

Ing. Pavel Schmidt, Ing. Petr Šášek, Ph.D., Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

Vyhodnocení dlouhodobého monitoringu kvalitativních parametrů stavebních směsí na bázi produktů po spalování

Přijato: 19. 12. 2008, recenzováno: 4. 3. 2009

Produkty po spalování fosilních paliv v sobě skrývají potenciál, který je nutné využívat. Stavebnictví je odvětvím, ve kterém se produkty po spalování fosilních paliv nejvíce využívají. Dalším způsobem, jak využít produkty po spalování fosilních paliv je při rekultivacích. Při likvidaci hlavních a starých důlních děl je možné využít produkty po spalování fosilních paliv jako zpevněný zásypový materiál. V rámci řešení výzkumného záměru „Výzkum fyzikálně chemických vlastností hmot dotčených těžbou a užitím uhlí a jejich vlivů na životní prostředí v regionu severozápadních Čech“ bylo realizováno dle přípravných dokumentací stanoviště kontrolního sledování – monitoringu vyrobených stavebních směsí na bázi produktů po spalování uhlí. Na základě modelových zkoušek výroby různých typů stavebních směsí na bázi produktů po spalování fosilních paliv a odsíření byly vyrobeny reálné vzorky těchto směsí, které byly následně uloženy do monitorovacího stanoviště k dlouhodobému sledování vývoje kvalitativních parametrů.

The long-term monitoring evaluation of the construction mixtures quality parameters based on the products after combustion

The products after combustion of fossil fuels hide a potential which must be used. Civil engineering is a field where the products after fossil fuels combustion are used most. Reclamation is another way how to use the products after fossil fuels combustion. In the main and old quarries liquidation, it is possible to use the products after fossil fuels combustion as a consolidated back fill material. Within the solution of the project “Research of Physical and Chemical Features of Materials Affected by Coal Mining and Use and Their Impact on Environment in the North-Western Bohemia Region“, a station for controlled monitoring was established according to the preparatory documents for the controlled monitoring station – monitoring of the manufactured construction mixtures based on the coal combustion products. Based on the model production tests of various types of construction mixtures on the basis of products after fossil fuels combustion and desulphurization, real samples of these mixtures were produced deposited in the monitoring station for long-term monitoring of the quality parameter development.

Auswertung eines langfristigen Monitoring der qualitativen Parameter von Baugemischen auf Basis der Produkte nach der Verbrennung

Die Produkte der Verbrennung von fossilen Brennstoffen bergen in sich ein Potential, das genutzt werden soll. Das Bauwesen ist eine Branche, wo diese Verbrennungsprodukte aus der fossilen Brennstoffen am meisten genutzt werden. Eine weitere Möglichkeit, wie diese Verbrennungsprodukte zu nutzen liegt in Rekultivierungen. Bei der Liquidierung alter Grubenbaue lassen sich die Verbrennungsprodukte aus den fossilen Brennstoffen als verfestigtes Verschüttungsmaterial nutzen. Im Rahmen der Lösung des Forschungsvorhabens „Forschung der physikochemischen Eigenschaften von durch Kohlebergbau und –nutzung betroffenen Massen und deren Wirkungen auf die Umwelt in der Region Nordwestböhmen“ wurde nach der vorbereitenden Dokumentation ein Standort umgesetzt für Kontrollüberwachung – Monitoring der auf Basis der Verbrennungsprodukte aus den fossilen Brennstoffen hergestellten Baugemische. Auf Grund der Modellversuche der Herstellung von verschiedenen Typen der aus den Verbrennungsprodukten aus fossilen Brennstoffen und aus der Entschwefelung entstandenen Baugemische wurden reale Proben dieser Gemische hergestellt, die anschließend in den Monitoringstandort zu langfristigen Überwachung der Entwicklung von qualitativen Parametern gelegt wurden.

Klíčová slova: popílek, monitoring, stavební směs

Úvod

Dlouhodobé sledování fyzikálně-mechanických a zdravotně ekologických parametrů vzorků stavebních směsí bylo prováděno s cílem získat následně průkazný soubor výsledků, který

by dokazoval, že při reálném využití bude zajištěna mechanická trvanlivost a odolnost proti vlivům okolního prostředí a v přirozeném geologickém prostředí nebudou ohroženy zájmy ochrany životního prostředí a zdraví lidí při variantním velkoobjemovém využití. Výstupy z laboratorního testování byly postupně zahrnovány do souboru výsledků kvalitativních ukazatelů získaných jak z modelových zkoušek, tak z dlouhodobého monitoringu kvalitativních ukazatelů trvanlivostních a odolnostních. Po posledním odběru vzorků byly výsledky komplexně vyhodnoceny.

Koncepce monitorovacího stanoviště

Monitorovací stanoviště se skládalo ze 6 hloubených zemních rýh, do kterých byly uloženy vzorky určené k dlouhodobému monitoringu. Pro každou typovou směs byla vybudována jedna rýha o rozměrech cca 7 x 0,6 m a hloubce cca 0,5 m.

Na dusadlem upěchované dno byla položena vrstva inertního písku v tloušťce cca 5 cm, na ni pak byly ukládány vzorky stavebních směsí (kostky o rozměrech 150 x 150 x 150 mm a válcová tělesa Ø 70 x 140 mm). Vzorky byly obsypány inertním pískem tak, aby tloušťka horní vrstvy byla 5 - 10 cm. Takto upravené vzorky byly překryty zeminou v tl. ≈ 0,3 m.

Výroba stavebních směsí

Výroba vybraných typů stavebních směsí probíhala v technologické laboratoři VÚHU a.s. z předem ověřených vstupních komponent – produktů po spalování a odsíření příp. s přídavkem dalšího aditiva.

Před vlastní výrobou reálných stavebních směsí byly provedeny prvotní míchací zkoušky pro stanovení přídavku další záměsové vody jako množství potřebné k dosažení optimální konzistence (tekutosti) vyrobené směsi. Jako výrobní zařízení pro výrobu stavebních směsí byla použita stavební míchačka o objemu 50 l. Vlastní technologie míchacího procesu byla stanovena následovně :

- naplnění míchačky vstupními komponentami
- homogenizace30 s
- hydratace vodou.....max. 10 s
- čas domíchání směsi s vodou.....180 s

Makroskopický popis vyrobených směsí : řídká suspenze optimální tekutosti

Bezprostředně po výrobě byly suspenze stavebních směsí odlity do forem pro získání zkušebních těles :

- kostky 150x150x150 mm
- válce Ø 70x140 mm

Při plnění forem bylo použito propichování směsí tyčemi pro odstranění vzduchových bublin ze suspenze.

Naplnění monitorovacích rýh

Na základě výsledků prvotních ověřovacích testů a modelových zkoušek výroby stavebních směsí bylo vybráno 6 směsí, které byly uloženy do příslušných monitorovacích rýh - kontrolních stanovišť. Jejich specifikace je popsána v dalších odstavcích vyhodnocení dlouhodobého monitoringu.

