

Trvanlivost a hygienická a ekologická bezpečnost stabilizátů vyráběných z druhotných energetických surovin určených pro podpůrné dopravní využití v lokalitách ochranných pásem pitné vody

Ing. Šárka Klimešová, VÚM

Projekt MD ČR č. CG912-045-520

2009 - 2010



Skalský Dvůr, 30.5. – 1.6.2011

Etapa 001

- ò Sumarizace požadavků evropských i národních norem a předpisů z hlediska ekologických a hygienických vlastností materiálů, s přihlédnutím k předpokládanému vývoji norem a legislativy pro delší časový horizont

§ **není** obecný předpis s požadavky na materiály používané v ochranných pásmech pitných vod (ani v ČR ani v EU)

§ volba metodiky pro hodnocení vhodnosti materiálů při použití v dopravním stavitelství v oblasti ochranných pásem pitné vody - legislativní a normativní základ: vyhlášky č. 409/2005 Sb., 252/2004 Sb., 294/2005 Sb., Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006, ČSN EN 12457-4 (výluhy), TP 93, Technische Regel Arbeitsblatt W 347, ČSN EN 196-1, 2, 3, 6, 10 a neplatná ČSN 72 2116 (cement), ČSN EN 459-2 (vápno), ČSN EN 450-1, ČSN 72 2071 (popílek), ČSN EN 15167-1 (struska)

§ Na základě legislativního a normativního průzkumu byla vypracována následující metodika sledování, zkoušení a hodnocení stabilizátů s ohledem na jejich možné použití v ochranných pásmech pitných vod

Přehled zkoušek vstupních materiálů

Vstupní materiály	Chemické	Fyzikálně-mechanické
Popílek	Chemická analýza absolutních obsahů složek: ztráta sušením při 105°C, ztráta žíháním, SiO ₂ celkový, SiO ₂ aktivní, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ celk., CaO, CaO volné, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, SO ₃ celkový, P ₂ O ₅ , chloridy, fluoridy, KNP (Na ₂ CO ₃), TOC, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V	Granulometrie
	Obsah ²²⁶ Ra	
Energosádrovec	Chemická analýza absolutních obsahů složek: ztráta sušením při 40°C, ztráta žíháním, SiO ₂ celkový, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ celk., CaO, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, SO ₃ síranový, chloridy, TOC, NH ₄ ⁺ , As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V	Granulometrie
	ekotoxicita	
Struska	Chemická analýza absolutních obsahů složek: ztráta sušením při 105°C, ztráta žíháním, SiO ₂ celkový, SiO ₂ aktivní, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ celk., CaO, CaO volné, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, SO ₃ celkový, P ₂ O ₅ , chloridy, fluoridy, KNP (Na ₂ CO ₃), TOC, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V	Granulometrie
Cement	Chemická analýza absolutních obsahů složek: ztráta sušením při 105°C, ztráta žíháním, SiO ₂ celkový, SiO ₂ aktivní, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ celk., CaO, CaO volné, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, SO ₃ celkový, P ₂ O ₅ , chloridy, fluoridy, KNP (Na ₂ CO ₃), As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V	Granulometrie
	Stanovení obsahů ve vodě rozpustného Cr ⁶⁺	
Vápno	Chemická analýza absolutních obsahů složek: ztráta sušením při 105°C, ztráta žíháním, SiO ₂ celkový, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ celk., CaO, CaO volné, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, SO ₃ celkový, CO ₂ , P ₂ O ₅ , As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, V	Granulometrie

Přehled zkoušek navržených směsí 12+2

	Chemické	Fyzikálně-mechanické
Navržené směsi	Absolutní obsahy složek výpočtem ze vstupních surovin	Granulometrie výpočtem ze vstupních surovin
	Vyluhovatelnost – podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. a vyhlášky č. 409/2009 Sb. (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Ca+Mg, Cr, Cd, Cu, DOC (TOC), dusitany, dusičnany, Fe, fenolový index, fluoridy, Hg, chloridy, K, kyanidy celkové, Mg, Mn, Mo, Na, NH ₄ ⁺ , Ni, Pb, rozpuštěné látky, Sb, Se, sírany, V, Zn, barva, pach, pH, vodivost, zákal, PAU)	Propustnost
		Objemová stálost
		Pevnost v ohybu a tlaku
		Průběh a doba tuhnutí
		Normální voda – normální vodní součinitel
		Odolnost proti mrazu a vodě – 10 zmrazovacích cyklů
Vybrané směs/směsi	Ekotoxicita, stanovení obsahů BTEX, PAU, EOX, uhlovodíků C ₁₀ – C ₄₀ , PCB	

Etapa 001 - závěr

Hodnocení vhodnosti materiálů (porovnání absolutních obsahů složek a obsahů složek ve výluzích s požadovanými parametry) pro použití v ochranných pásmech pitných vod:

- ✓ Porovnání s TP93
- ✓ Porovnání s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006, příloha č. XVII
- ✓ Porovnání s vyhláškou č. 294/2005 Sb. – příloha 2, 10
- ✓ Porovnání s vyhláškou č. 409/2005 Sb. – příloha č. 2 a vyhláškou č. 252/2004 Sb. – příloha č. 1B
- ✓ Technische Regel Arbeitsblatt W 347 a ÖNORM 5014-2

Etapa 002

- ò Ověření vlastností provedením zkoušek chemického složení surovin a směsí pro stabilizáty a dlouhodobých fyzikálně mechanických, ekologických a hygienických laboratorních zkoušek

Hlavním cílem:

§ zjištění množství a možnosti využívání kvalitních druhotných surovin, včetně lokalit

§ receptury - vedlejší energetické suroviny - popílek, struska a energosádovec s přísady cementu, vápna + geotextílie

§ vstupní suroviny - zjištění chemického složení, provedení zkoušek fyzikálních vlastností jednotlivých druhotných surovin, návrh receptur

§ zkušební tělesa - dlouhodobé fyzikálně-mechanické a chemické parametry

Etapa 002

Výběr vstupních materiálů na stabilizáty:

