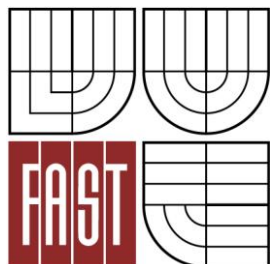




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VÝZKUM REGENERACE FILTRAČNÍHO MATERIÁLU ZEMNÍCH FILTRŮ A KOŘENOVÝCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

THE RESEARCH ON REGENERATION OF THE FILTER MATERIAL, USED IN THE SOIL FILTERS
AND CONSTRUCTED WETLANDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

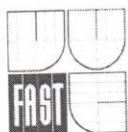
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Hana Burešová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Burešová Hana, Bc.

Název Výzkum regenerace filtračního materiálu zemních filtrů a kořenových čistíren odpadních vod

Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Kriška

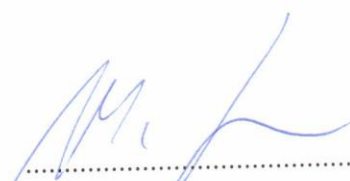
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2011

Datum odevzdání diplomové práce 13.1.2012

V Brně dne 31. 3. 2011


.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu




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

Podklady a literatura

- 1) HYÁNKOVÁ, E.: Vlastnosti filtračního prostředí pro přírodní způsoby čištění odpadních vod. Disertační práce, Brno: ÚVHK FAST VUT, 2005, 86s. 6 příloh
- 2) ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, Praha 2006, 283 s., ISBN 80-86769-74-7
- 3) ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P.: Přírodní čištění a využívání vody Brno: ERA, 115 s. ISBN 978-80-7366-125-0
- 4) 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

Diplomová práce bude celou svou náplní zaměřena na způsoby a možnosti regenerace zakolmatovaných filtračních materiálů, které jsou využívány u zemních filtrů a kořenových čistíren odpadních vod. Většina prací bude probíhat v laboratoři ÚVHK. Tématické rozdělení porovná možnosti regenerace podmočí připravených enzymů, s přirozeným odstraněním kalových částic vlivem vystavení mrazu (mineralizace), které bude probíhat v klimatizační skříni v laboratoři ÚVHK. Obě varianty budou srovnávány po všech stránkách s možnostmi strojní regenerace filtračního materiálu.

Předepsané přílohy

- 1) Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací
- 2) Metodický postup přirozené regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu
- 3) Metodický postup regenerace zakolmatovaného kalu pomocí sušených enzymů



.....

Ing. Michal Kriška
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce se skládá ze dvou základních částí. První, rešeršní část, tvoří úvod do problematiky Kořenových čistíren odpadních vod. Obsahuje zejména příčiny kolmatace filtračního prostředí a jeho teoretické způsoby řešení, které jsou podrobněji řešeny v rámci laboratorních prací. Diplomová práce se pokouší nalézt jednoduchý způsob, kterým by v budoucnu bylo možné hodnotit rychlost sedimentace kalového materiálu, který způsobuje kolmaci filtračních prostředí. Výsledky z vyvíjené metodiky budou využity v praxi při praní zakolmatovaného filtračního materiálu, resp. separaci kolmatantu v sedimentační nádrži.

Práce se zaměřuje na ověření možnosti vyvločkování a mineralizaci kalu, který ulpívá na povrchu filtračního materiálu. Řešení spočívá v pozorování rychlostí sedimentace (po předcházejícím naředění) pomocí turbidimetrické metody, založené na průchodu světelného paprsku sloupcem kalné vody. Výsledky ukazují, že není rozhodující teplota okolního prostředí, ale čas působení přirozené mineralizace v kombinaci s vlhkostí (koncentrací sušiny, množstvím vody).

Předložená práce také vyhodnocuje možnosti a aplikaci metody, vedoucí k přirozené regeneraci filtračního materiálu, vystaveného přirozeným klimatickým podmínkám.

Klíčová slova

Kořenová čistírna odpadních vod, filtrační materiál, kolmatace, , čistírenský kal, koncentrace sušiny, regenerace filtračního materiálu

Abstract

The thesis consists of two basic parts. The first research part creates an introduction to the root zone wastewater treatment plants. It contains mainly causes of filter environment colmation and its theoretical solution methods, which are further solved in the laboratory. The master's thesis attempts to find a simple way, which would in future be possible to evaluate the rate of sedimentation of the sludge material, which causes filtration environment colmation. Results of developed methodology will be used in practice by washing colmated filtration material, respectively colmatant separation in sedimentation tank.

The thesis focuses to verify the possibility flocculation and mineralization of sludge, which adheres to the surface of the filtration material. The solution lies in the observation of sedimentation rate (after previous dilution) using by the turbidimetric method, based on the beam-column passage through muddy water. The results show that it is not critical ambient temperature, but the time effect of natural mineralization in combination with moisture (dry matter concentration, the amount of

water).

The present thesis evaluates the possibilities and application method, leading to the natural regeneration of the filtration material exposed to natural climatic conditions.

Keywords

Root wastewater treatment plant, filter material, colmatage, sewage sludge, concentration of solids, regeneration of the filter material

Bibliografická citace VŠKP

BUREŠOVÁ, Hana. *Výzkum regenerace filtračního materiálu zemních filtrů a kořenových čistíren odpadních vod*. Brno, 2011. 145 s., 157 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kříška, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2012

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji tímto svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michal Kriškovi, Ph.D. za odborné vedení, rady, připomínky a pomoc, kterou mi poskytoval po celou dobu psaní mé diplomové práce.

Velké díky patří také mým rodičům, příteli a blízkým za jejich podporu, kterou jsem od nich mohla čerpat po celou dobu studia.

Obsah

1	Úvod a cíle práce	4
2	Současný stav a situace v ČR	5
2.1	Čištění odpadních vod v ČR	5
2.2	Kořenové čistírny odpadních vod	5
2.2.1	Uspořádání kořenové čistírny	7
3	Teoretické shrnutí problematiky	10
3.1	Množství odpadní vody	10
3.2	Množství kalu v odpadní vodě	12
3.2.1	Typy čistírenských kalů	14
3.3	Mechanické předčištění odpadní vody u KČOV	14
3.3.1	Odlehčovací komory (dešťové oddělovače)	15
3.3.2	Lapáky písku	17
3.3.3	Usazovací nádrž	17
3.4	Kolmatace filtračního prostředí	18
3.4.1	Příčiny kolmatace – vyplavený primární kal	20
3.4.2	Přirozená mineralizace	20
3.4.3	Strojní praní filtračního materiálu	21
3.4.4	Enzymatická regenerace filtračního materiálu	24
3.5	Zákal v odpadní vodě	25
4	Metodika výzkumu	28
4.1	Posouzení rozsahu kolmatace filtračního pole KČOV	28
4.2	Odběru vyplaveného kalu nad filtračním materiálem	30
4.3	Odběr vzorků zakolmatovaného filtračního materiálu	31
4.3.1	Měření množství kolmatantu ve filtračním materiálu	32
4.3.2	Vyhodnocení měření množství kolmatantu ve filtračním materiálu	35
4.4	Základní laboratorní rozbor kalu	36

4.4.1	Stanovení sušiny kalu	36
4.4.2	Stanovení nerozpuštěných látek	36
4.4.3	Stanovení ztráty žíháním	37
4.5	Mineralizace organické složky – vliv mrazu.....	37
4.6	Zákal vody a přístroje na jeho stanovení.....	38
5	Měření	40
5.1	Odběr vyplaveného kalu z filtračního pole.....	40
5.2	Stanovení koncentrace sušiny vyplaveného kalu.....	43
5.3	Průběh sedimentace – vliv enzymů a bakterií.....	44
5.3.1	Postup aplikace enzymů	44
5.3.2	První aplikace enzymů - laboratoř 22. 6. 2011	45
5.3.3	Druhá aplikace enzymů – 23.8.2011	46
5.4	Průběh sedimentace kalu - vliv mrazu	53
5.4.1	Krátkodobý pokus.....	53
5.4.2	Dlouhodobý pokus.....	55
5.5	Porovnání provedených pokusů.....	76
5.6	Cykly	97
5.7	Porovnání pokusu zmrazování (-30 °C) a cyklů (+30 °C a -30 °C)	106
5.8	Stanovení množství kolmatantu – čerstvý materiál	109
5.9	Stanovení množství kolmatantu – „měsíční“ vzorek.....	114
5.10	Porovnání množství kolmatantů odebraných 2.12.2011 a 6.1.2012	118
5.11	Stanovení hodnoty zákalu u vzorku odebraného 6.1.2012.....	122
5.12	Porovnání hodnot zákalu u vzorků ze dne 2.12.2011 a 6.1.2012	123
6	Provozní měření - KČOV Dražovice.....	124
6.1	Postup měření	125
6.1.1	Tablety.....	126
6.1.2	Žumpur	127
6.1.3	Bioseptik.....	127

6.1.4	Gel – Trepsan forte	128
7	Vyhodnocení naměřených výsledků.....	129
8	Aplikace a závěr	131
9	Seznam použitých zdrojů.....	133
9.1	Použitá literatura	133
9.2	Zdroje na internetu	134
9.3	Použité a citované normy	134
10	Seznam obrázků	135
11	Seznam tabulek	137
12	Seznam grafů	141
13	Seznam zkratk.....	144
14	Seznam příloh	145
14.1	Fotodokumentace	145

1 Úvod a cíle práce

Protože se v současné době na mnoha kořenových čistírnách odpadních vod, postavených přibližně před 10 lety a více, začínají v rozsáhlé míře projevovat nedostatky nevhodně navrženého mechanického předčištění, lze předpokládat, že se v dohledné době tento problém bude muset začít akutně řešit z důvodu splňování imisních parametrů na odtoku z čistírny dle legislativních požadavků (nařízení vlády 150/2010Sb. *o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*). Hlavní následky nevhodného návrhu jsou evidentní – zakolmatované filtrační prostředí filtračních polí (osázených mokřadními rostlinami). Pro provozovatele se naskytá několik možností, jak se s problematikou kolmatace filtrační náplně vypořádat:

- Regenerovat filtrační náplň kořenových polí (vytěžení a proplach, následovaný výměnou za nový nebo již vypraný filtrační materiál; přirozená regenerace – níže podrobně popsaná)
- Rekonstruovat kořenovou čistírnu, zejména její mechanické předčištění – má smysl jako prevence proti dalšímu zhoršování stavu, ale nezlepší stávající kolmaci
- Postavit biologickou čistírnu odpadních vod, založenou na intenzivních čistících procesech – nejnákladnější varianta, vyžadující vysoké investiční náklady. Stávající kořenová čistírna je potom vhodná jako terciální stupeň čištění

Hlavním cílem je vyřešení a ekonomické zhodnocení přirozené regenerace filtračního prostředí, které je zakolmatované organickými nerozpuštěnými látkami. Tyto látky se do filtračního prostředí dostávají vlivem špatně vyřešeného mechanického předčištění a špatně navržených nebo provozovaných dešťových oddělovačů. Práce neřeší prevenci proti kolmaci, ale zaměřuje se na vyřešení problému již zakolmatovaného filtračního prostředí. Vlivem nevhodně navrženého mechanického předčištění je v současné době většina KČOV na území ČR zanesena v nátokové části, odpadní voda (dále jen OV), proudí na povrchu, tzn., neprobíhají čistící procesy ve filtrační části. V důsledku takto omezené filtrace se výrazně snižuje výsledný čistící účinek.

Práce přináší poznatky z výzkumu, který byl proveden v rámci projektu MPO-TIP FR-T13/778. Tematické zaměření výzkumných prací bylo zaměřeno na vypořádání se s kolmací filtračního prostředí bez použití strojních zařízení, jako jsou pračky šterku nebo písku. Výzkum je zaměřen na odstranění kalu (tj. organických nerozpuštěných látek, které jsou hlavní příčinou kolmatace) pomocí přirozených pochodů, jako je např. vymrznutí zakolmatovaného materiálu nebo aplikace enzymů do filtračního prostředí. Obě metody jsou v práci podrobně popsány.

2 Současný stav a situace v ČR

2.1 Čištění odpadních vod v ČR

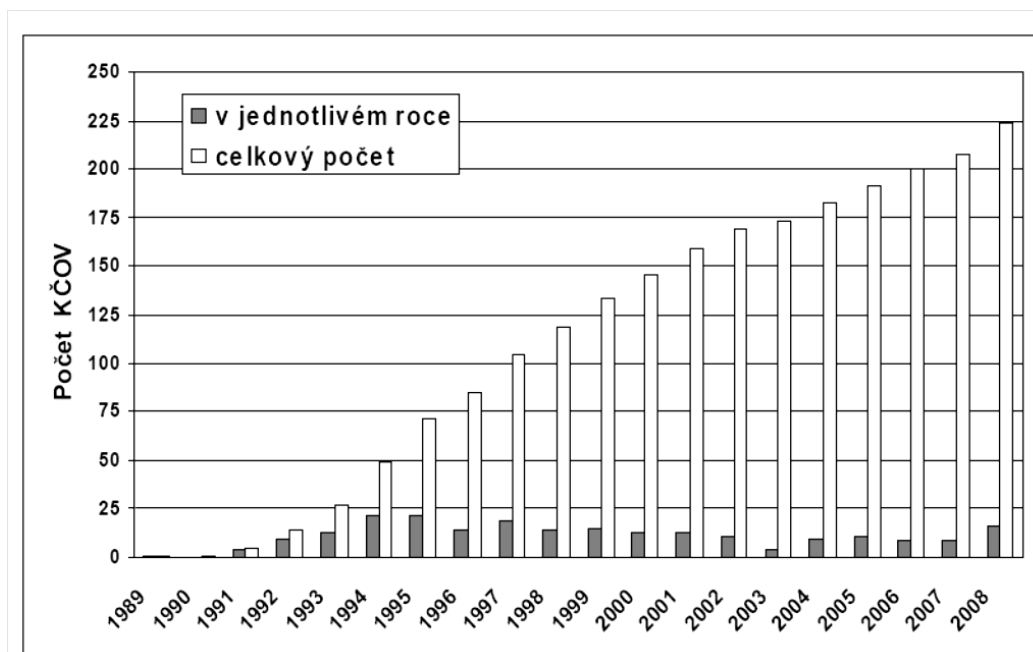
Při čištění odpadních vod je třeba odstranit nejprve hrubé makroskopické látky, jejichž přítomnost by mohla vést v dalších stupních čištění k mechanickým závadám, zanášení objektů a zařízení biologických ČOV. U kořenových čistíren odpadních vod, zemních filtrů, biologických nádrží aj. přirozených čistících technologiích je nutnost odstranění nejen minerálních látek, ale zejména separace co možná nejvyššího množství nerozpuštěných látek na mechanickém stupni předčištění z důvodu předejití kolmačních procesů, které nastávají z důvodu nedokonalého odstranění zmíněných látek.

Z hlediska technologie čištění se při mechanickém čištění jedná o základní fyzikální procesy (Hlavínek, Mičín, Prax, 2000) založené na jevech jako jsou sedimentace (lapáky písku, lapáky štěrku), flotace (lapáky tuků a olejů) nebo cezení (česle, síta). Při návrhu zařízení pro mechanické vyčištění odpadní vody je nutno zohlednit zejména druh, charakter a stav stokové sítě, stupeň technického zabezpečení stokové sítě před průnikem hrubých nečistot, písku a štěrku, úroveň provozu stokové sítě z hlediska ochrany stokového systému a řešení následujících stupňů čištění odpadních vod, jako např. druh a technologické vybavení biologického stupně, sestava a technologické zařízení kalového hospodářství.

2.2 Kořenové čistírny odpadních vod

Vegetační kořenové čistírny patří mezi tzv. přírodní způsoby čištění odpadních vod. Tyto způsoby čištění mají své přednosti, ale i nedostatky, které vymezují oblast jejich využití. Obecně lze říci, že vegetační kořenové čistírny nacházejí využití převážně v obcích s menším počtem obyvatel či u jednotlivých domů a skupin domů, v místech s vhodnými klimatickými podmínkami a dostatkem využitelných ploch (Malá, pdf). Dle průzkumu prováděného v roce 2004 bylo v ČR od roku 1989 (www.rybnikar.cz) uvedeno do provozu přes 190 KČOV, při posledním sčítání v roce 2008 bylo v České republice 254 kořenových čistíren, jejich počet se pomalu zvětšuje, většinou o menší zařízení

Nejvíce kořenových čistíren odpadních vod (dále KČOV) je navrženo jako malé domovní čistírny do 10 ekvivalentních obyvatel (dále jen EO) a pro malé obce 100 – 500 EO (www.kcov.wz.cz). V obou těchto kategoriích je v provozu asi 75 KČOV. Největší KČOV byla navržena v Osové Bítýšce (pro 1000 EO), v Čisté u Rakovníka (pro 800 EO), v Obecnici u Příbrami (pro 800 EO), ve Spáleném Poříčí jsou v provozu dvě (pro 700 a 800 EO) čistírny (se společným odtokem) celkem pro 1200 EO.



Obr. 2-1 Celkový počet KČOV v ČR (Vymazal, 2009)

Historie použití kořenových čistíren v České republice je ve srovnání s mnohými státy Evropy velmi krátká. První zmínka se objevuje až v roce 1987 na semináři v Brně. V následujícím roce je uveden do provozu malý poloprovozní model na pražské Ústřední čistírně odpadních vod, na kterém byla po dobu jednoho roku přiváděna mechanicky předčištěná odpadní voda.

V roce 1989 byla uvedena do provozu naše první plně provozní kořenová čistírna v Petrově u Jílového (okres Praha-Západ). Původně byla navržena pro čištění dešťových splachů z hnojného plata. Jako filtrační materiál bylo použito místní porézní zeminy a pro vrchní vrstvu byla použita ornice z přilehlého pole. Po celý rok 1990 byly na čistírnu vyváženy žumpy a septiky z Jílového. Přestože čistírna byla původně navržena pro jiný účel a odpadní vody byly přiváděny nárazově, čistící efekt byl poměrně vysoký, viz následující tabulka.

Tab. 2-1 Vybrané odtokové charakteristiky první kořenové čistírny v ČR

Parametr	Účinek čištění [%]	Prům. přítok [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Odtok [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
BSK ₅	94,0	550	33
CHSK _{Cr}	82,4	680	120
Nerozpuštěné látky	97,7	1750	40
Celkový N	68,7	227	71
Celkový P	93,2	60	4,1
NH ₄ -N	96,9	160	5

Během dvou následujících let byly další kořenové čistírny budovány jen velmi obtížně zejména kvůli velkému odporu vodohospodářských orgánů a legislativě. Do konce roku 1991 byly uvedeny do provozu pouze další 4 KČOV. V roce 1991 nastal zásadní průlom, protože skončila platnost seznamu

doporučených způsobů čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění, který kořenové čistírny neobsahoval. Když v roce 1994 získaly KČOV hygienický atest a obce získaly větší finanční nezávislost, jejich počet výrazně narůstal. V letech 1992 a 1993 bylo uvedeno do provozu celkem 22 těchto čistíren.

2.2.1 Uspořádání kořenové čistírny

Vegetační kořenová čistírna odpadních vod se skládá vždy z mechanického a biologického stupně čištění a případného dočištění. Mechanický stupeň čištění navrhujeme u jednotlivých budov nebo malé skupiny domků jako vícekomorový biologický septik, u sídel s větším počtem obyvatel se používá úplné mechanické čištění pomocí česlí, lapáku písku a tuku a usazovací nádrže (Šálek-Tlapák, 2006). Jako biologický stupeň čištění slouží jednotlivá vegetační filtrační pole, kde probíhají samočistící procesy jako v mokřadním prostředí. Jedná se o procesy fyzikální (sedimentace, filtrace, adsorpce...), chemické (rozklad, srážení, oxidace a redukce...) a procesy biologické (bakteriologické procesy, biologické metabolismy – např. nitrifikace amoniaku). Podle jejich konstrukčního uspořádání dělíme vegetační čistírny na VKČ s horizontálním prouděním povrchovým a podpovrchovým a VKČ s vertikálním prouděním směrem dolů a nahoru. Dočištění je prováděno z důvodů zlepšení fyzikálních, chemických a biologických vlastností odpadních vod odtékajících z VKČ. Používají se např. biologické nádrže a filtrační pole s vertikálním prouděním (Luckner, 1998).

O výsledném čistícím účinku těchto zařízení rozhodují z velké části filtrační materiály použité ve VKČ. Jejich hlavním úkolem je vytvářet prostředí pro výsadbu a zakořenění rostlin, život mikroorganismů, poutání suspendovaných látek, sorpci části mineralizovaných látek apod. Vlastnosti filtračních materiálů - především jejich hydraulickou vodivost ovlivňuje prorůstání kořeny mokřadní vegetace, sedání filtračního materiálu, provozní zhutnění a také kolmatace kalovými, organickými a zemitými částicemi (Hyánková, 2005). Základním principem KČOV je horizontální průtok odpadní vody propustným filtračním materiálem, který je osázen mokřadními rostlinami. Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází k odstraňování znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů. Název „kořenová čistírna“ vznikl z anglického „Root Zone Method“, což bylo pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním průtokem, které se používalo v 70. a 80. letech 20. století.



Obr. 2-2 Zobrazení základních technologických zařízení na KČOV

Kořenová čistírna se standardně skládá z přítokového objektu, na který navazuje distribuční zóna vyplněná kamenivem. Následuje porézní filtrační lože sestávající z drceného kameniva či praného štěrku, kterým prorůstá vegetace. Ve filtračním loži dochází k vlastnímu čištění odpadní vody. Odtud voda odtéká do sběrné zóny, která je, stejně jako distribuční zóna, tvořena kamenivem. Shromažďující se vyčištěná voda je odváděna drenážním potrubím k odtokovému objektu. Celá soustava je uložena pod úroveň terénu a je izolovaná nepropustnou vrstvou – nejčastěji folií, alternativně i vrstvou jílovitého těsnění.

Vegetační kořenové čistírny a zemní filtry mohou být mimo jiné jednou z alternativ čištění či dočištění splaškových odpadních vod z malých zdrojů znečištění (samostatné rodinné domy, skupiny domů, osady, rekreační střediska, menší obce, aj.). Vegetační kořenovou čistírnu tvoří nejčastěji těsněná zemní jímka, u vertikálních systémů často také prismatická těsněná nádrž naplněná filtračním materiálem, jehož zrnitost se volí podle stupně čištění odpadní vody; hrubší materiál (např. říční nebo drcené kamenivo 4-8 mm) se použije u mechanicky čištěné odpadní vody, jemnější materiál

(tříděné písky 2-4 mm) se použijí u mechanicko-biologicky čištěné odpadní vody. Mechanicky čištěná odpadní voda se přivádí při kladných teplotách na povrch vegetační čistírny, v zimním období – při záporných teplotách do rozdělovacího potrubí umístěného pod terénem. Odpadní voda filtruje porézním prostředím a je odváděna sběrným drénem, uloženým na opačném konci v podélném směru - na dně těsněné jámky.

3 Teoretické shrnutí problematiky

3.1 Množství odpadní vody

K důležitým výchozím podkladům, nezbytných pro návrh přírodních způsobů čištění, patří znalost množství a složení znečištěných povrchových a odpadních vod, čistírenských kalů a tekutých odpadů. Množství a složení znečištěných povrchových vod je zjistitelné pouze přímým průzkumem v konkrétní lokalitě (Šálek - Tlapák, 2006).

Přesné množství odpadních vod lze stanovit jen přímým měřením, přibližně se vypočte podle potřeby na obyvatele a den. Vypočtené množství se sníží asi o 10 až 20 %, což je voda na mytí komunikací, závlahu zeleně apod. Průměrný a maximální denní bezdeštný přítok Q_{24} , Q_d podle ČSN 75 6401 se vypočte ze vztahu:

$$Q_{24} = Q_{24M} + Q_{24P} + Q_B \quad (3.1)$$

$$Q_d = Q_{24M} \cdot k_d + Q_{24P} \cdot k_{dp} + Q_B \quad (3.2)$$

Kde Q_{24M} je průměrný denní bezdeštný přítok OV z města,

Q_{24P} průměrný denní bezdeštný přítok OV ze zpracovatelských odvětví,

Q_B průměrný denní přítok balastních vod,

k_d součinitel denní nerovnoměrnosti činí u obcí do 1000 obyvatel 1,5; od 1000 až 5000 obyvatel 1,4; od 5000 do 25000 obyvatel 1,35,

k_{dp} součinitel denní nerovnoměrnosti v průmyslu.

Denní výpočtový (návrhový) přítok $Q_v = Q_d$. Maximální hodinový bezdeštný přítok Q_h se vypočte ze vztahu, který dá vyšší hodnoty:

$$Q_h = (Q_{24M} \cdot k_d \cdot k_h + Q_{24P} \cdot k_{dp}) / 24 + Q_B \quad (3.3)$$

$$Q_h = (Q_{24M} \cdot k_d + Q_{24P} \cdot k_{dp} \cdot k_{dh}) / 24 + Q_B \quad (3.4)$$

kde k_h je součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti podle ČSN 756401 (Tab. 3-1)

k_{dh} součinitel denní nerovnoměrnosti pro průmyslové OV.

Tab. 3-1 Součinitel maximální a minimální hodinové nerovnoměrnosti k_h a k_{min} (Šálek – Tlapák, 2006)

Počet připojených obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel max. hod. nerovnoměrnosti	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6
Součinitel min. hod. nerovnoměrnosti	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet připojených obyvatel (103)	1	2	5	10	20	30	50	100
Součinitel max. hod. nerovnoměrnosti	2,2	2,1	2	2	1,9	1,8	1,7	1,5
Součinitel min. hod. nerovnoměrnosti	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5

Minimální hodinový přítok splaškových vod dle ČSN 75 6401 se vypočte ze vztahu:

$$Q_{hmin} = (Q_{24M} \cdot k_d \cdot k_{hmin} + Q_{24P} \cdot k_{dp} + Q_{Bmin}) / 24 \quad (3.5)$$

Složení odpadních vod (OV) vyžaduje průzkum a odběr vzorků na místě. Jako nejvhodnější se ukazuje stanovení složení OV zjištěné z 24 hodinových slévaných odběrů (Šálek - Tlapák, 2006), stanovených v základních ročních obdobích a v deštivém, normálním a bezdeštném období. Velmi potřebné je stanovení složení počátečního dešťového odtoku a složení počátečních odtoků ze stokové sítě z přivalových srážek (i z důvodu návrhu odlehčovací komory a dešťové nádrže). Současné zkušenosti ukazují, že největším prvkem, který způsobuje kolmaci filtračního prostředí, jsou silně znečištěné odtoky z počátku přivalových srážek a špatné provedení mechanického předčištění (odlehčovací komora – lapák písku – usazovací nádrž)

Orientační údaje o složení OV podle ČSN 75 6402 jsou uvedeny v Tab. 3-2, orientační hodnoty specifického znečištění na jednoho obyvatele jsou uvedeny v Tab. 3-3.

Tab. 3-2 Orientační údaje znečištění odpadních vod podle ČSN 75 6402

Druh znečištění	Látky [$g \cdot d^{-1} \cdot obyv^{-1}$]			
	Minerální	Organické	Veškeré	BSK ₅
Nerozpuštěné látky usaditelné	10	30	40	20
Nerozpuštěné látky neusaditelné	5	10	15	10
Rozpuštěné látky	75	50	125	30
Celkem	90	90	180	60

Tab. 3-3 Orientační hodnoty specifické produkce znečištění [g.d⁻¹] na jednoho obyvatele (ČSN 75 6402)

Látky	Minerální	Organické	Veškeré	BSK ₅	CHSK	N _{celk}	P _{celk}
Nerozpuštěné usaditelné	10	30	40	20	40	1	0,2
Nerozpuštěné neusaditelné	5	10	15	10	20	-	-
Rozpuštěné	75	50	125	30	60	10	2,3
Celkem	90	90	180	60	120	11	2,5

3.2 Množství kalu v odpadní vodě

Vlastnosti kalu, jako objem, chemické složení, fyzikální charakter a množství kalu jsou v každém případě jiné. Na vlastnostech kalu se také podepisují charakteristiky přítoku OV a to, jak je tento přítok řešen (Veselý, 2009). KČOV jsou ve většině případů zapojeny na jednotnou kanalizační síť, což ovlivňuje jak charakteristiky OV, tak vlastnosti kalu, který by se měl v ideálním případě usadit v usazovací nádrži.

Výchozím podkladem pro řešení kalové problematiky je znalost množství, časového výskytu a složení čistírenských kalů. Většina těchto údajů však vyžaduje vzhledem ke značné rozdílnosti přímá sledování na konkrétní lokalitě, z nichž bude kal využíván (Šálek – Tlapák, 2006). Dále uvedené údaje udávají průměrné hodnoty, získané od různých autorů, kteří se touto problematikou zabývají. Poměrně nejvíce informací o množství čistírenských kalů je z komunálních čistíren odpadních vod, (dále ČOV). Michalová (2002, 2004) uskutečnila náročný průzkum množství OV a čistírenských kalů a uvádí podrobné údaje o množství čištěných OV a produkci kalu.

Tab. 3-4 Množství čištěných odpadních vod a produkce kalu podle Michalové (2004)

Kategorie ČOV podle kapacity	Množství čištěných odpad. vod	Roční produkce sušiny kalu	Počet EO	Produkce sušiny kalu	Produkce sušin na 1 EO	Množství čištěných OV na 1EO
[10 ³ m ³ /rok]	[10 ³ m ³ /rok]	[10 ³ kg/rok]		[g/1 EO/den]	[10 ³ kg/rok]	[m ³ /rok]
> 100	150 669	25 200	1 671 726	41	0,015	90
20 - 50	182 096,6	31 988	1 816 726	49	0,018	100
10 - 20	74 321,7	16 934	979 154	49	0,018	76
5 - 10	84 361,2	20 563	855 025	66	0,024	99
2 - 5	120 500,5	28 463	1 477 788	52	0,019	82
< 2	66 370,6	18 552	800 914	63	0,023	83
Celkem	678 319,6	141 700	7 061 418			

V praxi se doposud používají údaje o množství primárních čistírenských kalů podle Imhoffa (1979), citované v řadě publikací, např. Drábka (1975), Rešetky (1983) a dalších (Tab. 3-5).

Tab. 3-5 Množství primárních čistírenských kalů podle Imhoffa (1979)

Technologie čištění a druh kalu	Obsah		Obsah		Objem kalu [10 ⁻³ m ³ .d ⁻¹ .obyv. ⁻¹]	
	sušiny	org. látek	vody	sušiny		
	[g.obyv. ⁻¹ .den ⁻¹]		[%]	[%]		
Mechanické čištění a stabilizace						
Čerstvý z kalové jímky	A	54	38	97,5	2,5	2,16
Čerstvý zahuštěný	B	54	38	93 - 95	5 - 7	0,77 - 1,08
Stabilizovaný	C	34	17	90 - 94	6 - 10	0,34 - 0,57

Vzhledem ke značné rozdílnosti v původu čistírenských kalů je třeba stanovit složení individuálně. Hlavní pozornost je třeba věnovat obsahu těžkých kovů (arzenu, kadmiu, chrómu, mědi, rtuti, niklu, olova, zinku), stanovení absorbovatelných organických halogenů (AOX), polychlorovaných bifenylů (PCB) aj., vyžaduje-li to způsob dalšího využití, jako např. kompostování či jiná aplikace jako hnojiva. Z mikrobiologických šetření je třeba věnovat hlavní pozornost stanovení termotolerantních koliformních bakterií, enterokoků a Salmonel sp. Z hlediska zemědělského využití je důležitá znalost obsahu základních nutrietů (dusíku, fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku), obsahu sodíku a síranů. Údaje o obsahu rizikových prvků ve stabilizovaných kalech v komunálních čistírnách Jihomoravského kraje, podle (Dobšáková-Sponor,2002), jsou uvedeny Tab. 3-6.

Tab. 3-6 Koncentrace rizikových prvků z čistíren odpadních vod (Dobšáková-Sponor,2002)

Produkce [t]	Parametr	Koncentrace rizikového prvku v mg/kg sušiny									
		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	AOX	PCB
> 2500 2 ČOV	Min	0,80	0,49	34,80	154,00	1,83	36,70	17,50	1033	92,00	0,035
	Max	5,70	8,90	187,00	684,00	5,94	168,00	183,00	3320	290,00	7,000
	Prům.	1,84	2,10	99,40	272,30	3,57	73,38	66,72	1661	196,60	0,820
250 až 2500 10 ČOV	Min	0,50	0,10	11,10	66,50	0,17	10,00	5,00	205	30,00	0,020
	Max	21,00	75,00	274,00	1010,00	50,00	360,00	154,00	2720	333,00	0,700
	Prům.	6,64	3,14	74,00	219,40	3,48	48,81	60,46	1338	231,50	0,210
< 250 60 ČOV	Min	0,00	0,20	1,00	8,20	0,30	1,00	2,92	71	0,27	0,002
	Max	23,50	18,00	308,00	456,00	14,00	337,00	470,00	2964	608,00	2,100
	Prům.	5,19	4,02	56,36	183,50	2,61	42,19	71,30	1416	278,70	0,430

Odběr vzorků kalu se provádí v souladu s ČSN ISO 5667 – 13 Pokyny pro odběr vzorků kalů z čistíren a úpraven vod; uchování a přeprava se realizuje v souladu ČSN ISO 10381 – 6 Pokyny pro odběr, manipulaci a uchování vzorků.

3.2.1 Typy čistírenských kalů

Odpadní voda přitékající na ČOV je během průtoku čistírnou čištěna a na odtoku z ČOV je obsah znečišťujících látek ve vodě podstatně snížen (Hlavínek – Mičín – Prax, 2001). Na mechanickém stupni (u KČOV většinou pouze nedostatečně hrubé česle) dojde k odstranění hrubých nečistot, které jsou separovány jako shrabky nebo usaditelné nerozpuštěné látky, zachycené v lapáku písku. Na biologickém stupni dochází k další redukci zejména biologicky odbouratelných látek. Tyto látky, které se z vody během procesu odstranily, jsou kumulovány v tzv. čistírenských kalech. Kal je směs vody a pevných látek, oddělená z odpadní vody různými způsoby. Kaly tvoří cca 1 – 2 % objemu čištěných OV, obsahují však 50 – 80 % původního znečištění. Kal, který ještě nebyl stabilizován, se nazývá surový kal. Podle toho, odkud je ze systému odebírán, rozlišujeme u biologických ČOV kal primární, sekundární a terciální, přičemž terciální kal je kal z chemického srážení. Kořenové čistírny nebo obecně přírodní způsoby, vzhledem k jejich povaze a technologickému uspořádání, produkují pouze primární kal z usazovací nádrže, zařazené za lapákem písku. Pokud se na povrchu kořenového pole vyskytuje vyplavená vrstva kalu, jedná se právě o primární kal z usazovací nádrže.

3.3 Mechanické předčištění odpadní vody u KČOV

Kvalitní, funkční a vysoce účinné mechanické čištění OV je nezbytnou součástí všech přírodních způsobů čištění. Z důvodu nevhodně a nekvalitně navrženého mechanického čištění u většiny KČOV dochází v současné době k provozním poruchám v procesu čištění, zejména se projevují kolmační procesy filtračních materiálů. Uspořádání mechanického stupně čištění závisí na původu, množství a složení OV a znečištěných povrchových vod, může být pro přírodní způsoby čištění vod následující:

- a) U jednotlivých druhů staveb, resp. skupin domů, malých restaurací a hotelů se navrhuje biologický septik (nejlépe předdimenzovaný, aspoň tříkomorové, popřípadě řešen vyšším množstvím příčných přepážek a systémem norných stěn), případně usazovací nádrže s horizontálním a vertikálním prouděním, za které je nutno zařadit zemní filtr nebo soustavu dvou až tří filtračních polí KČOV.
- b) Při čištění OV ze sídlišť, vesnic a menších měst, se navrhuje úplné mechanické čištění, které tvoří česle, lapák písku, lapák tuků a olejů a plně funkční usazovací nádrže.



Obr. 3-1 Špatně navržené mechanické předčištění ovlivní prostupnost filtračního materiálu

3.3.1 Odlehčovací komory (dešťové oddělovače)

Odlehčovací komora je zařízení, tvořící součást stokové sítě (většinou jednotné). Používá se k převedení přívalových dešťových vod do recipientu tak, aby extrémní průtoky nezpůsobovaly provozní problémy na čistírně odpadních vod. Jakmile dosáhne hladina odpadní vody ve stoce úrovně přepadu v dešťovém odlehčovači, přeteče do odlehčovacího potrubí, kterým je odváděna přímo do recipientu, resp. do odlehčovací nádrže.

Návrh se provádí:

- a) pomocí zjednodušeného vzorce pro výpočet mezního deště (orientační výpočet vodárenských i ostatních toků),
- b) pomocí intenzity mezního deště podle vzorce (Urcikán-Rusnák, 2011), latí pro nevodárenské toky
- c) ve výjimečných případech poměrem ředění (zatíženo chybou odhadu ředění)

$$Q_{zř} = m \cdot Q_h = (1 + n) \cdot Q_h \quad (3.6)$$

kde Q_h - bezdeštný odtok splašků,

m - násobek zředění,

$1+n$ také ($1:n$) je poměr ředění, násobek ředění m se volí 1 - 40, zpravidla se volí 1 až 6

Odtoky srážkové vody z jednotné stokové sítě se oddělují na dešťových oddělovačích, přivádějí se do dešťových (akumulačních)nádrží a po minimálně 20 minutách odsazení se vypouštějí do recipientu. Provozní zkušenosti ukazují, že právě zde je hlavní příčina zakolmatování filtračních náplní kořenových čistíren a zemních filtrů, resp. rychlejšího zanášení biologických aerobních nádrží organickým substrátem. Odlehčovací komory jsou v první řadě nevhodně navrženy, navíc jsou provozovány tak, aby obsluha měla co možná nejméně práce s čištěním přiřazené dešťové nádrže. Z tohoto důvodu není dešťová nádrž zatěžována dle projektové dokumentace, tzn., na čistírnu odpadních vod bývá pouštěno výrazně vyšší množství vody, než na které je čistírna navržena.

Úkolem odlehčovacích komor je tedy oddělení části průtoku. U menších obcí se téměř výlučně jedná o oddělení převážné části srážkových vod při odtoku vody z přívalových srážek. U přírodních způsobů čištění zodpovědně navržená odlehčovací komora rozhoduje o rozsahu zakolmatování filtračního prostředí, rychlosti zanášení biologických nádrží a životnosti čistírny. K základnímu uspořádání patří dle (Šálek – Tlapák, 2006) odlehčovací komory:

- přepadové s přímým, bočním přelivem (jednostranným a oboustranným), šikmým, škrťací tratí, regulačním šoupátkem apod.;
- s horizontální a vertikální dělicí stěnou, pevnou a nastavitelnou;
- štěrbinové, oddělující silně znečištěnou vodu výtokem štěrbinou ve dně;
- odstředivé (separátory), využívající k oddělení zejména těžších minerálních částic odstředivou sílu;
- regulovatelné oddělovače.

K hlavním nedostatkům v současné době používaných odlehčovacích komor u KČOV patří (Šálek – Tlapák, 2006):

- krátká přelivná hrana, vytvářející vysokého vzduší v místech výtoku surové OV na mechanický stupeň čištění; tato okolnost způsobuje značné zvýšení průtoku, a tím i přetížení navazujících zařízení a vyplavování sedimentů, zejména kalu;
- regulace přítoku na čistírnu kanalizačním šoupátkem nebo stavítkem je nepoužitelná, protože dochází ke snadnému ucpání seškraceného profilu;
- použití krátkých škrťacích tratí z potrubí o malém průměru je většinou málo účinné.

Je proto nezbytné navrhovat odlehčovací komory s delší přelivnou hranou a doplnit je spolehlivým samočisticím regulačním zařízením na přítoku do vlastní čistírny. Je možné uvažovat o využití vírových oddělovačů a tyto doplnit o zařízení na regulaci průtoku (Šálek – Tlapák, 2006). Výzkumný projekt MPO-TIP FR-T13/778 je zaměřen na problematiku vyřešení odlehčení dešťové vody, problematika

vyřešení odlehčení není předmětem této práce, která řeší následky a způsoby, jakými se vypořádat s pokročilým stádiem kolmatace filtračního prostředí.

3.3.2 Lapáky písku

V lapácích písku (dále jen LP) se odstraňují suspendované, těžké anorganické látky jako písek, úlomky skla, jemná škvára apod. Je třeba je odstranit odděleně od ostatních nerozpuštěných látek organického původu, které se následně odstraňují v sedimentačních nádržích. Při současném odstraňování suspendovaných látek anorganického i organického původu v sedimentačních nádržích by docházelo ve vyhnívacích (usazovacích) nádržích k rozvrstvení kalu, písek by se postupně hromadil u dna nádrže a zmenšoval by tak celkový účinný objem vyhnívací nádrže. Nakonec by se musela nádrž odstavit a písek vyklidit, což by bylo z mnoha důvodů nepříjemné (provozně komplikované).

LP zachycují písek minerální povahy, umísťují se před čerpadla a mělniče. Lapáky jsou založeny na principu sedimentace písčitých částic, nebo na využití odstředivé síly k oddělení částic. U horizontálních LP se střední průtoková rychlost obvykle navrhuje v rozmezí 0,25 až 0,50 m.s⁻¹. Při této rychlosti sedimentují částice o průměru 0,1 až 0,3 mm. Doba zdržení nemá klesnout pod 30 s. Nejčastěji se pro přírodní způsoby čištění používají horizontální šterbinové písky – nízké investiční náklady, snadné provedení během výstavby, jednoduchá obsluha, poměrně solidní sedimentace minerálních částic, aj.

U vertikálních LP nemá přestoupit povrchové zatížení 1 m² za hodinu 180 m³. Většina LP je zatížena nerovnoměrným průtokem, čímž dochází k usazování drobných organických částic současně s pískovými zrny. Organická hmota v LP zahnívá, znesnadňuje praní písku a jeho odstraňování. Vhodná konstrukce LP, která by tento nedostatek odstranila, není zatím k dispozici. Jednou z možností je využití provzdušňovaného LP s vertikálním prouděním a jeho pravidelné praní stlačeným vzduchem, který je rovněž využíván k čerpání pískové suspenze mamutkou (Šálek – Tlapák, 2006). Návrh hydraulicky vhodného horizontálního lapáku písku je předmětem projektu MPO-TIP FR-T13/778.

3.3.3 Usazovací nádrž

Usazovací nádrže, dále jen UN, jsou určeny k zachycení podstatného množství usaditelných látek. Navrhují se na nepřerušovaný provoz; dělí se na nádrže s průtokem horizontálním, vertikálním a radiálním. Při návrhu usazovacích prostor se doporučuje dodržovat parametry, uvedené v ČSN 73 6401 Čistírny městských odpadních vod. Doba zdržení v UN před navazujícími přírodními způsoby čištění by neměla klesnout pod 2 hodiny (Šálek Tlapák, 2006). Čistící účinek UN podle ČSN 75 6401 je uveden v závislosti na době zdržení Tab. 3-7.

Tab. 3-7 Hodnoty specifického znečištění g/obyvatele za usazovacími nádržemi při průtoku Q_v podle střední doby zdržení v usazovacích nádržích, podle ČSN 75 6401

Ukazatel	Specifické znečištění [g.obyv ⁻¹ .d ⁻¹] pro střední dobu zdržení v usazovacích nádržích při průtoku Q_v		
	od 0,5 do 1,0 hod.	od 1,0 do 1,5 hod.	nad 1,5 hod.
BSK₅	50,0	45,0	40,0
CHSK	100,0	90,0	80,0
Nerozpuštěné látky	30,0	27,0	23,0
Dusík celkový	10,0	10,0	10,0
Fosfor celkový	2,3	2,3	2,3

Hodnoty platí, není-li přívod kalové vody před primární sedimentací (Šálek – Tlapák, 2006).

3.4 Kolmatace filtračního prostředí

Čistící proces v zařízeních, která jsou založena na extenzivních způsobech, je ovlivněn složením odpadních vod, klimatickými podmínkami, biologickým oživením filtračního lože, konstrukčním uspořádáním a technologií provozu, ale především základními fyzikálními a hydraulickými vlastnostmi filtračního prostředí (rychlost filtrace, doba zdržení, struktura, textura a zrnitostní složení). Tyto vlastnosti mohou být výrazně ovlivněny zakolmatováním filtračního prostředí, jež tak často rozhoduje o výsledném čistícím účinku a funkci filtru.

Kolmatace patří k velmi závažným provozním problémům vegetačních kořenových čistíren a zemních filtrů. Jedná se o kolmaci porézního filtračního prostředí nerozpuštěnými látkami, především jemnými zemitými a organickými částicemi a vyplavovaným kalem. Rozsah kolmatace závisí především na množství těchto látek v přitékající odpadní vodě, zrnitostním složení porézního filtračního prostředí, jeho struktuře a textuře, vegetačním krytu a jeho kořenovém systému, době provozu zařízení apod. Určit množství kalu a organominerálních částic, které tvoří tenký film na povrchu částic filtru je nezbytné, protože jsou životním prostředím pro mikroorganismy, zajišťují rozkladný proces.

Z podrobného průzkumu příčin vyplývá, že ke kolmaci filtračního prostředí dochází buď nárazovým uvolněním kalů, nebo postupným pozvolným zakolmatováním. První případ nastane při přívalových deštích. Silné znečištění odvodňovaného prostředí se projeví ve vysoké koncentraci smyvů odtékajících do stokové sítě, ty se poté nárazově uvolňují při odtoku vod z přívalových srážek. Nevhodně řešené dešťové oddělovače propouštějí neúnosně vysoké průtoky odpadních vod na mechanický stupeň čištění, který je nezvládá. Druhý případ pozvolné kolmatace zapříčiňuje nevhodná konstrukce usazovací nádrže (např. zemní usazovací nádrže apod.), nebo její chybné provozování (např. nedostatečně průběžné odstraňování kalu). Nahromaděný kal v usazovacím prostoru vyhnívá a

vzplývá, a dostává se tak až do filtračního lože. Příčinou může být i nevhodně zvolený materiál filtračního prostředí vegetační kořenové čistírny, či biologická kolmatace z předřazené biologické nádrže a rozdělovacího příkopu.

Problematika kolmatace filtračního prostředí je aktuálním tématem většiny kořenových čistíren odpadních vod, které byly postaveny v období, kdy se kořenové čistírny na území České republiky začínaly teprve rozvíjet a prvně budovat, tzn. bez provozních zkušeností. Teprve provozní zkušenosti ukazují, že ne vždy se jednalo o nejšťastnější řešení, počínající nevhodným návrhem odlehčovací komory, hrubých česlí, lapáků písku a typizovaných usazovacích nádrží.

Příčiny kolmatace jsou popsány výše. Ve stručnosti lze popsat dva hlavní typy kolmatace:

- a. Přirozený bakteriální nárůst – pozvolným rozmnožováním přítomných (většinou anaerobních) bakterií vzniká stejně jako na všech filtračních materiálech (např. skrápěné filtry, biodisky, aj. technologie pro čištění odpadních vod) biofilm. Oproti skrápěným filtrům není u filtračních náplní kořenových čistíren možnost proplachování, resp. samovolného uvolňování nárostů, tzn. dochází k postupnému ucpávání volných pórů. Proces ucpávání je naštěstí velice pozvolný – při vyvarování se druhého typu kolmatace je běžně uváděna životnost vhodně navržené kořenové čistírny až 20 let (Vymazal, 2008)
- b. Vyplavení nerozpuštěných látek z mechanického předčištění – při nevhodně navrženém mechanickém předčištění, resp. oddělení dešťových vod v případě napojení kořenové čistírny na jednotnou kanalizaci, dochází k nepravidelnému, leč intenzivnímu vyplavování usazených nerozpuštěných látek ze sedimentačního prostoru usazovací nádrže. Nerozpuštěné látky potom snadno projdou rozdělovací šachtou a dále se rozdělovacím potrubím postupně vyplavují na povrch filtrační náplně. V důsledku zpomalení rychlosti proudění (rozprostření na výrazně větší průtočnou plochu ve filtračním prostředí) dochází k postupné sedimentaci nerozpuštěných látek, tzn. počáteční projevy kolmatace filtračního prostředí. Nejhorší situace nastává nejbliže k rozdělovacímu potrubí, směrem ke sběrnému potrubí dochází k postupnému snižování vlivu kolmatace.

Terénní průzkum, prováděný za účelem zjištění stupně kolmatace, popíše situaci dle následujícího postupu. Vychází se z předpokladu rozdělení filtrační vrstvy:

1. Vyplavený a usazený kal z primární sedimentace
2. Vysoce zakolmatovaná svrchní filtrační vrstva
3. Postupně se snižující vliv druhého typu kolmatace

Na základě uvedeného rozdělení je potřeba provádět šetření a zjištění rozsahu kolmatace:

1. Zjištění výšky vrstvy vyplaveného kalu – popsáno v kapitole 4
2. Zjištění mocnosti projevů kolmatace vlivem organických látek (směsi vyplaveného kalu a kořenů mokřadních rostlin) – odběry, prováděné v různých hloubkách – popsáno v kapitole 4
3. Vyhodnocení a stanovení možností a rozsahu regenerace filtračního materiálu
4. Návrh na možnosti regenerace filtračního materiálu

3.4.1 Příčiny kolmatace – vyplavený primární kal

Regenerace filtračního materiálu spočívá v odstranění organické hmoty z filtračního materiálu – ať už se jedná o primární kal, usazený na povrchu filtrační náplně kořenového filtru, nebo kal rozptýlený v objemu filtračního materiálu. Doporučované metody, použitelné pro tento účel, můžeme rozdělit do následujících skupin (Šálek-Tlapák, 2006):

- vytěžení zakolmatovaného materiálu, jeho ponechání v tenké vrstvě na upravené a těsněné a odvodněné plošině přes zimní období a vyplavení kalových částic deštěm;
- odstraňování znečištění ze zakolmatovaného filtračního materiálu proplachováním tlakovou vodou, bakteriálním rozkladem (podmíněno aerobním prostředím) apod.;
- vytěžení zakolmatovaného filtračního materiálu a jeho následná regenerace ve speciálních pračkách. Autoři uvádí, že je třeba před praním organický materiál vyvločkovat;

Autoři (Šálek-Tlapák, 2006) v rámci výzkumných prací věnovali hlavní pozornost metodě, která spočívala v rozložení filtračního materiálu ve vrstvě 10 – 15 cm na zpevněné ploše, odvodněné před LP. Podle autorů by se koloidy v kalu měly mrazem vyvločkovat a následně jarním táním a dešti vyplavit. Pokus byl však proveden bez sledování průběhu meteorologických veličin (teplota, množství srážek, apod.). Výzkumné práce, zaměřené na popis přirozené mineralizace a vyvločkování vlivem mrazových teplot, je podrobně popsáno níže.

3.4.2 Přirozená mineralizace

Princip přirozené mineralizace je založený na předpokladu, že organická složka, která je vystavená záporným teplotám, mineralizuje. Proces mineralizace provází vyvločkování kalu (vyplavený primární kal). Následující průběžné promývání dešťovými srážkami zajistí uvolnění vloček kalu, jejich vyplavení z filtračního materiálu. Jedním z cílů šetření během zimního období je zjištění ideální výšky zakolmatovaného filtračního materiálu takové, aby proces mineralizace dosáhl celého objemu rozprostřeného materiálu.



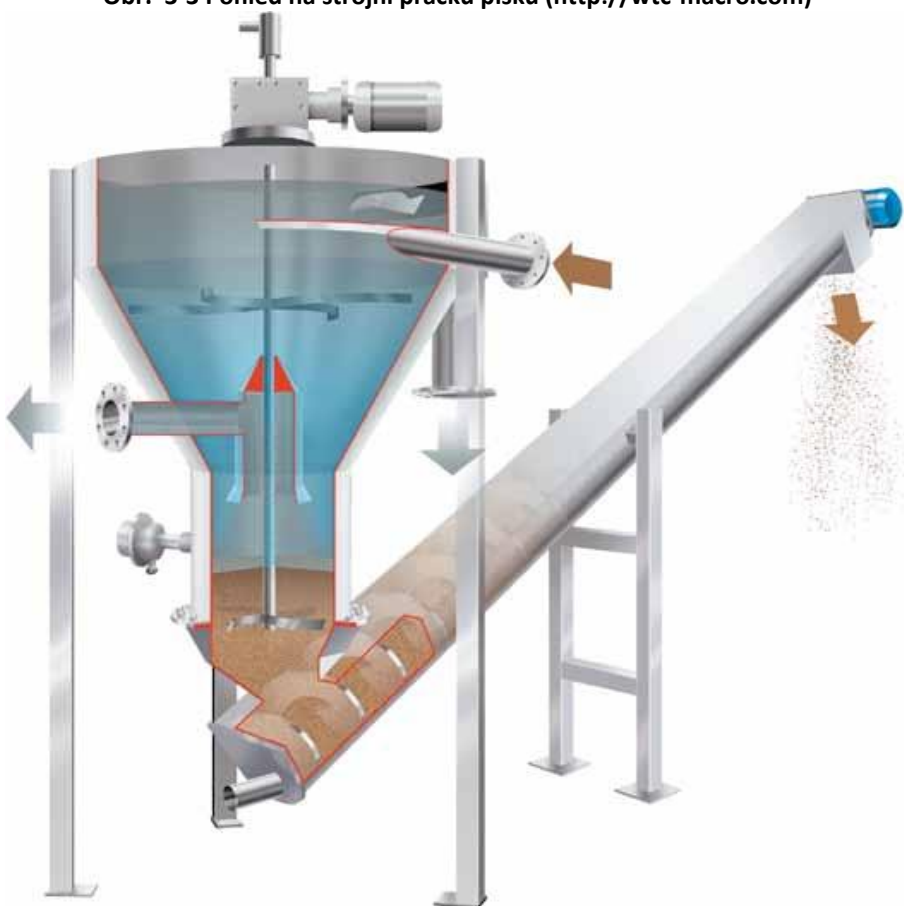
Obr. 3-2 Zpevněná plocha pro vymrznutí rozprostřeného zakolmatovaného filtračního materiálu

3.4.3 Strojní praní filtračního materiálu

Jednou z neznámějších možností regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu je strojní praní. Otevřená diskuze s jedním z hlavních výrobců pracích zařízení, zástupcem firmy Fontanar, ukázala nedostupnost strojního zařízení, určeného přímo pro praní hrubého štěrku z filtračních polí kořenových čistíren odpadních vod. Dostupné jsou pouze pračky písku, které pro praní hrubých štěrků nejsou příliš vhodné. Navíc, filtrační pole jsou prorostlá hustým kořenovým systémem mokřadních rostlin (rákos obecný, chrastice rákosovitá, orobínek širokolistý, aj.). Po vytěžení filtračního materiálu dochází k poškození rostlin, přetrhání jejich kořenů. Uvolněné kořeny velice rychle způsobují ucpání strojních zařízení. Strojní praní není předmětem řešení výzkumných prací, ukazuje se pouze jako jedna ze způsobů regenerace filtračních materiálů.

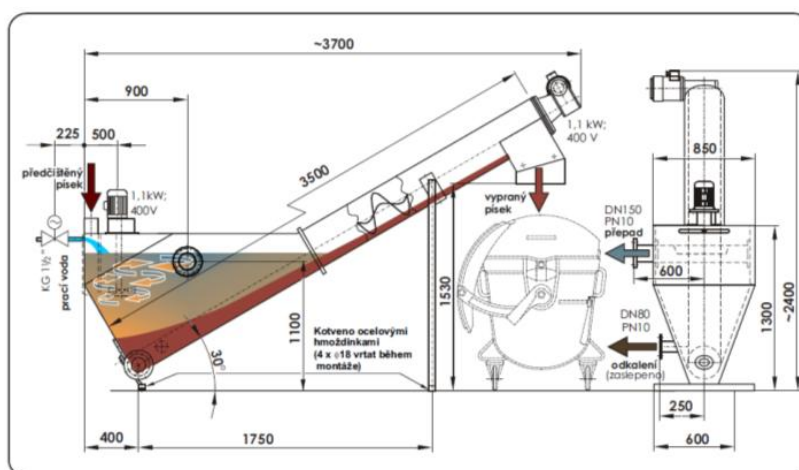


Obr. 3-3 Pohled na strojní pračku písku (<http://wtc-macro.com>)



Obr. 3-4 Schéma konstrukčního uspořádání strojních praček písku (<http://wtc-macro.com>)

Pro účely praní písků se běžně používají cenově dostupné strojní technologie (Obr. 3-3 a Obr. 3-5), výrobce takových zařízení ale nedoporučují aplikaci pro filtrační náplně kořenových čistíren odpadních vod z důvodu větší frakce použitého kameniva. Pro praní šterkových náplní (mokrý praní, míchání šroubem) sice existují dostupné technologie, ale jedná se o zařízení podstatně větších rozměrů – hmotnost cca 5 tun a více, stejně tak cenové hranice se pohybují řádově ve stovkách tisíc. V lapáku písku dochází k prvnímu hrubšímu oddělení písku a minerálních částic od ostatního sedimentu. Následující vyprání zbaví minerální zrna písku téměř veškerého zbytkového podílu organických látek.



Obr. 3-5 Schéma pračky písku pro biologické čistírny odpadních vod (<http://krsiak.cz/fontanar/>)

Strojní pračky písku jsou v rámci České republiky dodávány několika výrobci. Své služby nabízí například Fontana R, s.r.o., dále IN-EKO, s.r.o., BMTO Group, a.s. a další. Pro názorný příklad jsou zde uvedeny některé produkty zmíněných firem.

Technické údaje pračky písku firmy Fontana R, s.r.o.:	
Výkon: Q	do 0,4 l.s ⁻¹ (=1,5 m ³ h ⁻¹) vypraného písku
Účinnost separace písku od organických látek: (velikost zrn písku > 0,2mm)	97 - 99 %
Spotřeba prací vody:	3÷5 ls ⁻¹ prací vody při 0,3 MPa
Průměr vyhrnovacího šneku: øD	250 mm
Příkony:	vyhrnovací šnek 0,55 kW/ 400 V/ 50 Hz praní 1,5 kW/ 400 V/ 50 Hz elektromagnetický ventil 60 VA, 230 V / 50 Hz
Doba jednoho cyklu:	doba čerpání hydrosměsi + + cca 15 minut prací voda
Pracovní prostředí:	a) vnitřní b) vnější pro teplotu -20 až +50 °C s topným systémem o Příkonu 1,54 až 2,0 kW/ 220 V/ 50 Hz

Separátor písku s pračkou – firma IN-EKO:

Funkcí separátoru je oddělování písku a jiných těžkých částic ze směsi vody a nerozpuštěných látek rozptýlených v této vodě, propírání separovaného materiálu čistou vodou. Výhodou je speciální vnitřní lamelová vestavba optimalizující proces usazování, zachycení nejjemnějších pískových zrn, dlouhá doba zdržení - lepší sedimentace, podstatné snížení rychlosti přitékající vody, možnost natočení přívodního a odvodního potrubí libovolným směrem. Možností využití je spousta a to velikost nádoby dle požadovaného průtoku, možnost zvýšení separačního účinku speciální vnitřní lamelovou vestavbou, možnost zateplení, možnost plynulé regulace účinnosti separace, instalace pračky písku do separátoru, plynulá regulace separačního účinku, automatické řízení vynašeče písku dle obsahu písku.

3.4.4 Enzymatická regenerace filtračního materiálu

Teoreticky fungující metoda, která zatím dle dostupných informací nebyla nikým testována - založené na následujícím předpokladu: Existují sušené enzymy a bakteriální kultury, které se přidávají do septiků a žump. Po jejich aplikaci dochází k likvidaci resp. snížení množství kalu (přeměnou na kapalné skupenství, zahuštění). Předpokladem tedy je, že při vhodném způsobu aplikace přídatku enzymů na filtrační náplň (vrstvu kalu), se sníží jejich množství a filtrační náplň se opět stane propustnou. Podrobný postup měření je uveden v kapitole 5.3.1.

3.5 Zákal v odpadní vodě

Pro měření zákalu v kapalině se běžně používají různá optická zařízení, vyhodnocující rozptyl a absorpci paprsku světla, procházejícího měřenou kapalinou (metody stanovení zákalu nefelometricky a turbidimetricky). Moderní přístroje kombinují obě tyto metody a měřicí čidlo zákaloměru pracuje na principu poměrového vyhodnocení paprsků světla v rovině zdroje záření – absorpce paprsku přímého a paprsku rozptýleného, vzniklého odrazem od nerozpuštěných částic, udávajících zákal, v měřené kapalině. Tento způsob měření do značné míry kompenzuje znečištění měřicí komory, barvu média i stárí optických součástek měřicího přístroje. Poměrové vyhodnocení signálu v rovině referenčního paprsku je obvykle v úhlu 90°, ale optika přístroje může být konstruována i pro jiný úhel vyhodnocení (Novotný, 2011).

Pravoúhlý zákaloměr umožňuje zákal stanovit komplexněji (množství bílkovin i kvasinek, koloidní částice). Dopřední úhel měření 25° je vhodný pro stanovení množství větších částic nad cca 1 μm (např. v potravinářství kvasinky, křemelina), zpětný úhel měření 135° se používá např. pro odstředěné mléko. Při porovnání obou naměřených hodnot je možné zjistit podíl bílkovin a kvasinek na zákalu, proto přístroje s dvojitým úhlem měření umožňují stanovit podíl částic různé velikosti v měřené kapalině a vypovídají lépe o kvalitě a efektivitě filtrace.

Další podstatnou charakteristikou zákaloměru je vlnová délka zdroje vstupního záření. Ve starších přístrojích se používalo bílé polychromatické světlo (většinou podžhavené vlákno žárovky s kondenzorem, tepelným filtrem a případně i monochromátorem), s rozvojem polovodičových monochromatických zdrojů světla a zejména laserových diod se ustálila doporučená vlnová délka zdroje na 650 ± 30 nm (červené světlo) nebo na 860 ± 30 nm (infračervené světlo) podle oboru použití.

U stolních provedení zákaloměrů, kde se měřený vzorek nalévá do skleněných kyvet, se většinou pracuje s tzv. imerzí (prostor mezi kyvetou a optikou přístroje je vyplněn kapalinou s vyšším indexem lomu než 1 – kyveta je ponořena do vodní lázně). Potlačí se tak parazitní vliv geometrických a optických vad kyvet a i případné orosení stěn kyvety při měření velmi chladného vzorku. Při informativním měření zákalu v běžných lahvích, u kterých geometrické a optické vady jsou nezanedbatelné, se doporučuje s lahví otáčet a hodnotu zákalu stanovit průměrováním – i tak může být měření zatíženo značnou chybou.

Měření zákalu není absolutním měřením a hodnoty závisejí na vlastnostech měřené kapaliny (barva, index lomu, velikost a tvar zákalotvorných částic, apod.). A tak pro porovnání naměřených údajů zákalu je rovněž nutné, aby konstrukce měřicího přístroje odpovídala doporučeným standardům,

neboť porovnání naměřených hodnot zákalu u přístrojů různých výrobců je možné jen za předpokladu, že přístroje mají stejnou charakteristiku, zejména stejnou vlnovou délku zdroje vstupního záření, stejný snímací úhel rozptýleného svazku světla, stejnou optickou konfiguraci, kalibraci a kompenzaci vlivu barvy měřeného média. Výsledky měření, které byly získány odlišnými typy přístrojů, nejsou srovnatelné! Rovněž ne každý typ zákaloměru je vhodný pro zamýšlený účel použití.

Pro stanovení velikosti zákalu v kapalině může být použita i ultrazvuková metoda. Princip měření je v podstatě stejný jako u metody optické. Porovnává se velikost ultrazvukového signálu, který je do kapaliny vyslán, a velikost ultrazvukového signálu prošlého kapalinou. Poměr obou signálů pak udává zákal. Tato metoda je vhodná tam, kde by mohlo dojít k značnému znečištění měřicí buňky a optické měření by bylo znemožněno – např. měření oleje ve vodě, apod.

Při sledování kvality vody je měřená hodnota „zákalu“ v mnoha případech parametrem se silnou vypovídací schopností. To platí pro úpravu pitných a odpadních vod, pro výrobu nápojů a v oblasti chemie od galvanizování až po petrochemický průmysl (zdroj WTW, 2011). V našem případě bude hodnota zákalu vypovídat o množství nerozpuštěných látek ve vodě.

Nerozpuštěné pevné látky v kapalině, jako řasy, čistírenský kal, mikroby a jiné částice pohlcují a rozptylují dopadající světlo. Se stoupajícím počtem částic se zvyšuje stupeň zákalu i pro naše oči. Tvar, velikost a poměrné zastoupení částic ovlivňují stupeň zákalu. Při měření zákalu bylo dříve jednoduše měřeno světlo, prošlé kapalinou. Měření rozptýleného světla pod úhlem 90° však, speciálně v nízkém rozsahu měření, převážilo a dnes je to světově uznávaná technika měření. Měřicí přístroje, které používají tuto metodu, se také označují jako nefelometry.

Existují různé typy přístrojů, které se rozlišují především podle jejich zdroje světla. Pro měření podle normy ISO 7027 / DIN 27027 (EN ISO 7027) je předepsán infračervený zdroj světla s vlnovou délkou 860 nm. Standardní metody pro rozbory vod a odpadních vod specifikují wolframový širokopásmový světelný zdroj, tzv. bílé světlo.

S infračerveným IR zdrojem světla se minimalizuje popř. úplně eliminuje vliv zabarvení roztoku, protože při vlnové délce 860 nm nedochází prakticky k žádné absorpci světla. Na druhé straně je poněkud snížen práh citlivosti vůči malým částicím, které obecně při této vlnové délce vykazují nižší rozptyl světla (zdroj WTW, 2011).

Bílé světlo má vyšší citlivost vůči malým částicím, vlastní zabarvení roztoku se naopak jako rušivý faktor projevuje silněji. IR měření je podle normy DIN ISO, měření s bílým světlem podle US EPA.

Nefelometrické měření rozptýleného světla pod úhlem 90° je výhodnější při nízkých hodnotách zákalu. Naproti tomu postup s procházejícím světlem je vhodný pro střední a vysoké hodnoty zákalu,

kdy se vzrůstajícím zákalem se zvyšuje efekt rozptylu světla a stínu mezi částicemi. Úbytek intenzity procházejícího světla zde dává přesnější výsledky zákalu než měření rozptylu světla pod úhlem 90° . Především laboratorní zákaloměry, určené pro měření vysokých hodnot zákalu, jsou vybaveny pro volbu z více měřících metod.

4 Metodika výzkumu

Výzkum regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu vychází z předpokladu, že materiál je natolik ucpán (zakolmatování, zanesen), že není možné jej regenerovat jiným způsobem, než odebráním z filtračního pole a následně zajistit jeho návrat do stavu, který se co nejvíce přibližuje počátečnímu stavu, kdy byl materiál hydraulicky propustný. Pro účely testování různých vlivů na sedimentaci kalu ve vodě jsme pravidelně odebírali čerstvé vzorky kalu z kořenové čistírny odpadních vod v Dražovicích.

Jak bude uvedeno níže, nejvíce zasaženou částí je svrchní vrstva filtračního materiálu, obsahující také kořeny rostlin a kolmatant v podobě usazených nerozpuštěných látek.

Nosným pilířem pro provádění regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu je problematika nakládání s prací vodou (tj. voda, určená k praní filtrační náplně). Ve vodě lze očekávat obsah:

1. vysokých koncentrací organických látek, které budou sedimentovat – stěžejní zaměření výzkumu
2. Obsah rostlin – zbytků kořenů (dosahujících až délky 0,5 m), odumřelé části rostlin, živé stonky a listy aj.

Metodika výzkumu se zabývá problematikou odběru sedimentovaného kalu z povrchu filtrační náplně kořenového pole, odběrem zakolmatovaného filtračního materiálu a stanovením podílu jednotlivých složek, v neposlední řadě popisuje výzkum přirozené mineralizace vlivem vystavení filtračního materiálu záporným teplotám v laboratorních i provozních podmínkách.

Proces regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu si vyžaduje předchozí posouzení rozsahu kolmatace filtračního prostředí. Na základě posouzení je potom možné rozhodovat se, jaká varianta bude vybrána. Samotný proces posouzení stavu je složen z následujících částí, popsaných podrobně níže:

1. Posouzení rozsahu kolmatace filtračního pole KČOV
2. Odběr vzorků vyplaveného kalu z povrchu filtrační náplně kořenového filtru KČOV
3. Odběr vzorků zakolmatovaného filtračního materiálu
4. Stanovení základních charakteristik vzorku materiálu
5. Stanovení sedimentačních charakteristik kalu

4.1 Posouzení rozsahu kolmatace filtračního pole KČOV

Při zjišťování množství vyplaveného kalu z usazovací nádrže (UN), která je předsazena filtračnímu poli KČOV, je třeba uvažovat a kalkulovat s potenciální vysokou hladinou odpadní vody v kořenovém filtru

(KF). Mechanicky předčištěná odpadní voda může v důsledku pokročilého stádia kolmatace proudit po povrchu filtrační náplně, resp. na vyplaveném kalu rozprostřeném na filtrační náplni. Proces kolmatace je postupný, první známky bývají pozorované nejbliže u rozdělovacího potrubí, postupně ke sběrnému potrubí na konci filtračního pole se projevy kolmatace postupně snižují. Pro názornost poslouží např. Obr. 4-1 a Obr. 4-2 z odběru vzorků kalu pro laboratorní rozbor.

V případě horizontálního podpovrchového filtračního pole mohou tedy při prvním posouzení situace (bez regulace výšky hladiny), potažmo rozsahu kolmatace, nastat dvě situace:

- Odpadní voda proudí pod povrchem filtrační náplně v celé ploše filtračního pole – tzn., filtrační pole se nachází v dosud dobrém stavu; po hydraulické stránce nedochází k ucpávání filtrační náplně, odpadní voda tedy proudí dle navržených parametrů pod povrchem, lze předpokládat rovnoměrné proudění v celém příčném profilu (resp. objemu) filtrační náplně
- Odpadní voda proudí po povrchu filtrační náplně i při hladině nastavené tak, aby proudění bylo podpovrchové. Většinou pozorovatelné u nátokové části (rozdělovací potrubí) plochy filtračního pole – tzn. filtrační pole je již částečně zakolmatované, voda proudí zkratovými proudy, není využíván celý filtrační prostor, čímž se snižuje čistící účinek. Tento stav si vyžaduje posouzení rozsahu kolmatace dle následujícího postupu.

Při zjištění a konstatování zakolmatovaného stavu je nutno přistoupit k opatřením, vedoucím k nápravě nebo aspoň k částečné eliminaci kolmatace filtračního prostředí. V první řadě je nutné posoudit, v jaké vrstvě se vyplavený kal na povrchu filtrační náplně vyskytuje. Rozsah je nevhodnější stanovit pomocí tyče či jiného ocejchovaného měřicího předmětu. Vhodné je stanovit si předem síť, podle níž se bude postupovat. Síť bodů, v nichž bude měřena výška usazeného kalu (nad filtrační náplní), je nutno volit s ohledem na velikost filtračního pole.

Tab. 4-1 Rozteče porcovacích bodů při posuzování stavu povrchové kolmatace filtračního materiálu KČOV

Velikost filtračního pole	Maximální rozteč pozorovacích bodů (čtvercová síť)
Delší strana pole do 5,0 m	1,0 m
Delší strana pole do 10,0 m	2,0 m
Delší strana pole větší než 10,0 m	4,0 m

Ze zjištěné sítě bodů se potom stanoví celkový objem vyplaveného kalu na filtrační náplni, nutný pro vyhodnocení ekonomické bilance, způsobu regenerace a jejímu postupu. Pomocí známé plochy čtverce a výšky kalové vrstvy v každém jeho rohu, se určí celkový objem nad čtvercovou plochou. Výpočet vychází z průměrné výšky čtyř naměřených hodnot, násobené plochou čtverce.

Zjištění rozsahu kolmatace ve filtračním materiálu je možné pouze pomocí odběru vzorků zakolmatovaného filtračního materiálu a následném zjištění množství kalu v daném odběrovém místě, resp. hloubce. Po odběru je možno stanovit množství kalu pomocí metody stanovení koncentrace sušiny (popsané v kapitole 4.4.1). Při známém množství vyplaveného nebo kolmatujícího kalu je možné přistoupit k metodě, vedoucí k redukci vyplaveného kalu nebo regeneraci filtračního materiálu.

4.2 Odběru vyplaveného kalu nad filtračním materiálem

Odběru vzorků vyplaveného kalu z povrchu filtrační náplně kořenového filtru musí předcházet zabránění přítoku odpadní vody (např. přepojením přítoku odpadní vody na jiné kořenové pole, zapojené sériově nebo paralelně). Zároveň je vhodné v dostatečném časovém předstihu (aspoň jeden den) snížit hladinu vody v kořenovém filtru pomocí regulační šachty (jednodenní snížení hladiny neovlivní přítomné mokřadní rostliny). Takto připravené podmínky jsou přinejmenším zjednodušením pro technika, který vzorky kalu a filtračního materiálu odebírá.

Pokud se vyskytuje na povrchu vyplavený kal, stav vypovídá velice pokročilému stádiu kolmatace filtračního prostředí. Technik, určený k odběru kalu, musí mít vhodný pracovní oděv, gumovou obuv a rukavice. Kal je podle koncentrace sušiny možné odebírat buď pomocí rýče, zednické lopaty, naběračky či jiného vhodně tvarovaného zařízení. Kal je možné odebrat i s příměsí zbytků rostlin (rostoucích nebo odumřelých). Kal je potřeba odebírat do hermeticky uzavíratelné nádoby, z důvodu přepravy do laboratoře. Z důvodu následné homogenizace vzorku kalu je vždy vhodnější odebrat větší množství, jako ideální se jeví např. 20 litrů odebraného materiálu.



Obr. 4-1 Anaerobní kal vyplavený na filtrační náplni kořenového filtru



Obr. 4-2 Odběrná nádoba 25L, naplněná vyplaveným sedimentovaným primárním kalem

4.3 Odběr vzorků zakolmatovaného filtračního materiálu

Před odběrem vzorků je potřeba co nejvíce omezit vliv přítomné odpadní vody, tzn. zamezit přítok vody z rozdělovací šachty (tzn. zajištění uzavíracím zařízením - šoupě, hrazení, dlužové stěny, popř. jiný vhodný uzávěr) a prostřednictvím regulační šachty za filtračním polem snížit hladinu vody ve filtračním prostředí na co možná nejnižší úroveň. Po dostatečném snížení hladiny je možné přistoupit k odběru vzorků zjišťovaného materiálu. Tato opatření jsou nutná z omezení vyplavování kolmatantu z jednotlivých vrstev při následujícím odběru filtračního materiálu.

Pro odběr materiálu je potřeba následujících nástrojů: rýč, krumpáč, lopata, odběrná a uzavíratelná nádoba objemu min. 5,0 l, pracovní oděv, gumové rukavice, holínky, nůž.

V případě, že se na filtračním materiálu nachází vyplavený kal z mechanického předčištění, je potřeba jej nejprve důkladně odstranit. Jelikož je tento kal prorostlý mokřadní vegetací, nejedná se o snadnou práci. Po dokonalém odstranění kalu až na samotný filtrační materiál, kdy je odkrytá plocha minimálně 0,5 x 0,5 m, je možné přistoupit k odběru samotného vzorku. Vzorek je odebírán pomocí těžkého nářadí – např. prostřednictvím krumpáče, kterým se zajistí narušení hustého kořenového systému. Při dostupnosti strojní techniky je též vhodné přistoupit k těžbě materiálu vhodným stavebním strojem (bagr, traktor-bagr apod.).

Reprezentativní vzorek odebraného filtračního materiálu, resp. směs původního filtračního materiálu, kořenů mokřadních rostlin, vyplaveného kalu a částečně i vody, je v dostatečném množství umístěn do vzorkovnice (nádoba o objemu minimálně 5,0 l) a přepraven k transportu do laboratoře. Během transportu je vhodné umístit nádobu do chladného prostředí, následující rozbor provádět pokud

možno co nejdříve (změna sedimentačních charakteristik, způsobených vlivem mineralizace v aerobním prostředí vodou nenasyceného filtračního materiálu)

4.3.1 Měření množství kolmatantu ve filtračním materiálu

Při dovezení vzorku do laboratoře je nutné reprezentativní vzorek dostatečně homogenizovat v nádobě, která je minimálně 4 x větší, než odběrná nádoba. Homogenizaci je nutné provádět velice důkladně, protože vybraný vzorek bude sloužit k vyhodnocení celkového stavu filtračního prostředí.

Laboratorní postup vyhodnocení množství kolmatantu ve filtračním prostředí je založen na předpokladu tří složek, které je potřeba od sebe navzájem oddělit. Jedná se o směs:

1. Minerální filtrační materiál
2. Kolmatant (biofilm a všechny nerozpuštěné látky)
3. Kořeny mokřadních rostlin

Pro laboratorní rozbor je potřeba následující laboratorní vybavení: mělká homogenizační nádoba (minimálně 20 l), homogenizační míchací nástroj (lopatka, tyč, aj.), nabírací nástroj (lze použít homogenizační lopatku), laboratorní váhy s přesností aspoň 0,01 g, porcelánová miska (určená pro navážku 1,0 kg vzorku), cejchovaná nádoba na čistou vodu o objemu 2,0 l (voda určená k promývání vzorku), síto k rozprostření vzorku o velikosti oka max. 1,0 mm (nejlépe klasické síto kruhového průřezu, určené k zrnitostním rozborům), nálevka o dostatečném průměru (taková, aby do ní bylo možné umístit síto popsané v předchozím bodě), druhou nádobu na vodu o stejném objemu (nejlépe 2,0 l), sušárna (105°C), pec (550°C).

Postup stanovení lze rozdělit do následujících bodů:

1. Navážení reprezentativního vzorku – z filtračního kořenového pole odebraný vzorek v uzavíratelné nádobě o objemu 5,0 l je bezprostředně po transportu do laboratoře přesypán do homogenizační nádoby o objemu min. 20 l. V této nádobě je dostatečně promícháván pomocí dostatečně pevného nástroje (lopatka, tyč, apod.). Po dostatečné homogenizaci je přemístěno a naváženo 1,0 kg vzorku do porcelánové misky Obr. 4-1. Hmotnost je označena jako m_1 [kg].



Obr. 4-1 Zakolmatovaný filtrační materiál, určený k laboratorním rozborům

2. Promývání naváženého vzorku – po zvážení a zapsání hodnoty m_1 je vzorek přemístěn do síta o maximální velikosti zrna 1 mm. Síto je umístěno v nálevce (trychtýři), která je připravena nad prázdnou nádobou o minimálním objemu 2,0 l. Druhou nádobu o stejném objemu naplníme čistou vodou (pitnou, není potřeba praní vodou destilovanou) a touto vodou promýváme materiál Obr. 4-2 (rovnoměrně rozprostřený na síti). Ověřili jsme, že je vhodné proplachování provádět intenzivně – co možná nejrychleji ale tak, aby nedošlo k nežádoucímu vyplavení minerálního materiálu nebo kořenů do „prací vody“. Postup lze opakovat pomocí stejné vody – potřeba je pouze nádoby vyměnit, popřípadě kal nechat částečně sedimentovat, vodu přelít do nádoby s původně čistou vodou a proplachování tímto způsobem aplikovat. Po několika propláchnutích se bude filtrační materiál se směsí kořenů jevit jako zbavený kolmatantu (tedy veškerých nerozpuštěných látek). Směs minerálního materiálu s kořeny ponecháme chvíli odkapat a poté jej přemístíme do čisté porcelánové misky (lze použít původní misku, která je ovšem zbavena kolmatantu a kořenů – nutno tuto směs proplachovat nad výše popsáním sítem) Obr. 4-3 .



Obr. 4-2 Promývání zakolmatovaného filtračního materiálu (síta 1,0 mm)



Obr. 4-3 Materiál zbavený usazeného kalu po promytí na síť

3. Sedimentace kolmatantu – vzorek kolmatantu, který je obsažen v „prací vodě“ o objemu 2,0 l, je ponechán v laboratorních podmínkách tak, aby byla umožněna sedimentace nerozpuštěných látek. Jakmile látky sedimentují (cca po 24 hodinách v závislosti na velikosti částic), je potřeba vodu oddělit od sedimentu. Vodu je možné oddělit, až dosahuje hodnota zákalu max. 200 FNU (měření pomocí turbidimetru). Voda je odsávána z úrovně hladiny tak dlouho, dokud to vzorek umožní. Odsávání je možné provádět pomocí větší pipety,

mikročerpadlem, odsávacím balonkem apod. Pakliže by hrozilo nasátí sedimentu (kolmatantu, nerozpuštěných látek), je potřeba okamžitě proces zastavit. Následuje přeprava sedimentu s částí vody (výška vody bude cca 1,0 cm nad sedimentem) do porcelánové misky. Opět je potřeba důkladné promytí sedimentační nádoby tak, aby po vyprázdnění byla úplně čistá (bez částic kalu).

4. Vysušení vypraného vzorku a vzorku sedimentu – vypraný vzorek (filtrační materiál se směsí kořenů) umístíme do sušárny a sušíme při 105°C do ustálení hmotnosti. Vysušený vzorek zvážíme, označíme m_2 . Do sušárny zároveň umístíme sedimentovaný a zahuštěný vzorek kalu, popsaného v bodě č.3. Před umístěním není potřeba vzorek vážit, po vysušení ale provedeme zvážení – m_3 .
5. Stanovení ztráty žiháním – vysušenou směs (filtrační materiál a kořeny rostlin) umístíme do pece, při nastavení 550°C stanovíme ztrátu žiháním, po zchlazení v exsikátoru vzorek zvážíme – m_4 .

4.3.2 Vyhodnocení měření množství kolmatantu ve filtračním materiálu

Určení hmotnostního procenta jednotlivých složek – při známé počáteční hmotnosti původního vzorku m_1 , zjištěné vysušené hmotnosti vzorku bez příměsi kalu m_2 a hmotnosti vysušeného kalu m_3 , lze snadno stanovit hmotnost vody v původním vzorku:

$$m_v = m_1 - m_2 - m_3 [kg]$$

Hmotnost, vyjadřující pouze minerální materiál, odpovídá hmotnosti m_4 :

$$m_m = m_4 [kg]$$

Hmotnost směsi kořenů mokřadních rostlin, vychází z rozdílu hmotností po vysušení a po žihání:

$$m_k = m_2 - m_4 [kg]$$

Hmotnost kolmatantu, tedy usazených nerozpuštěných látek, vyjadřuje potom

$$m_{nl} = m_3 [kg]$$

Z uvedených hodnot lze snadno odvodit procentuelní vyjádření množství složek směsi:

$$m_i = \frac{m_{v,m,k,nl}}{m_1} 100 [\%]$$

Při důkladném provedení odběrů z jednotlivých vrstev a vzdáleností od rozdělovacího potrubí se na základě výše popsaného vyhodnocení snadno stanoví potřeba revitalizace filtračního materiálu. Nejdůležitější charakteristikou, vyjadřující kolmaci, je hmotnost kolmatantu ve vzorku – výše popsané m_{nl} [kg, %].

4.4 Základní laboratorní rozbor kalu

Před samotným laboratorním výzkumem, zabývajícím se popisem charakteristik odebíraného čistírenského (primárního) kalu, je potřeba stanovit základní vlastnosti kalu:

- Koncentrace sušiny
- Nerozpuštěné látky
- Ztráta žiháním (podíl organických látek)

Při stanovování sušiny a ztráty žiháním (dále jen ZŽ) je potřeba nejdříve vložit vhodné množství důkladně homogenizovaného nefiltrovaného vzorku do vodní lázně, kde se voda odpaří a poté ji vysušit v sušárně při 105 °C do konstantní hmotnosti. Zbytek po žihání získáme žiháním vysušeného vzorku při teplotě 550 °C do konstantní hmotnosti. ZŽ se vypočítá jako rozdíl stanovených hodnot sušeného a žihaného odparku.

4.4.1 Stanovení sušiny kalu

Sušina kalu je množství látek, které zůstávají po vysušení vzorku do konstantní hmotnosti (podle ČSN EN 12880, dříve 758006). Rozdíl celkové hmotnosti vzorku a jeho sušiny je určován vodným podílem, protože obsah látek (organických i minerálních) těkajících při teplotě stanovení je zpravidla zanedbatelný. Podle druhu vázané vody (vázaná voda může být kapilární, volná, vázaná sorpcí apod.) na pevnou fázi je třeba k uvolnění molekul vody různé energie, dané teplotou vysušení. Při teplotě 105°C se odpaří voda, která je na pevnou složku vázána nejvýše molekulárními silami. Tato voda tvoří podstatný podíl z jejího celkového množství.

4.4.2 Stanovení nerozpuštěných látek

Před samotným stanovením nerozpuštěných látek je potřeba vyvařit filtry v destilované vodě (doporučované množství je 20 ks filtrů ve 400 ml destilované vody) po dobu 5 minut (Horáková, 2003). Postup se opakuje 3x vždy s novou vodou. Takto připravené filtry se vysuší na hodinovém sklíčku 0,5 hod při laboratorní teplotě a potom dvě hodiny v sušárně při 105°C. Vlastnímu stanovení předchází zvážení samotného membránového filtru (označeno m_1 [g]), které se upevní do filtračního zařízení. Za sníženého tlaku se přefiltruje takový objem homogenizovaného vzorku (V_0), aby hmotnost zvážené sušiny byla 10 – 100 mg. Filtr se vyjme z filtračního zařízení opatrně pinzetou a suší se stejně jako v případě sušení čistého filtračního papíru). Po ochlazení v exsikátoru na laboratorní teplotu se filtr se sušinou zváží (označeno m_2 , [g]).

Stanovení koncentrace nerozpuštěných látek je potom:

$$NL = \frac{(m_2 - m_1)}{V_0} [mg/l] \quad (4.1)$$

4.4.3 Stanovení ztráty žiháním

Mimo sušinu analyzovaného kalu musíme znát i jeho organický podíl, protože řada stanovení se vztahuje na tuto část (např. pro sledování aktivity kalu). Ztráta žiháním (ZŽ) je podle ČSN EN 12879 (758005) množství látek v sušině (popřípadě ČSN 757350), které těkají nebo se spalují při teplotě do 550 °C. Minerální látky jsou do této teploty převážně rezistentní.

Do předem vyžihaného a zváženého porcelánového kelímku odměříme přiměřené množství homogenizovaného roztoku vzorku kalu (přibližně 5 ml, hmotnost m_1). Voda se odpaří nejprve na vodní lázni a vzorek se pak dosuší v sušárně při 105 °C do konstantní hmotnosti. Po ochlazení na laboratorní teplotu v exsikátoru se zváží (m_2) a stanoví se veškeré látky (dále jen VL).

Vysušený zbytek (m_2) na kelímku se vyžihá při teplotě 550°C do konstantní hmotnosti (po dobu 2 hodin). Kelímek s vyžihaným vzorkem se nechá v exsikátoru ochladit na laboratorní teplotu, zváží se a stanoví hmotnost po žihání (m_3). Stanovení se provede 3x.

Výpočet:

$$VL_{105} = \frac{1000.(m_2 - m_1)}{V_0} \quad (mg.l^{-1}) \quad (4.2)$$

$$VL_{105} = \frac{1000.(m_2 - m_1)}{V_0} \quad (mg.l^{-1}) \quad (4.3)$$

kde je:

VL_{105} - hmotnostní koncentrace veškerých látek v [$mg.l^{-1}$]

$ZŽ_{550}$ - ztráta žiháním v sušině v [%]

m_1 - hmotnost porcelánového kelímku [mg]

m_2 - hmotnost porcelánového kelímku s odparkem [mg]

m_3 - hmotnost porcelánového kelímku se zbytkem po žihání [mg]

V_0 - objem vzorku použitý pro stanovení [ml]

4.5 Mineralizace organické složky - vliv mrazu

Výzkum mineralizace organické složky při vystavení mrazu byl rozdělen podle následujících kroků:

1. odběr kalu z filtračního pole,
2. odvoz do laboratoře,
3. uskladnění kalu v chladícím zařízení,
4. výběr a rozdělení na jednotlivé vzorky,

5. zahájení pokusu a umístění vzorků do klimatizační skříně,
6. průběh pokusu,
7. zpracování vzorků
8. vyhodnocení výsledků.

Během vyhodnocení je zjišťován stupeň mineralizace v závislosti na době vystavení mrazu, počtu zmrazovacích cyklů, tloušťce vrstvy, obsahu vody (koncentraci sušiny), teplotě, stupni zakolmatování, aj. charakteristikách.

Několik výše uvedených autorů potvrdilo, že během vystavení organické součásti čistírenského kalu záporným teplotám zajistí vyvločkování a mineralizaci organické složky. Měření, založené na tomto předpokladu, bylo prováděno v laboratorních podmínkách prostřednictvím klimatizační skříně, umístěné v laboratoři ÚVHK. V klimatizační skříně je možné nastavit konstantní teplotu (resp. vlhkost)

První pokusy byly zahájeny v extrémně nízkých podmínkách (plánováno bylo přiblížení k reálným podmínkám v případě pozitivních výsledků).

4.6 Zákal vody a přístroje na jeho stanovení

U připravených vzorků čistírenského kalu, z nichž část prošla zmrazovacím procesem (popsaným výše), byla zjišťována rychlost sedimentace nerozpuštěných látek prostřednictvím optické metody měření zákalu (podrobně popsání měření zákalu výše v kap. 3.5).

Pro účely měření byl nadávkován hmotnostní vzorek kalu v předem stanoveném množství, který byl doplněn množstvím vody tak, aby bylo možné detekovat ideálně rozmíchané směsi zákal pomocí turbidimetru, který umožňuje měření v rozpětí 0,01 – 1000 NTU. Zákaloměr (turbidimetr) je v podstatě jednoduchý optický přístroj, který určí množství částic na základě měření absorpce světla prošlého zakaleným prostředím.

Princip pokusu spočívá v časovém měření hodnoty zákalu, který se vlivem sedimentačních charakteristik snižuje. Na základě porovnání výsledků měření z vzorků, které prošly mrazem (předpoklad: teoreticky by měly vyvločkovat větších částic a tedy rychleji sedimentovat), společně se vzorky mrazu nevystavenými, lze snadno vyhodnotit, zdali došlo k vyvločkování a v jakém poměru při vzájemném porovnání.

Po přípravě kalu, zjištěním jednotlivých koncentrací sušiny resp. množství vody, následném přepočtu na hmotnostní podíl suchého vzorku, byly jednotlivé vzorky umístěny do sedimentačních nádob, doplněny množstvím vody a následně mícháním homogenizovány. Ihned po ukončení míchání bylo zahájeno měření – zjišťován byl zákal v časové řadě.

Pro účely pozorování rychlosti sedimentace zkoumaného kalu, který je během procesu regenerace filtračních materiálů promíchán s vodou, je potřeba číselně zaznamenat hodnotu, vypovídající množství nerozpuštěných látek ve vodě. Protože sensoricky (odhadem pouhým pohledem, porovnáním focením digitálním fotoaparátem) není možné dosáhnout adekvátních výsledků, přistoupili jsme k měření pomocí turbidimetrického stanovení hodnoty zákalu v měřené vodě. Předpokladem je postupné snižování hodnoty zákalu vlivem sedimentace kalových částic na dno usazovací nádrže (v laboratoři pokusné nádoby předem stanoveného tvaru).

5 Měření

Samotným měřením, ať už se jednalo o provozní nebo laboratorní pokusy, předcházela odběr vzorků z kořenové čistírny odpadních vod v Dražovicích. Vždy po transportu do laboratoře následovaly základní fyzikální rozbory – stanovení koncentrace sušiny, ztráta žiháním. U připravených a důkladně homogenizovaných vzorků byl prováděn výzkum, zaměřující se na pozorování rychlosti sedimentace vlivem bakterií a enzymů, vlivem vystavení mrazu a délky vystavení vzorku v mrazových podmínkách.

5.1 Odběr vyplaveného kalu z filtračního pole

První vzorky vyplaveného kalu z usazovací nádrže byly odebrány z KČOV Dražovice 25.5.2011. Vzhledem k vysokému množství vyplaveného primárního kalu (v některých místech vrstva až 28 cm) bylo dostačující provést odběr pouze z jednoho místa. Odpadní voda, která přitéká postupně rozdělovacím potrubím, není schopna zasakovat do filtračního prostředí, ale proudí po vyplavené vrstvě kalu v privilegovaných proudech o hloubce cca 3,0 – 5,0 cm. Vzorky kalu byly odebrány do dvou odběrných nádob. Ve filtračním poli jsme odstraněním rostlin (rákosu obecného, *Phragmites australis*) vytvořili prostor cca 100 x 100 cm a z tohoto místa jsme odebrali kal z povrchu a hloubky cca 20 cm.

Následující a průběžné odběry byly realizovány obdobným způsobem ze stejné lokality.

Provedeno bylo měření dle postupu, uvedeného v kapitole 4.1. V rámci měření byla zaznamenána výška vyplaveného kalu a následně určen celkový objem kalu. Výsledky jsou uvedeny v následujících grafech a tabulkách.

Tab. 5-1 Záznam měření výšky vyplaveného kalu na filtračním poli

Vzdálenost [m]	Vzdálenost v příčném směru [m]																				
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
2	0	8	15	14	27	20	18	16	13	14	12	15	16	17	1	28	23	27	30	24	20
6	12	10	20	11	10	18	20	8	11	6	11	12	12	11	12	16	21	17	18	20	20
10	6	5	5	8	12	9	5	5	7	5	4	5	6	5	5	9	8	9	10	15	9
14	5	7	10	9	8	5	3	4	6	7	9	6	4	4	5	4	5	8	11	10	10
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

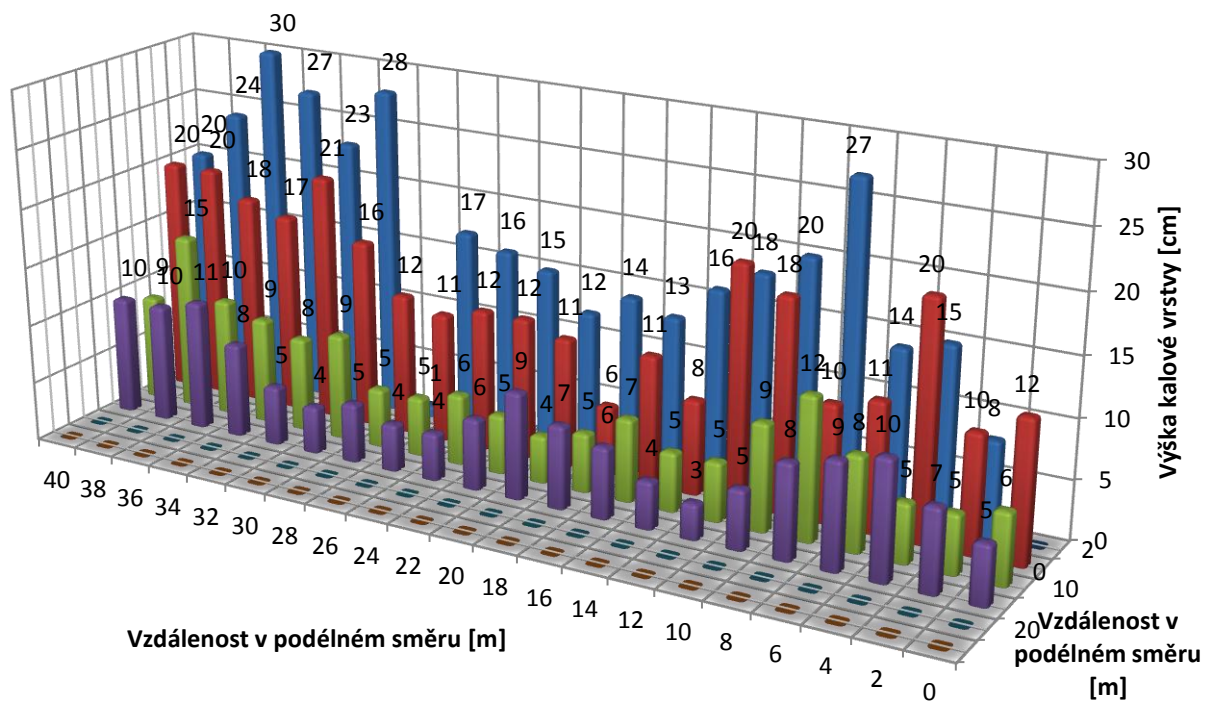
Tab. 5-2 Průměrná výška vrstvy kalu v dílčí ploše

Délka strany [m]	Šířka strany čtverce																				
	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0	2	6	7	10	12	10	9	7	7	7	7	8	8	5	7	13	13	14	14	11	5
2	8	13	15	16	19	19	16	12	11	11	13	14	14	10	14	22	22	23	23	21	10
4	8	10	11	10	12	13	10	8	7	7	8	9	9	8	11	14	14	14	16	16	7
4	6	7	8	9	9	6	4	6	6	6	6	5	5	5	6	7	8	10	12	11	5
4	3	4	5	4	3	2	2	3	3	4	4	3	2	2	2	2	3	5	5	5	3
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 5-3 Stanovení objemu vyplaveného kalu v dílčí ploše

Délka strany [m]	Šířka strany čtverce																				
	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8	0.4
4	0.0	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	1.1	1.0	1.2	1.2	0.5
4	0.0	0.5	0.6	0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	0.8	0.3
4	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Po sečtení dílčích objemů jednotlivých ploch vychází celkový objem vyplaveného kalu na filtračním poli. V případě měření, prováděného na prvním filtračním poli KČOV Dražovice, vychází objem kalu 45,82 m³.



Graf. 1 Zobrazení výšky vyplaveného kalu na filtračním poli



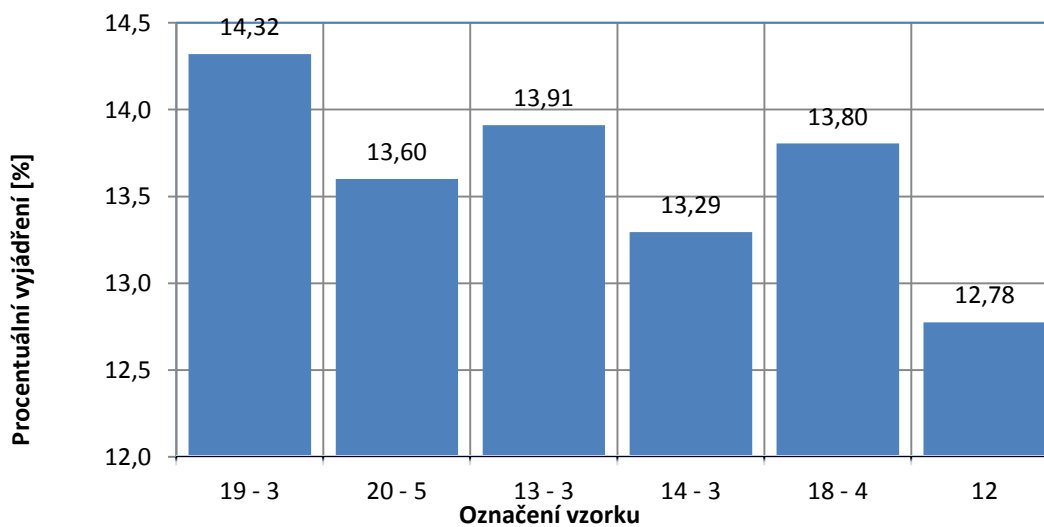
Obr. 5-1 Měření výšky vyplaveného kalu na filtračním poli

5.2 Stanovení koncentrace sušiny vyplaveného kalu

Z odebraných vzorků z KČOV Dražovice se odebraly vzorky kalu, které byly následně vysušeny po dobu 46 h při 105 °C (vzorky nebyly umístěny do lázně, ale přímo sušeny v sušárně). Kal byl rozdělen do šesti misek pro přesnější výsledky (vzorky označené čísly 19 – 3, 20 – 5, 13 – 3, 14 – 3, 18 – 4 a 12), každý vzorek byl zvážen a následně se všechny vzorky vložily do sušárny, provedeno stanovení koncentrace sušiny podle kap. 3.8. Po 46 hodinách byly vzorky vyjmuty, zváženy (současně byla pořízena fotodokumentace). Z rozdílů hodnot před a po vysušení byla stanovena sušina kalu (Tab. 5-4). Průměrná hodnota koncentrace sušiny kalu je 13,62 %.

Tab. 5-4 Stanovení koncentrace sušiny vyplaveného kalu z povrchu kořenového filtru

č. vzorku	Hmotnost samotného vzorku před sušením m_1 [g]	Hmotnost samotného vzorku po sušení m_2 [g]	Koncentrace sušiny [%]
19 - 3	137,58	19,7	14,32
20 - 5	145,88	19,84	13,60
13 - 3	138,02	19,2	13,91
14 - 3	234,75	31,21	13,29
18 - 4	200,29	27,65	13,80
12	127,12	16,24	12,78



Graf. 2 Procentuální vyjádření koncentrace sušiny

Součástí pokusu bylo i senzorné a vizuální posouzení. U všech vzorků byla velice dobře patrna změna barvy a to z černé na světle hnědou/šedou Obr. 5-1. Tato změna opticky dokazuje přechod na aerobní prostředí, při kterém došlo k mineralizaci organické složky kalu (nebylo hlavním předmětem pozorování). Ze senzorného hlediska jsou vzorky po vysušení naprosto bez zápachu (příčinou bylo zmíněné aerobní prostředí). Sušinu lze charakterizovat jako celistvou s viditelnými vzdušnými póry.

Vysušené vzorky se po rozlomení drojí a je možné přirovnání ke starému ptačímu hnízdu (přítomnost nerozložených částí listů přítomného rákosu obecného).



**Obr. 5-1 Kal ponechaný na vzduchu
(pozorovatelná mineralizace na povrchu)**



Obr. 5-2 Vysušený kal při 105 °C

5.3 Průběh sedimentace – vliv enzymů a bakterií

Měření v laboratorních podmínkách, které předchází poloprovozním a provozním pokusům, bylo opět zahájeno v laboratořích ÚVHK. Po pořízení čtyř různých druhů enzymů, sloužících na redukcí množství kalu v septiku, bylo možné zahájit měření podle předem stanoveného postupu. Záměrně byli vybráni různí výrobci enzymatických a bakteriologických směsných kultur, aby bylo možné porovnat navzájem jednotlivé výsledky. Jedná se o běžně dostupné produkty:

- Proseptik tablety viz kapitola 6.1.1
- Žumpur viz kapitola 6.1.2
- Bioseptik bakterie viz kapitola 6.1.3
- Trepsan Forte viz kapitola 6.1.4

Měření bylo zahájeno nejjednodušší a v provozu teoreticky nejsnadněji proveditelnou metodou - aplikace enzymů na povrch filtračního lože, resp. vyplaveného primárního kalu.

Následovalo ověření účinnosti redukce množství kalu v závislosti na koncentraci nadávkovaných enzymů.

5.3.1 Postup aplikace enzymů

Do domovních čistíren, septiků bývají přidávány enzymy za účelem zredukování kalu a rozpuštění tuhých látek. V rámci laboratorních prací jsme chtěli zjistit, zda vliv enzymů bude mít vliv na KČOV. Na trhu je nepřehledné množství enzymů a směsných bakteriologických kultur, v rámci analogie vodního

prostředí žump a septiků s vodním prostředím ve filtračním materiálu jsme ověřili, zda budou náhodně vybrané výrobky redukovat i kal, vyplavený na filtrační pole KČOV. Náhodně bylo vybráno 4 různé druhy enzymů (konzistence gel, tablety, prášek). První a letmý pokus byl proveden s desetinásobkem doporučené dávky, kterou jsme aplikovali na vzorky (simulace reálných podmínek, kdy není možné aplikovat tyto látky do hlubších vrstev sedimentovaného kalu) a sledovali jejich působení.

5.3.2 První aplikace enzymů - laboratoř 22. 6. 2011

Náplní následujících laboratorních pokusů bylo testování různých směsí enzymatických kultur (popsané níže), které by měly redukovat množství vyplaveného kalu na povrch filtrační náplně kořenové čistírny.

Protože obdobné pokusy na vyplaveném kalu z usazovací nádrže na filtrační pole dosud nebyly (podle dostupné literatury) nikde prováděny, probíhalo měření v laboratořích dle následujícího postupu:

- Aplikace směsí enzymů na povrch vyplaveného kalu – z důvodu uplatnění v praxi, jedná se o nejjednodušší aplikaci, tedy vysypání či rozlití směsí na povrch filtrační náplně kořenové čistírny
- Aplikace směsí enzymů v objemu vyplaveného kalu – v praxi by probíhalo aplikací do odpadní vody (mezi usazovací nádrž a rozdělovací šachtu, popřípadě by enzymy byly zapraveny strojním zařízením do vysoké vrstvy vyplaveného kalu.
- Použili jsme skleněné nádoby, kde každá nádoba byla vyhrazena pro jeden typ enzymu. Do každého ze 4 skleněných válců, jsme nadávkovali kal o objemu 1 l a následně jsme do každé nádoby přidali desetinásobek doporučené dávky daného enzymu.

Tab. 5-5 Navážené dávky jednotlivých přípravků

Druh aplikovaného přípravku	Hmotnost kalu s nádobou	dávka enzymu
Bioseptik	1580,01 g	0,13 g
Žumpur	1480,49 g	0,15 g
Tablety	1645,35 g	0,03 g
Gel	1476,14 g	1,5 ml

- Povrch jednotlivých vzorků byl každým enzymem zasypán a nechal se volně působit. Po dvou dnech (24.6.2011) jsme provedli první kontrolu vzorků.

U jednotlivých vzorků jsme mohli pozorovat separaci vody od kalu. U všech vzorků jsme taktéž zaznamenali pokles zápachu. Ani u jednoho vzorku nedošlo k úplnému rozpuštění enzymů (viz příloha

Po měsíci pozorování, nedošlo k žádnému výraznějšímu posunu. Enzymy se úplně nerozpustily ani u jednoho vzorku. Povrch kalů sice změnil barvu na světle hnědou a zápach se odstranil, ale k této reakci došlo pouze ve svrchní vrstvě cca 2 mm silné. Po porušení svrchní vrstvy se vzorky jeví jako před aplikací enzymů. Použití desetinásobku doporučené výrobcem tedy bylo neúčinné. K redukci kalu či zápachu nedošlo.

5.3.3 Druhá aplikace enzymů – 23.8.2011

Protože použití desetinásobku doporučené dávky nezymů bylo nedostatečné, přistoupili jsme k aplikaci stonásobku doporučené dávky.

Abychom byli schopni porovnat účinnost použité metody přirozené cesty vedoucí k redukci kalu ve filtračním materiálu (zmrazovací cyklus, jeden nebo více zmrazovacích cyklů, vliv teploty, vysoký rozptyl cyklicky se opakujících teplot nebo rozptyl nízký), zaměřili jsme se na měření zákalu v daném vzorku pomocí turbidimetrického stanovení (hodnota FNU). Jedním z nejdůležitějších parametrů, souvisejících také s problematikou nakládání s uvolněným kalem, jsou jeho sedimentační charakteristiky. Cílem následujících pokusů je porovnání rychlostí sedimentace vyvločkováného kalu a vytipování nejlepší metody pro aplikaci v praxi – využitelnost např. při praní zakolmatovaného materiálu čistou vodou a její následné čerpání před usazovací nádrž, ve které by měla sedimentace proběhnout v maximální míře.

Pro zjištění a stanovení rychlosti sedimentace primárního kalu, vyplaveného na kořenový filtr, jsme využili principu turbidimetrického stanovení zákalu ve vodním roztoku (měření hodnoty zákalu). Nosnou myšlenkou pokusu je předpoklad postupné sedimentace kalových částic na dno vodní lázně. Testováno bude několik vzorků, které dle hypotézy budou vykazovat rychlejší nebo pomalejší sedimentační charakteristiky vlivem velikosti jejich částic – nejjemnější kalové částice sedimentují nejpomaleji a naopak.

Před samotnou přípravou měřených vzorků je potřeba zjistit koncentraci sušiny (podle kapitoly 4.4.1). