vrstvy ze štěrkodrti.
- ✓ **využití je možné při splnění přesně definovaných technických podmínek** (tloušťka vrstvy, vzdálenost od hladiny spodních vod, omezení množství pronikajících srážek, vzdálenost od zdrojů pitné vody a environmentálních podmínek, tj. nepřekročení limitních hodnot nebezpečných látek v sušině a výluhu.
 - ✓ V průběhu 1. roku řešení projektu bylo ověřeno, že **pro využitelnost škváry do konstrukčních vrstev PK je důležitý proces odležení škváry po dobu nejméně 3 měsíce**, pro urychlení procesu je důležité zajistit správný způsob úpravy, tj. **pravidelné vlhčení a překopávání škváry** na vodohospodářsky zabezpečené ploše.
- ✓ **Takto upravená škvára vykazovala z pohledu objemové stálosti výborné vlastnosti ve směsi s betonovým recyklátem a silničním cementem.**

Děkuji za pozornost

Ing. Ivana Chromková
chromkova@vush.cz

Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s.
Hněvkovského 30/65
617 00 Brno

VUSH
www.vush.cz