- § 3 druhy popílků – černouhelný (ČUP), hnědouhelný (HUP) a fluidní (FP)
- § 2 druhy energosádrovců – vysoce kvalitní (EI, praný) a méně kvalitní sádrovec (EII, surový, nepraný), pro skladbu směsí - kvalitnější sádrovec, pro zjištění obrazu o variabilitě složení energosádrovců – chemické rozborů méně kvalitnějšího sádrovce
- § 1 druh elektrárenské strusky (S)
- § cement (C)
- § vápno (V)
- § geotextílie Kortex® GT 800/100 (G)

Lokalizace:

- § ČUP – Elektrárna Dětmárovice, HUP – Elektrárna Opatovice, FP – Elektrárna Tisová
- § EI – Elektrárna Počerady, EII – Elektrárna Mělník I (Energotrans)
- § S – Elektrárna Opatovice
- § V – Vápenka Vitošov
- § C – Českomoravský cement, závod Radotín

Etapa 002 – Metody zkoušení

1. příprava a uložení zkušebních těles pro zkoušení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku, odolnosti proti mrazu a vodě a vyluhovatelnosti - ČSN EN 196-1
2. příprava a uložení zkušebních těles pro zkoušení objemové stálosti - ČSN EN 196-1
3. příprava a uložení zkušebních těles pro zkoušení součinitele propustnosti - ČSN CEN ISO/TS 17892-11
4. metoda zkoušení – normální konzistence - ČSN EN 196-3
5. metoda zkoušení – tuhnutí počátek a doba - ČSN EN 196-3
6. metoda zkoušení – pevnost v tahu za ohybu a tlaku - ČSN EN 196-1
7. metoda zkoušení – odolnost proti mrazu a vodě - 10 cyklů
8. metoda zkoušení – objemová stálost - neplatné ČSN 72 2116
9. metoda zkoušení – součinitel propustnosti - ČSN CEN ISO/TS 17892-11
10. příprava výluhu podle vyhl. č. 294/2005 Sb. - ČSN EN 12457-4
11. test ekotoxicity
12. příprava výluhu podle vyhl. č. 409/2005 Sb.
13. hmotnostní aktivita radionuklidů - Spektrometrie záření gama s vysokým rozlišením HPGe detektorem
14. analytická stanovení – absolutní obsahy – např. ČSN EN 196
15. analytická stanovení - výluhy

Etapa 002 – Návrh směsí stabilizátů

	označení	ČUP	HUP	FP	E I	E II	S	V	C
směs I	C-I-V	65			16	-	16	3	
směs II	C-II-V	65			15	-	15	5	
směs I	C-I-C	65			17	-	17		1
směs II	C-II-C	65			16	-	16		3
směs I	H-I-V		65		16	-	16	3	
směs II	H-II-V		65		15	-	15	5	
směs I	H-I-C		65		17	-	17		1
směs II	H-II-C		65		16	-	16		3
směs I	F-I-V			65	16	-	16	3	
směs II	F-II-V			65	15	-	15	5	
směs I	F-I-C			65	17	-	17		1
směs II	F-II-C			65	16	-	16		3
			P		E I	G	S	V	C
směs I	T-I-V-C,S		65		15	1,36	15	5	
směs II	T-II-C-C,S		65		16	1,36	16		3

Etapa 002 – Fyzikálně mechanické zkoušky – 28 denní

označení	.Vod. souč (%)	pevnost - 28		mrazuvzdornost - 28		Objemová stálost - 28 (změna v %)
		ohyb	tlak	ohyb	tlak	
		MPa	MPa	MPa	MPa	
C-I-V	29,6	1,82	5,4	0,6	3,1	0,07
C-II-V	29,8	2,25	8	1,11	4,6	0,13
C-I-C	29,4	0,71	2,3	destrukce (6.cykus)		0,01
C-II-C	29,2	0,95	3,2	0,35	1,6	0,07
H-I-V	29,0	1,11	6,8	0,17	0,5	0,06
H-II-V	29,2	1,8	7,6	0,34	5,8	0,1
H-I-C	29,6	0,19	0,6	destrukce (1.cykus)		-0,15
H-II-C	29,5	0,52	1,9	destrukce (6.cykus)		-0,01
F-I-V	60,0	2,58	21,8	1,89	9	0
F-II-V	60,4	3,81	26,7	2,32	17,3	0,01
F-I-C	59,8	2,3	12,5	1,09	1,9	-0,02
F-II-C	59,6	2,6	14,8	1,95	9,1	-0,01
T-I-V-C,S						
T-II-C-C,S						

Etapa 002 – Fyzikálně mechanické zkoušky – 360 denní

označení	.Vod. souč (%)	pevnost - 360		mrazuvzdornost - 360		Objemová stálost - 360 (změna v % proti času 0/předchozímu)
		ohyb	tlak	ohyb	tlak	
		MPa	MPa	MPa	MPa	
C-I-V	29,6	2,37	12,90	1,66	10,90	0,04/0,01
C-II-V	29,8	3,34	17,00	1,70	14,60	0,17/0
C-I-C	29,4	1,05	3,40	0,32	2,40	-0,05/0,02
C-II-C	29,2	1,70	6,20	0,55	3,10	0,06/0,02
H-I-V	29,0	1,76	7,50	0,76	4,70	0,05/0,02
H-II-V	29,2	3,45	9,10	1,20	6,70	0,08/0,01
H-I-C	29,6	0,20	0,80	destrukce (9.cyklus)		-0,14/0,02
H-II-C	29,5	0,55	2,00	0,14	0,75	-0,04/0,02
F-I-V	60,0	3,50	21,00	2,89	17,40	-0,05/0,01
F-II-V	60,4	3,98	27,10	3,90	24,00	-0,03/-0,02
F-I-C	59,8	2,59	11,80	1,36	3,80	-0,05/0,01
F-II-C	59,6	2,86	13,20	2,21	9,30	-0,05/0,01
T-I-V-C,S		3,78*	16,80*			
T-II-C-C,S		0,64*	6,90*			

