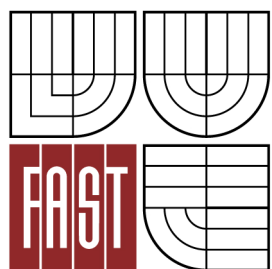




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

NÁVRHOVÉ PARAMETRY FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ PRO DOMOVNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

DESIGN PARAMETERS OF FILTRATION MATERIALS FOR SMALL CONSTRUCTED
WETLANDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tereza Fialová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tereza Fialová
Název	Návrhové parametry filtračních materiálů pro domovní kořenové čistírny odpadních vod
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum bakalářské práce	zadání 30. 11. 2011
Datum bakalářské práce	odevzdání 25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- 1) ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, Praha 2006, 283 s., ISBN 80-86769-74-7
- 2) ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P.: Přírodní čištění a využívání vody Brno: ERA, 115 s. ISBN 978-80-7366-125-0
- 3) MLEJNSKÁ, E., ROZKOŠNÝ, M., BAUDIŠOVÁ, D., VÁŇA, M., WANNER, F., KUČERA, J.: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod, VUV TGM v.v.i, Praha, 2009, 118s.

Zásady pro vypracování

Práce bude z větší části koncipována jako literární rešerše, zaměřená na tematiku zemních filtrů a filtračních náplní kořenových čistíren odpadních vod. Praktická část bude zaměřena na laboratorní měření - vyhodnocení vybraných základních fyzikálních vlastností. Zpracovány budou výsledky z výluhů, stanovující zejména těžké kovy uvolňované z netradičních filtračních materiálů.

Předeepsané přílohy

.....

Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Kořenové čistírny odpadních vod a zemní filtry jsou zařízení, používající pro čištění odpadních vod filtrační materiál, který je ve většině případů tvořen přirozeným říčním štěrkem, hrubým pískem, popřípadě drceným kamenivem.

Bakalářská práce se zabývá výzkumem netradičních filtračních materiálů, resp. testováním, které prokáže jejich možnost použití, jako alternativního média, které zajistí lepší čistící účinek. Pro výzkumné práce byly použity materiály z metalurgického průmyslu: struska, odpad z cipres filtru, odpad z formovací směsi, velkých tryskačů, malých tryskačů, písčité filtrační materiál ČEZ, hrubá drcená struska 8-16mm a jako poslední alternativa mletá kávová zrna. Všechny materiály byly testovány jak po hydraulické, tak po chemické stránce (kromě posledního jmenovaného). Z hydraulických parametrů se jedná zejména o pórovitost, hydraulickou vodivost, objemovou hmotnost, měrnou hmotnost, chemické složení a koncentrace chemických výluhů. Vyhodnocením výsledků z měření se určí, které materiály jsou pro aplikaci v rámci kořenových čistíren a zemních filtrů vhodné a které ne. Testování bude pokračovat i v budoucnu v provozních podmínkách na vybrané kořenové čistírně, jednotlivé filtrační kolony (vybrané dle výsledků dosavadního měření) budou zatíženy reálnou odpadní vodou.

Abstract

Constructed wetlands and the soil filters are water treatment devices using the filter material that in most cases consists of natural river gravel, coarse sand or crushed stone. This thesis deals with the research of unconventional filtration materials, or more precisely with examination of their ability to be used as an alternative medium that can ensure better cleaning effect. For the research work following metallurgical industry materials were used: slag, waste from cipres filter, waste from the molding mixture, waste from large blasters and small blasters, sand filter material ČEZ, the coarse crushed slag 8-16 mm and as the last alternative medium ground coffee beans. Both the hydraulic and the chemical aspect of all above mentioned materials were tested (except of the last mentioned). The examined hydraulic parameters are particularly porosity, hydraulic conductivity, bulk density, particle density, chemical composition and concentration of chemical extracts. By evaluating the results of the measurements it is determined which materials are suitable to be applied in the constructed wetlands and the soil filters. In future the testing will continue under real operating conditions in the constructed wetland, where particular column filtration units (selected according to results of previous measurement) will treat real sewage water.

Klíčová slova

kořenová čistírna odpadních vod, zemní filtr, filtrační materiál

Keyword

Small constructed wetlands, sand filter, filtration material

Bibliografická citace

FIALOVÁ, Tereza. *Návrhové parametry filtračních materiálů pro domovní kořenové čistírny odpadních vod*. Brno, 2012. 69 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 15.5.2012

.....

podpis autora

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23.5.2012

.....
podpis autora

Tereza Fialová

Poděkování

Děkuji zejména mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Kriškovi PhD., za ochotu, trpělivost a obětavou pomoc při zpracování bakalářské práce a panu Ing. Šeligovi z firmy FERAMO za cenné informace o zkoumaných materiálech a jejich výrobě.

V Brně dne 15.5.2012

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod a cíle	3
2	Kořenové čistírny odpadních vod	4
3	Filtrační materiály	6
4	Metodika výzkumu.....	8
4.1	Pracovní postup.....	8
4.1.1	Objemová hmotnost.....	8
4.1.2	Měrná hmotnost.....	9
4.1.3	Pórovitost.....	11
4.1.4	Hydraulická vodivost.....	12
4.2	Stanovení chemických výluhů	15
4.2.1	Vliv na životní prostředí stanovovaných chem.prvků.....	15
4.3	Filtrační materiály	20
4.3.1	Vysokopeční struska.....	20
4.3.2	Cipres filtr.....	21
4.3.3	Formovací směs	23
4.3.4	Směs z tryskání – velké tryskače a malé tryskače	25
4.3.5	Struska 8 – 16 mm (Dekonta).....	26
4.3.6	Filtrační materiál ČEZ.....	27
4.3.7	Mletá zrna kávy	27
5	Vyhodnocení výsledků.....	29
5.1	Výsledky laboratorního měření	29
5.1.1	Měření objemové hmotnosti.....	29
5.1.2	Měření měrné hmotnosti.....	30
5.1.3	Měření pórovitosti	31
5.1.4	Měření hydraulické vodivosti.....	32
5.2	Stanovení výluhů kovů v destilované vodě	35
5.2.1	Filtrační materiál Č.1-Cipres filtr	38
5.2.2	Filtrační materiál č.2-Malé tryskače	43

5.2.3	Filtrační materiál č.3 - Formovací směs	46
5.2.4	Filtrační materiál č.4 – Velké tryskače	51
5.2.5	Filtrační materiál č.5 - Struska	55
6	Diskuze výsledků	59
7	Závěr.....	64
8	Použitá literatura	65
	Seznam obrázků.....	67
	Seznam TABULEK.....	69
9	Příloha 1 – průmyslový vzor	70
9.1	Podrobný teoretický popis předmětu	70
9.2	Podrobný technický popis.....	70
9.3	Praktický popis předmětu a aplikační možnosti předmětu	71
10	Příloha 2 – Formulář pro zpracování hydraulické vodivosti	78

1 ÚVOD A CÍLE

Kořenové čistírny odpadních vod, také nazývané „vegetační kořenové čistírny“, patří k nejvíce rozšířeným typům přírodních způsobů čištění odpadních vod v České republice. V období 1989 až 2008 jich bylo postaveno přibližně 250, a to pro čištění vod ze zdrojů od několika EO do 1000 EO. Obecně se tyto čistírny řadí také mezi „umělé mokřady“ [1].

Proto, aby se technologicky posunuly přírodní způsoby čištění odpadních vod dále, resp. aby se nepoužívaly postupy, stejné jako před 20 lety, je potřeba zabývat se inovativními přístupy. Jedním z nich je použití netradičních filtračních materiálů místo dosud používaných filtračních náplní zemních filtrů a kořenových čistíren odpadních vod. Představa nových generací kořenových čistíren a zemních filtrů je taková, že při použití filtračních náplní s vyšší sorpční kapacitou lze dosáhnout vyšší čistící účinnosti ve vybraných parametrech, sledovaných na odtoku z čistírenského zařízení.

Cíle práce jsou tedy zřejmé – je potřeba ověřit, zda je možné použít vybrané alternativní materiály jako filtrační náplň pro čištění odpadní vody. Použitelnost bude testována jak po hydraulické stránce, tak po stránce chemické. Výběr materiálu bude zaměřen na hutní průmysl, při kterém vzniká množství zrnitých odpadů, které jsou dále likvidovány na skládkách. Pokud by se v budoucnu prokázalo pozitivní ovlivnění koncentrací znečištění v odpadní vodě při průtoku takovým materiálem, bylo by možné uvažovat o zavedení do praxe.

Před samotným pozorováním sorpčních charakteristik je nutné stanovit základní hydraulické parametry filtračního materiálu, aby se zabránilo špatnému výběru po hydraulické stránce. Problematika bude zaměřena na stanovení parametrů, určujících a ovlivňujících tok odpadní vody ve filtračním prostředí. Jednat se bude zejména o pórovitost a hydraulickou vodivost, doplněnou objemovou a měrnou hmotností. Chemické charakteristiky budou sledovat koncentrace výluhů těžkých kovů z odpadních materiálů. Výsledky z chemických výluhů určí, zda je možné použít dané materiály pro čištění přítomné odpadní vody či nikoliv.

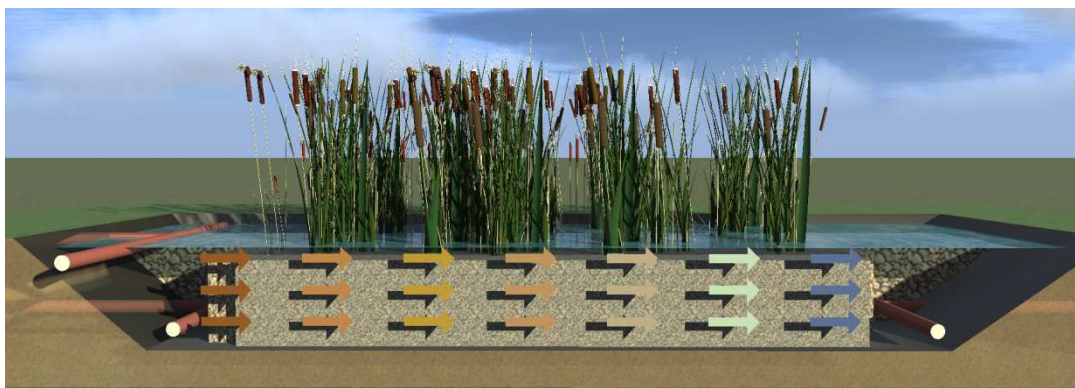
2 KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Kořenové čistírny fungují na principu přirozených mokřadů. Tyto přírodní systémy jsou založeny na mechanických, fyzikálně-chemických a biologických procesech, které probíhají ve filtrační vrstvě za spolupůsobení rostlin a mikroorganismů [2]. Čištění vod probíhá filtrací přes kořenová pole, jež jsou vyplněna filtračním materiálem a pracují na principu biologické filtrace vody. Jde tedy o speciální typ biofiltrů s výsadbou mokřadních rostlin. Nejčastěji jsou kořenové čistírny řešeny jako rostlinami osázené mělké nádrže se šterkovou náplní různých frakcí.

Z hlediska průtoků rozdělujeme kořenové čistírny na:

- kontinuální a diskontinuální,
- podpovrchové nebo povrchové,
- horizontální nebo vertikální.

Prakticky všechny kořenové čistírny v ČR byly a doposud jsou navrhovány jako čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem a vhodným mechanickým předčištěním. Praxe ukazuje, že pro podmínky mírného klimatu vykazuje tato kombinace nespolehlivých odtokových parametrů, proto je v současné době řešeno několik výzkumných projektů, zabývajících se možnostmi zlepšení čistící účinnosti kořenových čistíren a zemních filtrů.



Obr.2-1 Schéma VKČ protékané horizontálně

Kořenové čistírny využívají schopnosti porézního prostředí zeminy či podobného materiálu podporovat fyzikální, chemické a biologické procesy probíhající při odstraňování znečištění. Stejně jako v biofiltru hraje hlavní roli společenstvo mikroorganismů, žijící na povrchu náplně a rozkládající organické znečištění.

Filtrační kořenové pole je zařízení pro pomalou biologickou filtraci odpadní vody předčištěné v hrubém předčištění (česle, lapák písku) a v septiku (pro menší producenty), zemní usazovací nebo šterbinové nádrži.

Může též sloužit k dočišťování odtoku z klasické mechanicko-biologické čistírny. Kořenová čistírna s horizontálním podpovrchovým prouděním musí mít rozvodnou a

sběrnou zónu. Výška filtrační náplně se navrhuje v rozmezí 0,6 až 1,0 m podle místních klimatických podmínek. Její zrnitost závisí na hydraulickém zatížení a složení odpadních vod. Při jednostupňovém uspořádání se používá nejčastěji oblé říční kamenivo frakce 4-8 mm, při kaskádovém uspořádání je vhodné u prvního stupně volit zrnitost větší (8-16mm). Náplň filtru musí být mrazuvzdorná, nesmí se rozplavovat a nesmí negativně ovlivňovat čištění odpadní vody.

Těleso vegetační kořenové čistírny musí být od okolního terénu vodotěsně odděleno (používají se PE fólie, kaučukové fólie, vrstva jílového těsnění). Nesmí docházet ke styku čištěných odpadních vod s vodou podzemní.

K osázení filtračního pole se používají mokřadní rostliny, vysazuje se 4-6 sazenic na 1 m².

Kořenová pole jsou vhodná pro čištění běžných a zředěných mechanicky předčištěných odpadních vod. V žádném případě se nehodí k čištění zvláštních odpadních vod s velkým množstvím obtížně usaditelných kalů a organického znečištění, jako jsou odpadní vody z různých potravinářských výrob. Takové vody způsobují rychlé zanesení filtračního materiálu[1].

K výhodám kořenových čistíren patří, že pro svůj provoz nevyžadují elektrickou energii, mají minimální nároky na speciální vybavení a technologie a to znamená, že jejich obsluha je jednodušší, stavební provedení je poměrně jednoduché, snesou výkyvy v hydraulickém i látkovém zatížení, proto jsou vhodné i pro rekreační zařízení s přerušovaným provozem a pro zředěné odpadní vody. Při správném a citlivém návrhu zapadají dobře do krajiny. Čistící efekt je srovnatelný s klasickými biologickými čistírnami. Dosahují velkého snížení mikrobiální zátěže odpadních vod. Jsou vhodné i pro čištění organicky nízkozatěžovaných odpadních vod, které není možno čistit klasickými způsoby ($BSK_5 < 30 \text{ mg/l}$). Mají menší nebo srovnatelné investiční náklady než klasické čistírny, ale běžně nižší provozní náklady, navíc může být jejich stavba řešená po etapách [4].

Hlavní nevýhodou těchto systémů je, že biologické procesy čištění probíhají poměrně pomalu, z toho plyne větší nárok na plochu, částečná závislost čistícího účinku na klimatických podmínkách, omezená možnost realizace ve vztahu k počtu napojených obyvatel, možnost zakolmatování filtračního prostředí. Další nevýhodou jsou slabší, resp. obtížněji garantovatelné účinky čištění u ukazatelů amoniakální dusík a fosfor a technologická neovladatelnost extenzivního procesu[4]. Tyto systémy nejsou vhodné pro odpadní vody extrémně zatížené jednoruhovým odpadem (kejda, močůvka apod.). A v neposlední řadě může docházet ke kontaminaci okolní půdy, podzemních a povrchových vod v důsledku neodborného vyhotovení.

3 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

Výběr vhodného filtračního materiálu rozhoduje do značné míry o výsledném čistícím účinku půdních filtrů. Filtrační náplň vytváří prostředí pro výsadbu a zakořenění rostlin, život mikroorganismů, zachycuje suspendované látky a sorbuje část mineralizovaných látek. Pro správný výběr jsou rozhodující následující vlastnosti:

- zrnitostní složení, struktura a textura zrn, vodostálost a mrazuvzdornost materiálu,
- chemické složení, zejména obsah železa, manganu a hliníku,
- hydraulická vodivost, pórovitost, měrná a objemová hmotnost,
- dostupnost materiálu, jeho cena, transportní vzdálenost [5],
- obsah jemných vyplavitelných minerálních částic a organických příměsí,
- schopnost poutat nutrienty a toxické látky [6],
- stanovení průběhu kolmatace.

Podle fyzikálních a chemických vlastností je možné rozdělit filtrační materiál půdních filtrů do následujících skupin:

- minerální filtrační materiál charakteru přírodního a drceného drobného štěrku a písku,
- tříděný minerální filtrační materiál s upravenými sorpčními vlastnostmi,
- umělé materiály s přesně definovatelnými sorpčními vlastnostmi, přirozené a umělé organické materiály,
- umělé plastové materiály upraveného tvaru a určitých vlastností [8].

Až do poloviny 80. let 20. stol. se používaly pro půdní filtry především materiály zemní a jílovité, které měly velmi dobrou filtrační a čistící schopnost. Jejich hydraulická vodivost však byla příliš nízká (většinou $\leq 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$). Vzhledem ke skutečnosti, že hydraulická vodivost je nezbytnou podmínkou pro dobrou funkci čistícího filtru, bylo nutno přikročit k používání zrnitějších materiálů – především se začal využívat štěrk a písek [7].

V současnosti se jako nejvhodnější filtrační materiály doporučují plavené říční štěrkopísky s oválnými zrny, drcené lomové kamenivo, materiály s upravenými sorpčními vlastnostmi apod. [6]. Zrnitostní frakce využitelné pro filtry jsou 0 - 4, 4 - 8, 8 - 16, 16 - 32, 32 - 63 a 63 - 125 mm. Nejjemnější frakce se používají v minimálním rozsahu, převládají frakce 4 až 8 mm, střední frakce jsou vhodné na přechodové filtry a hrubé frakce na rozdělovací pásy [5].

Před výběrem filtračního materiálu pro půdní filtry je potřeba stanovit jeho vlastnosti. K základním rozborům patří stanovení zrnitostního složení podle ČSN EN 933-1 (sítový rozbor), stanovení geometrických vlastností kameniva podle ČSN EN 933-3, stanovení měrné hmotnosti, objemové hmotnosti a pórovitosti podle ČSN EN 1936, zkouška odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání podle ČSN EN 1367 a zejména stanovení hydraulické vodivosti K_f . Zvláštní pozornost je třeba věnovat také sorpčním vlastnostem filtračního materiálu a případnému obsahu toxických látek [6].

Pro účely výzkumu jsem vybrala několik filtračních materiálů, z nichž všechny pochází z hutního průmyslu, resp. jednotlivých technologií výroby železa.

4 METODIKA VÝZKUMU

Rozdělení metodiky výzkumu jsem provedla dle následujícího:

1. Pracovní postup – zahrnující postup měření základních hydraulických charakteristik
2. Chemické výluhy - zaměřené na popis jednotlivých prvků, které byly stanovovány v pozorovaných filtračních materiálech
3. Filtrační materiály – popisující vybrané netradiční filtrační materiály

Z důvodu nedostatečného časového prostoru byly prováděny pokusy v laboratoři Ústavu vodního hospodářství krajiny souběžně se stanovením výluhů z filtračních materiálů, které bylo řešeno ve spolupráci s akreditovanou laboratoří VUV TGM v.v.i., pobočka Brno.

4.1 PRACOVNÍ POSTUP

Laboratorní práce byla rozdělena na několik částí, prováděných od nejnáze proveditelných, až po dlouhodobé pozorování. Zkoumané vzorky filtračních materiálů byly rozděleny dle požadovaného objemu nebo hmotnosti. Zpracovány byly charakteristiky: objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost a hydraulická vodivost

4.1.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost půdy je hmotnost objemové jednotky v neporušeném stavu, tj. s póry vyplněnými aktuálním obsahem vody a vzduchu. Její hodnota závisí na měrné hmotnosti, na podílu pórů a míře jejich zaplnění vodou. Jedná se o hodnotu nestálou, která se mění v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě [9]. Výpočet objemové hmotnosti se provádí podle rovnice 4-1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4-1)$$

kde je:

ρ objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]

m hmotnost přirozeně vlhkého vzorku [g]

V objem přirozeně vlhkého vzorku [cm^3]

Podstatou měření objemové hmotnosti je určení hmotnosti objemové jednotky zeminy, která se stanoví, jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu. V laboratoři se stanovuje gravimetricky z neporušených půdních vzorků odebraných pomocí Kopeckého válečků o známém objemu [9].

Kromě objemové hmotnosti přirozeně vlhké zeminy se stanovuje také tzv. objemová hmotnost redukováná, která vypovídá o stálé charakteristice půdy. Jedná se o podíl zeminy

vysušené při 105 °C a jejího původního objemu v rostlém stavu. Její hodnota se určuje podle rovnice 4-2[10].

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad (4-2)$$

kde je:

- ρ_d redukována objemová hmotnost [g.cm⁻³]
 m_d hmotnost pevných částic vysušené zeminy [g]
 V objem přirozeně vlhkého vzorku [cm³] [11]

Potřebná zařízení

- Kopeckého váleček o obsahu 100 cm³ (výška válečku 4 až 5 cm) a souprava k odběru vzorků do válečků. Kopeckého váleček o objemu 100 cm³ je použitelný u materiálu, jako je zemina a jemný písek. Pro měření objemové hmotnosti hrubozrnnějších materiálů je vhodnější použít větší válečky, protože se tímto eliminuje chyba měření, která vzniká v důsledku toho, že uložení materiálu při stěnách válečku je jiné, než v části stěnami neovlivněné.
- Váhy s přesností 0,01 g

Pracovní postup

Vzorek půdy ve válečku odebraný v neporušené struktuře se po přinesení do laboratoře ihned zváží na síťce a na hodinovém sklíčku. Potom se vzorek na válečku nechá vysušit při teplotě 105°C do ustálení hmotnosti, nechá se vychladnout v exsikátoru a zváží se[12].

4.1.2 Měrná hmotnost

Měrná hmotnost zeminy udává poměr hmotnosti jednotlivých pevných částic zeminy vysušené při teplotě 105 – 110 °C k jejich objemu. Výpočet se provádí dle následující rovnice 4-3 a 4-4

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_s} \quad (4-3)$$

kde je:

- ρ_s měrná hmotnost zeminy[g.cm⁻³]
 m_d hmotnost pevných částic vysušené zeminy [g]
 V_s objem pevných částic [cm³] [11]

nebo

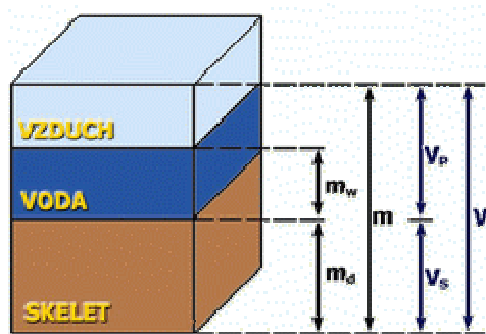
$$\rho_s = \frac{m_d}{m_v} = \frac{m_d}{m_d + m_1 - m_2} \quad (4-4)$$

m_d	hmotnost sušiny (vysušeného vzorku zeminy při 105° C)	[g]
m_1	hmotnost pyknometru naplněného vodou	[g]
m_2	hmotnost pyknometru se vzorkem a doplněného vodou	[g]
m_v	hmotnost vody vytlačené zeminou	[g]

Předpokládáme, že objem vytlačené vody v cm^3 se číselně rovná hmotnosti vytlačené vody v g.

Výsledek se udává s přesností $0,01 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Doporučuje se provést dva rozборы ze stejné zeminy souběžně. Rozdíl jejich výsledků nemá být větší než $0,02 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Výsledná měrná hmotnost je pak průměrná hmotnost obou výsledků. Měřené výsledky se zapisují do formuláře, kde se také provede výpočet.

Objem pevné části je rozdíl mezi zdánlivým objemem zkušebního tělesa a objemem dutin[12].



Obr.4-1 Schéma značení veličin [11]

Měrná hmotnost závisí na obsahu organických látek a minerálů s různou hustotou. Průměrná měrná hmotnost půdy se udává hodnotou $2,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, tedy hodnotou blízkou hustotě křemičitanů, které jsou v půdě nejvíce zastoupeny. Tuto hodnotu snižuje větší obsah humusu, naopak ji zvyšuje obsah těžkých minerálů. Měrná hmotnost je potřebná k výpočtu pórovitosti [9]. Zjišťuje se pyknometricky – hmotnost pevných částic zeminy se zjistí vážením a objem se určí jako objem vytlačené kapaliny [10].

Orientační hodnoty měrné a objemové hmotnosti pro některé zeminy uvádí tabulka 3-1.

Tab. 4-1 Orientační hodnoty měrné a objemové hmotnosti některých zemín [14]

Zemina	měrná hmotnost	objemová hmotnost
	g.cm ⁻³	
Štěrk a písky	2,65	2,0 - 2,2
Prachovité písky, písčité hlíny	2,67	1,9 - 2,1
Prachovité hlíny	2,70	1,9 - 2,1
Jíly	2,75	2,1 - 2,2

Potřebná zařízení

- Pyknometr se širokým hrdlem a zátkou o obsahu 100 cm³ nebo 1000 cm³
- Váhy s přesností 0,01 g
- Převařená destilovaná voda

Pracovní postup

Navážíme 10 g vysušeného průměrného vzorku materiálu a v malé porcelánové misce přelijeme destilovanou vodou tak, aby materiál byl ponořen pod hladinou asi 0,5 cm. Za stálého míchání vaříme 5 minut, aby se z materiálu vypudil vzduch.

Mezitím naplníme pyknometr až po hrdlo převařenou destilovanou vodou a na vodní lázni jej temperujeme na 20°C. Po ustálení teploty dolijeme do pyknometru převařenou vodu teplou 20°C, zátku necháme volně zapadnout do hrdla, pyknometr vyjmeme, osušíme, a když jsme se přesvědčili, že pod zátkou není bublina, zvážíme.

Voda z pyknometru se vylije a do pyknometru se nalije a sestříknepomocí širokohrdlé nálevky rozvařená suspenze. Do nálevky se doporučuje vsunout drátek, který snadno uvolní hrdlo nálevky v případě jeho ucpání zeminou. Vzhledem k malému obsahu pyknometru je třeba úsporně hospodařit vodou při splachování všech použitých potřeb.

Pyknometr doplníme převařenou destilovanou vodou po hrdlo a opět temperujeme na 20°C, po dalším doplnění uzavřeme zátku, osušíme a zvážíme. Výhodné je provádět toto stanovení v klimatizovaném prostoru.

Tento postup použijeme u jemných písků. K stanovení měrné hmotnosti kameniva 4 ~ 16 mm použijeme velkoobjemové pyknometry o obsahu 1000 cm³[12].

4.1.3 Pórovitost

Pórovitost půdy je vedle struktury hlavním znakem prostorového uspořádání půdy jako třífázového systému. Půda není hmotou kompaktní, ale pórovitou (porézní), neboť mezi pevnými částicemi půdy a jejich shluky (agregáty) jsou volné prostory – půdní póry. Jsou to cesty, kterými vnikají do půdy faktory vnějšího prostředí (voda a vzduch), které

vyvolávají v půdním těle pochody zvětrávací a půdotvorné, umožňují pronikání kořenů rostlin do půdy a pohyb edafonu i cirkulaci roztoků a plynů v půdě. V pórech se uskutečňují nejdůležitější dynamické děje, probíhají tu látkové přeměny biochemické a chemické, výměnné reakce mezi jednotlivými fázemi a půdou, buňkami mikroorganismů a kořínky rostlin, na stěnách pórů přichází do nejtěsnějšího styku pedosféra a biosféra [9].

Půdní póry nejsou od sebe odděleny, jsou spojitě, mohou mít rozdílný tvar i velikost. Někdy se tvar pórů idealizuje a zjednodušuje na válcovitý. Póry se pak charakterizují svým rozměrem (průměrem) [10]. Pro funkci pórů je významná jejich velikost. Rozlišují se póry jemné (kapilární), střední (semikapilární) a hrubé (nekapilární).

Jemné póry jsou takové, v nichž voda nepodléhá gravitaci a je ovládána kapilárními silami. Ty vodu zadržují a umožňují její pohyb proti působení gravitace. Vzduch se do nich dostává nesnadno a jeho pohyb je v nich omezený. V těchto pórech probíhají chemické, fyzikálně-chemické a biologické pochody. Hrubé póry charakterizuje neomezené působení gravitace na vodu, která se v nich volně pohybuje a na její místo se dostává vzduch. Mají význam hlavně pro provzdušnění půdy a vzájemnou výměnu plynných složek mezi půdou a ovzduším. Póry semikapilární jsou přechodem mezi póry kapilárními a nekapilárními jak ve vztahu k poutání vody, tak z hlediska významu v půdě [9].

Pórovitostí se nazývá objem pórů vztažený k celkovému objemu půdy v přirozeném uložení (rovnice 4-5). Lze ji vypočítat z měrné a objemové hmotnosti dle rovnice 4-6.

$$P = \frac{V_p}{V} \quad (4-5)$$

kde je:

P	celková pórovitost [-]
V_p	objem pórů [cm^3]
V	celkový objem vzorku [cm^3]

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \quad (4-6)$$

kde je:

P	celková pórovitost [-]
ρ_s	měrná hmotnost [g.cm^{-3}]
ρ_d	objemová hmotnost redukována [g.cm^{-3}]

4.1.4 Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost k_f se stanovuje na narušených, volně sypaných nebo hutněných vzorcích, nebo na nenarušených vzorcích odebraných v terénu do speciálních válečků.

Hydraulická vodivost se stanovuje:

- Laboratorním stanovením v nasyceném prostředí na zařízení s konstantní hladinou
- Polními zkouškami, tj. přímým stanovením metodou souosých válců, a to metodou jednosondovou, piezometrickou, metodou čerpacího pokusu, plněními sondami aj.
- Stanovením z empirických vzorců

Všechny uvedené metody se nehodí pro všechny zeminy. Laboratorní metody se dnes na moderních přístrojích používají pro zeminy v rozsahu $k_f = 10^{-1} \sim 10^{-11} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Polní zkoušky jsou realizovatelné v rozsahu $k_f = 10^{-1} \sim 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, i když dnes je snaha používat polní zkoušky i pro ověřování propustnosti těsnění skládek. Nepřímé určení z empirických vzorců je vhodné pro nesoudržné zeminy v rozsahu $k_f = 10^{-1} \sim 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro výpočet hydraulické vodivosti k_f použijeme Darcyho vztah odvozený pro jednodimenzionální proudění vody v homogenním izotropním prostředí, což je i náš případ. Při laboratorním stanovování měříme tedy průtok Q , přesněji množství kapaliny prosáklé za časový interval, rozdíl na piezometrech Δh , teplotu vody T , dynamickou viskozitu.