Laboratorní testování

Cílem stanoveného rozsahu průkazných zkoušek vzorků stavebních směsí bylo vymezit základní parametry, které budou následně využity při jejich vhodném stavebně technickém využití.

Fyzikálně-mechanické parametry

vlhkost
zdánlivá hustota pevných částic
pórovitost
stupeň nasycení
objemová hmotnost
nasákavost
propustnost
pevnost v tlaku

Zdravotně-ekologické parametry :

zkoušky vyluhovatelnosti dle metodiky SZÚ

Vyhodnocení dlouhodobého monitoringu

Rýha K1

Tato rýha byla naplněna stavební směsí obsahující fluidní popílek z elektrárny United Energy a.s. **UE fluid 1200 poměr F:L 60:40 % = 100,0 % hmot. bez přídavku pojiva.** Jedná se o směs fluidního popílku z látkových filtrů a ložového popela, v poměru 60:40, které byly produktem při režimu spalování s nastaveným odsiřovacím procesem ve vazbě na emisní limit 1200 mg SO₃/m³.

Z fyzikálních parametrů je zaznamenaný vývoj přirozených vlhkostí w v dlouhodobé časové řadě. Patrné jsou dílčí vlivy klimatických podmínek (období zvýšených dešťových srážek před vlastním odběrem). Kolísání hodnot vlhkosti se však pohybuje v rozmezí necelých 10 %, což lze považovat u tohoto typu materiálu za nevýznamné. Navíc lze dokumentovat, že nedochází k dalšímu syčení vodou oproti původně stanovené hodnotě přirozené vlhkosti. Stupeň nasycení S_r pak poměrně věrně kopíruje hodnoty vlhkosti a v absolutní hodnotě se pohybuje kolem průměrné hodnoty 53%. U parametru pórovitost n bylo patrné snížení hodnot cca po 500 dnech od výroby, jež patrně souvisí s tvorbou solí v pórech stavební směsi. Podobný trend pak v této souvislosti vykazoval i parametr zdánlivá hustota pevných částic ρ_s . Objemová hmotnost vlhká ρ vykazovala kolísání hodnot v intervalu mezi 1200 a 1300 kg.m⁻³, výkyvy byly zaznamenány zejména vlivem přirozené vlhkosti stavební směsi, průměrná hodnota objemové hmotnosti suché ρ_d se pohybovala těsně pod úrovní 900 kg.m⁻³.

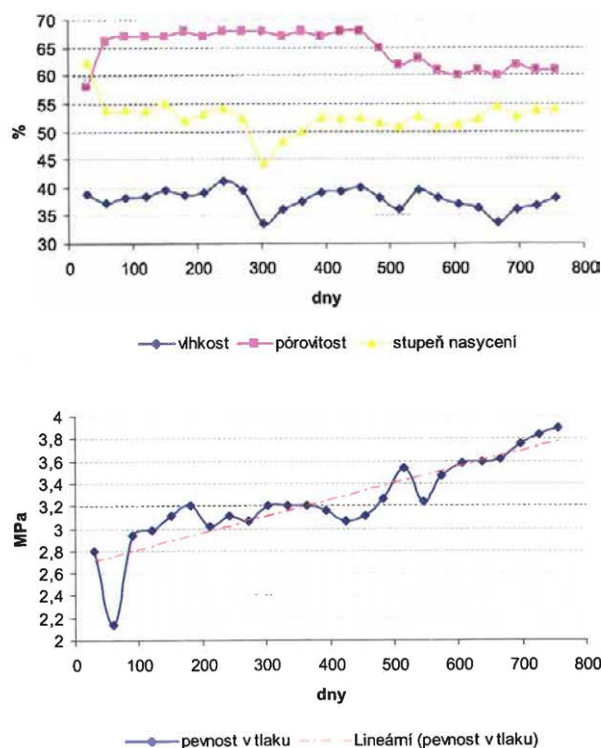
Prakticky vyrovnané hodnoty po celé monitorovací období byly zjišťovány u parametru nasákavost W_{cm} , jehož průměrná hodnota byla na úrovni 64%.

Mechanický parametr pevnost v tlaku σ vykazoval od počátku sledování postupný vzrůstající trend, což je pro hodnocení této stavební směsi velmi pozitivní poznatek. Od první zjištěné hodnoty pevnosti v tlaku 2,8 MPa po 28 dnech od výroby byla na konci monitorovacího období (po 2 letech) zjištěna konečná pevnost cca v hodnotě 3,9 MPa. Pozitivní výsledky prokázaly hodnoty parametru vodopropustnosti – koeficient filtrace k , který se pohyboval povětšinou v řádu 10⁻⁹ m.s⁻¹ a nižší (pod úrovní měřitelnosti přístrojové techniky).

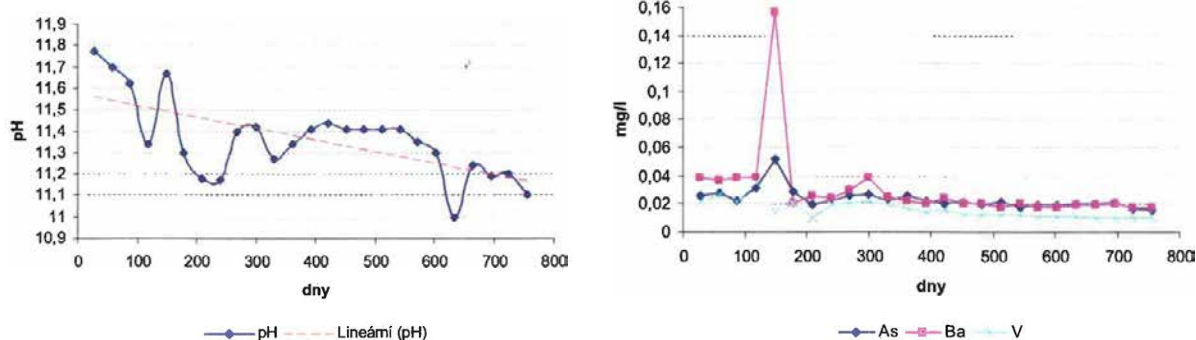
Na základě výsledků zdravotně ekologických parametrů vyplývá, že u řady z nich nebyl v průběhu monitorování zjištěn měřitelný obsah prvku ve výluzích a koncentrace se pohybovaly pod mezí detekce přístrojové techniky. Měřitelné koncentrace byly zjišťovány pouze u prvků As, Ba a V. Pro všechny uvedené prvky s měřitelnými koncentracemi byly sestaveny grafy závislosti vývoje koncentrací v čase od referenčních vzorků z 09/06 po vzorky z 09/08 (obr. č. 2).

Z hlediska samotných průběhů koncentrací uvedených prvků ve výluzích lze stanovit jen mírný pokles hodnot v čase. Nárazově byly zjištěny pouze anomálie při srovnání s ostatními hodnotami koncentrací jednotlivých parametrů, např. hodnota koncentrace prvku Ba po 150 dnech od výroby byla zjištěna cca 5x vyšší než v ostatních sledovaných termínech. Absolutní hodnoty měřitelných koncentrací u prvků As, Ba a V jsou však hluboko pod limity použité metodiky vyluhovatelnosti SZÚ (limit pro As 0,1 mg/l, pro Ba 1,0 mg/l a pro V 0,2 mg/l).

U parametru pH byla vlivem obsahu volného CaO jako složky s hydraulickými vlastnostmi zjištěna na počátku sledování hodnota vysoká – pH 11,77. Jak je patrné z grafické závislosti (obr. č. 2), v čase pak docházelo k postupné dílčí neutralizaci a na konci monitorovacího období byly zjištěny hodnoty pH v úrovni cca 11.



Obrázek 1 - Fyzikálně mechanické parametry K1



Obrázek 2 - Zdravotně ekologické parametry K1

Rýha K2

Tato rýha byla naplněna stavební směsí s obsahem fluidního popílku z elektrárny Tisová **ETI fluid = 100,0 % hmot. bez přídavku pojiva.**

Vývoj přirozených vlhkostí w v dlouhodobé časové řadě je opět ovlivněn zejména dílčími klimatickými vlivy. Kolísání hodnot vlhkosti se pohybuje v poměrně úzkém rozmezí hodnot 34,1 – 40,3 %. Podobně je tomu i u parametru stupeň nasycení S_r , jehož absolutní hodnota se pohybuje průměrně okolo 60%. Jak dokládá grafické znázornění hodnot parametru pórovitost n v časové řadě, byl zaznamenán trend postupného snižování o cca 5 %.

K znatelnějšímu poklesu v dlouhodobé časové řadě však docházelo u parametru zdánlivá hustota pevných částic ρ_s , kde došlo k snížení z původně zjištěné hodnoty na počátku sledování 2400 kg.m⁻³ postupně až o 400 kg.m⁻³. Naopak objemové hmotnosti vlhká a suchá ρ a ρ_d vykazovaly po celou dobu monitorovacích prací velmi vyrovnané hodnoty (průměrné hodnoty cca 1280 a 930 kg.m⁻³). Prakticky vyrovnané hodnoty po celé monitorovací období byly zjišťovány u parametru nasákavost W_{em} , jehož průměrná hodnota byla na úrovni 64%.

U parametru pevnost v tlaku σ byl podobně jako u předchozího vzorku stavební směsi zjištěn postupný vzrůstající trend. Pevnost v tlaku 2,933 MPa po 28 dnech od výroby

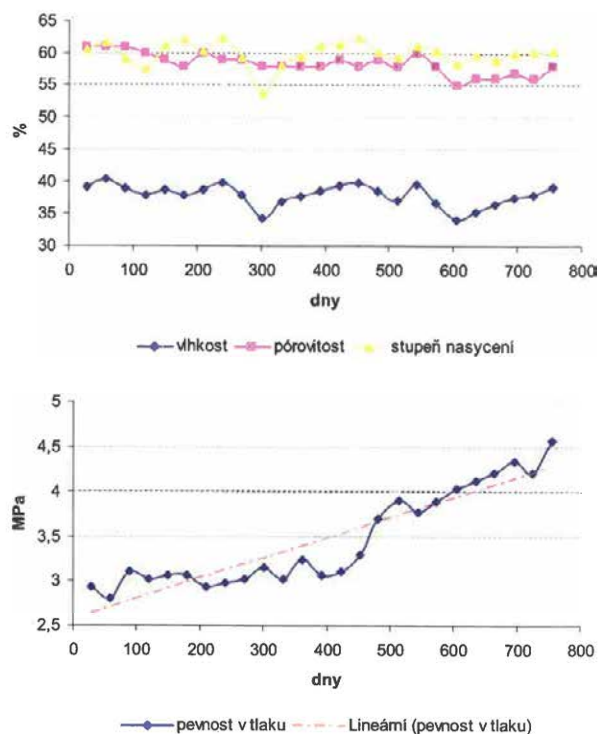
vzrostla po dvouletém sledování až na hodnotu cca 4,5 MPa.

Hodnoty parametru vodopropustnosti – koeficientu filtrace k se opět pohybovaly v řádu 10⁻⁹ m.s⁻¹ a pod úrovní měřitelnosti přístrojové techniky.

Měřitelné koncentrace byly zjištěny i tentokrát pouze u prvků As, Ba a V. Ostatní sledované parametry nebyly v průběhu monitorování zjištěny v měřitelné koncentraci prvku ve výluhu.

Koncentrace prvku As ve výluzích po úvodním zjištění koncentrace tohoto prvku ve výluhu vzrostla z hodnoty 0,006 mg/l po 28 dnech od výroby na hodnotu 0,039 mg/l po 300 dnech od výroby. Dále byl už zaznamenán pouze postupný klesající trend koncentrací v čase. U parametru prvku Ba byly zjištěny až do termínu 392 dnů od výroby poměrně variabilní hodnoty koncentrací v úrovni 0,1 – 0,2 mg/l. V dalším časovém období byl zaznamenán postupný klesající trend zjišťovaných koncentrací tohoto prvku až na konečnou hodnotu 0,09 mg/l. U sledovaného prvku V došlo v období cca 150 dnů od výroby k poměrně silnému poklesu koncentrací prvku ve výluhu z původních 0,09 mg/l na hodnotu cca 0,02 mg/l, dále už byly koncentrace prvku poměrně vyrovnané a v závěru monitorovacího období dosahovaly hodnot kolem 0,01 mg/l.

Absolutní hodnoty měřitelných koncentrací u prvků As, Ba a V byly opět hluboko pod limity použité metodiky vyluhovatelnosti SZÚ.

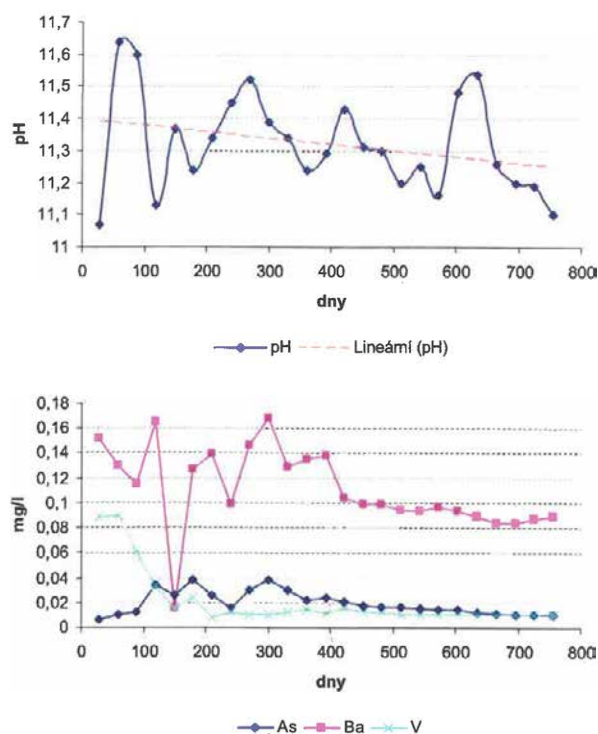


Obrázek 3 - Fyzikálně mechanické parametry K2

Rýha K3

Tato rýha byla naplněna stavební směsí s obsahem popílku z teplárny T 700 UNIPET-ROL RPA s.r.o. (dříve Chemopetrol a.s.), **T700 poměr POP:PROD 75:25 % = 100 % hmot. bez přídavku pojiva**. Jedná se o směs produktů po spalování a odsíření, tedy o směs klasického popílku z práškového topeniště s produktem z polosuché metody odsíření (tzv. REA produkt) v poměru 75:25%.

Fyzikální parametr přirozená vlhkost w se pohyboval v prvních cca 330 dnech v poměrně vyrovnaných hodnotách okolo 30 %. Poté došlo ke skokovému zvýšení na hodnotu cca 40 % a v dalším období se již hodnota přirozené vlhkosti pohybovala v intervalu 35 – 40 %. Velmi věrně se pak definovaný průběh kopíroval i na parametr stupeň nasycení S_r . Na konci monitorování dosahoval tento parametr hodnot cca 55 %. Pórovitost n se pohybovala cca do 500 dnů od výroby kolem 60 % a v závěru sledování došlo k mírnému poklesu na úroveň cca 56 %. Parametr zdánlivá hustota pevných částic ρ_s byl od počátku sledování prakticky neměnný, až v posledních cca 150 dnech došlo k poklesu o cca 60 kg.m⁻³, v souvislosti s poklesem parametru pórovitost a pravděpodobnou tvorbou solí,



Obrázek 4. Zdravotně ekologické parametry K2

jak bylo uvedeno u analýzy stavební směsi K1. Objemová hmotnost vlhká ρ vykazovala kolísání hodnot v intervalu mezi 1200 a 1300 kg.m⁻³, průměrná hodnota objemové hmotnosti suché ρ_d se pohybovala na úrovni 920 kg.m⁻³.

Prakticky vyrovnaný průběh zjišťovaných hodnot po celé monitorovací období vykazoval parametr nasákavost W_{cm} . V absolutní hodnotě byla velikost tohoto parametru cca 60%.

Pevnost v tlaku σ vykazovala od počátku sledování poměrně vyrovnané hodnoty z intervalu pevností 2,5 – 2,7 MPa, postupný nárůst byl zaznamenán až od cca 450 dnů od výroby stavební směsi. Na konci monitorovacího období se pevnost v tlaku pohybovala na úrovni 4,2 MPa.

Podobně jako u předcházejících vzorků stavebních směsí bylo testováním vodopropustnosti zjištěno, že se koeficienty filtrace k pohybovaly v hodnotách řádů 10⁻⁹ a 10⁻¹⁰ m.s⁻¹. Tyto výsledky charakterizují stavební směs jako nepropustné prostředí.

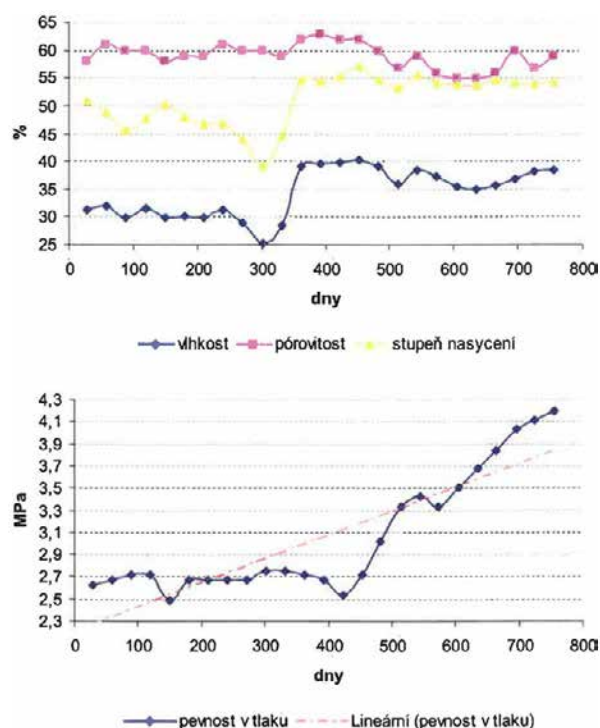
Přehled výsledků opět dokládá, že měřitelné obsahy prvků ve vyluzích byly průběžně zjišťovány pouze u prvků As, Ba a V. U dalších parametrů byly zjištěny koncentrace nad mezí

detekce pouze výjimečně a v hodnotách hluboko pod stanovenými limity pro daný parametr.

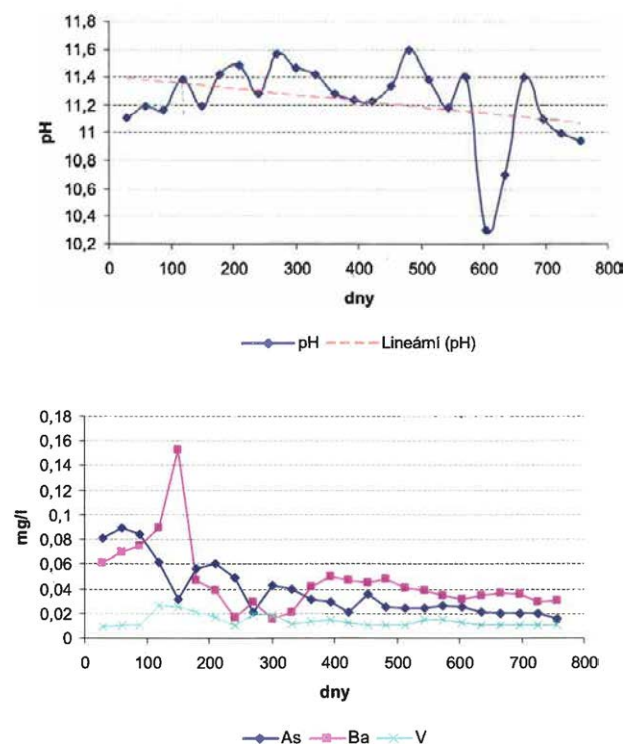
Koncentrace prvku **As** ve výluhu byla na počátku sledování zjištěna poměrně ve vysoké hodnotě 0,09 mg/l blíží se limitu pro tento prvek 0,1 mg/l. V čase pak již docházelo k postupnému snižování zjišťovaných koncentrací ve výluhu až na konečnou hodnotu cca 0,02 mg/l. Podobný trend postupného snižování hodnot koncentrací byl zaznamenán i u prvku **Ba**. Zjištěné hodnoty koncentrací však byly ve srovnání s limitem tohoto prvku poměrně nízké. U parametru **V** lze definovat po celé sledované období spíše vyrovnané hodnoty koncentrací

prvku ve výluzích v absolutní hodnotě cca 10x nižší než je limit pro tento prvek.