Vlákna chrání před rozpadem

Etapa 002 – Propustnost

Označení	Propustnost 90 (m/s)	Propustnost 180 (m/s)
C-I-V	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$
C-II-V	$3,4 \cdot 10^{-12}$	nelze stanovit, neprotéká
C-I-C	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$
C-II-C	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$
H-I-V	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$8,4 \cdot 10^{-10}$
H-II-V	$7,6 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$
H-I-C	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$
H-II-C	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$
F-I-V	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$
F-II-V	$6,2 \cdot 10^{-11}$	$< 10^{-12}$
F-I-C	$4,7 \cdot 10^{-10}$	$5,7 \cdot 10^{-10}$
F-II-C	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$
T-I-V-C/S	$6,4 \cdot 10^{-12}/6,2 \cdot 10^{-11}$	$< 10^{-12}/1,1 \cdot 10^{-10}$
T-II-C-C/S	$3,0 \cdot 10^{-8}/4,6 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-8}/1,4 \cdot 10^{-8}$

Etapa 002 – Doby tuhnutí

	Počátek (min)	Doba (min)
C-I-V	140	370
C-II-V	90	220
C-I-C	260	630
C-II-C	180	600
H-I-V	150	480
H-II-V	160	600
H-I-C	160	380
H-II-C	170	380
F-I-V	110	260
F-II-V	140	280
F-I-C	130	310
F-II-C	140	370

Etapa 002 – Porovnání s limitními hodnotami

TP93:

- požadavek na objemovou stálost (< 3%)
- požadavek na pevnosti po 60, př. 90 dnech 0,2 – 5 MPa
- odolnost proti mrazu a vodě
- požadavek na hodnotu součinitele propustnosti (< 10^{-7} m/s)
- obsah radionuklidů pod 1000 Bq/kg ^{226}Ra
 - všechny směsi splňují požadavek na objemovou stálost (< 3%)
 - velmi dobré jsou také pevnosti již po 28 dnech (↓ H-I-C, ↑ F-II-V)
 - odolnost proti mrazu a vodě je především u stabilizátů s vápnem vyhovující
 - hodnoty součinitele propustnosti jsou velmi nízké (< 10^{-7} m/s)
 - obsah radionuklidů u popílků odpovídá požadavkům platné legislativy (dokonce i pro obytné prostory pod 200 Bq/kg ^{226}Ra).

REACH – příloha XVII:

- Obsah Cr^{6+} v cementu je 10,17 ppm - překračuje limit 2 ppm - požadován Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006, příloha č. XVII pro ruční zpracování, balené výrobky. Pro průmyslové zpracování není tento požadavek limitující.

Etapa 002 – Porovnání s limitními hodnotami

- V následujících tabulkách uvádím porovnání absolutních obsahů složek s limity danými vyhláškou č. 294/2005 Sb. a s požadavky Technische Regel Arbeitsblatt W 347 na obsahy některých kovů.
- Červeně jsou označeny hodnoty, které překračují povolené meze.
- Chemické složení je pouze jednou částí hodnocení, důležitějším faktorem pro vliv na životní prostředí je schopnost uvolňování škodlivin do něj. Proto pro hodnocení vhodnosti je třeba znát vyluhovatelnosti jednotlivých složek. Z propustností (všechny $< 10^{-7}$ m/s) bylo možné předběžně odhadovat, že bude vyluhovatelnost nízká. Toto se potvrdilo.
- Speciální zkoušky – na směsi a na vyzrálém stabilizátu – vyhláška č. 294/2005 Sb., př. 10
- Dva druhy energosádovce – minimální rozdíl → minimální vliv

Etapa 002 – Vyhláška č. 294/2005 Sb., příloha 10

Ukazatel	jednotka	limitní hodn.	ČUP	HUP	FP	S	E I	E II	C	V	C-I-V	C-II-V	C-I-C	C-II-C	H-I-V	H-II-V	H-I-C	H-II-C	F-I-V	F-II-V	F-I-C	F-II-C	
Kovy																							
As	mg/kg sušiny	10	11,60	183,00	66,50	7,15	2,05	42,00	7,85	<0,05	9,01	8,92	9,18	9,25	120,42	120,33	120,59	120,66	44,70	44,61	44,87	44,93	
Cd		1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,05	<0,05	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Cr celk.		200	62,0	192,00	100,00	176,00	6,85	<5		52,80	<5	134,56	132,73	136,91	136,14	154,06	152,23	156,41	155,64	94,26	92,43	96,61	95,84
Hg		0,8	0,48	0,11	0,90	59,50	0,19	1,38		0,09	0,04	9,86	9,27	10,46	9,87	9,62	9,03	10,22	9,62	10,14	9,54	10,73	10,14
Ni		80	82,20	81,60	71,70	65,00	<5	<5		26,00	<5	63,83	63,18	64,74	64,61	63,44	62,79	64,35	64,22	57,01	56,36	57,92	57,79
Pb		100	75,40	48,60	16,10	11,50	<5	10,90	110,00	<5		50,85	50,74	52,07	54,15	33,43	33,32	34,65	36,73	12,31	12,19	13,52	15,61
V		180	243,0	381,00	619,00	339,00	<10	12,40		46,80	6,20	212,36	209,11	216,05	213,59	302,08	298,81	305,75	303,29	456,78	453,51	460,45	457,99
Monocyklické aromatické uhlovodíky (nehalogenované)																							
BTEX	mg/kg sušiny	0,4																			0,076 0,55		
Polycyklické aromatické uhlovodíky																							
PAU	mg/kg sušiny	6																			0,017 0,053		
Chlorované alifatické uhlovodíky																							
EOX	mg/kg sušiny	1																			<0,8 <0,8		
Ostatní uhlovodíky (směsné, nehalogenované)																							
Uhlovodíky C ₁₀ – C ₄₀	mg/kg sušiny	300																			<100 <100		
Ostatní aromatické uhlovodíky (halogenované)																							
PCB	mg/kg sušiny	0,2																			<0,01 <0,01		