Hydraulická vodivost se potom vypočte dle vztahu 4-7.

$$K_f = \frac{Q}{S} \cdot \frac{L}{\Delta h} \quad (4-7)$$

kde	Q	průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
	S	průřezová plocha materiálu	$[\text{m}^2]$
	L	výška vzorku	$[\text{m}]$
	Δh	rozdíl hladin na piezometrech	$[\text{m}]$

Tab. 4-2 Orientační hodnoty hydraulické vodivosti různých filtračních materiálů [5]

Druh materiálu	Propustnost	Hydraulická vodivost K_f [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Hrubý štěrk	velmi silně propustný	10^{-1} až 1
Střední štěrk	silně propustný	10^{-2} až 10^{-1}
Štěrkopísek	silně propustný	10^{-3} až 10^{-2}
Hrubý písek	středně propustný	10^{-4} až 10^{-2}
Střední písek	středně propustný	10^{-4} až 10^{-3}
Jemný písek	mírně propustný	10^{-5} až 10^{-4}
Zahliněný písek	málo propustný	10^{-7} až 10^{-4}
Hlína (silt)	nepatrně propustný	10^{-8} až 10^{-5}
Jílovitohlinitý	velmi málo propustný	10^{-10} až 10^{-6}

Laboratorní stanovení

Zařízení na měření hydraulické vodivosti tvoří válec s přepadem, do něhož se vkládá zkoumaný materiál. Na dně zařízení je umístěno síto zabraňující vyplavování jemných částic. Uspořádání zařízení umožňuje různé variace, např. dle směru proudění kapaliny.

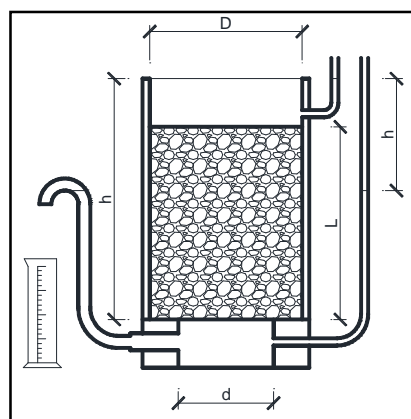
Pokud zjistíme, že by mohlo dojít k postupnému vyplavování jemných částic filtračního materiálu, musíme zajistit, aby k tomuto nedocházelo. Zajištění nevyplavování vlivem proudící vody spočívá v tom, že nejprve do nádoby vložíme materiál hrubší frakce (tzn. filtr) dle ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*. Potom se do zařízení nasype zkoumaný materiál, který zhutníme natolik, aby jeho objemová hmotnost odpovídala skutečnému stavu.

Po připravení vzorku v zařízení je možno zahájit pokus. U přiváděné vody změříme teplotu, abychom zjistili výpočtem její dynamickou viskozitu.

Výsledkem pokusu je časový průběh hydraulické vodivosti.

Proudění směrem dolů

Při stanovování hydraulické vodivosti na modelu s prouděním směrem dolů není odvědušení materiálu rychlou záležitostí. Při unikání a shlukování se vzduchové bubliny pohybují proti proudící vodě, což zpomaluje celý pokus. Nadbytečná voda přepadá přelivem a odvádí se do odpadu, objem filtrátu (prosáklé vody) v závislosti na čase se stanoví v odměrném válci. Znázornění Darcyho přístroje používaného pro proudění směrem dolů je na obr. 4-2[12].



Obr.4-2Darcyho válec – proudění směrem dolů

4.2 STANOVENÍ CHEMICKÝCH VÝLUHŮ

Chemické rozbory jsem nechala zpracovat v akreditované laboratoři VUV TGM v.v.i, pobočka Brno. Na základě chemických analýz jsem provedla podrobné zpracování výsledků, uváděné v kapitole č. 5.

4.2.1 Vliv na životní prostředí stanovovaných chem.prvků

Kapitola 4.2.1 je kompletně zpracována podle publikace Hydrochemie (Pitter, 2009)[13].

Vápník a Hořčík

Vápník a hořčík se dostávají do vody rozkladem hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých, a ve větších koncentracích rozpouštěním vápence, dolomitu, magnezitu, sádrovce a jiných minerálů. Antropogenním zdrojem vápníku a hořčíků mohou být některé průmyslové odpadní vody z provozů, ve kterých se kyseliny neutralizují vápnem, vápencem, dolomitem. Z hlediska tvorby nánosů v potrubí je závadnější vápník než hořčík, neboť většina vápenatých solí je méně rozpustná než odpovídající soli hořečnaté. Hořčík ve vyšších koncentracích ovlivňuje nepříznivě chuť pitné vody, u vápníku je tomu naopak. Hořčík působí agresivně na beton. Z hygienického hlediska jsou vápník a hořčík netoxické, naopak se ukazuje, že jejich přítomnost v pitné vodě je žádoucí.

Vápník i hořčík patří mezi ukazatele jakosti povrchových vod. Obecní imisní standard je pro vápník 250 mg/l a pro hořčík je 150 mg/l

Hliník

V přírodě je hliník rozšířen ve formě hlinitokřemičitanů. Ve vodách lze stanovit celkový hliník, rozpuštěný hliník, nerozpuštěný hliník a hliník organicky vázaný. Voda obsahující hliník byla dlouho považována za zdravotně nezávadnou. Tento názor byl později poněkud revidován s upozorněním na jeho možné neurotoxické účinky. Hliník je rovněž toxický pro ryby, což se může projevit v acidifikovaných vodách v důsledku kyselých srážek. Při pokusech s plůdkem pstruha duhového bylo zjištěno, že koncentrace asi 0,5 mg/l již výrazně snižuje růst těchto ryb, bezproblémové jsou koncentrace pod 0,1 mg/l. Toxicita však značně závisí na hodnotě pH a na formách existence hliníku.

U hliníku byla prokázána také fytotoxicita. Předpokládá se negativní působení na kořenový systém rostlin, které přichází v úvahu v kyselých vodách s vyšší koncentrací hliníku. Hliník patří mezi ukazatele přípustného znečištění povrchových vod s obecným imisním standardem 1,5 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do povrchových vod je obsah hliníku limitován ve vodách z povrchové úpravy kovů hodnotou 2 mg/l a z barevné metalurgie hodnotou 3 mg/l.

Arsen

Arsen se v přírodě vyskytuje zejména ve formě sulfidů. Arsen je značně jedovatý a dlouhodobé používání vod s malými koncentracemi As způsobuje chronická onemocnění. Byly prokázány i jeho karcinogenní a teratogenní účinky. Patří mezi nervové jedy kumulativního charakteru. Dalším projevem je melanóza, poruchy srdeční činnosti, hyperkeratóza a projevy kožní rakoviny. Organismus savců je schopen detoxikace As jeho metylací a následným vyloučením močí.

Obecným imisním standardem pro přípustné znečištění povrchových vod arsenem je hodnota 0,02 mg/l v povrchových vodách užívaných pro vodárenské účely jen 0,005 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace je pro arsen koncentrační limit 0,2 mg/l. Při vypouštění do povrchových vod platí pro odpadní vody z těžby a zpracování rud a z povrchové úpravy kovů přípustná koncentrace As 0,5 mg/l.

Kadmium

Vzhledem ke své chemické podobnosti doprovází kadmium zinek v jeho rudách. Při jejich zpracování přechází kadmium do odpadních vod, jednak do atmosféry. Kadmium není esenciálním prvkem pro organismy, naopak patří mezi velmi nebezpečné jedy, což bylo dříve podceňováno. Mezi kovy se v řadě podle klesající toxicity nachází na druhém místě hned za rtutí, značně se kumuluje v biomase, plaveninách, sedimentech – má dokonce jeden z nejvyšších akumulčních koeficientů a setrvává velmi dlouho v těle, protože na rozdíl od rtuti netvoří biochemickou cestou těkavé alkylderiváty. Kromě toho zesiluje účinky jiných kovů, např. Zn a Cu.

Stejně jako zinek je i kadmium značně toxické pro vodní organismy. Škodlivé působení na zooplankton a ryby bylo již pozorováno při koncentracích jednotek až desítek $\mu\text{g/l}$.

Obecný imisní standard pro přípustné znečištění povrchových vod je 0,7 $\mu\text{g/l}$. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace platí pro kadmium koncentrační limit 0,1 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do povrchových vod platí pro odpadní vody z obráběných kovů, smaltování, lakování a elektrotechnických výrob přípustná hodnota 0,2 mg/l.

Chrom

Chrom se vyskytuje v přírodě např. jako minerál chromit a krokonit. Dále se vyskytuje v minerálech obsahující hliník, který doprovází.

Chrom patří mezi esenciální mikroprvky, podílí se např. na regulaci hladiny glukosy v krvi a na syntéze nukleových kyselin. Ve vyšších koncentracích ale je toxický, v závislosti na oxidačním stupni. Toxické pro živočichy, rostliny a bakterie jsou především sloučeniny Cr^{VI} . Cr^{VI} má také účinky karcinogenní a genotoxické, kromě toho ovlivňuje i chuť a barvu vody.

Obecný imisní standard přípustného znečištění povrchových vod je pro celkový chrom 0,035 mg/l. Ve vodě určené pro chov ryb se doporučuje, aby koncentrace Cr^{VI} byla nižší

než 0,05 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace platí pro celkový chrom koncentrační limit 0,3 mg/l a pro Cr^{IV} 0,1mg/l. Ve vodách vypouštěných do povrchových vod jsou přípustné následující koncentrace celkového chromu a Cr^{IV} v mg/l : odpadní vody z povrchové a tepelné úpravy kovů a z elektrotechnických výroby obsah 0,5mg/l celkového chromu a 0,1 mg/l Cr^{IV} .

Měď

V přírodě se měď nejčastěji vyskytuje ve formě sulfidů, ze kterých se může do podzemních vod dostat značné množství mědi v důsledku jejich rozkladu. Antropogenním zdrojem mědi v povrchových vodách mohou být odpadní vody z povrchové úpravy kovů a z aplikace některých algicidních preparátů, které se dávkuje proti nadměrnému rozvoji řas a sinic.

Agresivní vody rozpouští měděné potrubí. Měď patří mezi esenciální prvky pro lidský organismus. Akutní ani chronická onemocnění způsobená používáním vody s obsahem mědi nejsou známa. Měď však ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody (chuť) již v koncentracích, které se pohybují v rozmezí asi od 0,1 mg/l do 1 mg/l.

Obecný imisní standard přípustného znečištění povrchových vod je pro měď 0,025 mg/l. Pro vypouštění průmyslových odpadních vod do městské kanalizace platí pro měď koncentrační limit 1,0 mg/l, pro průmyslové odpadní vody vypouštěné do povrchových vod jsou přípustné koncentrace mědi např. z barevné metalurgie, povrchové úpravy kovů, výroby textilií, smaltování, lakování a elektrotechnické výroby 0,5 mg/l, z těžby a zpracování rud 1,0 mg/l. Poměrně přísné limity pro koncentraci mědi v povrchových vodách jsou dány její značnou toxicitou pro vodní organismy včetně ryb. K úhynu některých citlivých vodních organismů může dojít i při koncentracích nižších než 0,05 mg/l.

Železo

Nejrozšířenější železné rudy jsou pyrit, lepidokrokit (krevel), magnetovec, limonit a siderit. Železo je v malém množství obsaženo také v řadě přírodních hlinitokřemičitanů.

Železo přítomné ve vodách způsobuje především technické závady tím, že materiály, se kterými přichází do styku, zbarvuje žlutě až hnědě. Z hygienického hlediska ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody, barvu, chuť i zákal. Negativně mohou ovlivňovat chuť vody a způsobovat její zákal již koncentrace železa asi nad 0,5mg/l. I nízké koncentrace Fe^{II} ve vodě mohou být příčinou nadměrného rozvoje železitých bakterií, jež pak ucpávají potrubí a při, jejichž odumírání voda zapáchá.

Železo je závadné ve vodě určené pro chov ryb, protože Fe^{II} se na alkalicky reagujících žábrách oxiduje a hydrolyzuje. Nerozpustné sloučeniny Fe^{III} pak pokrývají žaberní lístky a snižují respirační plochu žaber, takže mohou ryby uhynout udušením.

Obecným imisním standardem pro povrchové vody je koncentrace železa 2 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace není koncentrace železa limitována, při vypouštění do vod povrchových jsou přípustné tyto koncentrace železa: povrchová a tepelná úprava kovů 2 mg/l a těžba a zpracování rud 5 mg/l.

Rtuť

Hlavní rudou je cinabarit (rumělka). Kromě toho rtuť doprovází některé jiné sulfidické rudy, při jejichž pražení se dostává do atmosféry. Dalším významným zdrojem rtuti v povrchových vodách jsou atmosférické vody kontaminované spalováním fosilních paliv.

Organické sloučeniny rtuti mají mimořádně velkou schopnost akumulovat se v organismech a přenášet se dále potravním řetězcem. Rtuť má jeden z nejvyšších akumulčních koeficientů, který v některých organismech dosahuje hodnot až 10^5 , popř. až 10^6 .

Obecný imisní standard přípustného znečištění povrchových vod je 0,1 $\mu\text{g/l}$. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace je pro rtuť koncentrační limit 0,05 mg/l a při vypouštění do povrchových vod je pro odpadní vody z povrchové úpravy kovů a elektrotechnických výrob maximální přípustná koncentrace rtuti 0,05 mg/l.

Mangan

Mangan doprovází obvykle železné rudy. Z manganových rud se v přírodě vyskytuje zejména burel či pyroluzit, braunit, hausmanit, manganit a dialogit.

Mangan je esenciální prvek nezbytný pro rostliny a živočichy. V koncentracích vyskytujících se v přírodních vodách je zdravotně nezávadný. Významně však ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody, a to více než železo. K rychlé biochemické oxidaci dochází již v neutrálním prostředí. Nadměrný rozvoj manganových bakterií může být příčinou zarůstání vodovodního potrubí jejich biomasou, což je další důvod pro omezení jeho koncentrace ve vodách dopravovaných potrubím.

Pro přípustné znečištění povrchových vod platí pro mangan imisní standard 0,5 mg/l, pro povrchovou vodu užívanou pro vodárenské účely pak 0,05 mg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace není koncentrace manganu limitována, ve vodách z těžby uhlí, briketáren a hutnictví železa vypouštěných do povrchových vod je nejvyšší přípustná hodnota 1 mg/l.

Nikl

Nikl se vyskytuje v minerálech obvykle společně se sírou, arsenem a antimonem. Antropogenním zdrojem niklu jsou především odpadní vody z povrchové úpravy kovů kde je převážně komplexně vázán, a dále odpadní vody z barevné metalurgie.

Nikl není pro člověka příliš toxický, patří však mezi potenciální karcinogeny. Ve vodě určené pro chov ryb se doporučuje, aby koncentrace Ni nepřestoupila hodnotu 0,1 mg/l.

Obecný imisní standard přípustného znečištění povrchových vod je pro nikl 0,04 mg/l. U průmyslových odpadních vod vypouštěných do městské kanalizace platí koncentrační limit 0,1 mg/l, při vypouštění do vod povrchových je u vod z elektrotechnických výrob přípustná koncentrace niklu 0,5 mg/l a u vod z povrchové úpravy kovů 0,8 mg/l.

Olovo

Nejrozšířenější olovenou rudou je galenit, méně rozšířenými rudami jsou anglesit, cerusit a hydrocerusit.

Olovo má vysoký akumulací koeficient, a významně se proto hromadí nejenom v plaveninách, sedimentech a kalech, ale i v biomase mikroorganismů a rostlin. Pro svou toxicitu je ve vodě velmi závadné. Chronické onemocnění olovem má nejasné symptomy a obtížně se diagnostikuje. V lidském organismu se olovo hromadí především v kostech. Olovo působí neurotoxicky a považuje se za potenciální karcinogen. Stejně jako u jiných kovů závisí i u olova jeho toxicita pro vodní organismy velmi značně na chemickém složení vody a je obtížné jednoznačně určit obecně platný koncentrační limit. Z hlediska požadavků na chov ryb se doporučuje nejvyšší přípustná koncentrace pro kaprové ryby asi 0,01 mg/l a pro lososové asi 0,004 mg/l

Obecný imisní standard pro přípustné znečištění povrchových vod je 14,4 µg/l. V průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace je pro olovo limit 0,1 mg/l, při vypouštění do povrchových vod platí pro odpadní vody z povrchové úpravy kovů, smaltování, lakování a z elektrotechnických výrob přípustná koncentrace 0,5 mg/l.

Zinek

Nejrozšířenějšími zinkovými rudami jsou sfalerit a smithsonit. Zinek je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů.

Zinek patří mezi esenciální stopové prvky pro lidi, zvířata i rostliny, je součástí některých enzymů a má řadu pozitivních biochemických a biologických funkcí. Jeho deficit může být příčinou řady zdravotních problémů. Proto je z hygienického hlediska zinek ve vodách málo závadný. Zinek je však značně toxický pro ryby a jiné vodní organismy, a to již při koncentracích v desetinách mg/l.

Hodnota obecného imisního standardu pro přípustné znečištění povrchových vod zinkem je 0,16 mg/l. Pro odpadní vody vypouštěné do vod povrchových se u odpadních vod z barevné metalurgie, z povrchové úpravy kovů, smaltování, lakování a z elektrotechnických výrob připouští koncentrace zinku nejvýše 2 mg/l. Pro průmyslové odpadní vody vypouštěné do městské kanalizace platí pro zinek koncentrační limit 2 mg/l.

Sodík a draslík

Sodík a draslík jsou v zemské kůře jako prvky rozšířené přibližně stejně, asi 2,5 %. Do vody se uvolňují při zvětrávání některých hlinitokřemičitanů. Antropogenním zdrojem sodíku jsou některé průmyslové odpadní vody z výrob, které obsahují chlorid nebo síran sodný vznikající při neutralizacích nebo vysolování.

Sodík a draslík v povrchových a podzemních vodách nejsou příliš významné a jejich koncentrace není limitována. Jsou však esenciálními prvky pro člověka. Lidský organismus velmi rychle vstřebává sodík z pitné vody a vylučuje ho převážně močí. Vody obsahující draslík jsou slabě radioaktivní, protože draslík vyskytující se v přírodě obsahuje asi 0,011 % radioaktivního izotopu ^{40}K , který emituje záření β a γ . Tato radioaktivita tvoří přírodní pozadí radioaktivity vod. Sodík a draslík mají významnou úlohu při klasifikaci chemického složení vod, při úvahách o genezi podzemních vod a při kontrole výsledků chemického rozboru vody. Proto by se mělo stát stanovení sodíku a draslíku běžnou součástí chemického rozboru vody.

4.3 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

Stanovení výše popsaných charakteristik bylo provedeno na několika vybraných filtračních materiálech. Práce se soustředí zejména na netradiční a odpadní materiály, které se mohou jevit jako vhodnou alternativou z důvodu výrazné vazby sloučenin fosforu na příměsi železitých iontů.

4.3.1 Vysokopecní struska

Při tavení litiny v kupolních pecích slouží struska v průběhu tavení k ochraně tekutého kovu před oxidací spalinami a umožňuje rafinaci tekutého kovu. Zdroje vzniku strusky jsou propal prvků kovové vsázky (Fe, Si, Mn), odtavování keramické vyzdívky kuplovny, písek, nečistoty a oxidy ulpělé na povrchu kovové vsázky, popel koksu a tavicí přísady (vápenec, křemen ap.). Celkové množství strusky bývá mezi 5 a 10 % hmotnosti kovové vsázky. Kuplovny pracují většinou v oblasti kyselých až neutrálních strusek s basicitou mezi 0,6 – 1,1. Zásaditá struska s basicitou 1,1 – 2,4 umožňuje účinné odsíření taveniny, ale zvyšuje neúměrně spotřebu koksu.



Obr. 4-3 Filtrační materiál struska

4.3.2 Cipres filtr

Druhý testovaný materiál pochází z technologické linky, která zahrnuje kapsové filtry firmy CARM GH. Jedná se o filtry konstruované jako automaticky se regenerující stacionární filtrační jednotky, určené pro nejtěžší případy filtrace.

Konstrukční systém umožňuje vytvářet filtrační plochy o libovolné velikosti s možností snadného rozšíření seskupením filtračních bloků nad sebe a vedle sebe.

Filtry CARM GH se používají k zachycení prachových částic odsávaných od zdrojů prašnosti v průmyslu.

Liší se svou konstrukcí dle charakteru prachu, jsou určeny i pro filtraci hořlavých prachů tvořících se vzduchem výbušnou atmosféru. Jsou vybaveny filtračními materiály z netkaných textilií, které jsou na trhu.



Obr.4-4 Pohled na technologickou linku s ukončením Cipres filtry



Obr.4-5 Pneumaticky oklepávané filtry, akumulace do plátěných pytlů

Podle informací (ústní sdělení p. Šeliga, 20. 4. 2012) se jedná o technologii velice spolehlivou, vysoce účinnou s výrazným čistícím efektem. Produkce zachyceného materiálu, který jsem použila pro testování, je přibližně 1000kg za jednu směnu (viz Obr.4-5). Dříve používané filtry na vodní bázi nebyly tak spolehlivé, projevovaly vysokou poruchovost, korodovaly. Z technologického pohledu - vzduch by vypouštěn pod hladinu vody a ze dna akumulací nádoby byl sbírán mokřý kal (což znesnadňovalo manipulaci). Tato technologie měla nevýhodu oproti současným kapsovým filtrům ve výrazně větším množství odfiltrované směsi. Mokřý kal se vozil do cementárny, což zvyšovalo provozní náklady spojené s poplatkem za výkup materiálu.



Obr.4-6 Dříve používané odlučovače na vodní bázi



Obr. 4-7 Filtrační materiál – cipres filtr

4.3.3 Formovací směs

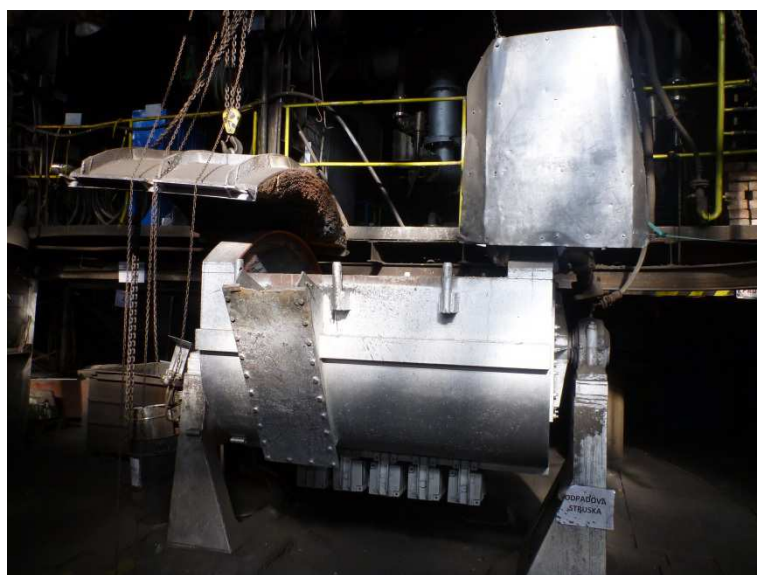
Dalším testovaným materiálem je formovací směs, což je směs písku + bentonitu + uhlénoho prachu + super jemně mleté uhlí (do 10 %). Směs se používá pro lisování

Formovací směs a odlitek během procesu výroby musí být umístěny po odlití do chladicího tunelu (viz.Obr.4-9), následně se formovací směs s odlitkem přesouvá na třepačku, kde dochází k separaci odlitku. Směs je po otřepání rozdělena na dvě části – první je drcena a po přimíchání potřebných složek určena k dalšímu použití; druhá část je odpadem. Právě

tato část byla předmětem zájmu. Nejedná se o nebezpečný odpad, materiál je vyvážen na skládku (kvůli prašnosti musí být aplikována pod povrch).



Obr.4-8 Pohled na formovací linku



Obr.4-9 Detail tunelu pro chladnutí odlitku



Obr. 4-10 Filtrační materiál – formovací směs

4.3.4 Směs z tryskání – velké tryskače a malé tryskače

Směs z tryskání, je směs pevného ocelového materiálu (malé ocelové broky průměru 0,5 mm), určeného k tlakovému otryskávání zkorodovaných kovových materiálů. Směs je tedy složena z broků a opadaného zkorodovaného materiálu.



Obr.4-11 Technologická linka – ukončení tryskačů



Obr. 4-12 Filtrační materiál – malé tryskače



Obr. 4-13 Filtrační materiál - velké tryskače

4.3.5 Struska 8 – 16 mm (Dekonta)

Materiál, který poskytla firma Dekonta, je určen pro přímou aplikaci na obecní kořenové čistírně odpadních vod v rámci výzkumných prací, prováděných pod záštitou projektu MPO FR-TI3/778. Bližší informace o původu materiálu jsou záměrně utajeny.



Obr. 4-14 Filtrační materiál – struska 8-16 mm (Dekonta)

4.3.6 Filtrační materiál ČEZ

Předposledním materiálem, určeným k fyzikálním a chemickým analýzám, je odpadní materiál zrnité struktury, opticky velice podobný mletému máku. Předpokladem je vhodná hydraulická vodivost.



Obr. 4-15 Filtrační materiál ČEZ

4.3.7 Mletá zrna kávy

Posledním vytipovaným materiálem, který byl určen pouze k fyzikálním rozborům (měrná hmotnost, objemová hmotnost, pórovitost, hydraulická vodivost). Vybrán byl z důvodu charakteristických sorpčních vlastností – pohlcuje pachy. Předpokladem použití v procesu čištění odpadní vody je také sorpce živin, popřípadě vhodnější vytvoření pevného substrátu

pro mikroorganismy. Zkoumána byla mletá káva, která byla již použita v tlakovém kávovaru.



Obr. 4-16 Filtrační materiál – zrna mleté kávy

5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

5.1 VÝSLEDKY LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

5.1.1 Měření objemové hmotnosti

Pro potřeby měření byl použit válec o objemu 1061 cm³. Průměr válce byl 14,69 cm a výška byla 6,26 cm.

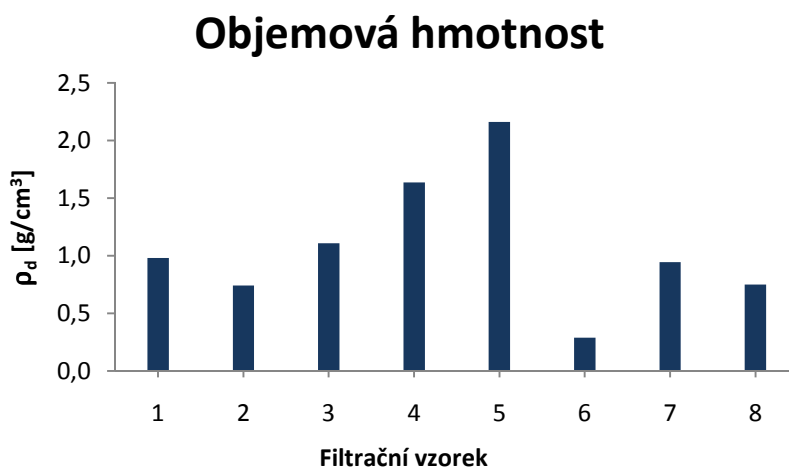
Objemová hmotnost byla stanovena u materiálu:

Struska, cipres filtr, formovací směs, malé tryskače, velké tryskače, struska 8 - 16 mm, filtrační materiál ČEZ.

Výsledky měření jsou uvedeny v Tab.5-1 Stanovení objemové hmotnosti

Tab.5-1 Stanovení objemové hmotnosti

vzorek č.	materiál	objemová hmotnost		
		hmotnost m [g]	ρ_d [g/cm ³]	[kg/m ³]
1	struska	1041,59	0,982	981,7
2	cipres filtr	786,04	0,741	740,9
3	formovací směs	1175,14	1,108	1107,6
4	směs z tryskání-velké tryskače	1737,29	1,637	1637,4
5	směs z tryskání-malé tryskače	2293,84	2,162	2162,0
6	káva	307,07	0,289	289,4
7	struska 8 – 16mm (Dekonta)	1002,87	0,945	945,2
8	filtrační materiál ČEZ	795,95	0,750	750,2



Obr. 5-1-1 Stanovení objemové hmotnosti

5.1.2 Měření měrné hmotnosti

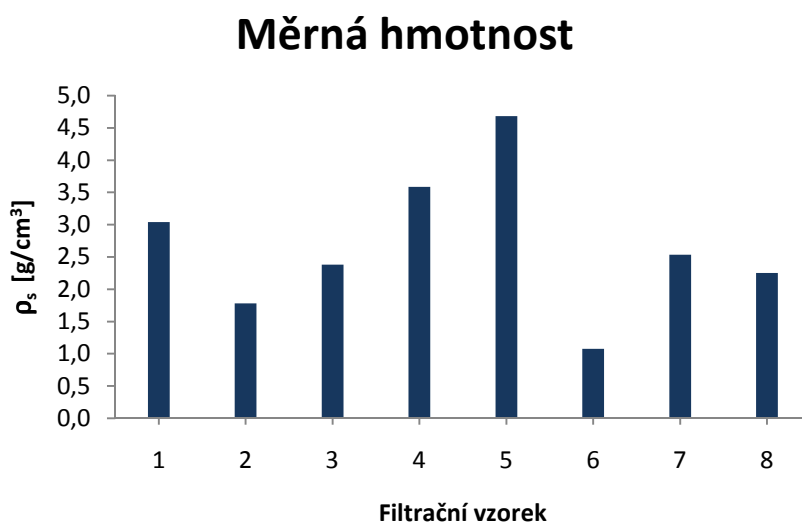
Měrná hmotnost byla stanovena u materiálu:

Struska, cipres filtr, formovací směs, malé tryskače, velké tryskače, struska 8 – 16 mm, filtrační materiál ČEZ.