U parametru pH byly vlivem zásadité složky ve stavební směsi (REA produkt) zjištěny opět vysoké hodnoty nad 11. Postupné neutralizační procesy byly zaznamenány až v závěru dvouročního monitoringu, kdy hodnoty pH ve výluhu klesly pod úroveň 11.



Obrázek 5. Fyzikálně mechanické parametry K3



Obrázek 6. Zdravotně ekologické parametry K3

Rýha K4

Tato rýha byla naplněna stavební směsí s obsahem fluidního popílku z elektrárny United Energy a.s. **UE fluid 500 poměr F:L 60:40 % = 100,0 % hmot. bez přídavku pojiva**. Jedná se o směs fluidního popílku z látkových filtrů a ložového popela, v poměru 60:40, které byly produktem při režimu spalování s nastaveným odsiřovacím procesem ve vazbě na emisní limit 500 mg SO₃/m³.

Přestože se jedná o stavební směs vyrobenou ze stejných vstupních komponent jako stavební směs K1, tj. fluidní popílek a popel producenta United Energy a.s., pouze s rozdílem odlišného nastaveného emisního limitu pro SO₃, lze vysledovat určité odlišnosti ve vývoji sledovaných parametrů. Přirozená vlhkost w v dlouhodobé časové řadě byla opět ovlivněna zejména dílčími klimatickými vlivy a pohybovala se v rozmezí

hodnot 34,9 – 41,8 %. Stupeň nasycení S_r byl však ve srovnání se směsí K1 v absolutních hodnotách nižší cca o 5 % (průměrně kolem 48%). Naopak, logicky byla zjišťována vyšší hodnota parametru pórovitost n . V časové řadě bylo rovněž patrné snížení hodnot cca po 500 dnech od výroby, jež patrně souvisí s tvorbou solí v pórech stavební směsi. Snížení hodnot bylo ve srovnání se směsí K1 razantnější cca o 2 - 3%. Obdobný vývoj v časové řadě vykazoval i parametr zdánlivá hustota pevných částic ρ_s . Ve vazbě na vyšší hodnotu pórovitosti byly zjišťovány nižší objemové hmotnosti vlhké ρ , než u směsi K1 (cca o 50 kg.m⁻³). Nižší průměrná hodnota byla zjišťována i u parametru objemové hmotnosti suché ρ_d (cca 870 kg.m⁻³).

Parametr nasákavost W_{cm} , se pohyboval po celé sledované období v průměrné hodnotě 58%, která je ve srovnání se směsí K1 rovněž nižší, přestože směs K4 vykazuje vyšší hodnotu pórovitosti.

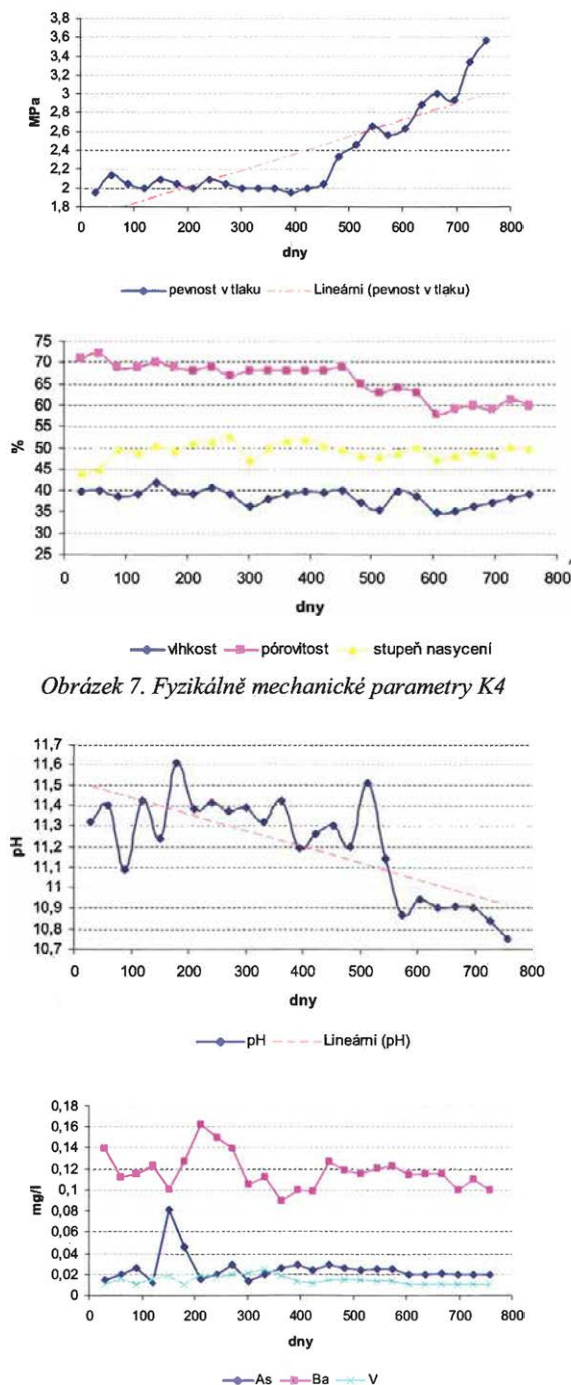
Největší rozdíl ve vývoji parametrů stavebních směsí K1 a K4 v časové řadě vykazoval průběh pevnosti v tlaku σ . Přestože by se dalo logicky předpokládat, že směs vyrobená z produktů po spalování vzniklých při nižším emisním limitu SO₃, tj. vyšší dávkování vápence do spalovacího procesu a tím větší přebytky volného CaO v produktech po spalování, bude vykazovat vyšší dosažené pevnosti, ve skutečnosti tomu tak nebylo. Výsledky pevnosti v tlaku směsi K4 byly od počátku monitorování prakticky neměnné (v absolutní hodnotě cca 2,0 MPa), teprve po 480 dnech od výroby byl zjištěn postupný nárůst pevnosti až ke konečné hodnotě 3,566 MPa. Analýzou vstupních komponent výroby stavebních směsí K1 a K4 bylo prokázáno, že obsah volného CaO byl naopak nepatrně nižší právě u směsi K4.

U zdravotně ekologických parametrů se vyskytovaly měřitelné koncentrace ve výluzech opět pouze u prvků As, Ba a V, nárazově těsně nad mezí detekce i u prvku Se.

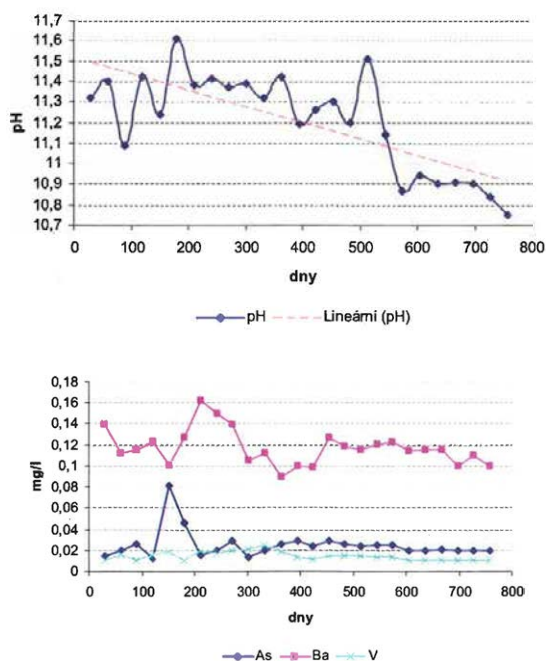
Ve srovnání s dosahovanými výsledky u směsi K1 lze charakterizovat prakticky totožný průběh u parametrů As a V. Rozdíl byl zachycen pouze ve zjišťování vyšších koncentrací ve výluzech prvku Ba, které se po celé dvouleté období pohybovaly v mezích 0,089 až 0,162 mg/l. Absolutní hodnoty měřitelných koncentrací u prvků As, Ba, V a nárazově Se byly opět hlu-

boko pod limity použité metodiky vyluhovatelnosti SZÚ (limit pro As 0,1 mg/l, pro Ba 1,0 mg/l, pro V 0,2 mg/l a pro Se 0,05 mg/l).

Hodnoty pH se opět pohybovaly ve vysokých hodnotách (nad 11), postupně byl zachycen klesající trend a ve srovnání s výsledky směsi K1 byla konečná hodnota pH na úrovni 10,75. Klesající závislost související opět s postupnou neutralizací je rovněž zachycena v grafickém zobrazení tohoto parametru (obr. č. 8) jako lineární regresní křivka.



Obrázek 7. Fyzikálně mechanické parametry K4



Obrázek 8. Zdravotně ekologické parametry K4

Rýha K5

Tato rýha byla naplněna stavební směsí, která obsahovala popílek z elektrárny Mělník, **EME = 98,0 % hmot. + CEM 32,5 ČÍŽ = 2,0 % hmot.**, ke klasickému popílku z práškového topeniště byl přidán cement jako hydraulické pojivo. Jako optimální byl na základě modelových zkoušek a chemického rozboru popela stanoven 2% přídavek cementu.

Jedná se o jedinou stavební směs, u které bylo použito jiné cementační aditivum, nepocházející ze spalovacích technologií. Cement pocházel z cementárny Čížkovice, třída 32,5. V porovnání se vzorky stavebních směsí na bázi fluidních popelovin se vyskytovaly u směsi z K5 nižší hodnoty přirozených vlhkostí w v dlouhodobé časové řadě. Kolísání hodnot vlhkosti se pohybovalo v rozmezí hodnot 24,3 – 34,9 %. Parametr stupeň nasycení S_r se v absolutní hodnotě první rok sledování pohyboval na úrovni cca 55 %, následně došlo ke zvýšení nasycenosti vodou cca o 5 % a konečná hodnota parametru dosahovala cca 60%.

Velmi vyrovnané hodnoty v dlouhodobé časové řadě byly zjištěny u parametru zdánlivá hustota pevných částic ρ_s , v absolutní hodnotě pak cca 2200 kg.m⁻³. Objemová hmotnost vlhká ρ vykazovala po celou dobu monitorovacích prací drobné kolísání hodnot v intervalu od 1241 do 1361 kg.m⁻³. Objemová hmotnost suchá ρ_d vykazovala hodnoty těsně nad úrovní 1000 kg.m⁻³, v závěru sledovaného období byl zachycen nepatrný pokles hodnoty cca o 40 kg.m⁻³.

Prakticky vyrovnané hodnoty po celé monitorovací období byly zjišťovány u parametru nasákavost W_{cm} , jehož průměrná hodnota byla na úrovni 60%.

Pevnost v tlaku σ vykazovala od počátku sledování poměrně vyrovnané hodnoty z intervalu pevností 1,9 – 2,2 MPa, postupný nárůst byl zaznamenán až od cca 450 dnů od výroby stavební směsi. Na konci monitorovací

ho období se pevnost v tlaku pohybovala v konečné hodnotě 3,3 MPa.

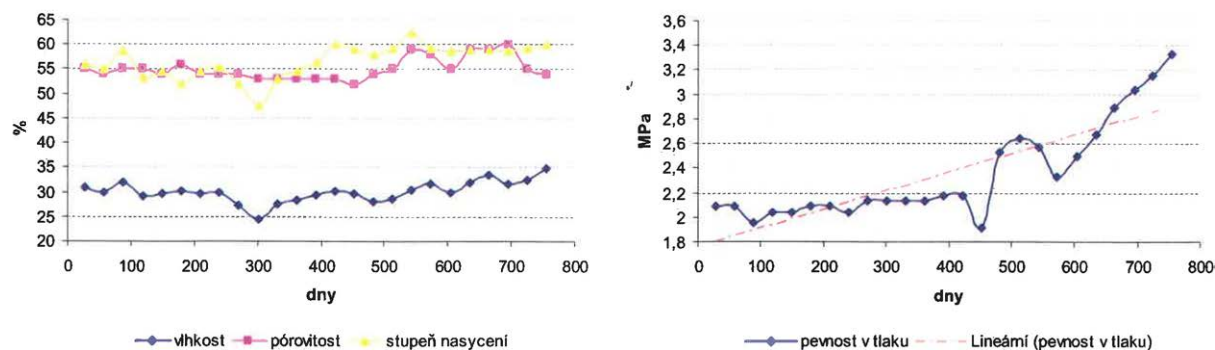
Hodnoty parametru vodopropustnosti – koeficientu filtrace k se opět pohybovaly v oblasti charakterizované jako nepropustné prostředí, tj. v řádu 10⁻⁹ m.s⁻¹ a níže.

Příznivým zjištěním testování vyluhovatelnosti u této stavební směsi bylo opět průběžné stanovování měřitelných koncentrací pouze u prvků **As**, **Ba** a **V**. Koncentrace ve výluhu těsně nad mezí detekce byly zjištěny také u prvků **Se** a **Be**. Ostatní sledované parametry nebyly v průběhu monitorování zjištěny v měřitelné koncentraci prvku ve výluhu.

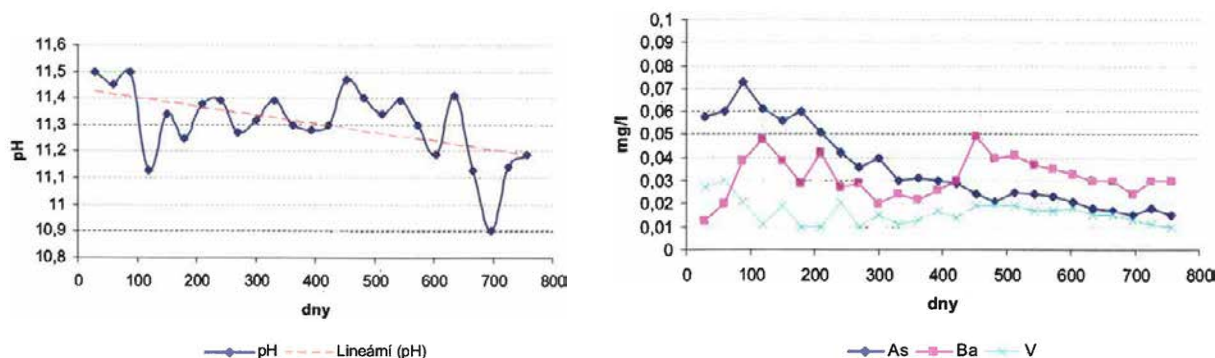
Pozitivní vývoj v časové řadě byl zaznamenán u prvku **As**, kdy po počátečním zjišťování koncentrace tohoto prvku ve výluhu v hodnotě cca 0,06 mg/l docházelo k postupnému snižování koncentračních úrovní až ke konečné hodnotě po 2 letech monitorovacích prací pod 0,02 mg/l. U parametru prvku **Ba** byly poměrně variabilní hodnoty koncentrací v úrovni cca 0,2 – 0,5 mg/l. Ke konci časového období sledování byl na základě hodnocení grafické závislosti zaznamenán postupný klesající trend zjišťovaných koncentrací tohoto prvku. U sledovaného prvku **V** je možno charakterizovat jen nepatrné postupné snižování koncentračních úrovní ve výluzích, v absolutních hodnotách se kolísání hodnot pohybovalo v intervalu koncentrací 0,01 - 0,02 mg/l.

Absolutní hodnoty měřitelných koncentrací u prvků **As**, **Ba** a **V**, včetně nárazových zjištění koncentrací prvků **Se** a **Be** byly opět pod limity použité metodiky vyluhovatelnosti SZÚ.

Přídavek cementu do stavební směsi se projevil podobně jako obsah volného CaO ve fluidních produktech spalování a absolutní hodnoty pH se rovněž pohybovaly ve vysokých úrovních nad 11. Protože se opět jednalo o stavební směs vyrobenou z fluidního popílku s obsahem volného vápna CaO, hodnota pH výluhu dosahovala vysokých hodnot v úrovni nad 11. V dlouhodobé časové řadě je opět patrný mírný pokles hodnot tohoto parametru.



Obrázek 9. Fyzikálně mechanické parametry K5



Obrázek 10. Zdravotně ekologické parametry K5

Rýha K6

Tato rýha byla naplněna stavební směsí, která obsahovala fluidní popílek z elektrárny Ledvice, **ELE fluid = 100 % hmot. bez přídatku pojiva.**

Fyzikální parametr přirozená vlhkost w se pohyboval po celé sledované období v poměrně vyrovnaných hodnotách okolo 40 %, což je typická hodnota pro většinu směsí na bázi fluidních popelů. Obecně se dá charakterizovat, že tato směs byla vzhledem k přirozené vlhkosti postižena klimatickými podmínkami jen velmi nepatrně. Prakticky totožný vývoj byl zachycen u parametru stupeň nasycení S_r . Celkově se tento v absolutních hodnotách pohyboval na poměrně nízké úrovni okolo 35 %. Avšak pórovitost se u této stavební směsi pohybovala ve vysokých hodnotách, téměř 80%. Toto mělo souvislost zejména se zjištěnou vysokou hodnotou parametru zdánlivá hustota pevných částic ρ_s (cca 2850 kg.m⁻³). V závěru sledování došlo k poklesu pórovitosti o cca 10 %, což patrně souvisí opět s tvorbou solí v pórech stavební směsi. Parametr zdánlivá hustota pevných částic ρ_s byl

od počátku sledování prakticky neměnný. Objemová hmotnost vlhká ρ vykazovala kolísání hodnot v poměrně širším intervalu mezi 851 a 1049 kg.m⁻³, průměrná hodnota objemové hmotnosti suché ρ_d se pohybovala na úrovni 700 kg.m⁻³ a její vývoj v čase lze charakterizovat jako mírně rostoucí.

Hodnoty parametru nasákavost W_{cm} se pohybovaly cca 10 % nad hodnotami přirozené vlhkosti, tj. cca na úrovni 50 % a vlastní vývoj v dlouhodobé časové řadě lze hodnotit jako vyrovnaný a neměnný.

Pevnost v tlaku σ vykazovala od počátku sledování poměrně nízké a relativně vyrovnané hodnoty cca 2 MPa. Ke skokovému zvýšení pevnosti v tlaku došlo cca 450 dnů od výroby stavební směsi, kdy na konci monitorovacího období se pevnost v tlaku pohybovala v konečné hodnotě těsně nad hranicí 3 MPa.

Podobně jako u předcházejících vzorků stavebních směsí bylo testováním vodopropustnosti zjištěno, že se koeficienty filtrace

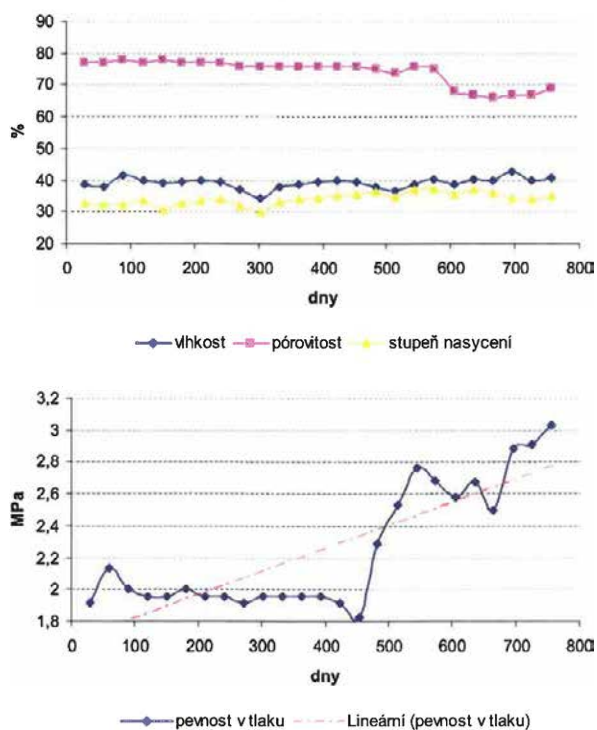
k pohybovaly v hodnotách řádů 10^{-9} a 10^{-10} m.s⁻¹. Tyto výsledky charakterizují stavební směs opět jako nepropustné prostředí.

Analýzou tabulkových přehledů s výsledky chemických rozborů bylo zjištěno podobně jako u předcházejících vzorků stavebních směsí, že průběžně měřitelné jsou koncentrace 3 hlavních prvků **As**, **Ba** a **V**. U dalších parametrů se objevovaly koncentrace nad mezí detekce pouze výjimečně u prvků **Ni** a **Se** a v hodnotách hluboko pod stanovenými limity pro daný parametr.

Koncentrace prvku **As** ve výluhu byla na počátku sledování zjištěna v relativně zanedbatelné koncentraci 0,003 mg/l. V časové řadě do cca 150 dnů od výroby však byl zjištěn nárůst vyluhovaných koncentrací **As** až k hodnotě 0,060 mg/l. Poté docházelo už pouze k pozvolnému snižování až na konečnou hodnotu

tu cca 0,015 mg/l. Absolutní hodnoty koncentrací prvku **Ba** se pohybovaly z počátečních úrovní cca 0,160 mg/l postupně až na konečnou úroveň 0,100 mg/l. U parametru **V** lze definovat rovněž pokles hodnot koncentrací v dlouhodobé časové řadě, a to od velikosti parametru 0,088 mg/l až nekonečnou hodnotu koncentrace prvku ve výluhu 0,005 mg/l. Všechny sledované koncentrace prvků ve výluzích pak byly výrazně pod limitem vyluhovatelnosti dle metodiky SZÚ.

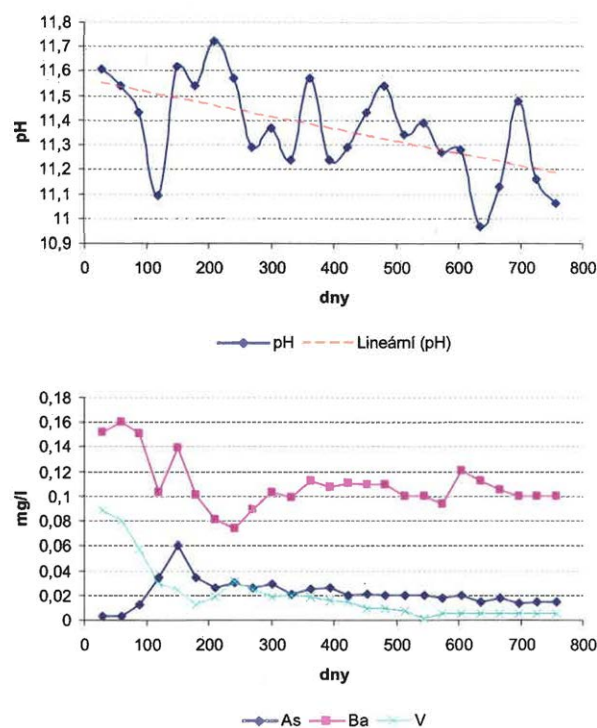
Opět se jednalo o stavební směs vyrobenou z fluidního popílku s obsahem volného vápna CaO, proto hodnota pH výluhu dosahovala vysokých hodnot v úrovni nad 11. V grafickém zobrazení tohoto parametru (obr. č. 12) je zanesena lineární regresní křivka, která přes vysokou variabilitu zjišťovaných hodnot pH dokumentuje mírný pokles hodnot v časové řadě.



Obrázek 11. Fyzikálně mechanické parametry K5

Závěr

Z celého průběhu základního testování vstupních komponent výroby stavebních směsí, modelových prací, výroby vzorků reálných stavebních směsí a následného dlouhodobého monitoringu fyzikálně mechanických a zdravotně-



Obrázek 12. Zdravotně ekologické parametry K5

ekologických parametrů v poloprovozním režimu vyplývají následující skutečnosti:

- vlastnosti vstupních komponent výroby stavebních směsí mají výrazný vliv na kvalitu a vlastnosti konečných výrobků, přestože lze vstupní paliva - uhelnou hmotu (hnědé uhlí) - považovat za kvalitativně stálá

- na kvalitu vstupních komponent má výrazný vliv i technologie spalování uhelné hmoty a procesy odsíření, rozdílné výsledky jsou zaznamenány i při různých režimech spalování ve stejném technologickém zařízení
- modelové zkoušky výroby stavebních směsí potvrdily široké možnosti různých kombinací receptur pro výrobu stavebních směsí použitím různých poměrů produktů po spalování a odsíření včetně použití dalších aditiv (zejména cementu a vápna)
- různými kombinacemi vstupních komponent a jejich vzájemných poměrů lze dosáhnout kvalitativně lepších vlastností, překážkou pro současnou reálnou praxi je pak zejména vzájemná dostupnost těchto vstupních komponent příp. vyšší cenové hledisko při použití většího objemu dalších aditiv (cementu, vápna apod.)
- čerstvě vyrobené typy reálných stavebních směsí ve formě kompozitních suspenzí vykazují dle stanovené receptury optimální tekutou konzistenci odpovídající technologickému využití tohoto materiálu
- zkoušky pevnosti v tlaku krychelné dokladují splnění parametrů na mechanickou odolnost materiálu, tj. splnění konstantního nebo vzrůstajícího trendu pevnosti při působení okolních vlivů prostředí v dlouhodobé časové řadě
- z výsledků fyzikálních vlastností vyplývá, že různé typy stavebních směsí mají různou odolnost vůči působení vlivů okolního prostředí, tzn. že hodnoty jejich fyzikálních vlastností více či méně kolísají okolo rovnovážného stavu nebo v dlouhodobější časové řadě dochází k určitým menším změnám některých parametrů. Avšak, jak bylo deklarováno výše, bez výrazného vlivu na mechanickou odolnost a trvanlivost vyrobených materiálů
- zjištěná hodnota parametru vodopropustnosti (koeficient filtrace) se u všech vyrobených stavebních směsí pohybovala velmi příznivě v oblasti $k \leq 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$, tzn. hodnocení prostředí jako nepropustného materiálu
- zdravotně-ekologická hlediska, tj. vyluhovatelnost dle metodiky SZÚ, dokladují splnění příslušných kritérií a zjištěné hodnoty sledovaných parametrů se pohybují pod jejich stanovenými závaznými limity
- během monitorování se tak nepotvrdilo možné výrazné ovlivnění kvality okolního prostředí, zejména prvky, které byly stanoveny u jednotlivých stavebních směsí při metodice vyluhovatelnosti dle SZÚ. Na základě dosavadních rozborů je možné konstatovat, že ohrožení životního prostředí chemickými polutanty je minimální, stavební směsi splňují parametry dané platnými právními předpisy
- hodnoty pH výluhů jsou u sledovaných směsí v porovnání s betonem na stejné nebo mírně vyšší úrovni, vzhledem k jejich malé propustnosti nelze vysoké pH charakterizovat jako nepříznivý stav

Literatura:

- [1] SCHMIDT, P., Výsledky komplexního testování paliv, produktů po spalování a z odsíření, *dílčí technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 176/05*, Most 2005
- [2] SCHMIDT, P., Výsledky prvotních ověřovacích zkoušek vzorků stavebních směsí, *dílčí technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 156/07*, Most 2007
- [3] SCHMIDT, P., Průběžné výsledky dlouhodobého monitoringu vzorků stavebních směsí, *technická zpráva VÚHU a.s., č. AZL 157/07*, Most 2007