Etapa 002 – Technische Regel Arbeitsblatt W 347

Ukazatel	jednotka	limitní hodnota	ČUP	HUP	FP	Struska	Energosádrovec I	Energosádrovec II	CEM I	Vápno	C-I-V	C-II-V	C-I-C	C-II-C	H-I-V	H-II-V	H-I-C	H-II-C	F-I-V	F-II-V	F-I-C	F-II-C
Kovy																						
As 0,01 hm.%	mg/kg sušiny	100	11,60	183,00	68,50	7,15	2,05	42,00	7,85	< 0,05	9,01	8,92	9,18	9,25	120,42	120,33	120,59	120,66	44,70	44,61	44,87	44,93
Cd 0,001 hm.%	mg/kg sušiny	10	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 0,05	< 0,05	0,97	0,95	0,99	0,97	0,97	0,95	0,99	0,97	0,97	0,95	0,99	0,97
Cr 0,05 hm.%	mg/kg sušiny	500	182,00	192,00	100,00	176,00	8,85	< 5,00	52,80	< 5,00	134,71	132,98	136,91	136,14	154,21	152,48	156,41	155,64	94,41	92,88	96,61	95,64
Ni 0,05 hm.%	mg/kg sušiny	500	82,20	81,80	71,70	85,00	< 5,00	< 5,00	26,00	< 5,00	64,78	64,16	65,59	65,41	64,39	63,79	65,20	65,02	57,96	57,36	58,77	58,59
Pb 0,05 hm.%	mg/kg sušiny	500	75,40	48,60	16,10	11,50	< 5,00	10,90	110,00	< 5,00	51,80	51,74	52,92	54,95	34,38	34,32	35,50	37,53	13,26	13,19	14,37	16,41

Etapa 002 – Vyluhování navržených stabilizátů

2 typy vyluhování:

■ Postup přípravy podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. (ukládání na povrch terénu,

ČSN EN 12457-4):

- Zkušební tělesa - podrcení pod 10 mm
- Výluh v deionizované vodě po dobu 24 hodin při teplotě $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ v rotujícím válci o rychlosti 10 ot./min, vyluhovací (hmotnostní) poměr materiál : voda je 1:10.
- Filtrace přes papírový filtr se střední velikostí póru 5 μm .
- Ekotoxicita – původní vzorek a po 360 dnech zrání – F-II-V.

■ Postup přípravy podle vyhlášky č. 409/2005 Sb.(styk s pitnou vodou):

- Celá zkušební tělesa
- Předčištění – uložení v pitné vodě – 3x24h, 1x72h, 1x24h – oplachy pitnou a deionizovanou vodou
- Samotné vyluhování – 3x72h v deionizované vodě, teplota vody pitné i deionizované $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ a poměr plochy povrchu zkušebního tělesa ku objemu vody je 1:1.
- Hodnocení 3.výluhu podle vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Etapa 002 – Vyluhování navržených stabilizátů

- Pokud by byla tato problematika dále zkoumána a byl by zúžen počet navržených směsí stabilizátů, zajímavé výsledky by mohla poskytnout řada všech tří výluhů, případně delší řada výluhů, se stanovením časového vývoje vyluhovatelnosti jednotlivých sledovaných prvků.
- Ve výluzích připravených z těles po 28 denním zrání byly stanoveny všechny parametry a dále byly sledovány (s výjimkou pH a konduktivity) jen parametry, které nevyhověly požadovaným limitům.
- Směsi s geotextílií – výluhy byly připraveny pouze ze vzorků po 360 dnech zrání a byly u nich sledovány všechny parametry.

Etapa 002 – Obsahy sledovaných parametrů výluhů připravených podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. ze směsí stabilizátů s černouhelným popílkem

O	pH	κ	Ag	As	Ba	Be	Hg	Cd	Co	Cr _{celk}	Cu	Mo	Ni	Pb	Se	Sb	V	Zn	DOC	RL	fenol.i.	F	Cl	SO ₄ ²⁻	
		mS/m	mg/l																						
C-I-V	28	10,79	231	< 0,02	< 0,01	0,131	< 0,001	< 0,0002	< 0,0001	< 0,001	0,080	< 0,01	0,098	< 0,001	< 0,001	0,029	0,003	0,028	< 0,02	4,1	2540	< 0,01	0,66	10,1	1590
	90	10,80	234	-	-	-	-	-	-	-	0,074	-	0,063	-	-	< 0,002	-	-	-	-	2870	-	0,51	-	1650
	180	9,30	205	-	-	-	-	-	-	-	0,079	-	0,091	-	-	-	-	-	-	-	2700	-	-	-	1650
	360	7,32	207	-	-	-	-	-	-	-	0,077	-	0,050	-	-	-	-	-	-	-	1450	-	-	-	810
C-II-V	28	11,83	192	< 0,02	< 0,01	0,158	< 0,001	< 0,0002	< 0,0001	< 0,001	0,029	< 0,01	0,057	< 0,001	< 0,001	0,029	0,008	0,029	< 0,02	6,9	1450	< 0,01	0,96	72,4	753
	90	11,04	205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	-	-	< 0,002	< 0,002	-	-	-	2230	-	0,41	-	1200
	180	9,77	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2750	-	-	-	1720
	360	7,72	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1480	-	-	-	779
C-I-C	28	10,20	222	< 0,02	< 0,01	0,151	< 0,001	0,0002	< 0,0001	< 0,001	0,098	< 0,01	0,135	< 0,001	< 0,001	0,045	0,007	0,017	< 0,02	4,1	2530	< 0,01	3,00	< 2,00	1550
	90	10,47	226	-	-	-	-	-	-	-	0,084	-	0,108	-	-	< 0,002	0,002	-	-	-	2860	-	1,40	-	1580
	180	8,65	204	-	-	-	-	-	-	-	0,081	-	0,276	-	-	-	-	-	-	-	2680	-	6,78	-	1650
	360	7,70	197	-	-	-	-	-	-	-	0,071	-	0,078	-	-	-	-	-	-	-	1440	-	2,39	-	787
C-II-C	28	10,28	225	< 0,02	< 0,01	0,146	< 0,001	< 0,0002	< 0,0001	< 0,001	0,084	< 0,01	0,152	< 0,001	< 0,001	0,036	0,006	0,028	< 0,02	4,0	2550	< 0,01	2,33	7,42	1580
	90	10,67	231	-	-	-	-	-	-	-	0,082	-	0,077	-	-	< 0,002	-	-	-	-	2870	-	0,81	-	1620
	180	8,94	214	-	-	-	-	-	-	-	0,103	-	0,316	-	-	-	-	-	-	-	2790	-	-	-	1750
	360	8,05	208	-	-	-	-	-	-	-	0,054	-	0,056	-	-	-	-	-	-	-	1490	-	-	-	820

Etapa 002 – Obsahy sledovaných parametrů výluhů připravených podle vyhlášky č. 409/2005 Sb. ze směsí stabilizátů s fluidním popínkem

H3	pH	κ	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr _{celk}	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Se	Sb	V	Zn	TOC	NH ₄ ⁺	CN ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		
		mS/m	mg/l																																
F-I-V	28	7.59	131	<-0.02	1.60	0.013	0.25	0.082	<-0.001	281	<-0.0001	<-0.001	0.027	<-0.01	<-0.01	<-0.0002	12.8	<-2.00	<-0.02	33.9	0.007	<-0.001	0.020	<-0.002	0.011	<-0.02	4.3	0.27	<-0.005	0.47	6.52	691	0.03	<-3.00	
	90	8.60	114	.	0.86	0.002	.	.	220	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<-0.002	<-0.002	.	.	.	.	<-0.06	.	.	.	5.68	.	.
	180	8.02	107	.	0.21	.	.	.	501	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1240	.	.
	360	7.42	101	.	0.25	.	.	.	220	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	556	.	.	.
F-II-V	28	7.83	97	<-0.02	1.57	0.014	0.21	0.059	<-0.001	200	<-0.0001	<-0.001	0.02	<-0.01	0.02	<-0.0002	15.4	<-2.00	<-0.02	34.7	0.006	<-0.001	0.031	<-0.002	0.008	<-0.02	5.8	0.30	<-0.005	0.41	7.60	420	0.03	<-3.00	
	90	7.88	72	.	1.90	<-0.002	.	.	110	.	.	.	.	<-0.01	.	.	.	.	.	.	.	0.003	<-0.002	.	.	.	2.8	<-0.06	.	.	.	280	.	.
	180	8.01	101	.	<-0.20	.	.	.	471	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1190	.	.	.
	360	7.39	105	.	.	.	.	.	240	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	545	.	.	.	.
F-I-C	28	7.35	170	<-0.02	0.67	<-0.01	0.27	0.077	<-0.001	441	<-0.0001	<-0.001	0.03	<-0.01	<-0.01	<-0.0002	10.2	3.26	<-0.02	27.5	0.006	<-0.001	0.012	0.002	0.017	<-0.02	4.1	0.25	<-0.005	0.66	<-2.00	1080	0.03	<-3.00	
	90	7.89	159	.	0.41	.	.	.	401	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<-0.002	0.002	.	.	1.9	<-0.06	.	.	.	1020	.	.
	180	7.93	105	.	0.27	.	.	.	511	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1250	.	.	.	.
	360	7.35	104	.	<-0.20	.	.	.	261	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	601	.	.	.	.
F-II-C	28	7.24	183	<-0.02	0.41	<-0.01	0.52	0.064	<-0.001	481	<-0.0001	<-0.001	0.03	<-0.01	<-0.01	<-0.0002	12.4	4.54	<-0.02	27.3	0.006	<-0.001	0.024	<-0.002	0.019	0.023	5.0	0.26	<-0.005	1.66	20.8	1190	0.03	<-3.00	
	90	7.80	149	.	0.28	.	.	.	361	<-0.002	<-0.002	.	.	.	<-0.06	.	0.38	.	.	886	.	.
	180	7.52	106	.	0.66	.	.	.	511	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1210	.	.	.	.
	360	7.59	104	.	<-0.20	.	.	.	261	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	634	.	.	.	.

Etapa 002 – Ekotoxicita podle vyhlášky č. 294/2005 Sb.

	F-II-V původní směs	F-II-V vzorek po 360 denním zrání
Akutní toxicita na rybě sladkovodní ryba Poecilia reticulata	96h LC ₅₀ = 200-300 ml/l	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu nedochází k úhynu testovacích organismů.
Akutní toxicita na členovci vodní korýš Daphnia magna Straus	48h EC ₅₀ = 188, 5 ml/l TU = 0,53	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu nedochází k imobilizaci testovacích organismů.
Inhibice růstu na sladkovodní chlorokokální řase planktonní sladkovodní řasa Desmodesmus subspicatus Chodat	72h IC ₅₀ = 254,4 ml/l TU = 0,39	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu dochází k 6,25% inhibici růstu řasy.
Inhibice růstu na semenech rostlin hořčice bílá (Sinapis alba)	72h IC ₅₀ = 637,4 ml/l TU = 0,16	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu dochází k 5,6% inhibici růstu kořene.

Etapa 002 – Porovnání s limitními hodnotami

- Všeobecně mají všechny navržené stabilizáty nízkou vyluhovatelnost – většina parametrů plní limity vyhl.č. 252/2004 Sb., TP 93 a ÖNORM 5014-2 (výluh podle vyhl.č. 409/2005 Sb.) a 294/2005 Sb. (I a IIb) a TP 93 (podle vyhl.č. 294/2005 Sb.).
- Všechny výluhy bez výrazného zápachu, po filtraci bez zákalu.
- Technische Regel Arbeitsblatt W 347 – posouzení jen absolutních obsahů složek
- dva druhy energosádrovce – minimální rozdíl → minimální vliv

Etapa 002 – Porovnání s limity požadovanými vyhláškou č. 252/2004 Sb., příloha 1 tabulka B – výluh podle vyhl.č. 409/2005 Sb., 360 dní zrání.