Výsledky měření jsou uvedeny v Tab.5-2.

Tab.5-2 Stanovení měrné hmotnosti

vzorek č.	materiál	hmotnost	hm.pyknometru	hm.pyknometru	měrná hmotnost	
		sušiny	se vzorkem	s vodou	ρ_s	
		m_d	m_2	m_1	$[\text{g}/\text{cm}^3]$	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
		g	g	g		
1	struska	30	172,94	152,81	3,04	3039,514
2	cipres filtr	20	161,98	153,20	1,78	1782,531
3	formovací směs	25	167,65	153,15	2,38	2380,952
4	směs z tryskání - velké tryskače	25	165,03	147,00	3,59	3586,801
5	směs z tryskání - malé tryskače	50	189,04	149,72	4,68	4681,648
6	káva	10	149,92	149,20	1,08	1077,586
7	struska 8-16 mm	400	2253,33	2011,12	2,54	2535,015
8	filtrační materiál ČEZ	20	160,08	148,97	2,25	2249,719



Obr. 5-1-2 Stanovení měrné hmotnosti

5.1.3 Měření pórovitosti

Pórovitost byla stanovena u materiálu:

Struska, cipres filtr, formovací směs, malé tryskače, velké tryskače, struska 8 – 16 mm, filtrační materiál ČEZ.

Výsledky měření jsou uvedeny v Tab.5-2.

Tab.5-3 Stanovení měrné hmotnosti

Vzorek č.	materiál	objemová hmotnost		měrná hmotnost		pórovitost P
		ρ_d		ρ_s		
		[g/cm ³]	[kg/m ³]	[g/cm ³]	[kg/m ³]	[-]
1	Struska	0,982	981,7	3,040	3039,5	0,677
2	cipres filtr	0,741	740,9	1,783	1782,5	0,584
3	formovací směs	1,108	1107,6	2,381	632,9	0,535
4	směs z tryskání-velké tryskače	1,637	1637,4	3,587	3586,8	0,543
5	směs z tryskání-malé tryskače	2,162	2162,0	4,682	4681,6	0,538
6	káva	0,289	289,4	1,078	1077,6	0,731
7	Struska 8-16 mm	0,945	945,2	2,535	2535,0	0,627
8	Filtrační materiál ČEZ	0,750	750,2	2,250	2249,7	0,667



Obr. 5-1-3 Stanovení pórovitosti

5.1.4 Měření hydraulické vodivosti

Hydraulickou vodivost jsem měřila pro všechny vzorky, ale dva materiály a to cipres filtr a formovací směs se ukázaly, jako nepropustné, takže se hydraulická vodivost nedala změřit.

Pro zrychlení laboratorních pokusů jsem vytvořila přehledný formulář, kterým dosud laboratoř Vodního hospodářství krajiny nedisponovala. Formulář je předlohou, kterou stačí po vytisknutí vyplnit zaznamenanými a naměřenými hodnotami. Vyžaduje si zaznamenání následujících dat:

1. Datum
2. Popis vzorku
3. Materiál přechodového filtru
4. Průměr vnitřního válce
5. Průměr vnějšího válce
6. Vnitřní výška válce
7. Výška filtračního materiálu

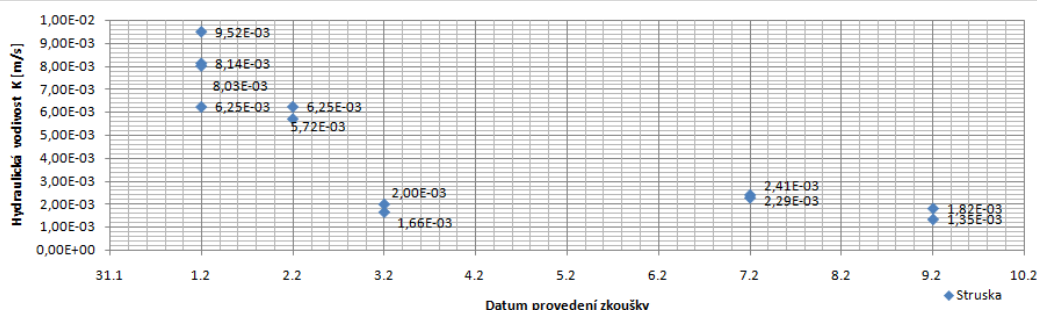
Formulář je uveden v příloze č.2.

Je to přínos pro další laboratorní práci, resp. stanovení hydraulické vodivosti. Formulář byl motivací pro vytvoření průmyslového vzoru filtračního válce, uvedeného v příloze č. 1.

Měření hydraulické vodivosti

Datum zahájení pokusu:	1.2.2012
Označení filtrační kolony:	Válec č.1
Filtrační materiál:	Struska
Přechodový filtr:	šterk, písek tl.1cm
Průměr vnitřního válce (d)	14,68 cm
Průměr vnějšího válce (D)	16 cm
Vnitřní výška válce (h)	19,8 cm
Výška filtračního materiálu (L)	17,9 cm
Plocha filtračního materiálu (A)	169,3 cm ²

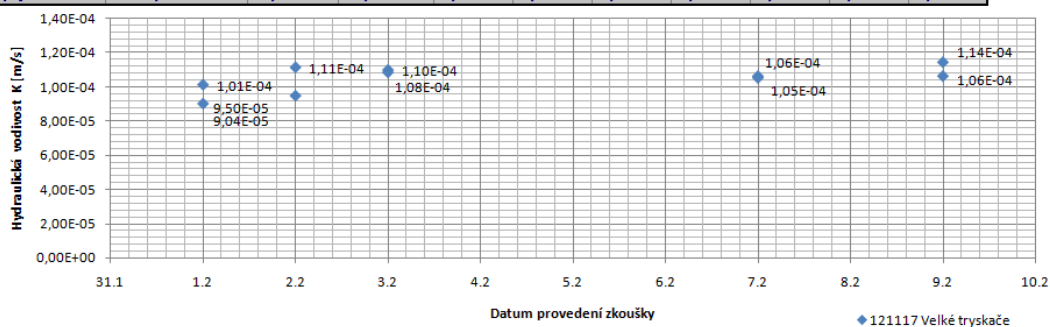
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Datum zkoušky	1.2	1.2	1.2	1.2	2.2	2.2	3.2	3.2	7.2	7.2	9.2	9.2
Δh [cm]	0,5	0,7	1,8	5,1	0,5	1,7	1,2	2,1	1,2	4,1	1,2	3,6
t [s]	60,0	92,8	30,0	16,6	45,0	29,9	120,0	120,0	120,0	60,0	60,0	60,0
V [cm ³]	270,0	500,0	410,0	500,0	133,0	275,0	273,0	396,0	328,0	532,0	124,0	275,0
Q [cm ³ /s]	4,50	5,39	13,67	30,12	2,96	9,20	2,28	3,30	2,73	8,87	2,07	4,58
k [cm/s]	0,95	0,81	0,80	0,62	0,63	0,57	0,20	0,17	0,24	0,23	0,18	0,13
k [m/s]	9,52E-03	8,14E-03	8,03E-03	6,25E-03	6,25E-03	5,72E-03	2,00E-03	1,66E-03	2,41E-03	2,29E-03	1,82E-03	1,35E-03



Obr. 5-1-4 Stanovení hydraulické vodivosti u strusky

Datum zahájení pokusu:	1.2.2012
Označení filtrační kolony:	Válec č.4
Filtrační materiál:	121117 Velké tryskače
Přechodový filtr:	Štěrka, písek tl. 1cm
Průměr vnitřního válce (d)	10,24 cm
Průměr vnějšího válce (D)	15,94 cm
Vnitřní výška válce (h)	30,4 cm
Výška filtračního materiálu (L)	22,9 cm
Plocha filtračního materiálu (A)	82,4 cm ²

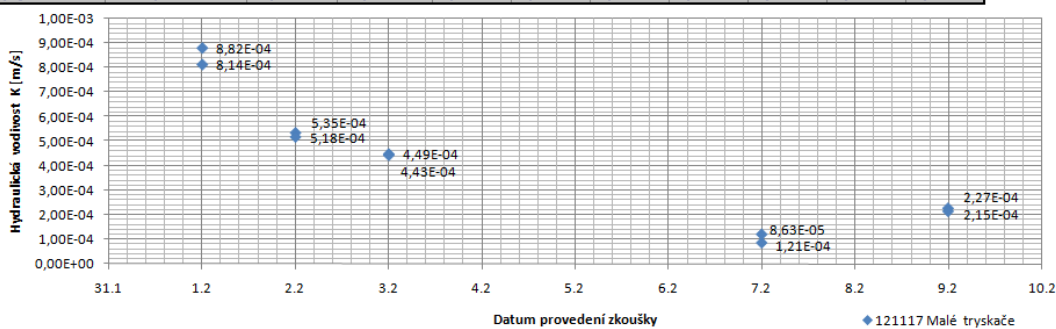
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum zkoušky	1.2	1.2	2.2	2.2	3.2	3.2	7.2	7.2	9.2	9.2
Δh [cm]	10,8	12,6	8,3	12,7	10,5	8,6	10,7	4,8	7,7	8,7
t [s]	120,0	120,0	60,1	45,0	540,0	450,0	300,0	300,0	60,0	60,0
V [cm ³]	48,5	50,5	17,5	23,5	230,0	155,0	126,0	56,0	19,5	20,5
Q [cm ³ /s]	0,40	0,42	0,29	0,52	0,43	0,34	0,42	0,19	0,33	0,34
k [cm/s]	1,01E-02	9,04E-03	9,50E-03	1,11E-02	1,10E-02	1,08E-02	1,06E-02	1,05E-02	1,14E-02	1,06E-02
k [m/s]	1,01E-04	9,04E-05	9,50E-05	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,06E-04	1,05E-04	1,14E-04	1,06E-04



Obr. 5-1-5 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu velkého tryskače

Datum zahájení pokusu:	1.2.2012
Označení filtrační kolony:	Válec č.5
Filtrační materiál:	121117 Malé tryskače
Přechodový filtr:	Štěrka, písek tl. 1cm
Průměr vnitřního válce (d)	10,24 cm
Průměr vnějšího válce (D)	16 cm
Vnitřní výška válce (h)	30 cm
Výška filtračního materiálu (L)	23 cm
Plocha filtračního materiálu (A)	82,4 cm ²

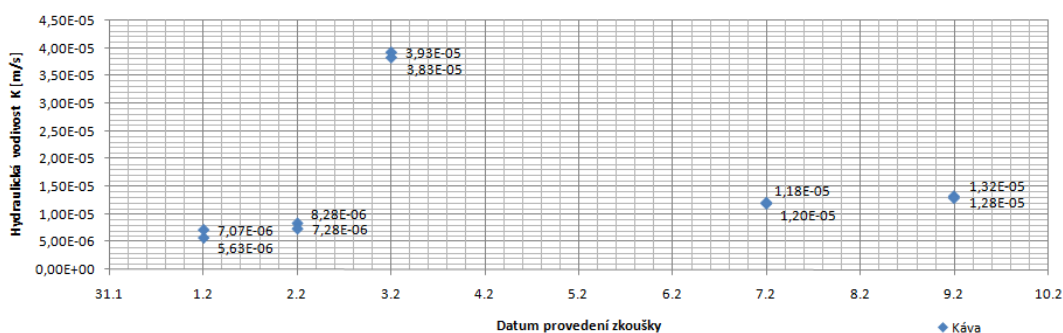
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum zkoušky	1.2	1.2	2.2	2.2	3.2	3.2	7.2	7.2	9.2	9.2
Δh [cm]	13,2	17,3	12,0	15,5	14,1	12,7	14,3	10,0	12,7	14,3
t [s]	60,0	120,0	60,0	60,0	60,0	60,0	240,0	120,0	60,0	60,0
V [cm ³]	250,0	605,0	138,0	172,5	136,0	121,0	106,0	52,0	62,0	66,0
Q [cm ³ /s]	4,17	5,04	2,30	2,88	2,27	2,02	0,44	0,43	1,03	1,10
k [cm/s]	0,09	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02
k [m/s]	8,82E-04	8,14E-04	5,35E-04	5,18E-04	4,49E-04	4,43E-04	8,63E-05	1,21E-04	2,27E-04	2,15E-04



Obr. 5-1-6 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu malého tryskače

Datum zahájení pokusu:	1.2.2012
Označení filtrační kolony:	Válec č.6
Filtrační materiál:	Káva
Přechodový filtr:	Štěrka, písek tl.1cm
Průměr vnitřního válce (d)	14,7 cm
Průměr vnějšího válce (D)	15,92 cm
Vnitřní výška válce (h)	19,3 cm
Výška filtračního materiálu (L)	15,3 cm
Plocha filtračního materiálu (A)	169,7 cm ²

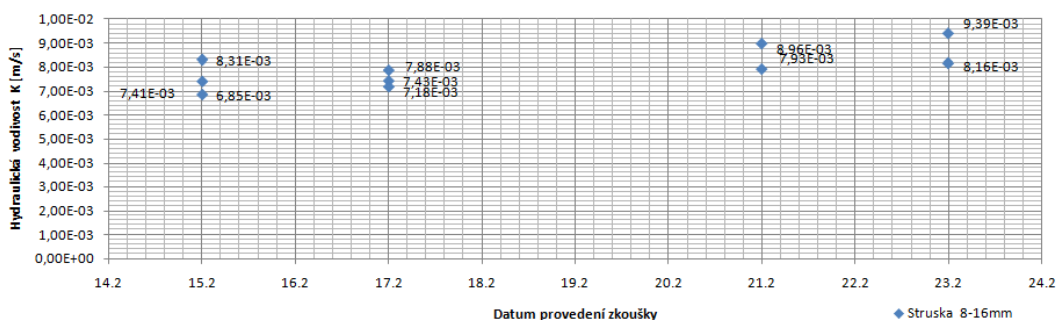
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum zkoušky	1.2	1.2	2.2	2.2	3.2	3.2	7.2	7.2	9.2	9.2
Δh [cm]	12,0	14,7	11,8	12,8	12,5	11,5	12,5	9,5	11,4	12,3
t [s]	120,0	360,0	60,0	120,0	180,0	180,0	720,0	300,0	60,0	60,0
V [cm ³]	9,0	41,5	6,5	12,4	98,0	88,0	118,0	38,0	10,0	10,5
Q [cm ³ /s]	0,08	0,12	0,11	0,10	0,54	0,49	0,16	0,13	0,17	0,18
k [cm/s]	5,63E-04	7,07E-04	8,28E-04	7,28E-04	3,93E-03	3,83E-03	1,18E-03	1,20E-03	1,32E-03	1,28E-03
k [m/s]	5,63E-06	7,07E-06	8,28E-06	7,28E-06	3,93E-05	3,83E-05	1,18E-05	1,20E-05	1,32E-05	1,28E-05



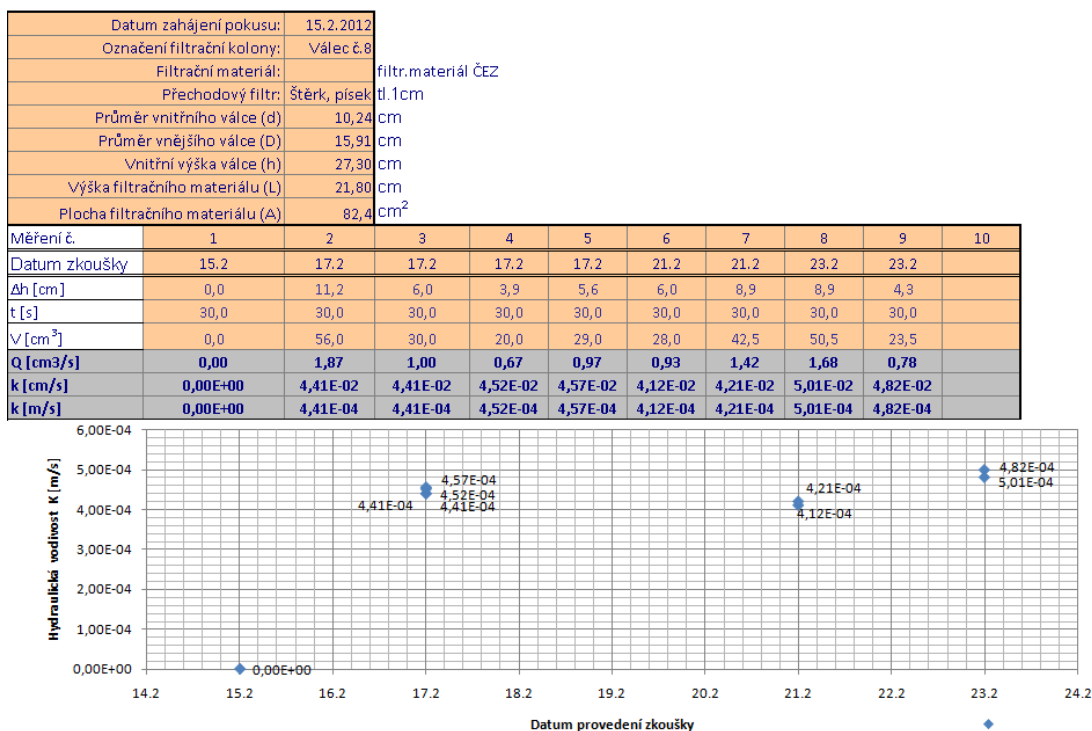
Obr. 5-1-7 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu káva

Datum zahájení pokusu:	15.2.2012
Označení filtrační kolony:	Válec č.7
Filtrační materiál:	Struska 8-16mm
Přechodový filtr:	Štěrka, písek tl.1cm
Průměr vnitřního válce (d)	10,24 cm
Průměr vnějšího válce (D)	16,00 cm
Vnitřní výška válce (h)	30,00 cm
Výška filtračního materiálu (L)	27,80 cm
Plocha filtračního materiálu (A)	82,4 cm ²

Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum zkoušky	15.2	15.2	15.2	17.2	17.2	17.2	21.2	21.2	23.2	23.2
Δh [cm]	9,0	5,5	7,4	5,3	6,8	3,7	2,9	4,6	2,9	5,1
t [s]	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
V [cm ³]	548,0	406,0	487,0	350,0	434,0	259,0	231,0	324,0	242,0	370,0
Q [cm ³ /s]	18,27	13,53	16,23	11,67	14,47	8,63	7,70	10,80	8,07	12,33
k [cm/s]	6,85E-01	8,31E-01	7,41E-01	7,43E-01	7,18E-01	7,88E-01	8,96E-01	7,93E-01	9,39E-01	8,16E-01
k [m/s]	6,85E-03	8,31E-03	7,41E-03	7,43E-03	7,18E-03	7,88E-03	8,96E-03	7,93E-03	9,39E-03	8,16E-03



Obr. 5-1-8 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu struska 8-16mm



Obr. 5-1-9 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu ČEZ

5.2 STANOVENÍ VÝLUHŮ KOVŮ V DESTILOVANÉ VODĚ

Akreditovaná laboratoř VUV TGM v.v.i, stanovila složení vzorků přímým rozkladem a koncentraci kovů v destilované vodě určili z výluhů starých 5 a 15 dní.

Tab.5-4Přímý rozklad materiálu

	navážka g	objem ml	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Al mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg
Cipres filtr	0,1049	100	12400	12700	26400	6,3	0,11	16,8
Malé tryskače	0,1009	100	2450	636	4910	19,4	<0,1	524
Formovací směs	0,1010	100	5500	4320	10750	2,3	<0,1	9,4
Velké tryskače	0,1009	100	3280	1990	7290	26,5	<0,1	1020
Struska	0,1201	100	252700	7230	25300	2,3	<0,1	291

	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg
Cipres filtr	10,2	18200	0,037	200	21,8	15,5	70,9	8840	4100
Malé tryskače	411	236200	0,002	986	321	7,4	45,8	917	803
Formovací směs	5,9	7910	0,018	103	10,2	6,0	41,6	3160	2000
Velké tryskače	625	351500	0,005	1860	469	8,4	76,4	1570	1030
Struska	9,5	7870	0,010	20500	5,3	11,5	156	3470	4730

Tab.5-5Koncentrace kovů - doba výluhu 5 dní

	navážka g	objem ml	Ca mg/l	Ca mg/kg	Mg mg/l	Mg mg/kg	Al ug/l	Al mg/kg
Cipres filtr	10,0900	250	5,12	127,0	2,00	49,4	18900	468
Malé tryskače	10,1340	250	2,54	62,4	0,62	15,3	49,6	1,2
Formovací směs	10,1103	250	3,54	87,7	1,26	31,2	10600	262
Velké tryskače	10,0615	250	2,72	67,8	<0,20	<3,5	499	12,4
Struska	10,1475	250	6,98	172,0	0,20	3,5	186	4,6

	As ug/l	As mg/kg	Cd ug/l	Cd mg/kg	Cr Crug/l	Cr mg/kg	Cu Cuug/l	Cu mg/kg
Cipres filtr	25,0	0,62	<0,1	<0,002	5,0	0,12	3,0	0,07
Malé tryskače	1,0	0,02	<0,1	<0,002	<1	<0,02	<2	<0,05
Formovací směs	10,1	0,25	<0,1	<0,002	2,7	0,07	2,4	0,06
Velké tryskače	2,0	0,05	<0,1	<0,002	<1	<0,02	<2,0	<0,05
Struska	<1	<0,02	0,18	0,004	<1	<0,02	<2,0	<0,05

	Fe Feug/l	Fe mg/kg	Hg Hgug/l	Hg mg/kg	Mn Mnug/l	Mn mg/kg	Ni ug/l	Ni mg/kg
Cipres filtr	4230	105	0,21	0,005	21	0,53	3,4	0,08
Malé tryskače	680	16,9	<0,10	<0,002	26	0,64	<2	<0,05
Formovací směs	2480	61,4	<0,10	<0,002	22	0,55	2,2	0,06
Velké tryskače	1090	27,1	<0,10	<0,002	31	0,76	<2	<0,05
Struska	580	14,3	<0,10	<0,002	47	1,15	<2	<0,05

	Pb Pbug/l	Pb mg/kg	Zn Znug/l	Zn mg/kg	Na mg/l	Na mg/kg	K mg/l	K mg/kg
Cipres filtr	4,5	0,11	37	0,92	107	2660	3,40	84,2
Malé tryskače	<0,5	<0,02	14	0,36	1,60	39,5	0,24	5,80
Formovací směs	2,8	0,07	24	0,59	48,0	1190	2,22	54,8
Velké tryskače	0,9	0,02	12	0,30	15,5	385	1,23	30,4
Struska	16,4	0,4	136	3,35	4,03	99,3	1,40	34,5

Tab.5-6Koncentrace kovů - doba výluhu 15 dní

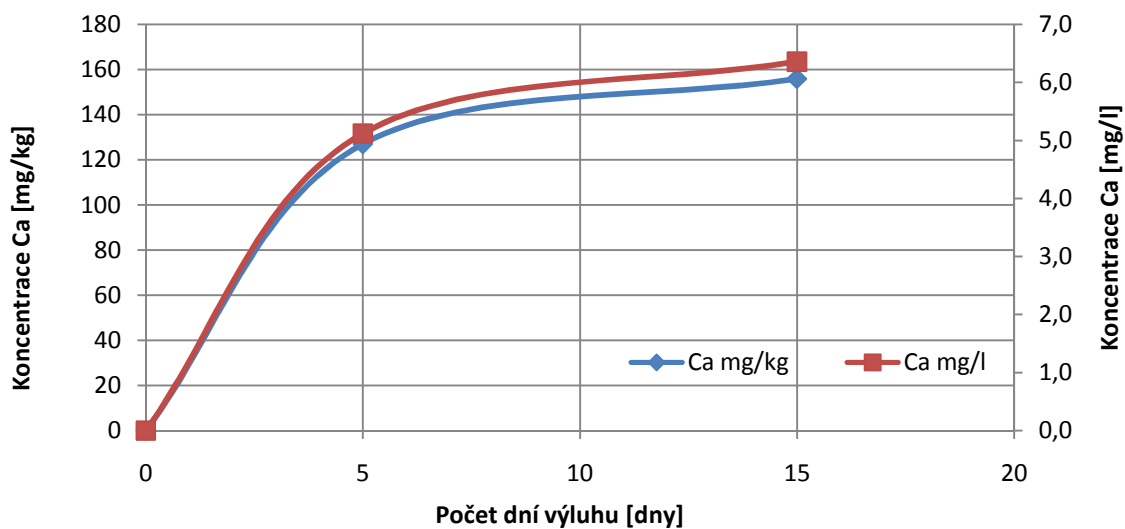
	navážka g	objem ml	Ca mg/l	Ca mg/kg	Mg mg/l	Mg mg/kg	Al ug/l	Al mg/kg
Cipres filtr	10,1800	250	6,36	156,0	15,40	377	38800	953
Malé tryskače	10,0222	250	2,88	71,8	0,38	9,6	94,6	2,36
Formovací směs	10,0385	250	3,9	97,1	2,12	52,9	9490	236
Velké tryskače	10,0417	250	3,72	92,7	<0,2	<3,5	473	11,8
Struska	10,0436	250	5,28	131,0	0,46	11,4	366	9,11

	As ug/l	As mg/kg	Cd ug/l	Cd mg/kg	Cr ug/l	Cr mg/kg	Cu ug/l	Cu mg/kg
Cipres filtr	36,9	0,91	<0,1	<0,002	8,1	0,19	5,1	0,12
Malé tryskače	<1	<0,02	<0,1	<0,002	<1,0	<0,02	<2,0	<0,05
Formovací směs	10,8	0,27	<0,1	<0,002	3,1	0,08	2	0,05
Velké tryskače	2,3	0,06	<0,1	<0,002	<1	<0,02	<2	<0,05
Struska	<1	<0,02	0,36	0,009	1,1	0,03	<2	<0,05

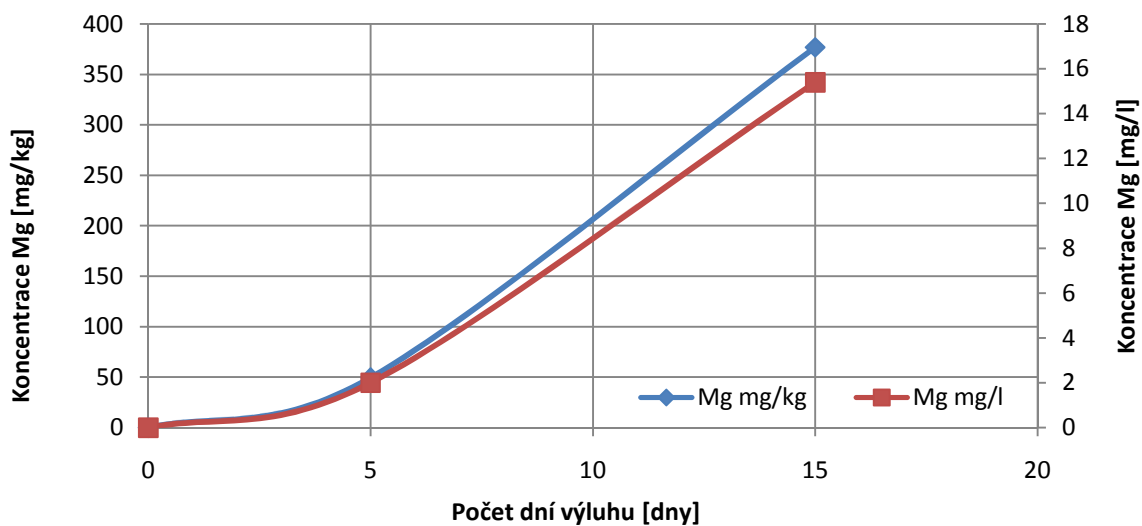
	Fe ug/l	Fe mg/kg	Hg ug/l	Hg mg/kg	Mn ug/l	Mn mg/kg	Ni ug/l	Ni mg/kg
Cipres filtr	8030	197	<0,10	<0,002	43	1,05	6,3	0,16
Malé tryskače	780	19,6	<0,10	<0,002	24	0,6	<2	<0,05
Formovací směs	3240	80,8	<0,10	<0,002	31	0,77	<2	<0,05
Velké tryskače	1410	35,1	0,17	0,004	39	0,97	<2	<0,05
Struska	770	19,3	0,1	0,002	86	2,14	<2	<0,05

	Pb ug/l	Pb mg/kg	Zn ug/l	Zn mg/kg	Na mg/l	Na mg/kg	K mg/l	K mg/kg
Cipres filtr	6,1	0,15	84	2,08	133	3270	3,52	86,4
Malé tryskače	<0,5	<0,02	26	0,63	2,69	67,1	2,16	53,90
Formovací směs	2,4	0,06	36	0,91	49,2	1230	2,37	59,1
Velké tryskače	1,3	0,03	26	0,67	16,7	416	3,15	78,4
Struska	22,5	0,56	110	2,75	4,1	102	1,04	25,8

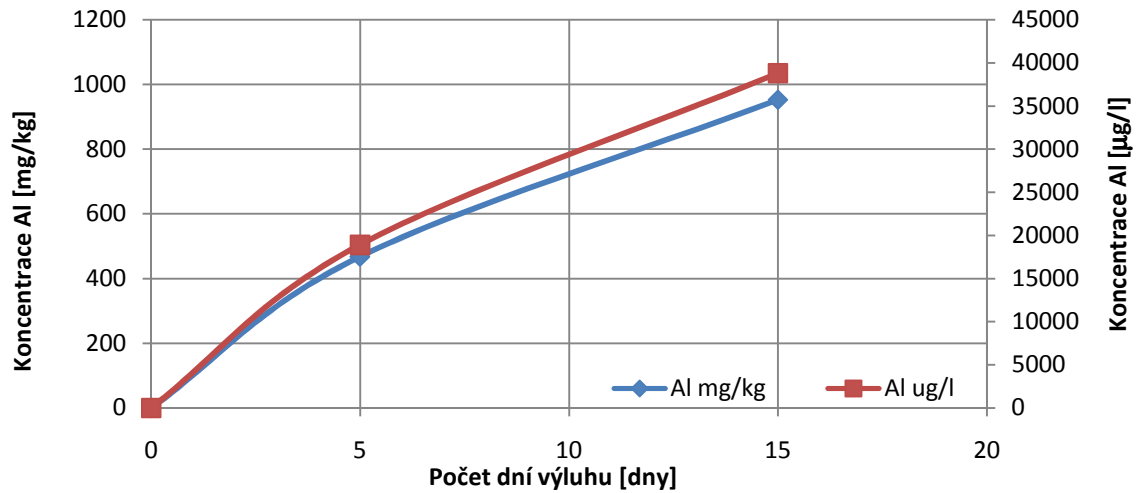
5.2.1 Filtrační materiál Č.1-Cipres filtr



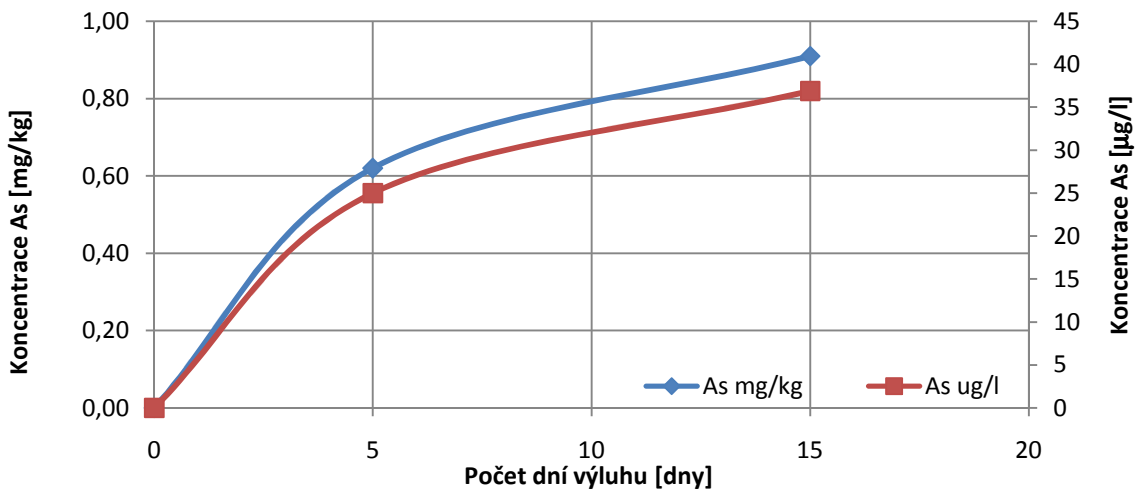
Obr. 5-2-1 Stanovení koncentrací vápníku (Ca) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



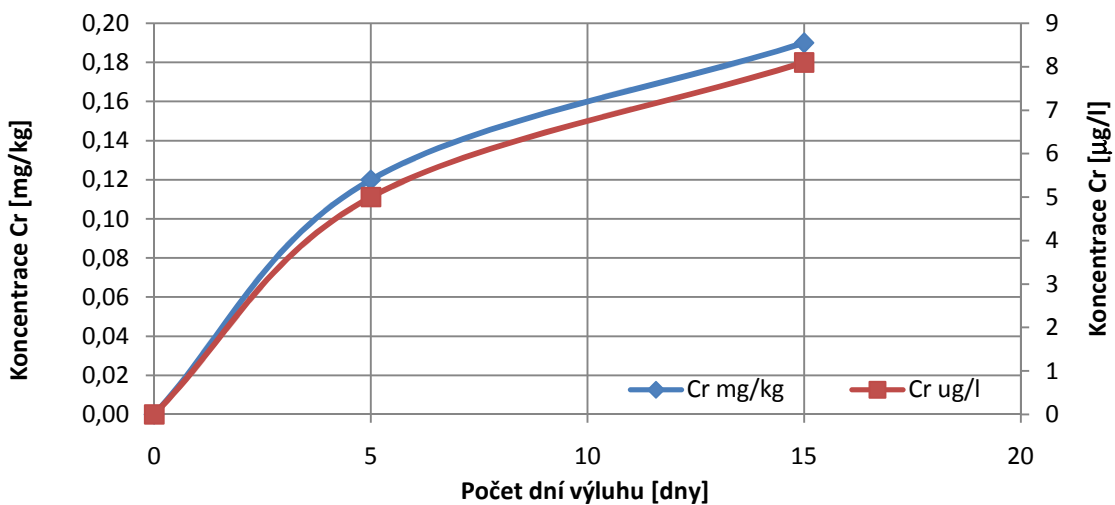
Obr. 5-2-2 Stanovení koncentrací hořčíku (Mg) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



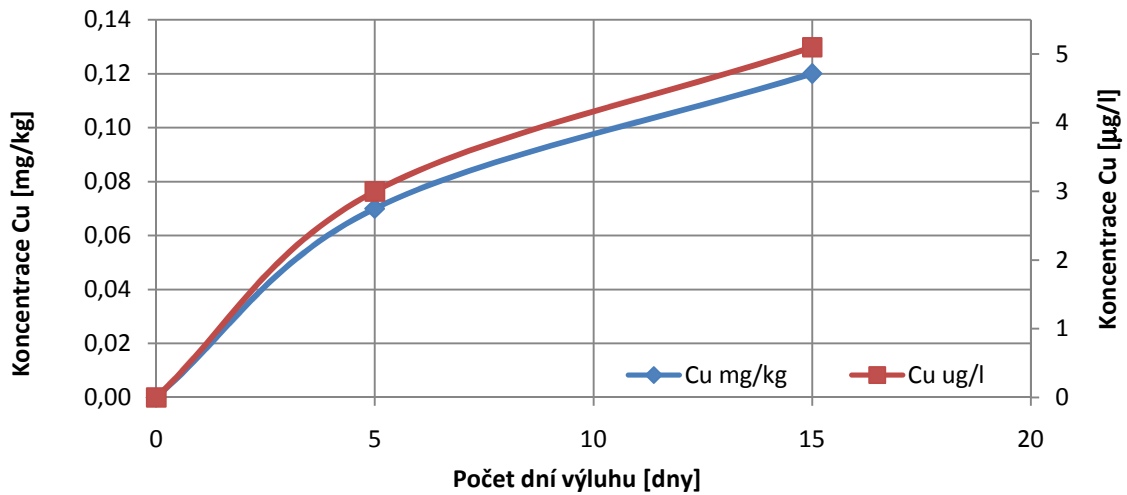
Obr. 5-2-3 Stanovení koncentrací hliníku (Al) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



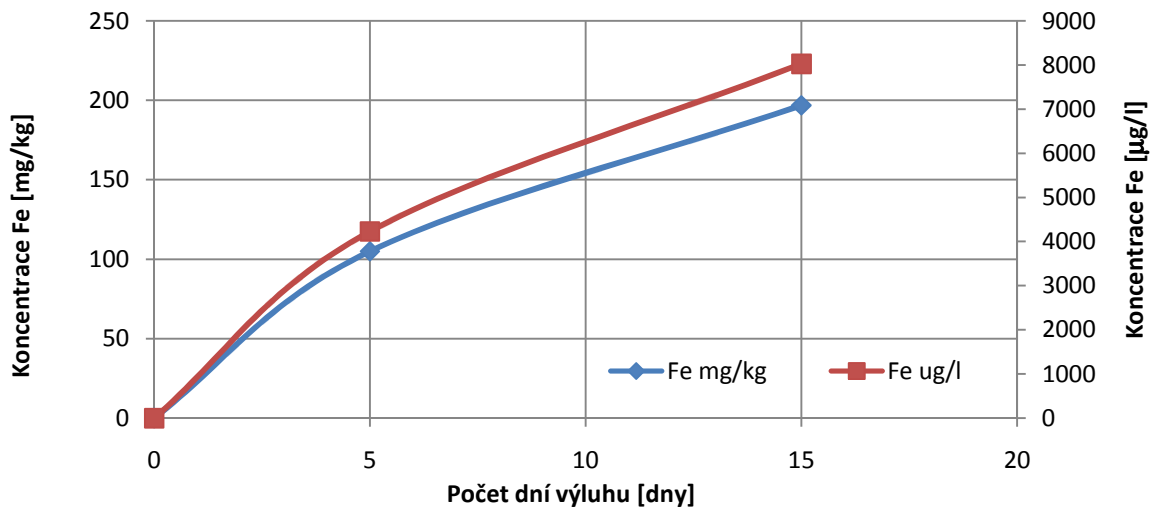
Obr. 5-2-4 Stanovení koncentrací arsenu (As) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



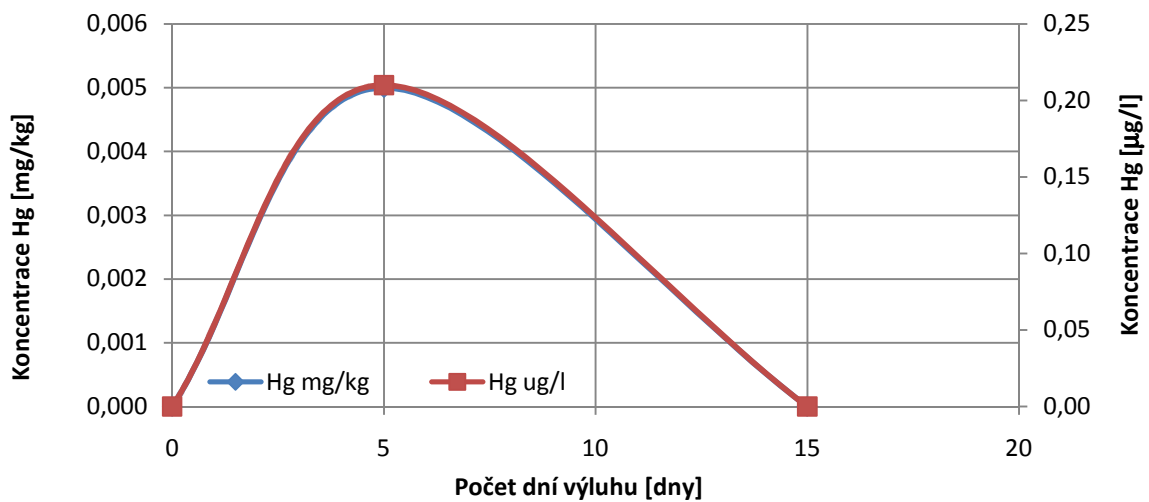
Obr. 5-2-5 Stanovení koncentrací chromu (Cr) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



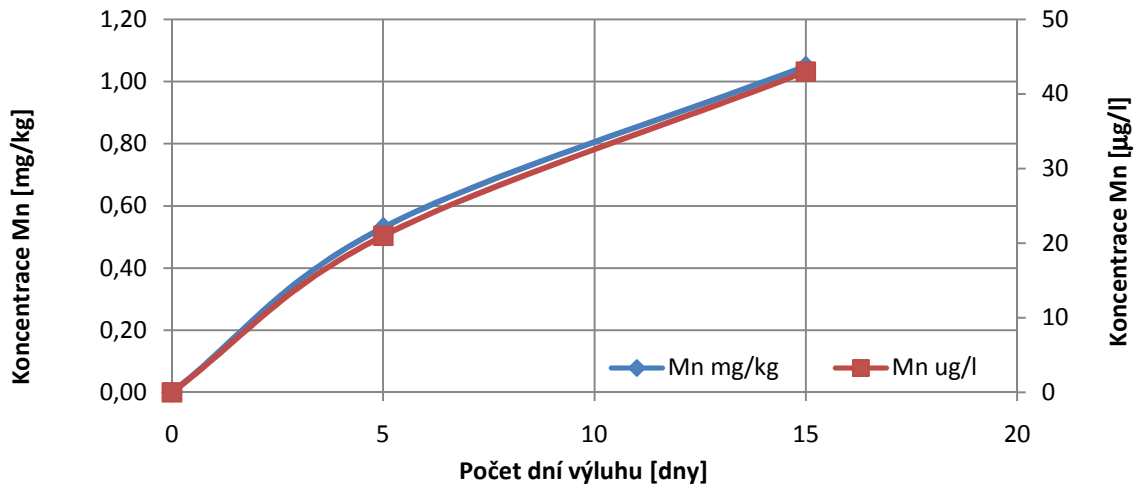
Obr. 5-2-6 Stanovení koncentrací mědi (Cu) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



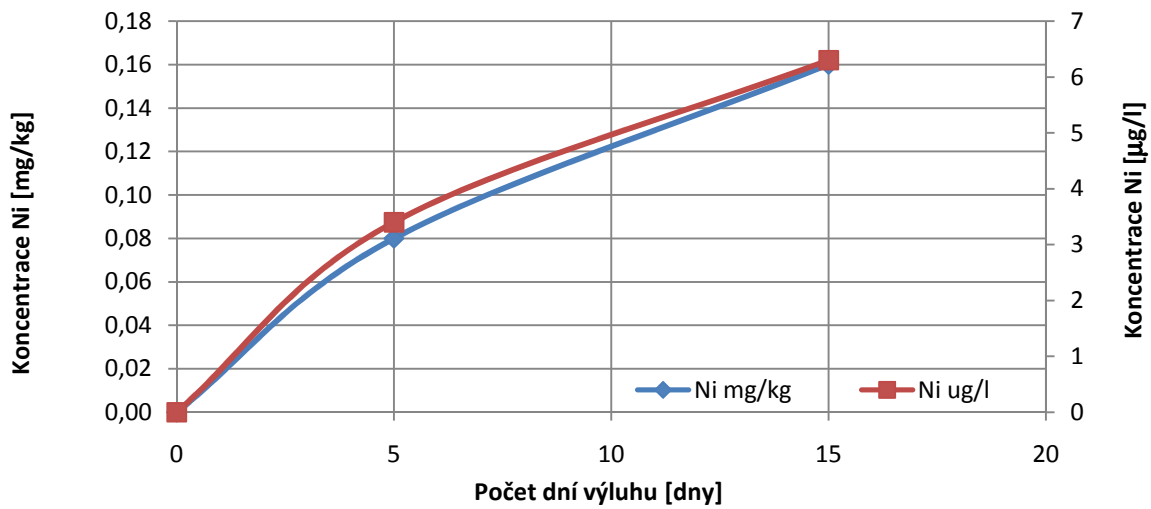
Obr. 5-2-7 Stanovení koncentrací železa (Fe) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



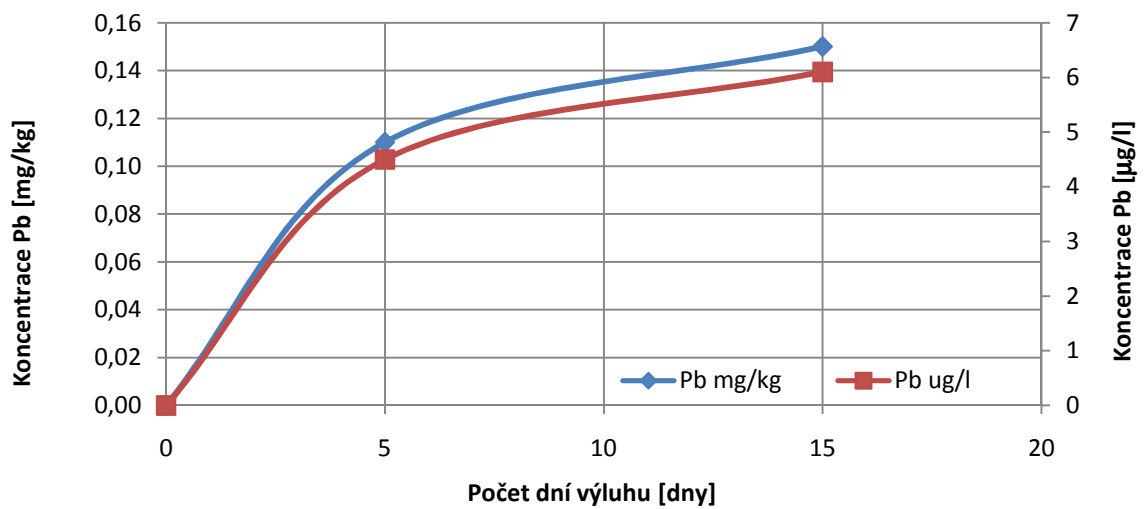
Obr. 5-2-8 Stanovení koncentrací rtuti (Hg) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



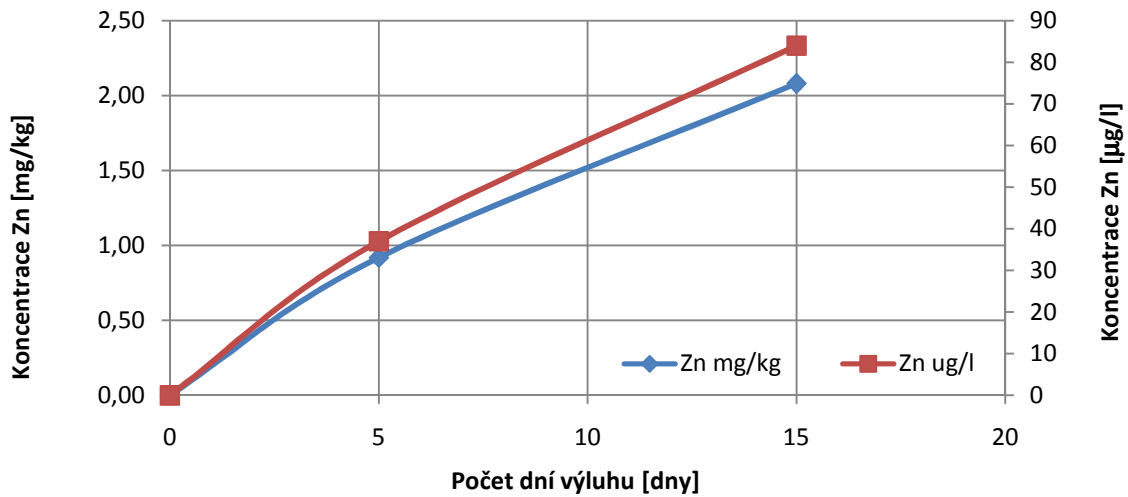
Obr. 5-2-9 Stanovení koncentrací manganu (Mn) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



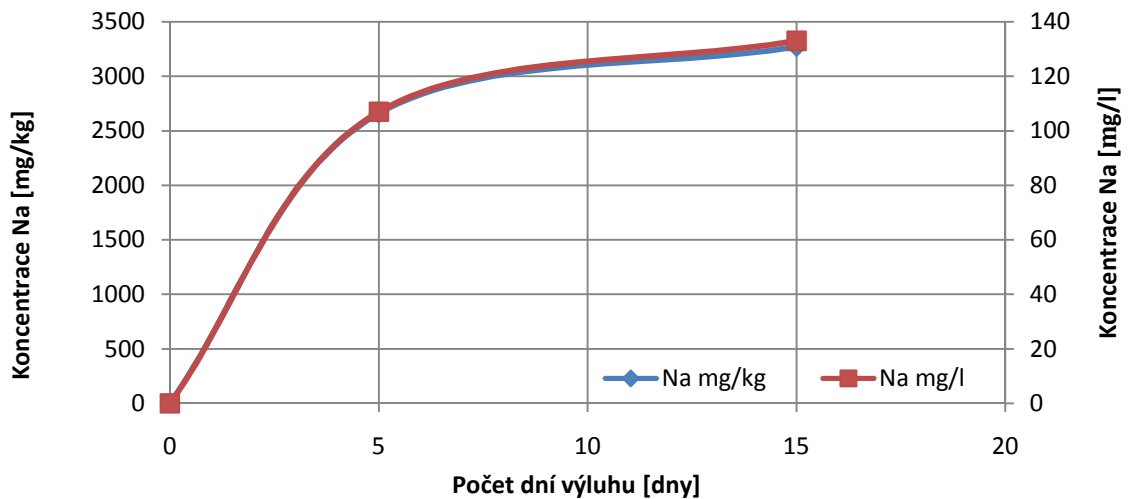
Obr. 5-2-10 Stanovení koncentrací niklu (Ni) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



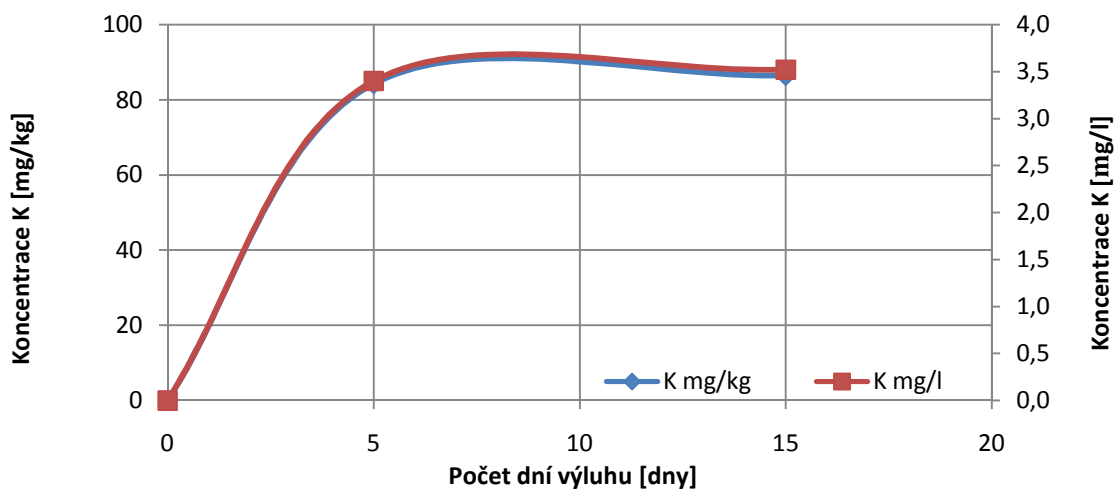
Obr. 5-2-11 Stanovení koncentrací olova (Pb) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru



Obr. 5-2-12 Stanovení koncentrací zinku (Zn) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru

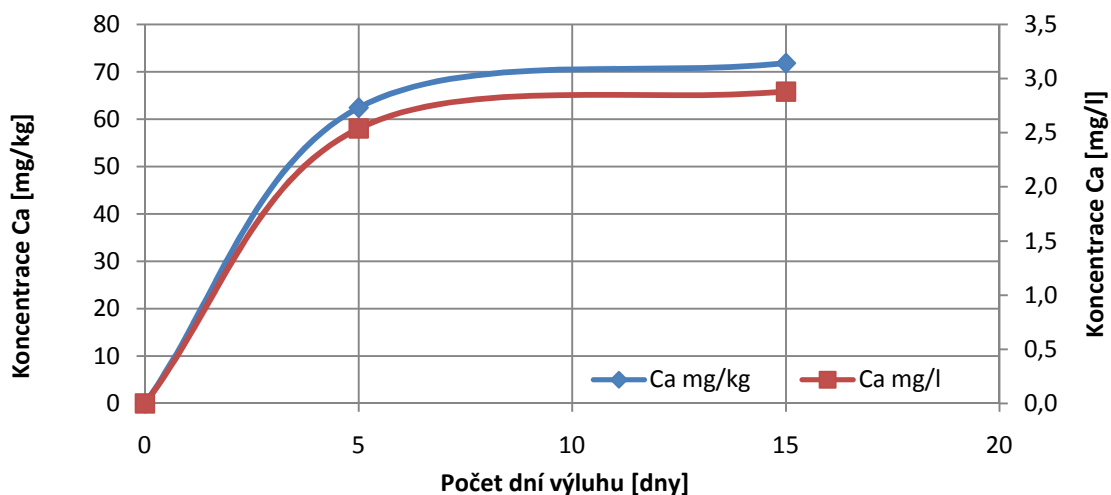


Obr. 5-2-13 Stanovení koncentrací sodíku (Na) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru

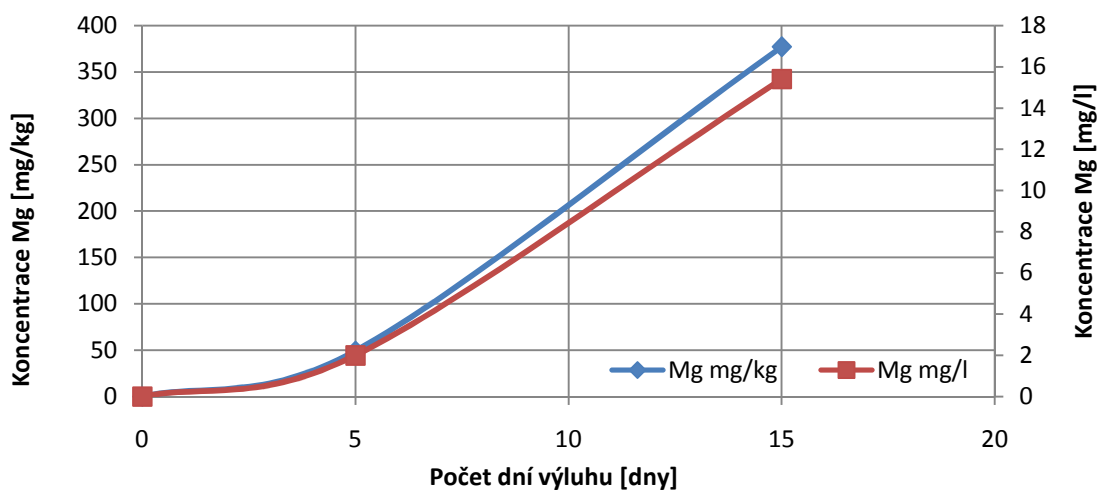


Obr. 5-2-14 Stanovení koncentrací draslíku (K) výluhem z filtračního materiálu cipres filtru

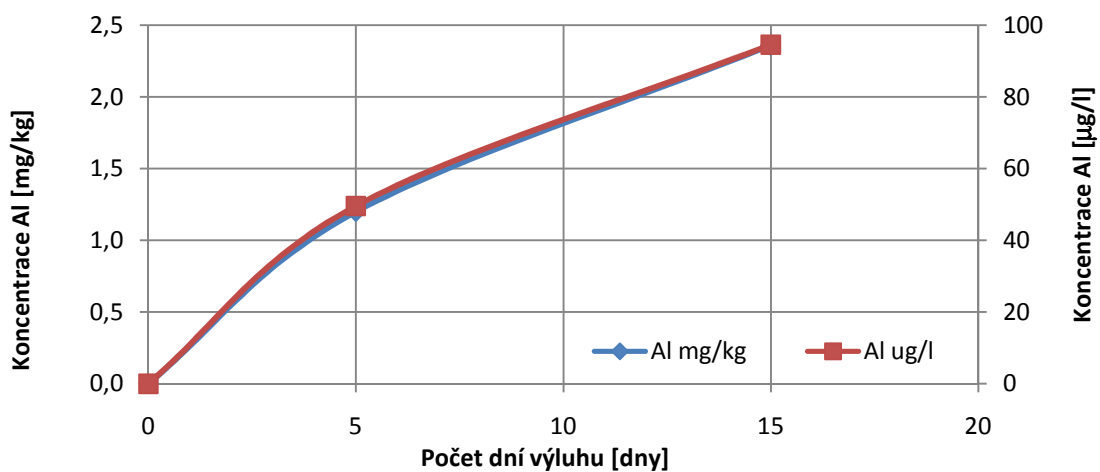
5.2.2 Filtrační materiál č.2-Malé tryskače



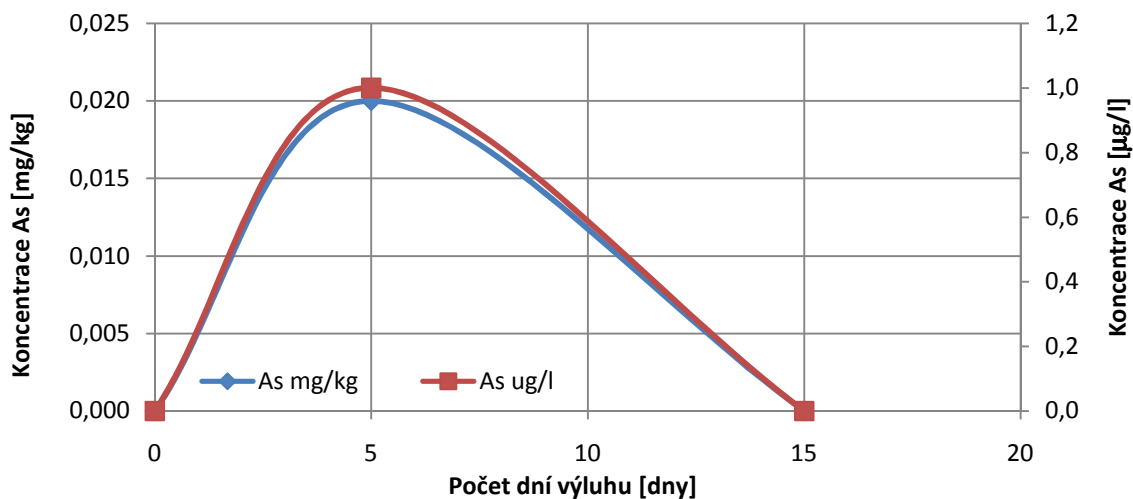
Obr. 5-2-15 Stanovení koncentrací vápníku (Ca) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



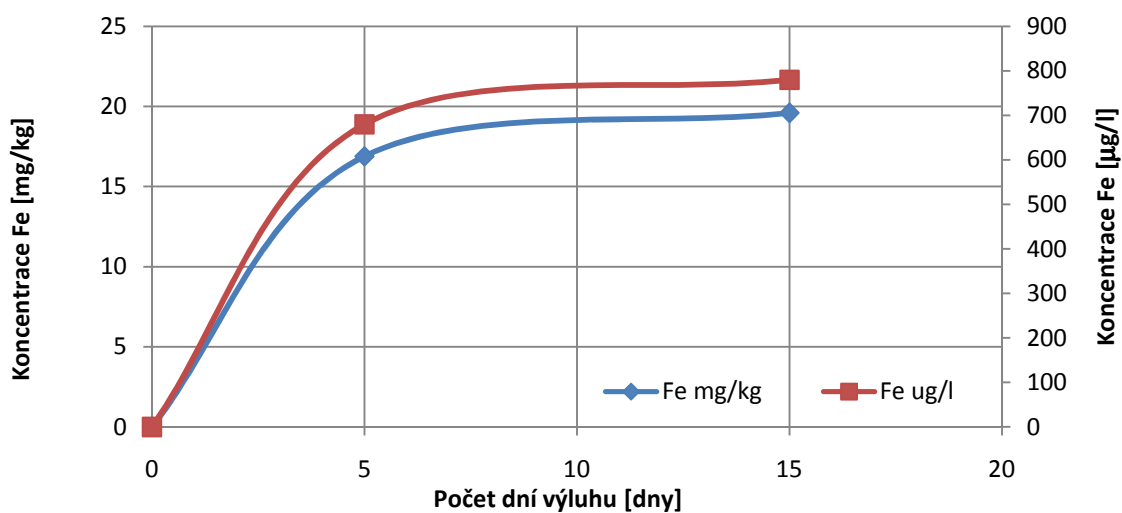
Obr. 5-2-16 Stanovení koncentrací hořčíku (Mg) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



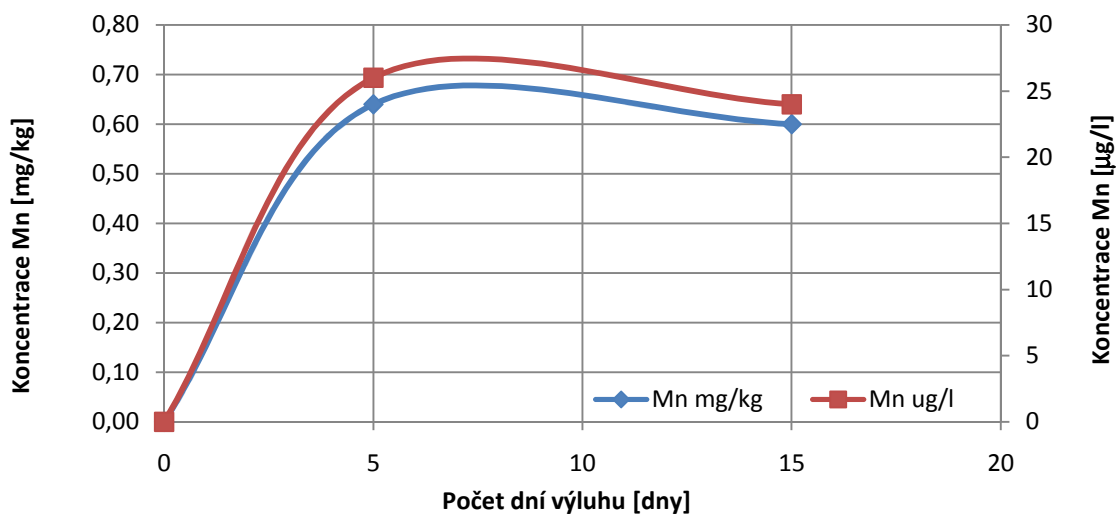
Obr. 5-2-17 Stanovení koncentrací hliníku (Al) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



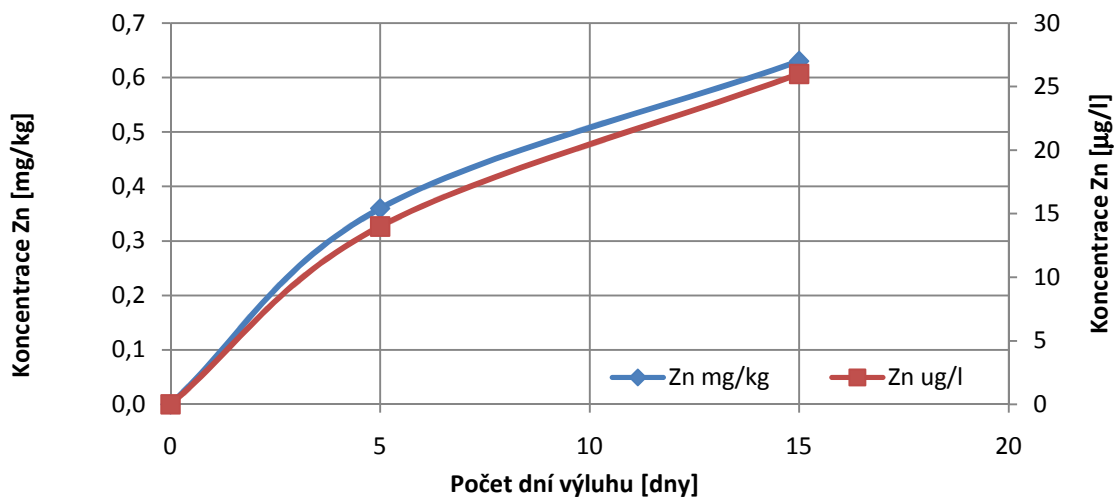
Obr. 5-2-18 Stanovení koncentrací arsenu (As) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



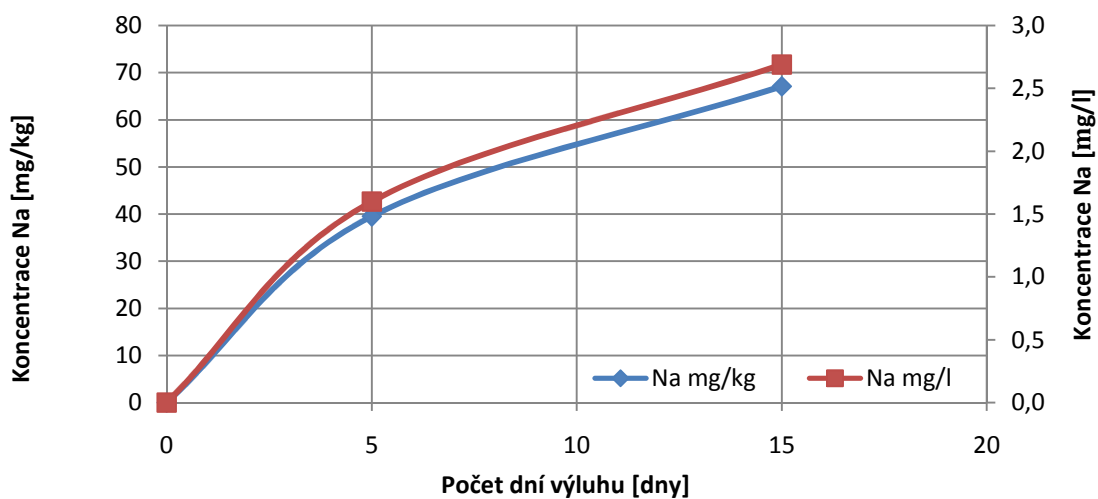
Obr. 5-2-19 Stanovení koncentrací železa (Fe) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



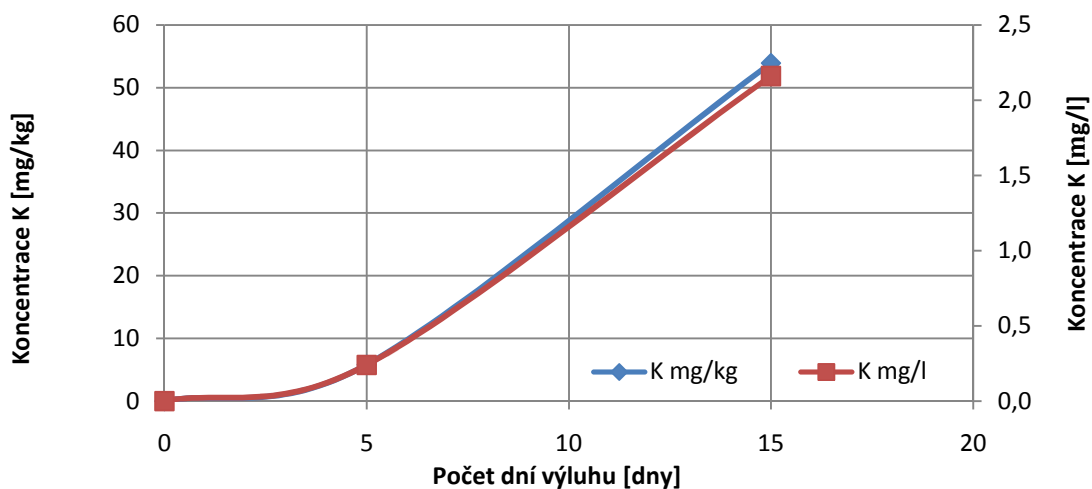
Obr. 5-2-20 Stanovení koncentrací manganu (Mn) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače



Obr. 5-2-21 Stanovení koncentrací zinku (Zn) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače

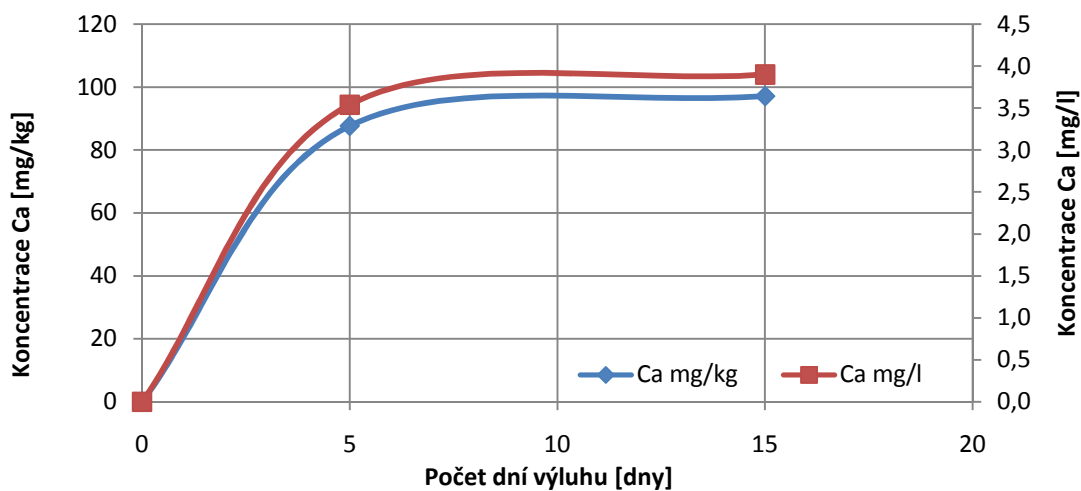


Obr. 5-2-22 Stanovení koncentrací sodíku (Na) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače

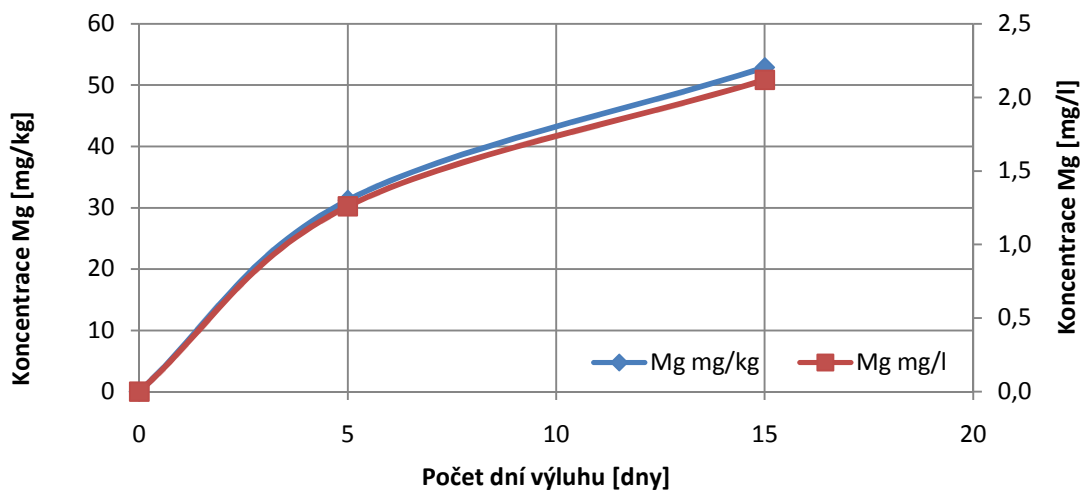


Obr. 5-2-23 Stanovení koncentrací draslíku (K) výluhem z filtračního materiálu malého tryskače

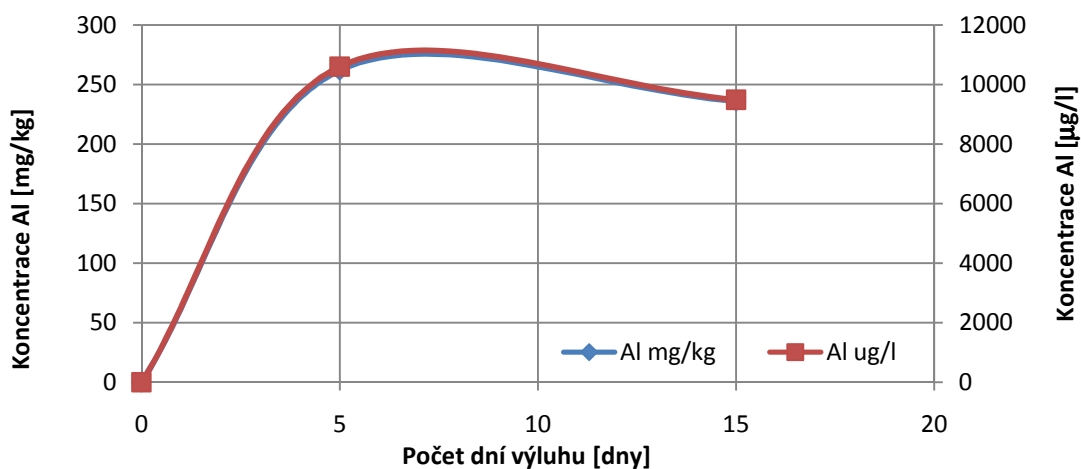
5.2.3 Filtrační materiál č.3 - Formovací směs



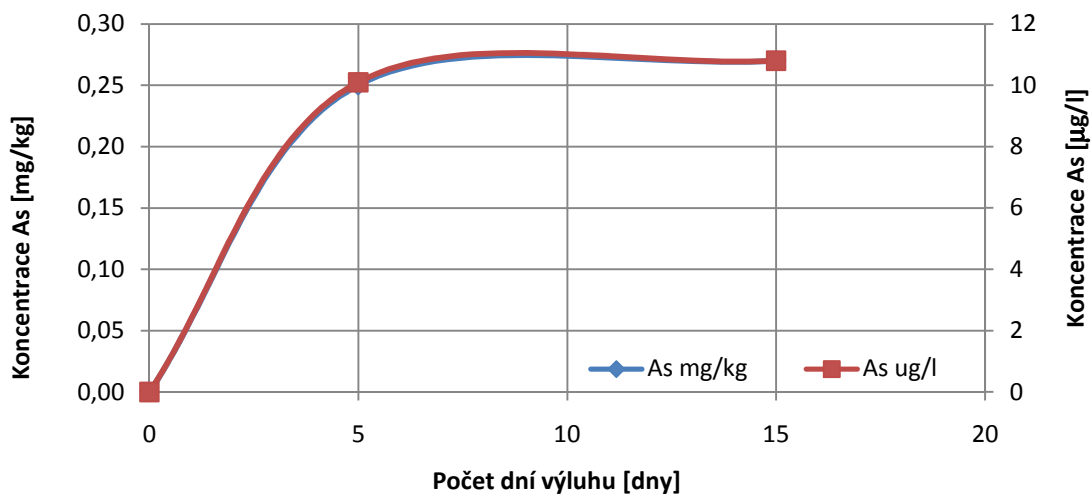
Obr. 5-2-24 Stanovení koncentrací vápníku (Ca) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



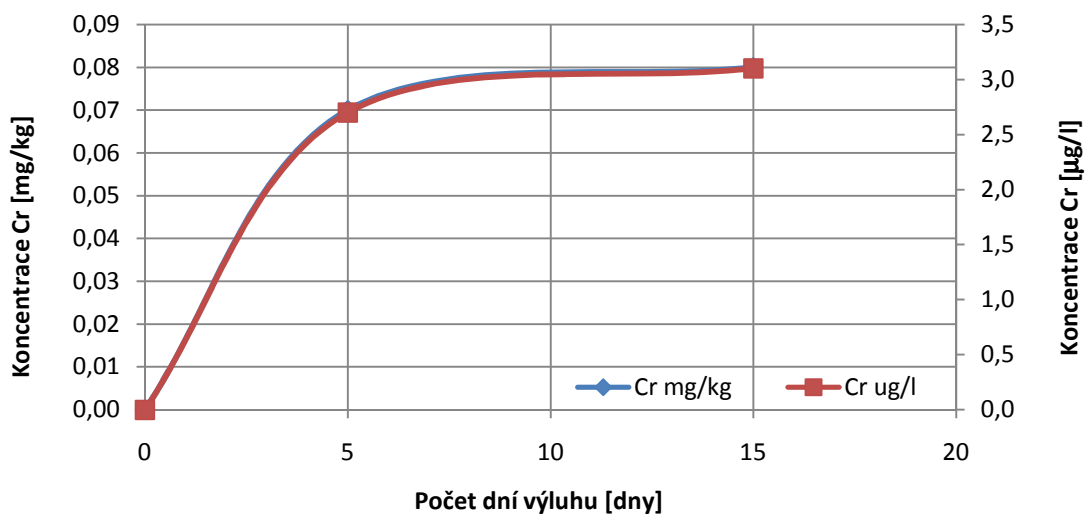
Obr. 5-2-25 Stanovení koncentrací hořčíku (Mg) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



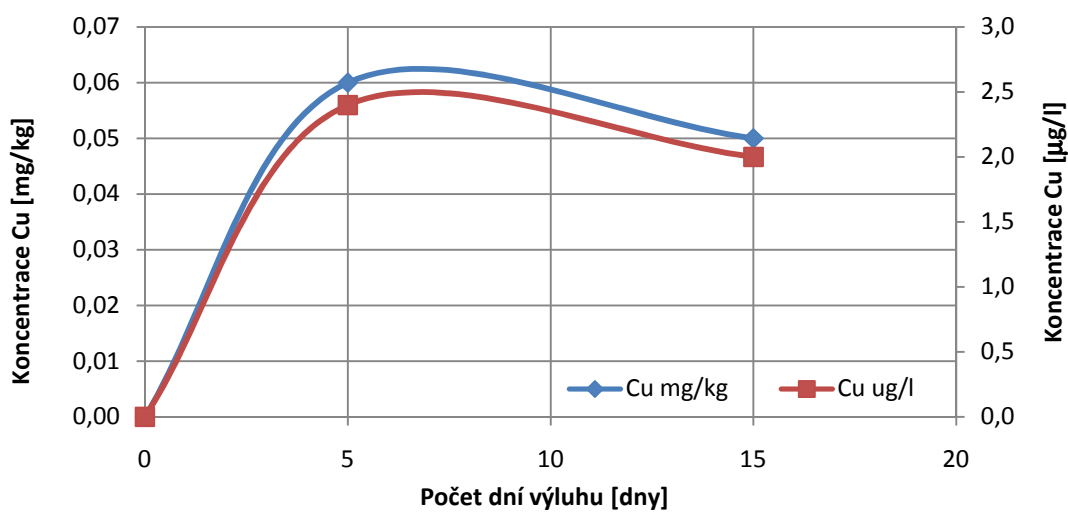
Obr. 5-2-26 Stanovení koncentrací hliníku (Al) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



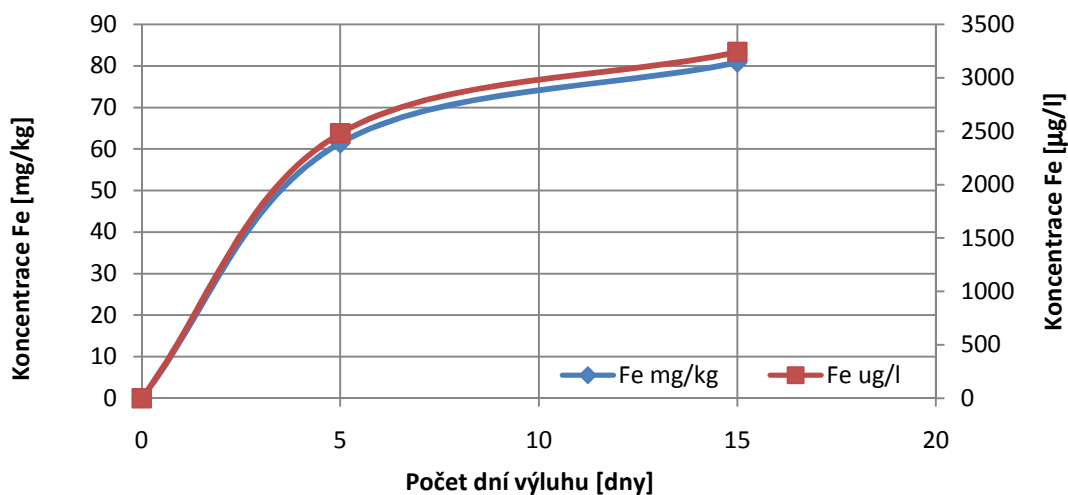
Obr. 5-2-27 Stanovení koncentrací arsenu (As) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



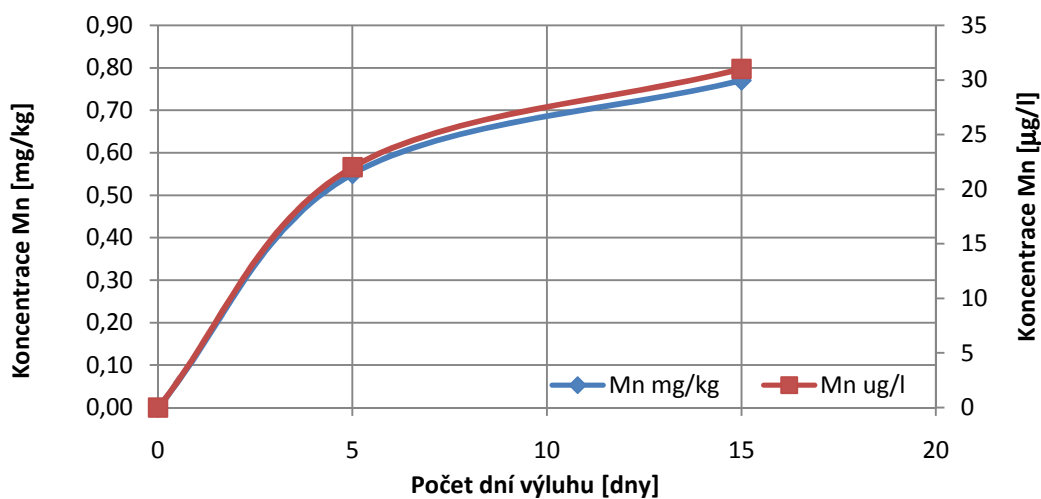
Obr. 5-2-28 Stanovení koncentrací chromu (Cr) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



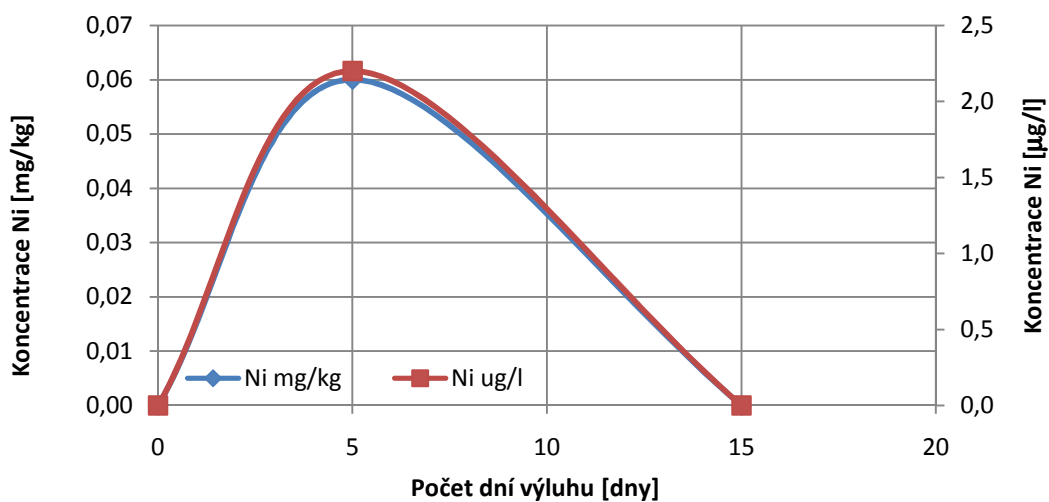
Obr. 5-2-29 Stanovení koncentrací mědi (Cu) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



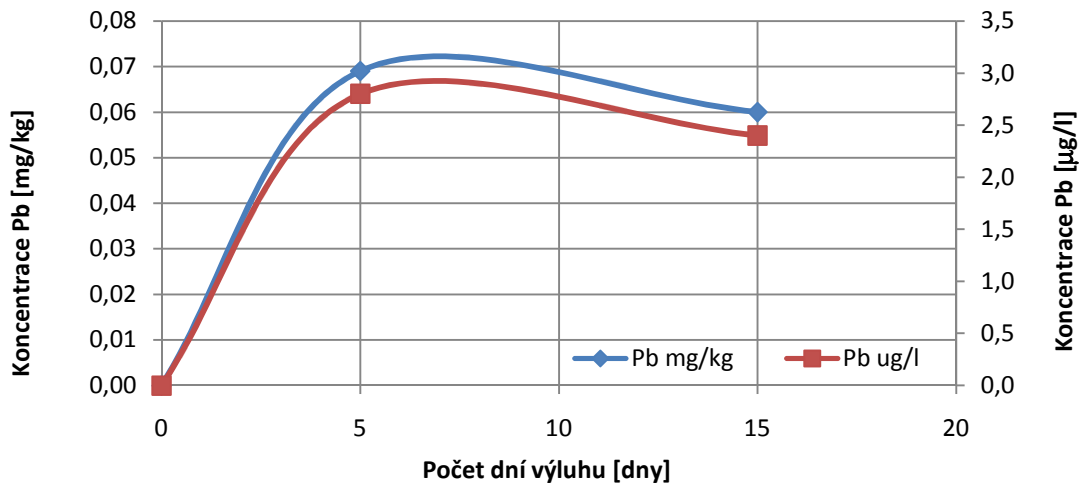
Obr. 5-2-30 Stanovení koncentrací železa (Fe) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



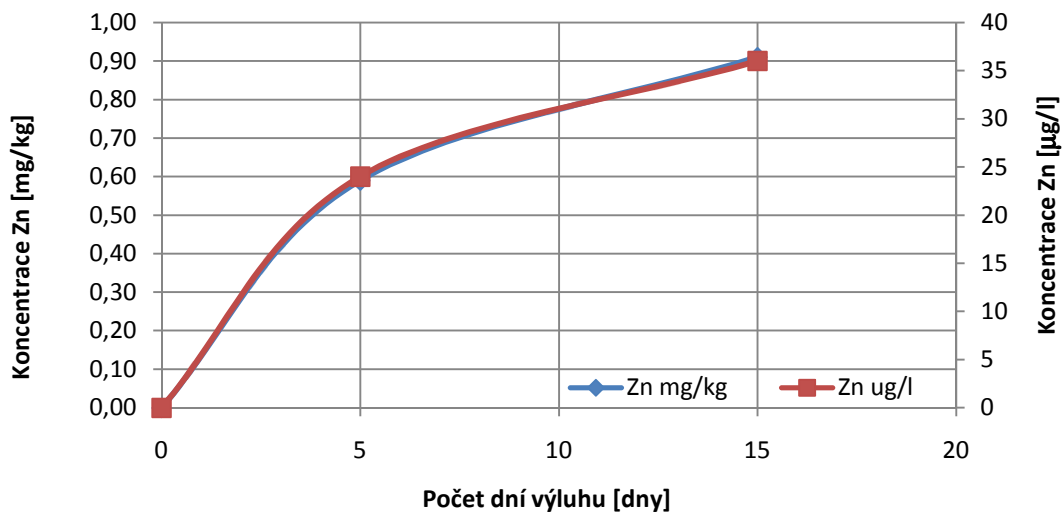
Obr. 5-2-31 Stanovení koncentrací manganu (Mn) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



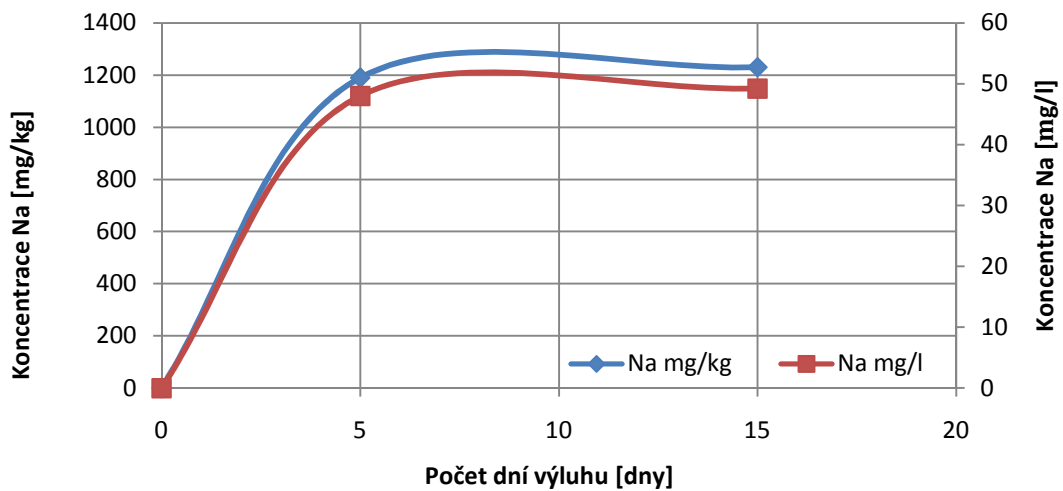
Obr. 5-2-32 Stanovení koncentrací niklu (Ni) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



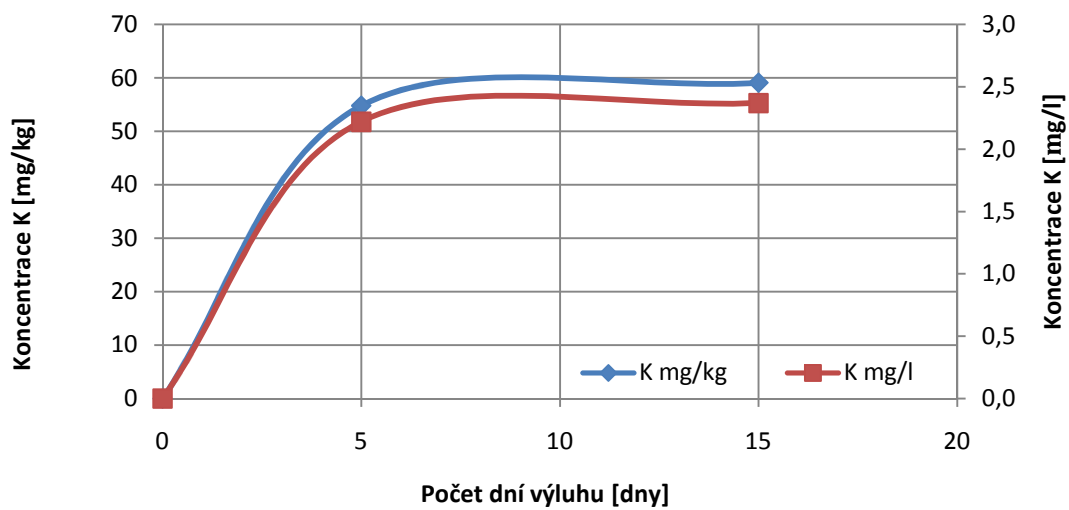
Obr. 5-2-33 Stanovení koncentrací olova (Pb) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi



Obr. 5-2-34 Stanovení koncentrací zinku (Zn) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi

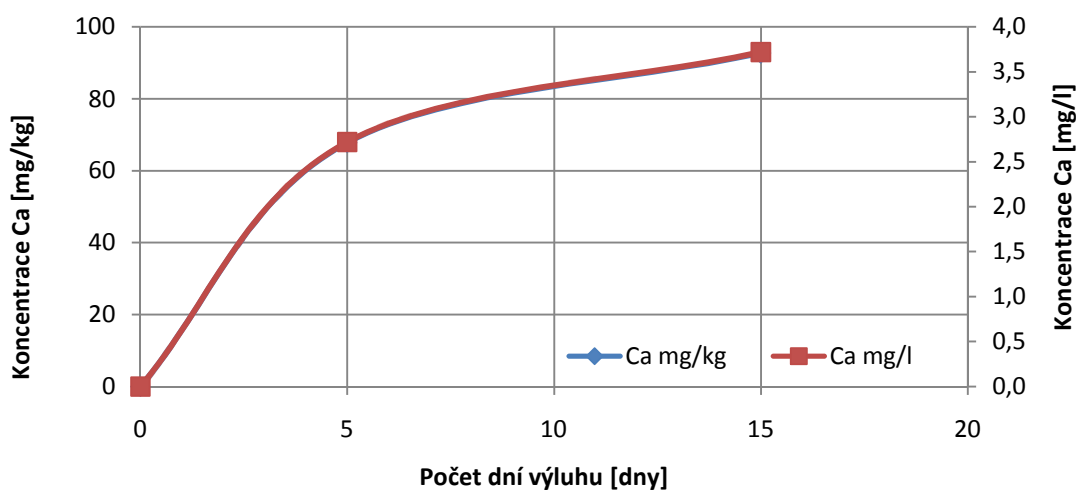


Obr. 5-2-35 Stanovení koncentrací sodíku (Na) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi

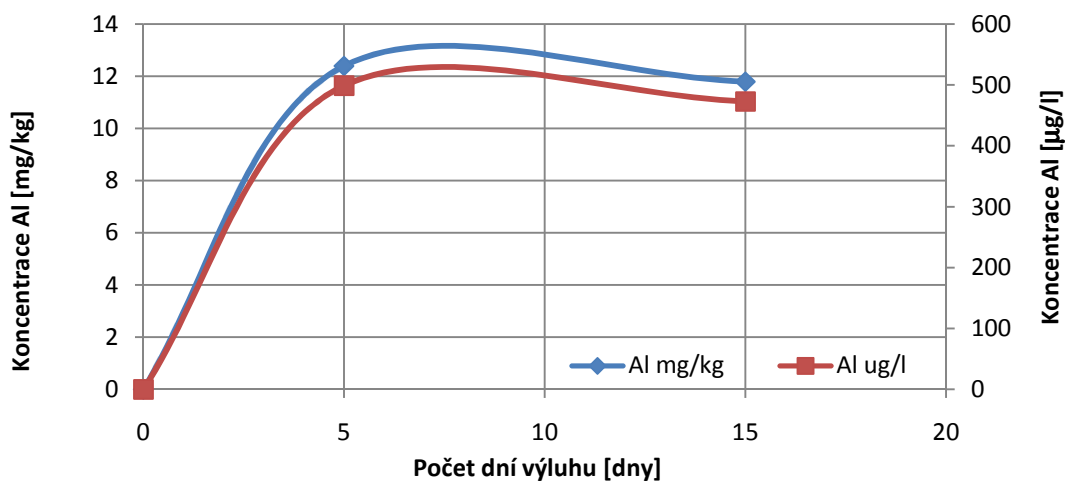


Obr. 5-2-36 Stanovení koncentrací draslíku (K) výluhem z filtračního materiálu formovací směsi

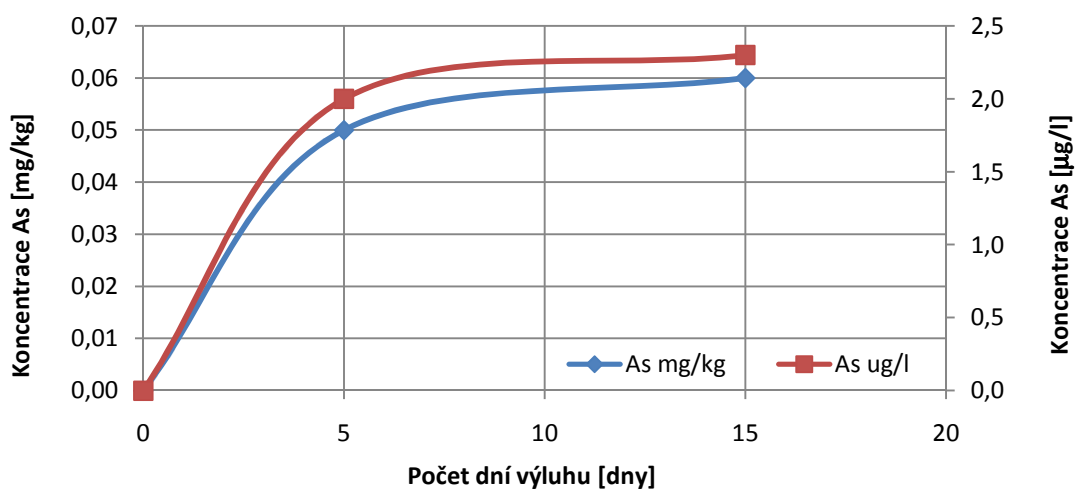
5.2.4 Filtrační materiál č.4 – Velké tryskače



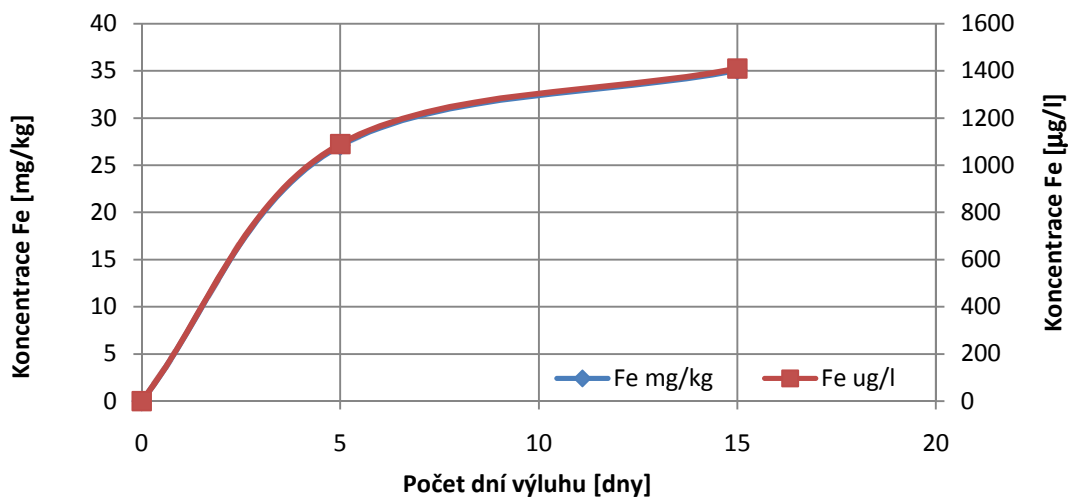
Obr. 5-2-37 Stanovení koncentrací vápníku (Ca) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



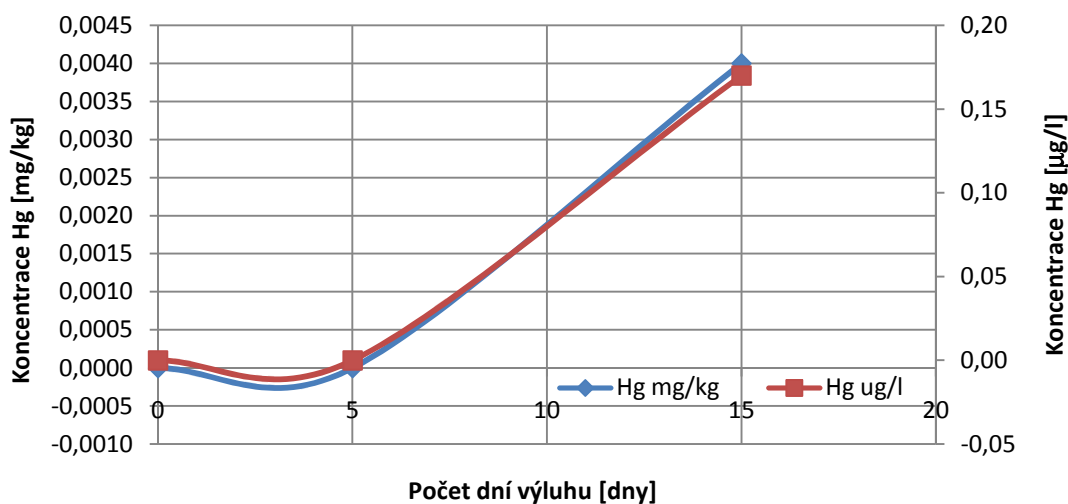
Obr. 5-2-38 Stanovení koncentrací hliníku (Al) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



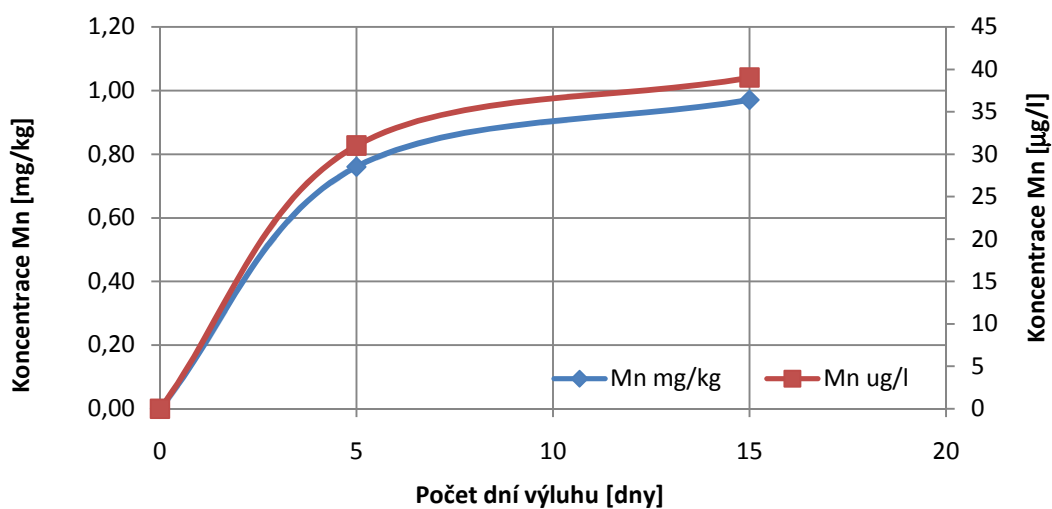
Obr. 5-2-39 Stanovení koncentrací arsenu (As) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



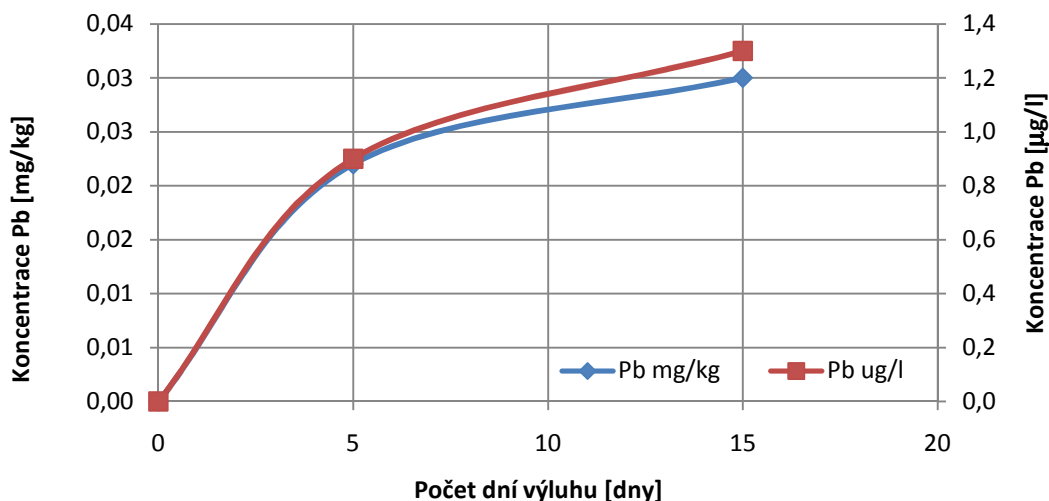
Obr. 5-2-40 Stanovení koncentrací železa (Fe) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



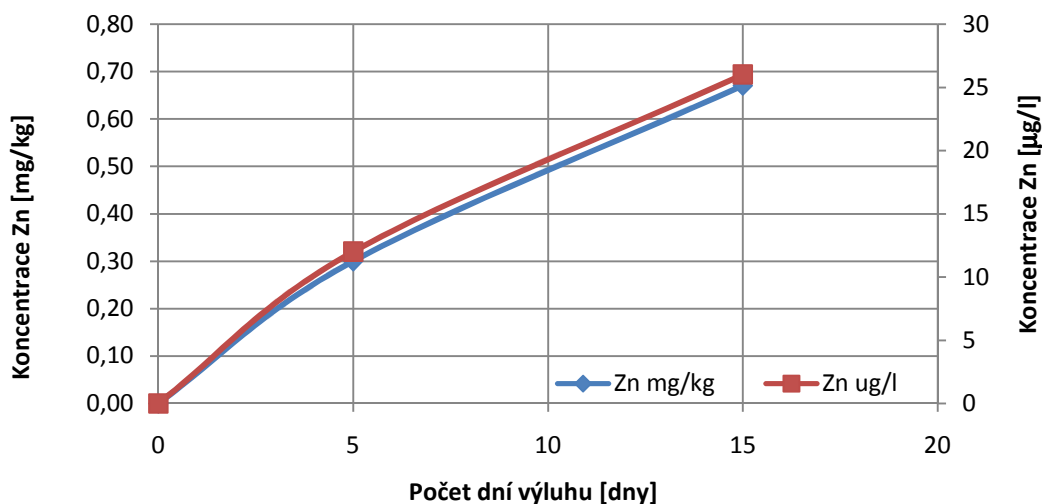
Obr. 5-2-41 Stanovení koncentrací rtuti (Hg) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



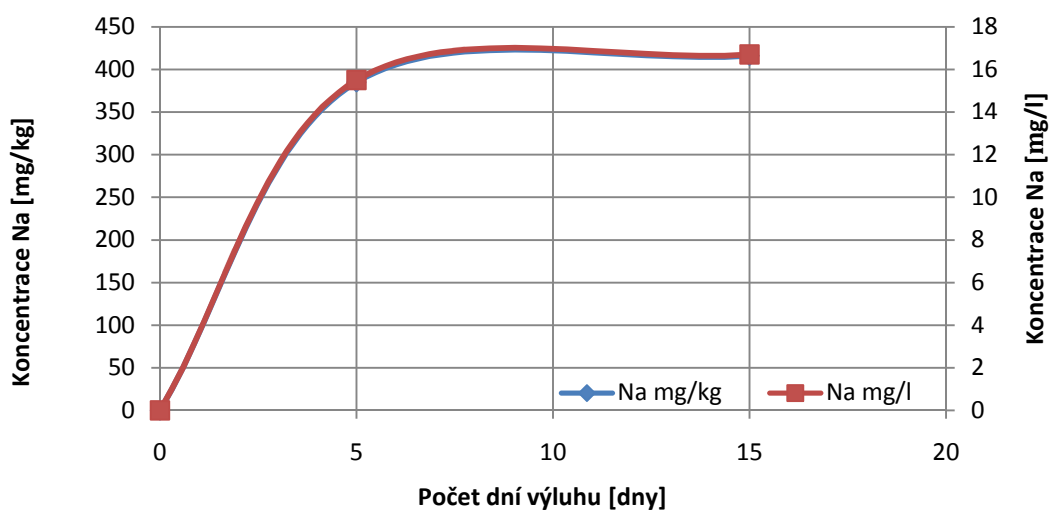
Obr. 5-2-42 Stanovení koncentrací manganu (Mn) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



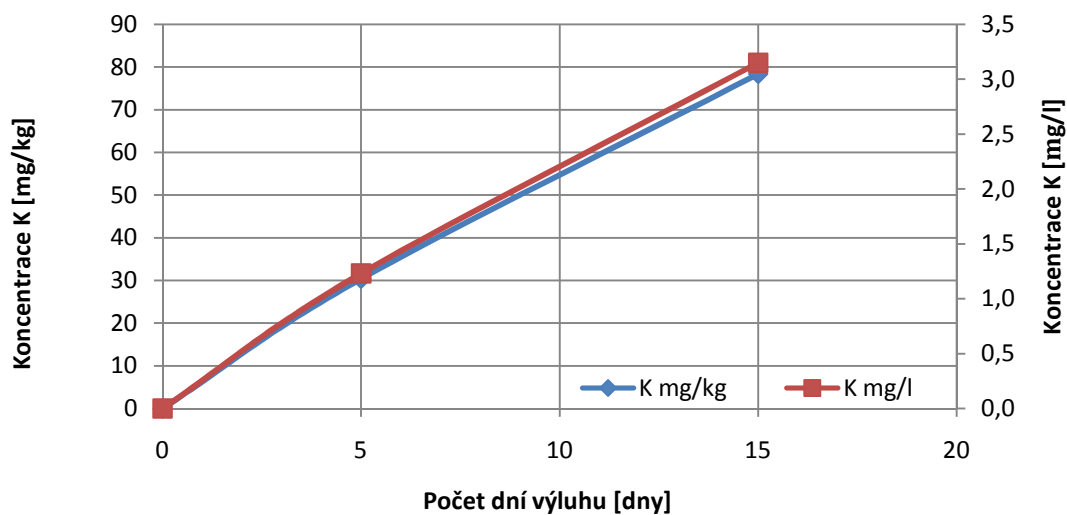
Obr. 5-2-43 Stanovení koncentrací olova (Pb) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů



Obr. 5-2-44 Stanovení koncentrací zinku (Zn) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů

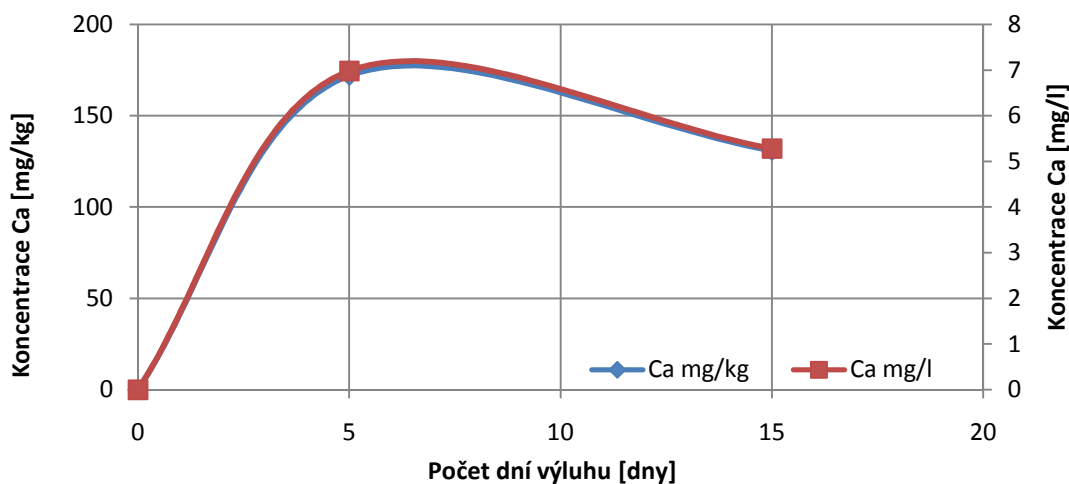


Obr. 5-2-45 Stanovení koncentrací sodíku (Na) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů

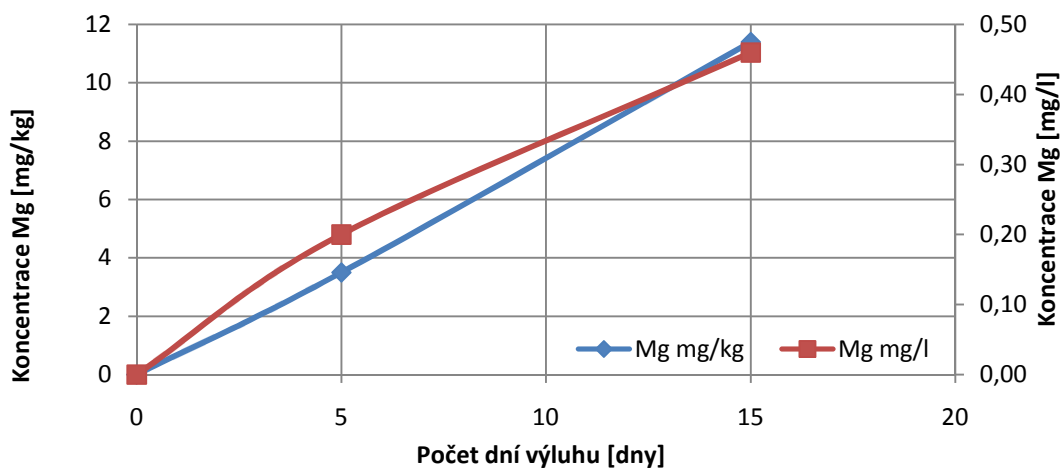


Obr. 5-2-46 Stanovení koncentrací draslíku (K) výluhem z filtračního materiálu velkých tryskačů

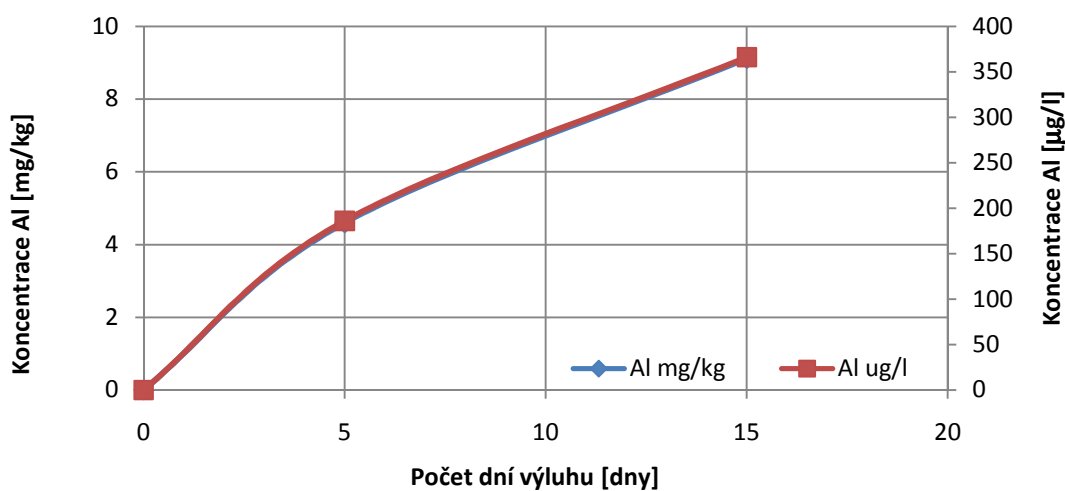
5.2.5 Filtrační materiál č.5 - Struska



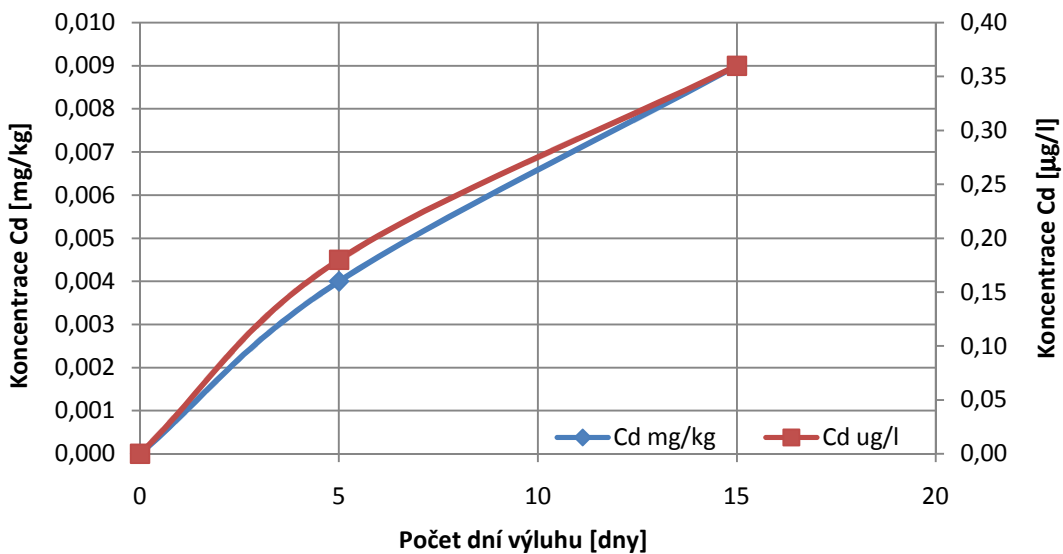
Obr. 5-2-47 Stanovení koncentrací vápníku (Ca) výluhem z filtračního materiálu strusky



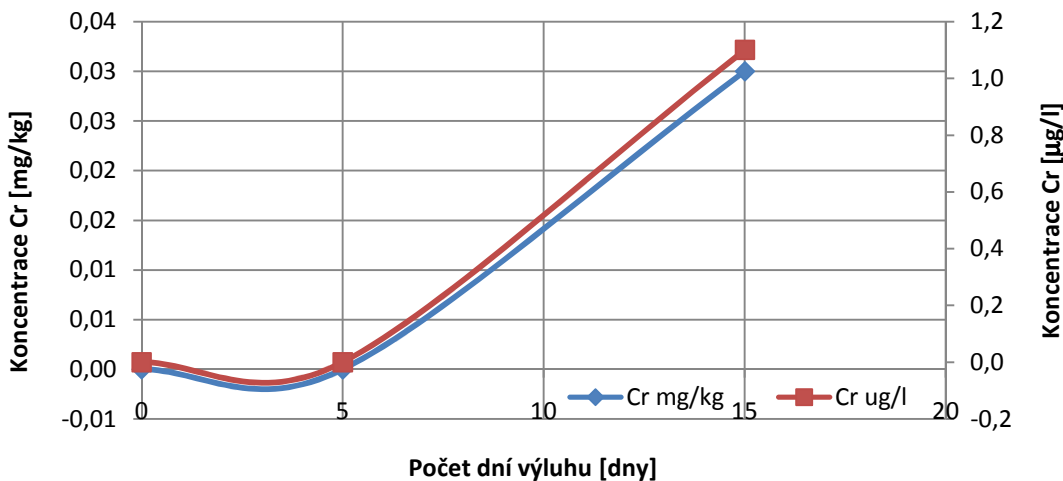
Obr. 5-2-48 Stanovení koncentrací hořčíku (Mg) výluhem z filtračního materiálu strusky



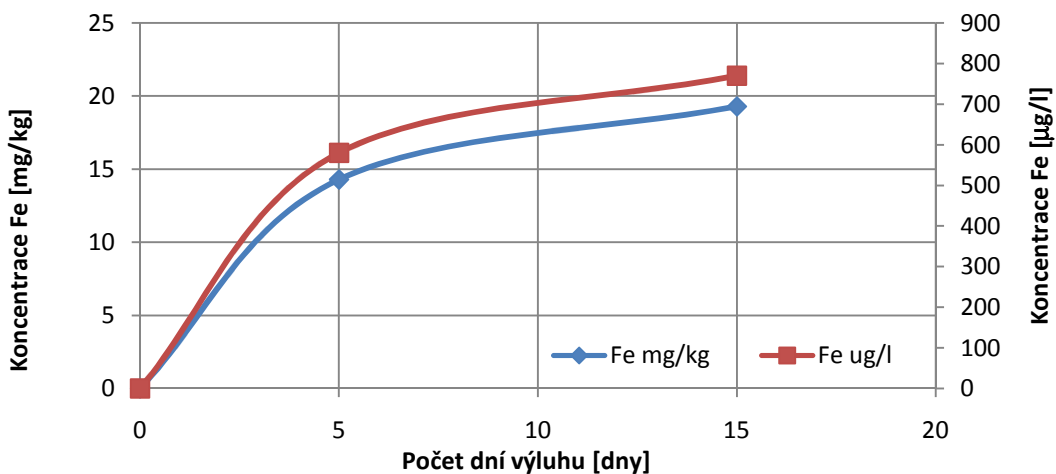
Obr. 5-2-49 Stanovení koncentrací hliníku (Al) výluhem z filtračního materiálu strusky



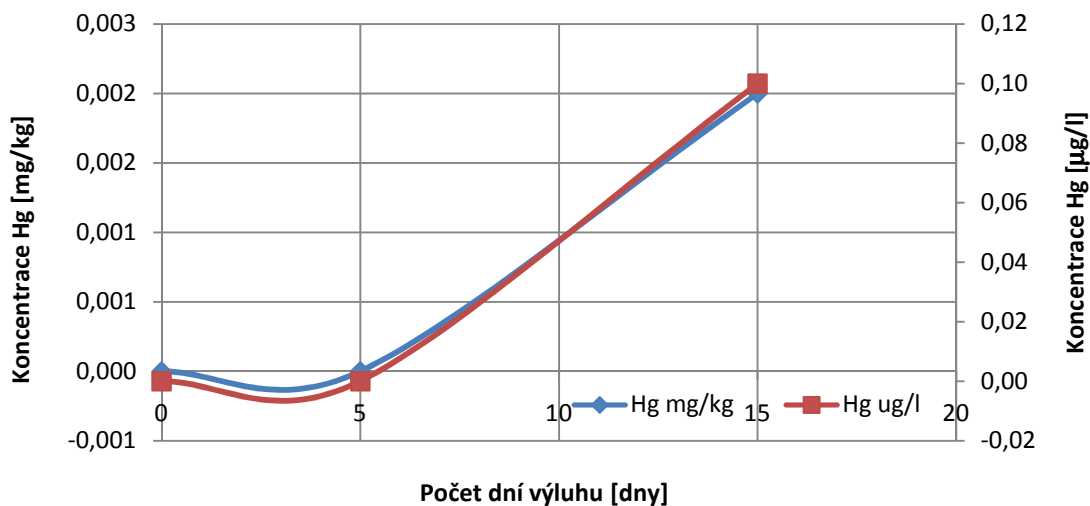
Obr. 5-2-50 Stanovení koncentrací kadmia (Cd) výluhem z filtračního materiálu strusky



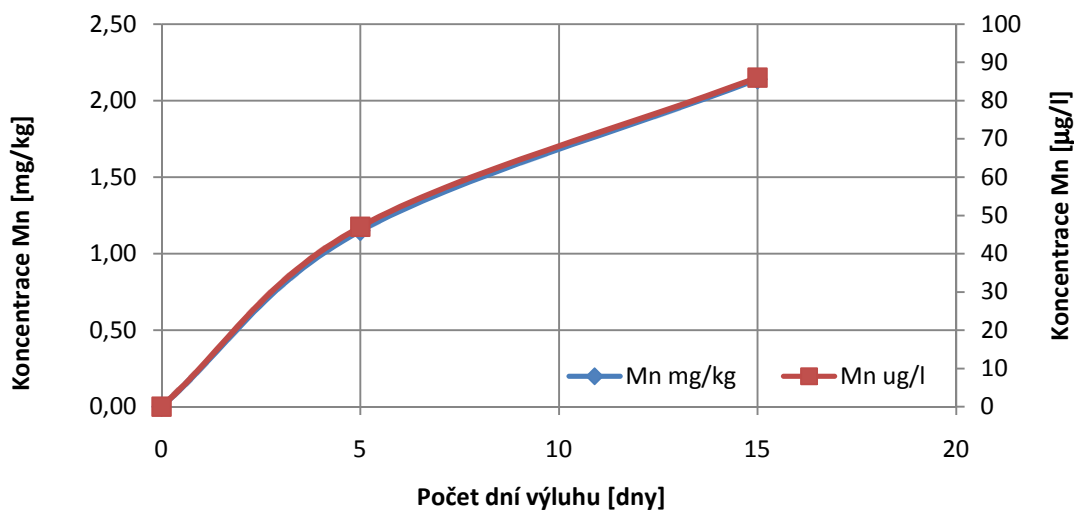
Obr. 5-2-51 Stanovení koncentrací chromu (Cr) výluhem z filtračního materiálu strusky



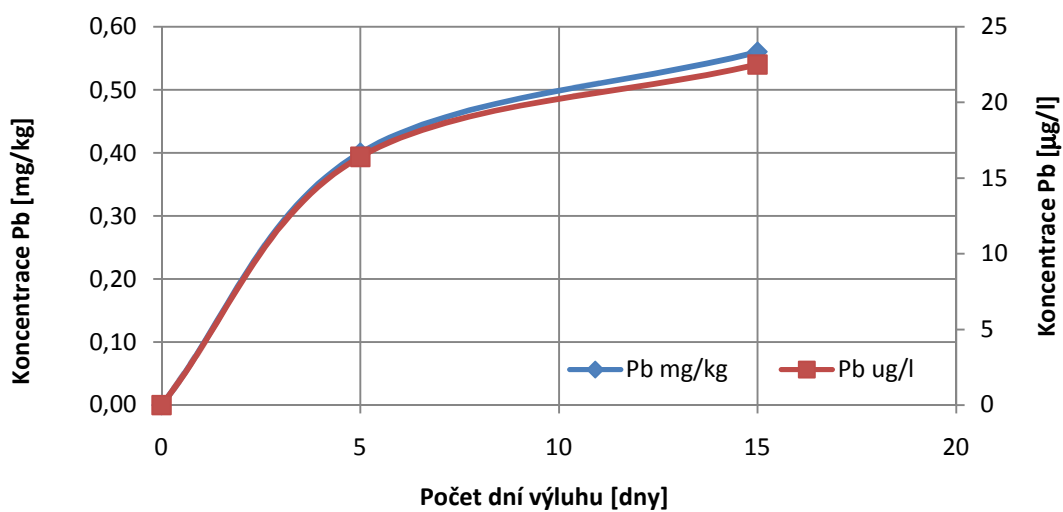
Obr. 5-2-52 Stanovení koncentrací železa (Fe) výluhem z filtračního materiálu strusky



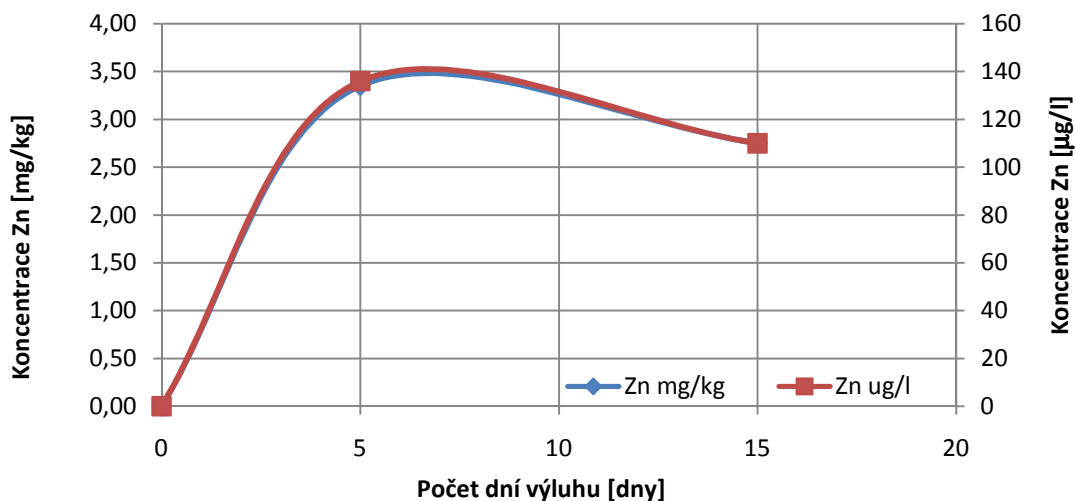
Obr. 5-2-53 Stanovení koncentrací rtuť (Hg) výluhem z filtračního materiálu strusky



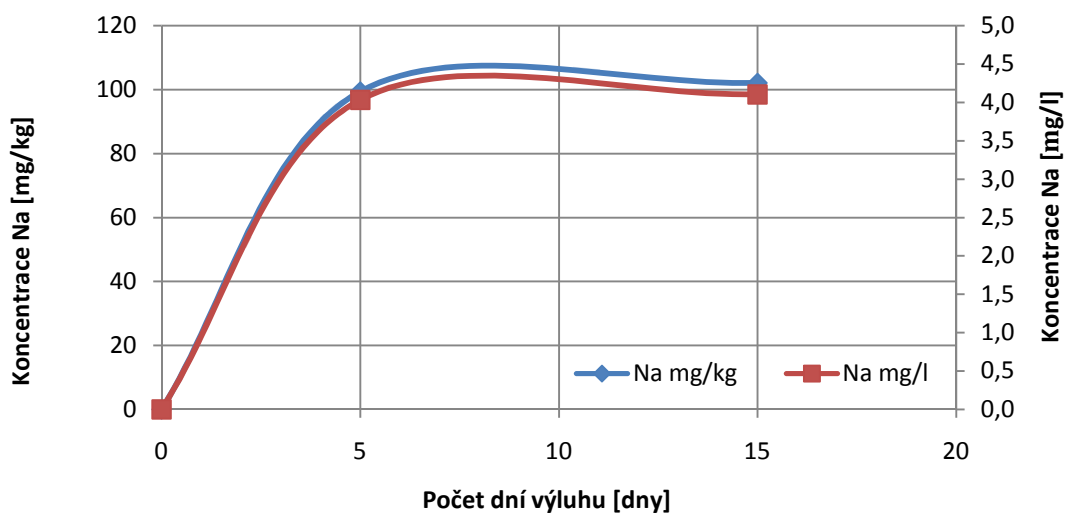
Obr. 5-2-54 Stanovení koncentrací manganu (Mn) výluhem z filtračního materiálu strusky



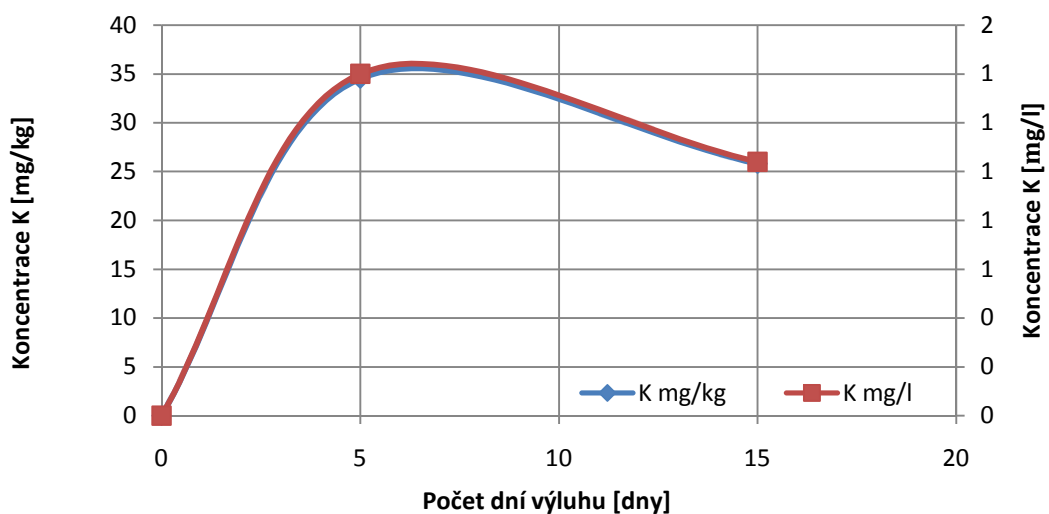
Obr. 5-2-55 Stanovení koncentrací olova (Pb) výluhem z filtračního materiálu strusky



Obr. 5-2-56 Stanovení koncentrací zinku (Zn) výluhem z filtračního materiálu strusky



Obr. 5-2-57 Stanovení koncentrací sodíku (Na) výluhem z filtračního materiálu strusky



Obr. 5-2-58 Stanovení koncentrací draslíku (K) výluhem z filtračního materiálu strusky

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro účely výzkumu byly vybrány netradiční filtrační materiály, nazvané podle technologické linky, ze které pocházejí a mletá káva (materiály jsou podrobněji popsány v kapitole 4.3):

- Struska
- Cipres filtr
- Formovací směs
- Velké tryskače
- Malé tryskače
- Struska 8-16 mm
- Filtrační materiál ČEZ

Na vybraných materiálech byly stanoveny základní hydraulické charakteristiky (podrobněji popsané postupy stanovení jsou uvedeny v kapitole 4.1):

- Hydraulická vodivost
- Pórovitost
- Měrná hmotnost
- Objemová hmotnost

Výsledky jsou podrobně rozpracované v kapitole 5.1.

Průběžně bylo stanoveno chemické složení materiálů a také chemické výluhy, určující množství vyluhovaných prvků z jednotlivých filtračních materiálů. Chemické prvky, které se určovaly, jsou popsány v kapitole 4.2, výsledky zpracované do tabulek a grafů v kap.5.2.

Jako nejnázornější z hydraulických parametrů se jeví pozorování hydraulické vodivosti v čase. Např. obr. 6-1 a 6-2 ukazuje dostatečně propustný materiál (strusku), který má z hutných materiálů také největší pórovitost, viz tabulka 5-3. Z hydraulického hlediska se tedy tento materiál jeví jako nejvhodnější pro aplikované užití v praxi.



Obr. 6-1 Filtrační materiál – struska



Obr. 6-2 Filtrační materiál – struska 8-16mm

Jako naprosto nevhodný se projevil jemný filtrační materiál, nazvaný cipres filtr obr. 6-3 – do formuláře (viz příloha č.2) není vůbec zaznamenán, protože vrstva filtračního materiálu 16 cm se projevila jako naprosto nepropustná. Materiál „cipres filtr“ je možné srovnat s jílovitým těsněním. Také konzistence po styku s vodou je pro použití nevhodná – materiál se lepí, těžce se s ním manipuluje, viz Obr. 6-3.



Obr. 6-3 Filtrační materiál – cipres filtr

Třetím pozorovaným materiálem je „formovací směs“ – co se např. pórovitosti týče, tak naměřena byla dostatečná hodnota $P = 0,54$. Hydraulická vodivost se však také nedala změřit a rovněž není zaznamenána ve formuláři. Materiál se choval podobně jako „cipres filtr“. Také po styku s vodou se lepil a špatně se s ním manipulovalo.

Dalším pozorovaným materiálem jsou „velké tryskače“. Hydraulická vodivost se u tohoto materiálu v průběhu sledování výrazně neměnila a odpovídá zhruba hydraulické vodivosti středního písku $K_f = 10^{-4}$ až 10^{-3} m/s, což je středně propustný materiál. Jelikož tento materiál obsahuje malé železné kuličky, došlo během pokusu k jejich zkorodování, viz Obr. 6-4, korodovaný materiál vytvořil tvrdou krustu, viz Obr. 6-5, ale i přesto byl materiál stále propustný.



Obr. 6-4Koroze železných kuliček materiálu Velké tryskače



Obr. 6-5Velké tryskače-tvrdá krusta

Materiál „Malé tryskače“ je vizuálně podobný „Velkým tryskačům“, avšak průběh hydraulické vodivosti byl zcela odlišný. Postupem času stále klesá, ale po devíti dnech mírně vzrostla, viz obr. 5-1-6. V tomto materiálu se také vytvořila tvrdá krusta.

Srovnáním výsledků výluhů s Nařízením vlády č.61/2003 Sb. – Tabulka 1: Imisní standardy: ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod, vyšlo najevo, že materiál cipres filtr má koncentraci hliníku ve výluhu, jak ukazuje graf na obr. 5-2-3, 18900 $\mu\text{g/l}$ po 5 dnech a 38800 $\mu\text{g/l}$ po 15 dnech výluhu, přitom imisní standard povoluje hodnotu znečištění pouze 1500 $\mu\text{g/l}$. U tohoto materiálu byla zjištěna další nevyhovující hodnota znečištění, a to u koncentrací arsenu a železa ve výluhu. Koncentrace arsenu je 25 $\mu\text{g/l}$ po 5 dnech a 36,9 $\mu\text{g/l}$ po 15 dnech výluhu, jak ukazuje graf na obr. 5-2-4. Imisní hodnota znečištění je jen 20 $\mu\text{g/l}$. U koncentrace železa, která je znázorněna v grafu na obr. 5-2-7, je hodnota 4,23 mg/l po 5 dnech a 8,03 mg/l po 15 dnech výluhu. Povolena imisní hodnota znečištění je 2 mg/l. Koncentrace hliníku, arsenu a železa mají vzestupný charakter, ale u koncentrace rtuti, která je zobrazená v grafu na obr. 5-2-8, je charakter sestupný a koncentrace výluhu po 5 dnech nabývá hodnotu 0,21 $\mu\text{g/l}$, ale přípustná hodnota je 0,1 $\mu\text{g/l}$. Z vyhodnocení výsledků vyplývá, že tento materiál nebude vhodný pro použití v praxi, jelikož nevyhověl ani po hydraulické stránce.

Dalším materiálem, u kterého se objevilo překročení povolené koncentrace znečištění byla formovací směs. Bylo to opět u koncentrace hliníku a železa. Koncentrace hliníku ve výluhu, jak ukazuje graf na obr. 5-2-26, 10600 $\mu\text{g/l}$ po 5 dnech a 9490 $\mu\text{g/l}$ po 15 dnech výluhu, imisní standard povoluje hodnotu znečištění pouze 1500 $\mu\text{g/l}$. Koncentrace má sestupný vývoj. Naopak vzestupný vývoj má koncentrace železa jak je vidět v grafu na obr. 5-2-30 a pravděpodobně se bude stále zvětšovat. Koncentrace po 5 dnech je 2,48 mg/l a 3,24 mg/l po 15 dnech. Imisní hodnota je 2 mg/l. Tento materiál také nevyhověl po hydraulické stránce, a proto se nemůže použít k dalšímu testování.

Struska překročila jen jednu hodnotu a to koncentraci olova ve výluhu. Hodnota koncentrace, jak je vidět v grafu na obr. 5-2-55, je 16,4 $\mu\text{g/l}$ po 5 dnech a 22,5 $\mu\text{g/l}$ po 15 dnech. Povolena koncentrace znečištění je 15 $\mu\text{g/l}$.

Další těžký kov byl uvolňován nad povolenou hranici koncentrace 0,1 $\mu\text{g/l}$ a to rtuť u velkých tryskačů. Překročená koncentrace 0,17 $\mu\text{g/l}$ byla zjištěna u výluhu po 15 dnech.

7 ZÁVĚR

Výsledky z měření hydraulických a chemických charakteristik netradičních filtračních materiálů přináší nové poznatky, kterými se v souvislosti s čištěním odpadní vody dosud nikdo takto podrobně nezabýval. Využití testovaných materiálů, které jsou řazeny jako odpadní a podle toho je potřeba s nimi nakládat, nachází uplatnění ve stavebních technologiích jako směs do betonů apod. Vybrány byly materiály: Struska, cipres filtr (pracovní název), formovací směs, velké tryskače (pracovní název), malé tryskače (pracovní název), filtrační materiál ČEZ (pracovní název), struska 8-16 mm a mletá káva. U těchto materiálů byla určena objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, hydraulická vodivost, dále chemické složení a chemické složení výluhu.

Z laboratorního měření hydraulické vodivosti vyplývá, že použitelné pro filtraci odpadní vody jsou pouze materiály:

- struska (ať už jemnozrná, rozpraskaná přirozenou cestou vlivem rychlého ochlazení v procesu výroby oceli, stejně jako struska frakce 8 – 16 mm), jejíž hydraulická vodivost odpovídá kategorii střední písek – středně propustný,
- filtrační materiál ČEZ (jemně zrnitý filtrační materiál, vzhledem podobný písku), jehož vodivost koresponduje s hodnotami v kategorii jemný písek – mírně propustný,
- materiál z malých a velkých tryskačů, odpovídající taktéž kategorii jemný písek,
- mletá káva odpovídá propustnosti mírně propustného až zahliněného písku.

Ostatní testované netradiční materiály se projeví jako nevyhovující, tedy nepropustné.

Chemické rozborů výluhů těžkých kovů z jednotlivých filtračních materiálů jsou zpracovány v tabulkové i grafické podobě, výsledky budou sloužit zejména během matematického modelování v programu Hydrus 2D, do kterého je potřeba implementovat sorpční charakteristiky, resp. rychlosti uvolňování výluhů do přítomné vody.

Cílem mé bakalářské práce bylo ověření, zda je možné použít vybrané alternativní materiály, jako filtrační náplň pro čištění odpadní vody. Použitelnost byla testována jak po hydraulické stránce, tak po stránce chemické. Výběr materiálu byl zaměřen na odpady z hutního průmyslu a netradiční materiál.

Hodnoty uvedené v práci mohou přímo sloužit pro návrh filtračních náplní, nicméně v současné době zatím není použití popsaných filtračních materiálů přímo doporučitelná, protože nelze předvídat, jak se bude daný materiál chovat v reálném prostředí s odpadní vodou.

Plánem pro další výzkum je testování hydraulicky vhodných materiálů v poloprovozních podmínkách – vytvořeny budou filtrační kolony, plněné materiálem podle předem daného postupu. Zatíženy budou reálnou odpadní vodou, hodnocené budou jak čistící účinky, tak opět stanovení výluhů. Lze předpokládat, že vlivem jiného chemického složení budou i výsledné rozborů vykazovat odlišné hodnoty. Ale vše ukáže až další výzkum.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MLEJNSKÁ, E., ROZKOŠNÝ, M., BAUDIŠOVÁ, D. *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2009 s. ISBN 978-80-85900-92-7.
- [2] HYÁNEK, L., BODÍK, I. *Špecifická domových čistiarní odpadových vôd*. In Bodík, I. (ed.) *Sborník ze semináře Domové čističe odpadových vôd*, Trenčín, 12.6.2002
- [3] *Funktionsweise und Perspektiven von Schilfkläranlagen* [online]. 1997 [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <http://www.blumberg-engineers.de/assets/applets/Funktionsweise_und_Perspektiven_von_Schilfklaranlagen.pdf>.
- [4] KOLÁŘ, J. (2003) *Výhody a nevýhody přírodních způsobů čištění odpadních vod*. In Šálek, J. a Malá, E. (eds) *Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. Brno: VUT
- [5] ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006. 283 s. ISBN 80-86769-74-7.
- [6] ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P., *Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech*. 1. vyd. Brno: ERA, c2008. 115 s. ISBN 978-80-7366-125-0.
- [7] VYMAZAL, J., *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. 1. vyd. Třeboň: ENVI s. r. o., c1995. 147 s.
- [8] ŠÁLEK, J., MALÁ, E., HANZL, T., *Stanovení fyzikálních vlastností filtračních materiálů vegetačních kořenových čistíren*. In *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*. 1. vyd. Brno: Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny a Česká stavební společnost na FAST VUT Brno, 1998. s. 100-104. ISBN 80-214-1265-8.
- [9] LEDVINA, R., et al. *Pedologie a geologie pro obor pozemkové úpravy* [online]. 2009, 02.11.2009 [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/pu/skripta_geologie/pedol_geol-obsah.htm>.

- [10] KAMENÍČKOVÁ, I. *Hydropedologie M01 : Hydropedologické praktikum*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, c2006. 76 s. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia.
- [11] *Centrum experimentální geotechniky* [online]. c2000-2010 [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/zkousky>>.
- [12] VALIŠ, S., ŠÁLEK, J.: *Hydropedologické praktikum*, 1971
- [13] PITTER, P. *Hydrochemie*. 4. vyd. Praha 2009. Vydavatelství VŠCHT Praha
- [14] MARSCHALKO, M., et al. *Geologie - výukové multimediální texty* [online]. 2005 [cit. 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/geologie/default.htm>>.

Dostupné podklady jsou uvedeny v pořadí, v jakém byly zpracovávány, tedy nejsou chronologicky ani abecedně seřazeny.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Schéma VKČ protékané horizontálně.....	4
Obr. 4-1 Schéma značení veličin [11]	10
Obr. 4-2 Darcyho válec – proudění směrem dolů	14
Obr. 4-3 Filtrační materiál struska.....	21
Obr. 4-4 Pohled na technologickou linku s ukončením Cipres filtry	22
Obr. 4-5 Pneumaticky oklepávané filtry, akumulace do plátěných pytlů.....	22
Obr. 4-6 Dříve používané odlučovače na vodní bázi	23
Obr. 4-7 Filtrační materiál – cipres filtr	23
Obr. 4-8 Pohled na formovací linku	24
Obr. 4-9 Detail tunelu pro chladnutí odlitku	24
Obr. 4-10 Filtrační materiál – formovací směs.....	25
Obr. 4-11 Technologická linka – ukončení tryskačů.....	25
Obr. 4-12 Filtrační materiál – malé tryskače	26
Obr. 4-13 Filtrační materiál - velké tryskače.....	26
Obr. 4-14 Filtrační materiál – struska 8-16 mm (Dekonta).....	27
Obr. 4-15 Filtrační materiál ČEZ	27
Obr. 4-16 Filtrační materiál – zrna mleté kávy	28
Obr. 5-1-1 Stanovení objemové hmotnosti	29
Obr. 5-1-2 Stanovení měrné hmotnosti	30
Obr. 5-1-3 Stanovení pórovitosti	31
Obr. 5-1-4 Stanovení hydraulické vodivosti u strusky	32
Obr. 5-1-5 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu velkého tryskače	33
Obr. 5-1-6 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu malého tryskače	33
Obr. 5-1-7 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu kávy.....	34
Obr. 5-1-8 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu struska 8-16mm.....	34
Obr. 5-1-9 Stanovení hydraulické vodivosti u materiálu ČEZ.....	35
Obr. 6-1 Filtrační materiál – struska.....	60
Obr. 6-2 Filtrační materiál – struska 8-16mm	60
Obr. 6-3 Filtrační materiál – cipres filtr	61
Obr. 6-4 Koroze železných kuliček materiálu Velké tryskače	62
Obr. 6-5 Velké tryskače-tvrdá krusta	62

Obr. 9-1 Celkový pohled na válec s odměrnou nádobou	73
Obr. 9-2 Pohled se spodní části – tři kovové podstavce.....	73
Obr. 9-3 Piezometr, určený ke snadnému odečtu hladiny vody	74
Obr. 9-4 Ostrohranný přeliv po obvodu vnějšího válce. Přepadající voda je odváděna kruhovým žlabem	74
Obr. 9-5 Pohled do vnitřního prostoru válce	75
Obr. 9-6 Vyústění regulovatelného odtokového potrubí.....	75
Obr. 9-7 Pohled na zakončení regulovatelného odtokového potrubí	76
Obr. 9-8 Přiložený diagram pro přímý odečet hydraulické vodivosti	76
Obr. 9-9 Celkový pohled na válec ze strany odčítacího piezometru.....	77
Obr. 9-10 Řez tělesem – znázornění dvou sousých válců, dělicího síta a vývodu odtokového potrubí.....	77

SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1	Orientační hodnoty měrné a objemové hmotnosti některých zemin [14].....	11
Tab. 4-2	Orientační hodnoty hydraulické vodivosti různých filtračních materiálů [5].....	13
Tab. 5-1	Stanovení objemové hmotnosti.....	29
Tab. 5-2	Stanovení měrné hmotnosti.....	30
Tab. 5-3	Stanovení měrné hmotnosti.....	31
Tab. 5-4	Přímý rozklad materiálu.....	35
Tab. 5-5	Koncentrace kovů - doba výluhu 5 dní.....	36
Tab. 5-6	Koncentrace kovů - doba výluhu 15 dní.....	36

9 PŘÍLOHA 1 – PRŮMYSLOVÝ VZOR

Laboratorní válece, tvořené těžkými kovovými prvky, se kterými se nesnadno manipuluje, byly podkladem a motivací pro zpracování průmyslového vzoru. Zaměřili jsme se na zařízení, které by bylo možné vyrábět, zároveň by se jednalo o snadno dostupný předmět, který navíc velice snadno umožní stanovení hydraulické vodivosti pouhým odečtem z přiloženého grafu (podrobněji dále).

Ve spolupráci s vedoucím bakalářské práce jsme vytvořili předmět průmyslového vlastnictví – průmyslový vzor, nazvaný jako „Darcyho válec pro terénní stanovení hydraulické vodivosti“, který je v současné době přijet na Útvar transferu technologií ke zpracování patentovým zástupcem.

9.1 PODROBNÝ TEORETICKÝ POPIS PŘEDMĚTU

Předmět slouží ke stanovení hydraulické vodivosti, převážně porušeného vzorku filtračního materiálu. K určení hydraulické vodivosti pomocí předkládaného předmětu je potřeba pouze cejchovaná odběrná nádoba a zdroj čisté vody (vodovodní přípojka, zásobní nádrž, nádoba, apod.). Žádné další pomůcky jako papír, psací potřeby, kalkulátor nejsou nutné. Stanovení probíhá snadno a rychle.

9.2 PODROBNÝ TECHNICKÝ POPIS

Předmět je tvořen z větší části plastovým materiálem - přesněji dvěma soustřednými válci (vznikne vnitřní nízký a vnější vysoký válec), které jsou k sobě připevněny dnem. V nízké výšce ode dna (přibližně do 5,0 cm) jsou po vnitřních obvodech nalepeny malé plastové konzoly, které uchycují plastové (keramické, kovové) síto. Síto zaplňuje celou vnitřní plochu obou válců. Hlavní funkcí síta je nepropuštění filtračního materiálu do části pod sítem. Ze svrchní strany je síto kryto hrubou netkanou geotextilií. Z vnitřního válce je prostorem pod sítem vyvedeno potrubí, vedoucí skrz vnější válec ven, kde na něj navazuje 90° koleno, následované opět přímým potrubím, které vede směrem vzhůru. Toto přímé potrubí umožňuje nastavení úhlu (od vodorovného po vertikální – rozsah 90°). Na konci potrubí je napojena koncovka o úhlu 180°, která umožňuje po průtoku vody tímto potrubím odběr do připravené nádoby (nádoba není předmětem popisu). Při měření objemu prosáklé vody za čas je stanoven průtok.