ukazatel	symbol	jednotka	limit	typ limitu	CIV	CIIV	CIC	CIIC	HIV	HIIV	HIC	HIIC	FIV	FIIV	FIC	FIIC	TIV	TIIC
amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	0,5	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,06	< 0,06
antimon	Sb	µg/l	5	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3
arsen	As	µg/l	10	NMH	-	-	-	-	34	-	242	48	-	-	-	-	22	107
beryllium	Be	µg/l	2	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1	< 1
bor	B	mg/l	1	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,51
celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,2	2,8
dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	50	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 3	< 3
dusitany	NO ₂ ⁻	mg/l	0,5	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02
fluoridy	F ⁻	mg/l	1,5	NMH	-	-	-	-	-	-	2,20	-	-	-	-	-	1,94	2,39
hliník	Al	mg/l	0,2	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
hořčík	Mg	mg/l	10	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,69	4,70
			20-30	DH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chloridy	Cl ⁻	mg/l	100	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 2	< 2
chrom	Cr	µg/l	50	NMH	74	-	59	48	-	-	-	-	-	-	-	-	< 10	< 10
kadmium	Cd	µg/l	5	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,1	< 0,1
konduktivita	k	mS/m	125	MH	120	108	161	144	107	108	158	163	101	105	104	104	101	159
kyanidy celkové	CN ⁻	mg/l	0,05	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,005	< 0,005
mangan	Mn	mg/l	0,05	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02
měď	Cu	µg/l	1000	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 10	< 10
nikl	Ni	µg/l	20	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
olovo	Pb	µg/l	10	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1	< 1
pH	pH		6,5 - 9,5	MH	7,23	7,16	7,00	7,24	6,79	6,69	6,93	7,09	7,42	7,39	7,35	7,59	7,38	7,48
rtuť	Hg	µg/l	1	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	< 0,2
selen	Se	µg/l	10	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	< 2
sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	MH	505	-	611	647	464	293	568	619	556	545	601	634	420	561
sodík	Na	mg/l	200	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,59	2,21
stříbro	Ag	µg/l	50	NMH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 20	< 20
vápník	Ca	mg/l	30	MH	200	160	240	240	200	140	261	261	220	240	261	261	190	251
			40 - 80	DH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
železo	Fe	mg/l	0,2	MH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01

Etapa 002 – Porovnání s limity požadovanými TP 93 – výluh podle vyhl.č. 409/2005 Sb., 360 dní zrání

Prvek	Maximální přípustné množství (mg/l)	CIV	CIIV	CIC	CIIC	HIV	HIIV	HIC	HIIC	FIV	FIIV	FIC	FIIC	TIV	TIIC
Ag	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02
As	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,022	0,107
Ba	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015	0,020
Be	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Cd	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,0001	< 0,0001
Cr celkový	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Co	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Cu	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Hg	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	< 0,0002
Ni	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	0,002
Pb	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Se	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	< 0,002
V	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,033	0,075
Zn	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02

Etapa 002 – Porovnání s limity požadovanými ÖNORM B 5014-2 – výluh podle vyhl.č. 409/2005 Sb., 360 dní zrání

ukazatel	symbol	jednotka	limit	CIV	CIIV	CIC	CIIC	HIV	HIIV	HIC	HIIC	FIV	FIIV	FIC	FIIC	TIV	TIIC
amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	≤ 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,06	< 0,06
celkový organický uhlík*	TOC	mg/m ² .d	≤ 125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	307/6,13	93/1,87
draslík**	K	mg/l	≤ 40	-	29,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,24	5,62
hliník	Al	mg/l	≤ 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
chrom	Cr	mg/l	≤ 0,05	0,074	-	0,059	0,048	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
olovo	Pb	mg/l	≤ 0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
pH	pH		≤ 9,5	7,23	7,16	7,00	7,24	6,79	6,69	6,93	7,09	7,42	7,39	7,35	7,59	7,38	7,48

* Pásmo E poměr vyluhování 1 : 50 Díly z betonu přicházející do kontaktu s podzemní vodou v ochranných pásmech, zde je výluh 50x méně zředěný, tzn. že pokud by byl 1:50 a ne 1:1 je předpoklad, že by byl významně zředěnější, čísla jsou uváděna 1:1/ 1/50

** jen pro pásma A a B poměr vyluhování 1:1 – 1:2

Etapa 002 – Porovnání s limity požadovanými vyhláškou č. 294/2005 Sb., příloha 2 – výluh podle vyhl.č. 294/2005 Sb., 360 dní zrání

ukazatel (obsahy v mg/l)	třídy vyluhovatelnosti				CIV	CIIV	CIC	CIIC	HIV	HIIV	HIC	HIIC	FIV	FIIV	FIC	FIIC	TIV	TIIC
	I	Ila	Ilb	III														
DOC (rozpuštěný organický uhlík)	50	80	80	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,0	5,4
fenolový index	0,1				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	< 0,01
chloridy	80	1500	1500	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,66	2,59
fluoridy	1	30	15	50	-	-	2,39	-	-	-	2,11	2,70	-	-	-	-	2,81	2,29
sírany	100	3000	2000	5000	810	779	787	820	724	754	729	775	756	479	743	782	770	767
As	0,05	2,5	0,2	2,5	-	-	-	-	-	-	0,411	-	-	-	-	-	0,023	0,238
Ba	2	30	10	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,022	0,019
Cd	0,004	0,5	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,0001	< 0,0001
Cr celkový	0,05	7	1	7	0,077	-	0,071	0,054	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Cu	0,2	10	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Hg	0,001	0,2	0,02	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	< 0,0002
Ni	0,04	4	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Pb	0,05	5	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Sb	0,006	0,5	0,07	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	0,006
Se	0,01	0,7	0,05	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	0,002
Zn	0,4	20	5	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02
Mo	0,05	3	1	3	0,050	-	0,078	0,056	-	-	0,082	0,067	0,024	-	0,030	-	0,030	0,048
RL (rozpuštěné látky) ¹⁾	400	8000	6000	10000	1450	1480	1440	1490	1380	1390	1380	1360	1400	908	1390	1380	1430	1390
konduktivita mS/m					207	207	197	208	192	196	188	192	194	147	193	192	194	191
pH		≥ 6	≥ 6		7,32	7,72	7,70	8,05	7,19	7,28	7,10	7,04	9,02	8,74	8,19	8,07	7,46	7,35

Etapa 002 – Porovnání s limity požadovanými TP 93 – výluh podle vyhl.č. 294/2005 Sb., 360 dní zrání

Prvek	Maximální přípustné množství (mg/l)	CIV	CIIV	CIC	CIIC	HIV	HIIV	HIC	HIIC	FIV	FIIV	FIC	FIIC	TIV	TIIC
Ag	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02
As	0,1	-	-	-	-	-	-	0,411	-	-	-	-	-	0,023	0,238
Ba	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,022	0,019
Be	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Cd	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,0001	< 0,0001
Cr celkový	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Co	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Cu	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Hg	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	< 0,0002
Ni	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Pb	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
Se	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	0,002
V	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,100
Zn	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02

Etapa 002 – Porovnání hodnot testu ekotoxicity podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. s limity uvedenými v příloze 10

		jednotka	limit	F-II-V původní směs	F-II-V vzorek po 360 denním zrání
Akutní toxicita na rybě sladkovodní ryba <i>Poecilia reticulata</i>	96h LC ₅₀	ml/l	<100	200-300	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu nedochází k úhynu testovacích organismů.
	TU		>10	-	
Akutní toxicita na členovci vodní koryš <i>Daphnia magna</i> Straus	48h EC ₅₀	ml/l	<100	188,5	Nelze určit Při testování 100% vodného výluhu nedochází k imobilizaci testovacích organismů.
	TU		>10	0,53	
Inhibice růstu na sladkovodní chlorokokální řase planktonní sladkovodní řasa <i>Desmodesmus subspicatus</i> Chodat	72h IC ₅₀	ml/l	<100	254,4	Nelze určit
	TU		>10	0,39	-
	Inhibice nebo stimulace	%	>30	-	Při testování 100% vodného výluhu dochází k 6,25% inhibici růstu řasy.
Inhibice růstu na semenech rostlin hořčice bílá (<i>Sinapis alba</i>)	72h IC ₅₀	ml/l	<100	637,4	Nelze určit
	TU		>10	0,16	-
	Inhibice nebo stimulace	%	>30	-	Při testování 100% vodného výluhu dochází k 5,6% inhibici růstu kořene.

Etapa 002 - další

- ▶ Granulometrický rozbor – s výjimkou strusky - materiály pod 500 μm
- ▶ Normální voda – normální vodní součinitel (počítáno na celkovou sušinu) je přibližně 30% pro ČUP a HUP a 60% pro FP
- ▶ Stanovení průběhu a doby tuhnutí – PDT 90-180 min, KDT 220-630 min.
- ▶ Pevnost i odolnost proti mrazu a vodě – nejlepší výsledky vykazují stabilizáty s obsahem vápna, především v kombinaci s fluidním popínkem.

Etapa 003 a 004

- ò Namodelování závislosti dopadů z hlediska hygienických a ekologických na složení stabilizátu – různé obsahy druhotných surovin, včetně sledování parametrů pro suroviny z různých lokalit (popílek, struska, energosádrovec...)
- ò Určení max. možného využívání druhot. surovin bez vlivu na hygien. a ekolog. bezpečnost. Návrh receptury s možností modifikace na bázi druh. energ. surovin s předpokladem dodržení ekolog. i hygien. parametrů. Doporučení fin. výrobku, vč. návrhu PN a BL

§ náplň etap charakterově provázána s etapou 002

§ výběr stabilizátu s nejlepšími výsledky – speciální zkoušky vč. ekotoxicity, zpracování návrhu podnikové normy (pozemní stavitelství) a bezpečnostního listu (v souladu s přílohou II Nařízení REACH (ES) č. 1907/2006 vč. novelizace přílohy nařízením (ES) č. 453/2010 a Nařízením CLP (ES) č. 1272/2008)

§ posudek ARCADIS Geotechnika, a.s.

Etapa 003 a 004 – závěry vč. závěrů posudku

- Vedlejší energetické produkty – VEP – popílek, popel, struska (škvára), fluidní popel a popílek, energosádovce.
- Využívání VEP (pozemní a inženýrské stavby) je žádoucí – omezení zátěže krajiny spojené s ukládáním na skládky a náhrada přírodních materiálů, což snižuje náklady na stavbu.
- Využívání v dopravním stavitelství (pozemní komunikace) – v omezené míře již několik desetiletí. Pro širší využití – potřeba zákonných předpisů a norem pro stanovení mezí použitelnosti těchto materiálů.
- Předpis – Technické podmínky MD TP 93 „Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů“ – poprvé vydán v roce 1993 a od té doby novelizován. Stanovuje mezní hodnoty těžkých kovů a jiných zdraví škodlivých látek, hmotnostní aktivity radionuklidů a fyzikálně mechanických vlastností.
- V dopravních stavbách se VEP a stabilizáty nejčastěji používají v těchto konstrukcích - násypy na pozemních komunikacích všech tříd, ztužující vrstvy násypu, přechodové oblasti mostů, zásypy opěrných konstrukcí, aktivní zóna vozovky, podkladní vrstvy vozovek, povrchové úpravy účelových (např. stezky, lesní cesty) a provizorních komunikací.

Etapa 003 a 004 – závěry vč. závěrů posudku

- Při použití popílku není problémem způsob výstavby - technologie zpracování je dobře zvládnutá, používají se při ní běžné stavební stroje. Podstatné je posouzení ekologické vhodnosti a vlivu na okolního prostředí a zejména podzemní vody – zjištěné hodnoty jsou příznivé a navíc jsou stabilizáty v zemním tělese pozemních komunikací chráněny nepropustnou (asfaltovou nebo betonovou) vozovkou → riziko vyluhování jakýchkoliv látek je minimální.
- Geotechnické podmínky pro použití VEP do zemního tělesa - smyková pevnost, stlačitelnost, propustnost, objemové změny při změnách vlhkosti, mrazuvzdornost (souvisí s nasákavostí a propustností stabilizátu).
- Směsi stabilizátů měly velmi nízkou propustnost $< 10^{-7}$ m/s, malé objemové změny $< 3\%$ a mrazuvzdornost byla až na kombinaci hnědouhelný popílek a cement vyhovující. Dosažení zlepšení vlastností je dávkování cementu $> 3\%$ cementu.
- Odzkoušeno 12+2 sady směsí – 65% popílek, vápno (3 – 5 %) nebo cement (1 – 3 %), 15 – 17 % energosádovec a škvára/elektrárenská struska. 2 sady - geotextílie.
- Zkoušky zásadní pro návrh zemního tělesa pozemní komunikace byly v rámci projektu prováděny - pevnost v tlaku a v tahu za ohybu, propustnost, objemová stálost, odolnost proti mrazu a vodě.
- Zkoušky zásadní pro posouzení – vyluhovatelnost – obě varianty

Etapa 003 a 004 – závěry vč. závěrů posudku

➤ Hodnocení zkoušek:

Pevnost v tlaku: popílký obecně reagují lépe s vápnem než s cementem – vytváří velmi stabilní směsi, vývoj pevností – pevnost se po 28 dnech už takřka nemění u fluidního popílku, u černouhelného a hnědouhelného po 90 dnech. Trend u dávkování cementu i vápna je stejný. Do zemního tělesa by postačilo dávkování vápna pod 3% a vyšší dávkování cementu než 3%.

Pevnost v tahu za ohybu: stejný vývoj jako pevnosti v tlaku.

Propustnost: zhutněné popílkové stabilizáty jsou téměř nepropustné, všechny mají propustnost nižší než 10^{-7} m/s, propustnost stabilizátů s vápnem nižší. Trend je stejný jako u pevnosti, čím vyšší pevnost, tím nižší propustnost.

Objemové změny: objemové změny jsou zanedbatelné $< \pm 1\%$. Zkouška byla provedena podle ČSN 72 2116 (modifikována na zkušební tělesa 40 x 40 x 160 mm). V pozemních komunikacích se používá měření dle ČSN EN 13286-2. Porovnání mezi metodami není.

Odolnost proti mrazu a vodě: Delší dobou zrání (do 90 dní) se odolnost zlepšuje.

Vyluhovatelnost: zjištěné hodnoty jsou velmi příznivé, nebezpečí vyluhování díky ochraně nepropustnými vrstvami v praxi minimální. Nejlepší výsledky hodnocení výluhu je u směsi fluidního popílku s vápnem, nejméně pozitivní výsledky dává hnědouhelný popílek s cementem a to především díky arsenu.

Absolutní obsahy: vyšší hodnoty arsenu (především u hnědouhelného popílku), vanadu (u všech) a rtuti ve strusce.

Ekotoxicita a radioaktivita: vyhovují všem požadavkům.

ZÁVĚR

Výsledky dlouhodobých zkoušek popílkových stabilizátů prokázaly nejen ekologickou nezávadnost pro použití v místech existujících ochranných pásem zdrojů pitné vody, ale i velmi pozitivní mechanické vlastnosti.

Chemické rozbory v časových intervalech dobře dokumentují neustálé snižování nepříznivých látek ve výluzích všech stabilizátů.

Stejně jako chemické vlastnosti výluhů se s časem také zlepšují mechanické vlastnosti stabilizátů.

Pro použití stabilizátů do zemního tělesa pozemních komunikací postačí velmi malé množství pojiva, cementu nebo vápna.

Množství pojiva (vápno, cement) do 3 % váhových vytvoří společně s popílkem, struskou a energosádrovcem po zpracování do násypu stabilní těleso. Fluidní popílkový je možno použít do zemních těles pozemních komunikací i bez přídavku pojiva.

ZÁVĚR

Pro konstrukce ztužující vrstvy sendvičových násypů, přechodové oblasti mostů, aktivní zóny, případně konstrukční vrstvy komunikace je nutné docílit vyšších pevností, zde je možné doporučit ze zkoušených stabilizátů jak směs černouhelného popílku s vápnem (postačí jen 3 %), tak směsi fluidních popílků. U fluidních popílků většinou postačí množství 1 % cementu a množství vápna < 3%. Velmi pevné vrstvy mohou být křehké.

Zkoušené stabilizáty nejsou bobtnavé. Naměřené objemové změny je možné považovat za zanedbatelné. Při podmínkách v zemním tělese je možné považovat tyto stabilizáty za stabilní. To potvrzují i zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě, kdy většina zkoušených vzorků odolala 10 cyklům zmrazování a rozmrazování. Pro ty, které neodolaly všem 10 cyklům by bylo zřejmě řešením vyšší dávkování cementu (> 3 %). Všechny vápnem upravené směsi (při množství pojiva 3 % a více) byly vůči zmrazovacím cyklům odolné.

ZÁVĚR

Testované stabilizáty poskytují velmi příznivé výsledky vyluhovatelností, chemického složení, radioaktivity, ekotoxicity i fyzikálně mechanických vlastností.

Při výstavbě zemních těles pozemních komunikací se důsledně uplatňují technické podmínky TP 93, tzn. při postupování podle TP 93 se popílkové stabilizáty do kontaktu jak s podzemní vodou, tak srážkovou vodou nedostanou, neboť popílkové těleso se může budovat až nad úrovní dlouhodobě trvalé hladiny podzemní a povrchově tekoucí vody. Proti srážkové vodě jsou popílkové / stabilizáty v zemním tělese pozemních komunikací chráněny na koruně násypu, v aktivní zóně, případně v konstrukční vrstvě nepropustnou (asfaltovou, betonovou) vozovkou a na svazích hutněným zemním přísypem o tloušťce min. 0,6 m. Riziko vyluhování jakýchkoliv látek je tudíž minimální. Připočteme-li k tomu zjištěné příznivé hodnoty výluhů z dlouhodobého sledování v rámci tohoto projektu, jejich porovnání s ekologickými, hygienickými předpisy a TP 93, vyplývá nám, že při dodržení všech požadavků TP 93 není nutné použití popílkových stabilizátů v zónách ochrany přírodních a vodních zdrojů nijak omezovat.

Děkuji Vám za pozornost

Ing. Šárka Klimešová

Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.

Na Cikánce 2, 15300 Praha 5 – Radotín

tel.: 257 911 829

klimesova@vumo.cz