Z vnitřního válce je také vyveden jeden piezometr (úzká trubka) taktéž skrze vnější válec, kde je taktéž napojena tvarovka 90° svisle vzhůru. Na tvarovku navazuje svislá průhledná (skleněná, polykarbonátová) trubka, vedoucí až k hornímu okraji vnějšího válce. Tato trubka umožňuje odečet rozdílu hladiny mezi vtokem a odtokem, tedy rozdíl horní hrany vnějšího válce a zjištěné výšky hladiny uvnitř průhledné trubky. K odečtu rozdílu hladin poslouží cejchovaný milimetrový papír (krytý laminátovou vrstvou), nalepený pod průhlednou trubkou na vnějším okraji válce.

Nad popsáním sítem je tedy volně ložená geotextilie, na kterou je nasypán (položen, rozprostřen) zkoumaný filtrační materiál. Materiál je takto aplikován až k hornímu okraji

vnějšího válce (vnitřní válec nad sítím přesahuje jen z malé části. Po umístění zkoumaného materiálu je možné na jeho povrch přivádět vodu a nechat ji volně vsakovat. Přebytečná voda přepadává přes horní okraj válce.

Horní okraj obou válců je zkosen směrem k vnější straně (válec se po vytvoření ostrého hrotu zužuje směrem k pomyslnému bodu nad zařízením, umístěném na ose potrubí). Po obvodu vnějšího okraje většího válce je vytvořen prostor, zachycující přepadající vodu. Prostor je z venkovní strany vyvýšen, zachycená voda je odváděna odpadním potrubím, které je vyvedeno ze dna tohoto prostoru směrem dolů, kde je voda buď přečerpávána zpět do zásobní nádoby, nebo odváděna a není dále předmětem zájmu.

Spodní část obou válců (dno) je podloženo několika pevnými podstavci, např. válcovými podložkami.

9.3 PRAKTICKÝ POPIS PŘEDMĚTU A APLIKAČNÍ MOŽNOSTI PŘEDMĚTU

Současný stav techniky je takový, že princip stanovení hydraulické vodivosti materiálů je téměř století známý, ale neexistuje výrobce, produkuje takové zařízení. Např. v majetku Ústavu vodního hospodářství krajiny je několik obdobných (neinovovaných) válců, které jsou tvořeny kovovým materiálem, manipulace s nimi není pohodlná, nemají vyřešen odtok přebytečné vody, snadný odečet hladiny a ani jednoduchý odečet hydraulické vodivosti z grafu.

Vzhledem k uvedenému lze pochopit, že se jedná o vylepšení stávajících zařízení, které ale dosud nejspíše nebyly autorsky chráněny. Vyžadovalo by si podrobnější šetření. Produkt lze ale také pochopit tak, že se jedná o úplně nové řešení – snadno, rychle a pohodlně zjistit hydraulickou vodivost, což dosud nebylo možné.

Předmět slouží ke stanovení hydraulické vodivosti filtračního materiálu – parametr nutný pro návrh zemních hrází, protipovodňových hrází a bariér, průlehů, infiltračních pásů, trativodů, aj. využitích v praxi.

Dosud byla hydraulická vodivost stanovována několika způsoby:

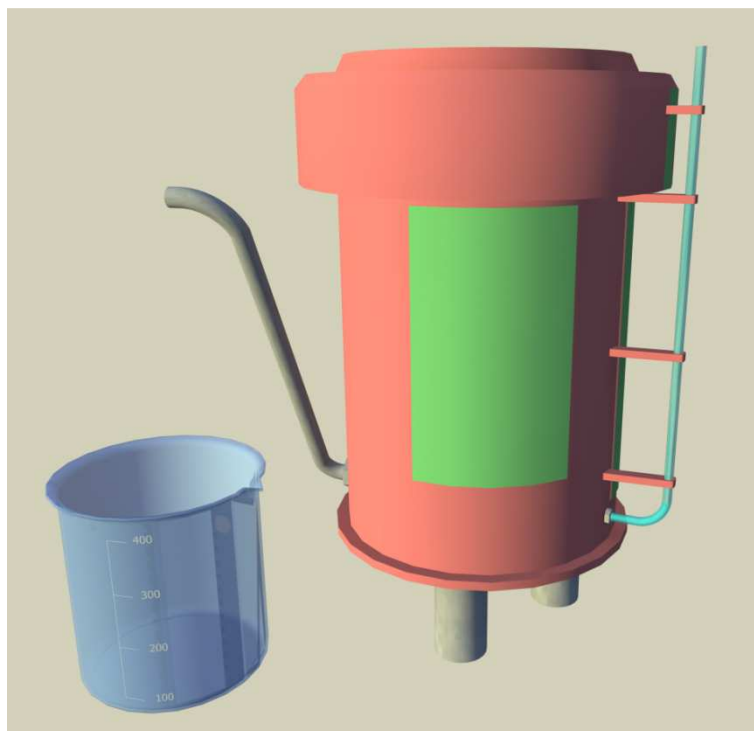
1. Odhadem – kterému předcházelo stanovení zrnitostního složení, poté zařídění dle kategorie půd. Odhad zatížen výraznou chybou
2. Odběrem filtračního materiálu v neporušeném stavu do Kopeckého válečků, poté stanovení nasycené hydraulické vodivosti na permeamtru – velice zdlouhavé, permeametr je velice drahé zařízení, tedy nedostupné např. pro projektanty, drobné investory, výrobci speciálních filtračních materiálů a směsí, apod.

Zařízení, pokud by se mělo vyrábět, umožní jako koncový produkt řešit otázku stanovení hydraulické vodivosti filtračních materiálů, bude dostupné široké odborné veřejnosti, která navíc snadno a rychle dovede vyřešit problém, který dosud musel být řešen z dlouhodobějšího pohledu.

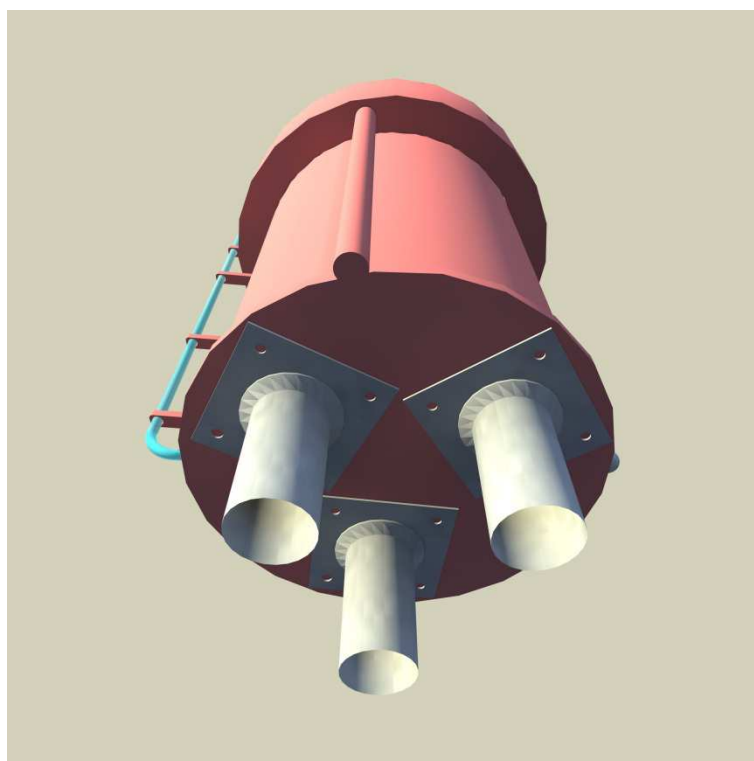
Zadavatel (ten, kdo potřebuje zjistit hydraulickou vodivost) musel problematiku stanovení hydraulické vodivosti dosud řešit:

1. oslovení příslušné instituce, zabývající se hydro-pedologickými rozbory
2. provedení odběrů vzorků filtračního materiálu, stanovení zrnitostního rozboru (drahá technika), dle zrnitostního rozboru zatřídění materiálu do kategorií, dle kategorie přibližná hodnota hydraulické vodivosti
3. neporušený vzorek zeminy odebrán do pevného válce, následně na permeamtru (drahá technika) stanovení nasycené hydraulické vodivosti
4. terénním pokusem – pomocí infiltrometru, dvouválcovou metodou, mikrodiskem aj. Vyžaduje vědomosti na vysoké úrovni, nevýhodou je složitý zpětný výpočet, navíc se často stává, že výpočtem se není možné dopočítat hydraulické vodivosti – proto je nutné pokus opakovat.

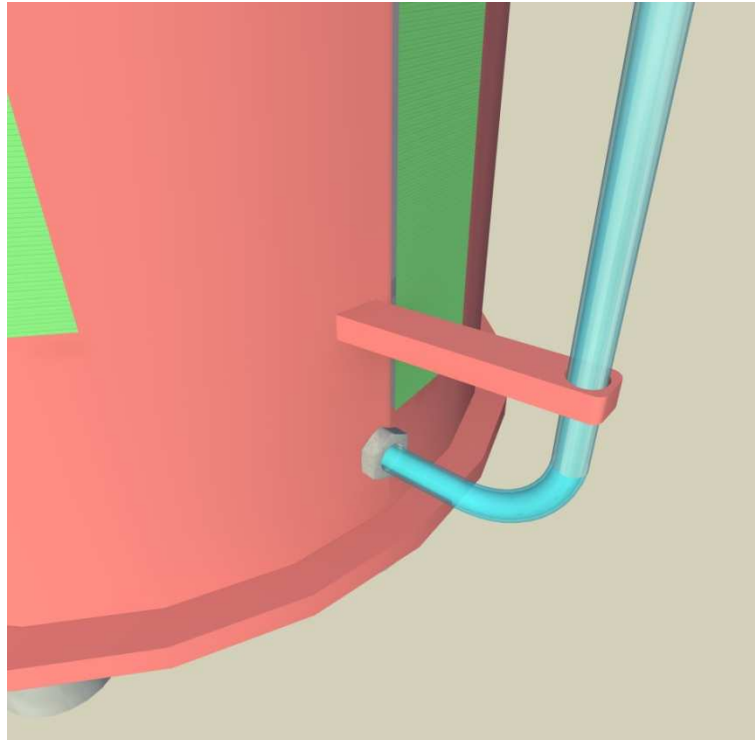
Použití v jiných oborech lidské činnosti, než je uvedena výše, se nepředpokládá.



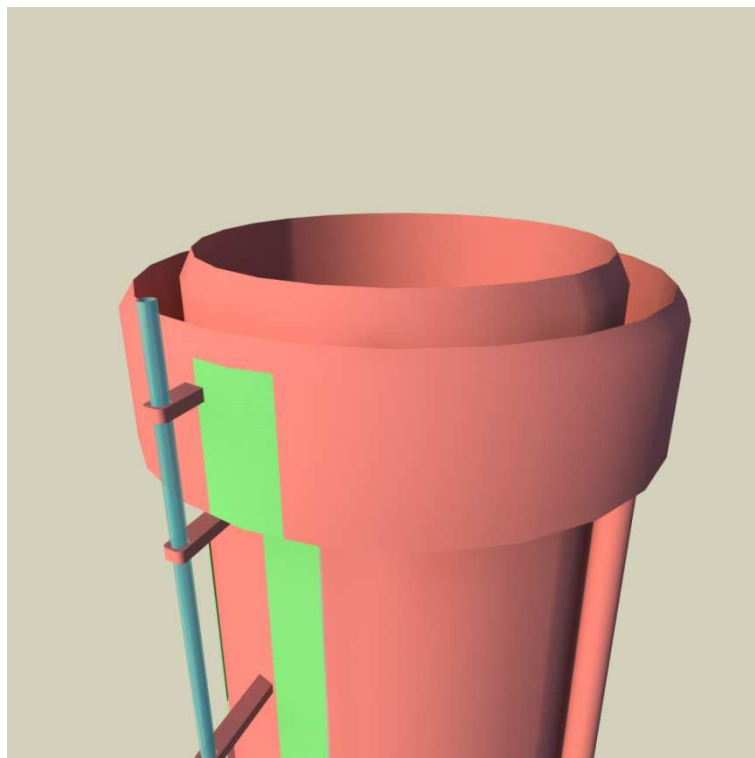
Obr.9-1 Celkový pohled na válec s odměrnou nádobou



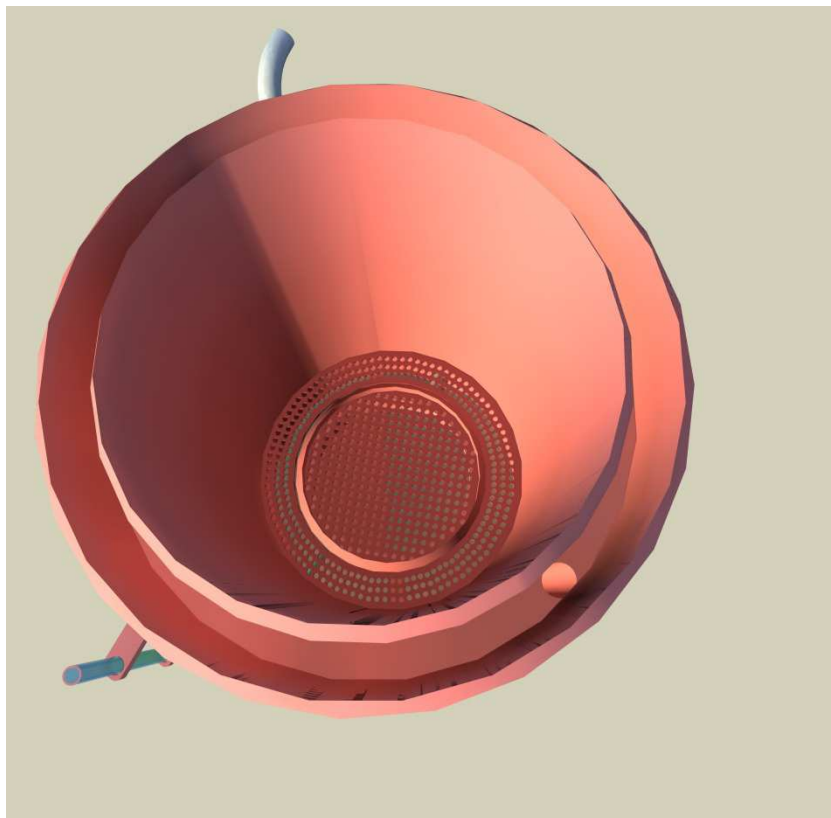
Obr.9-2 Pohled se spodní částí – tři kovové podstavce



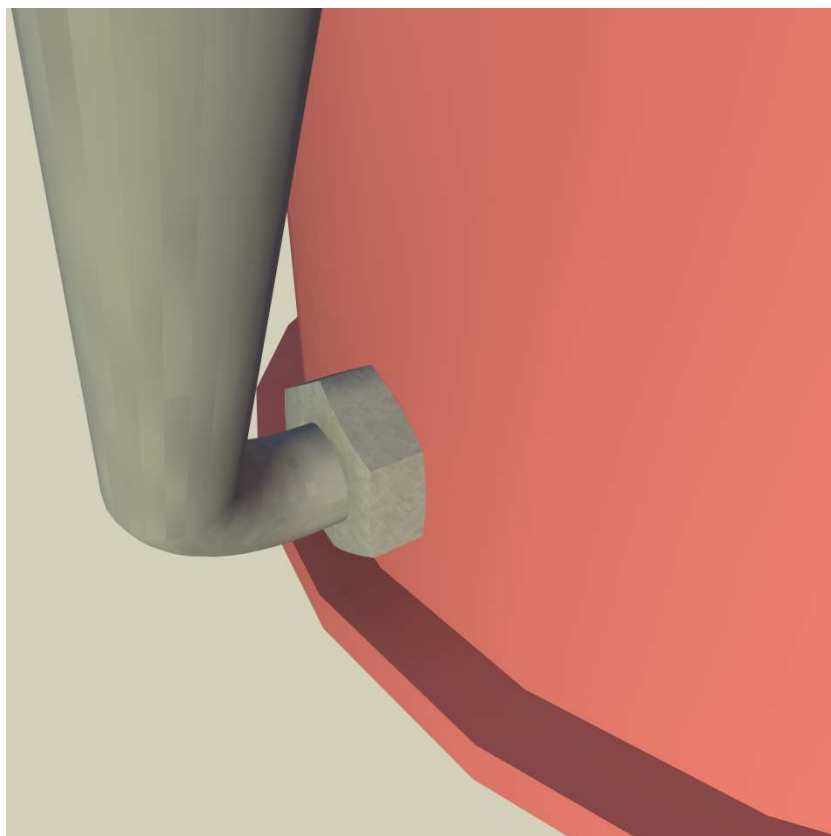
Obr.9-3 Piezometr, určený ke snadnému odečtu hladiny vody



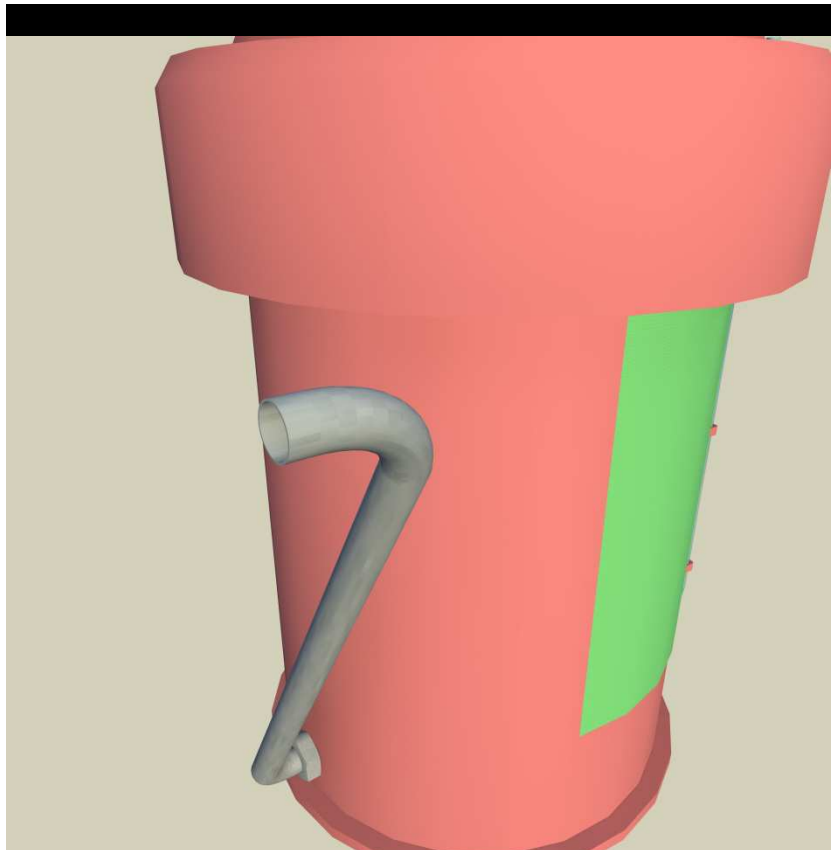
Obr.9-4Ostrohranný přeliv po obvodu vnějšího válce. Přepadající voda je odváděna kruhovým žlabem



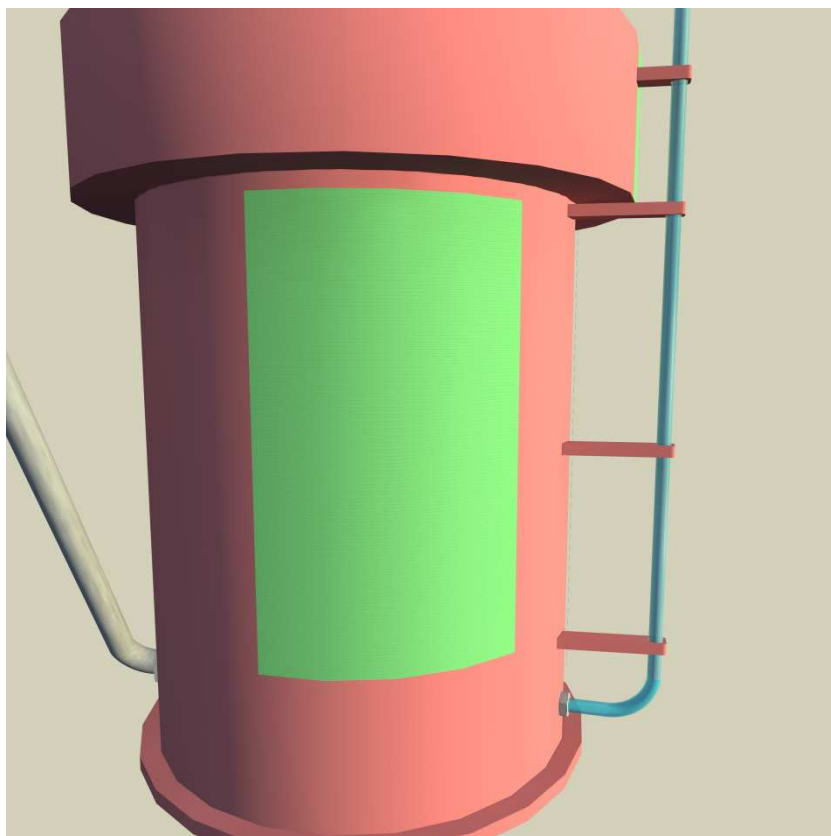
Obr.9-5 Pohled do vnitřního prostoru válce



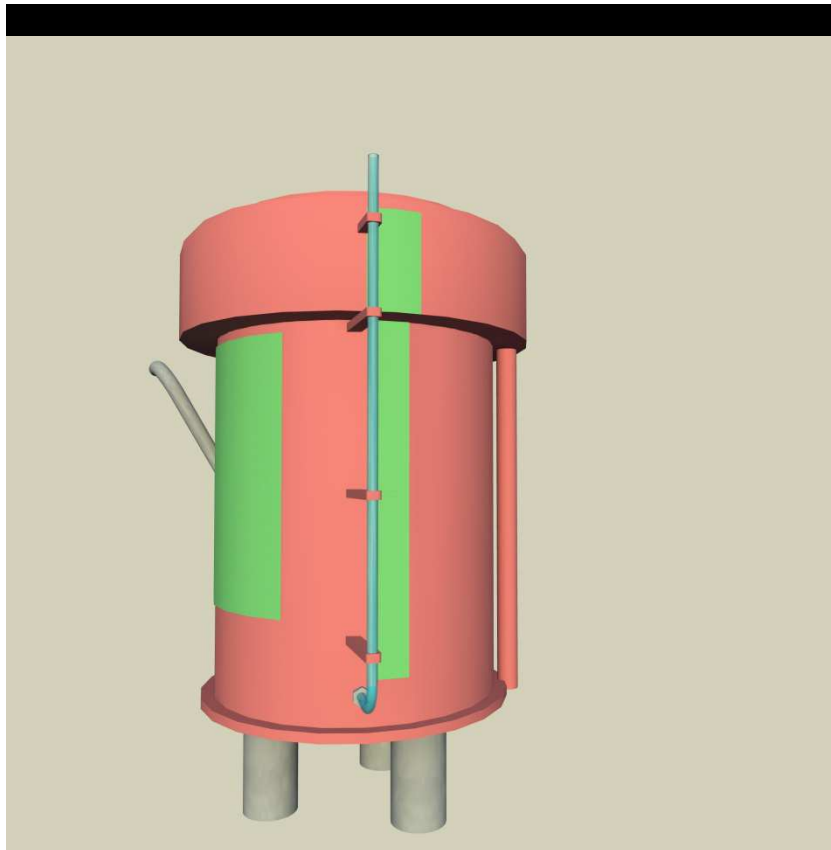
Obr.9-6 Vyústění regulovatelného odtokového potrubí



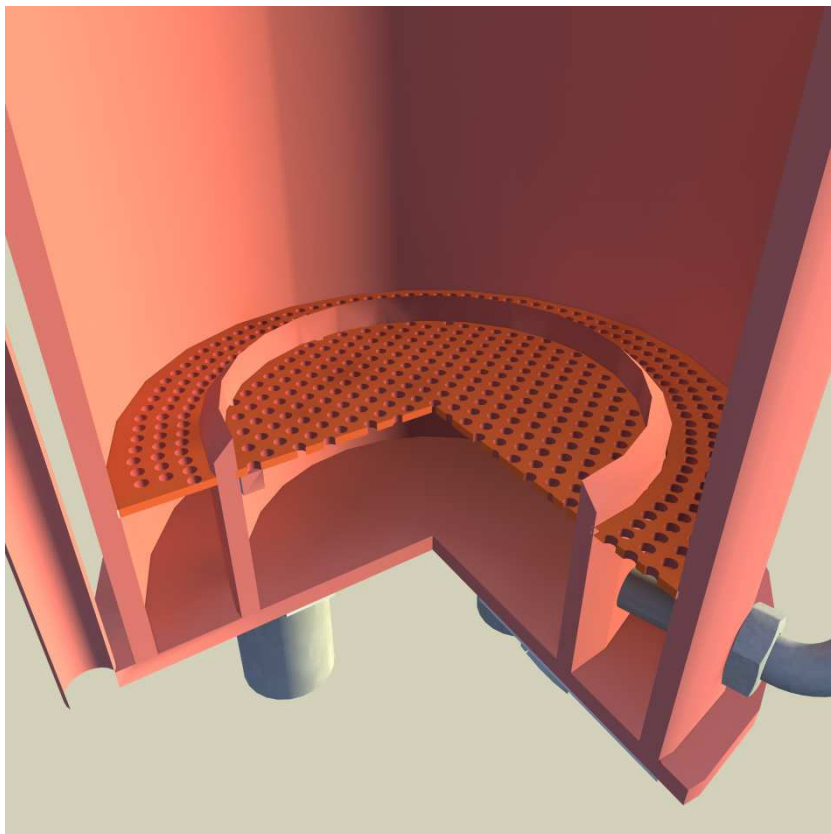
Obr.9-7 Pohled na zakončení regulovatelného odtokového potrubí



Obr.9-8 Přiložený diagram pro přímý odečet hydraulické vodivosti



Obr.9-9 Celkový pohled na válec ze strany odčítacího piezometru



Obr.9-10 Řez tělesem– znázornění dvou sousých válců, dělicího síta a vývodu odtokového potrubí

10 PŘÍLOHA 2 – FORMULÁŘ PRO ZPRACOVÁNÍ HYDRAULICKÉ VODIVOSTI

Formulář pro zpracování hydraulické vodivosti je přiložen na samostatném listě. Takto vytisknutý je pro účely dalších pokusů umístěn v několika provedeních v laboratoři Ústavu vodního hospodářství krajiny.

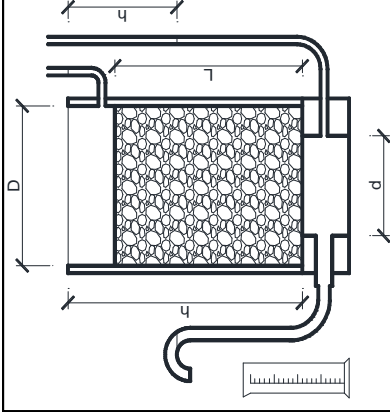
Měření hydraulické vodivosti

Datum zahájení pokusu:	
Označení filtrační kolony:	
Filtrační materiál:	
Přechodový filtr:	
Průměr vnitřního válce (d)	tl. 1 cm
Průměr vnějšího válce (D)	cm
Vnitřní výška válce (h)	cm
Výška filtračního materiálu (L)	cm
Plochta filtračního materiálu (A) ³⁾	cm ²

$$1) \quad k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta h}$$

$$2) \quad Q = \frac{V}{t}$$

$$3) \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$



Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Datum zkoušky

Δh [cm]

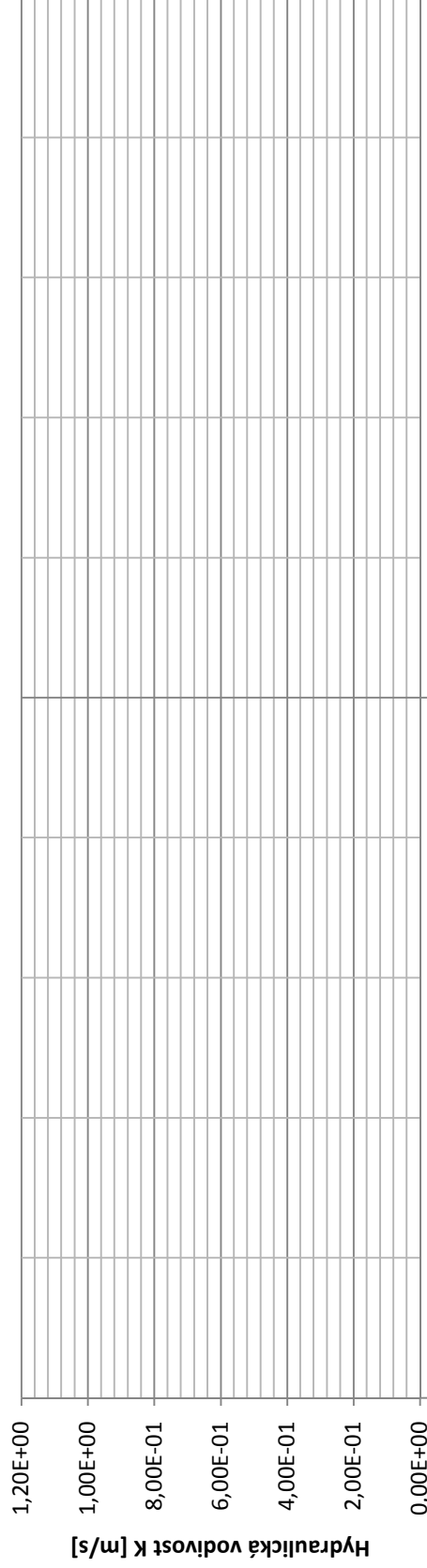
t [s]

V [cm³]

Q [cm³/s]²⁾

k [cm/s]¹⁾

k [m/s]



0.1

1.1

2.1

Datum provedení zkoušky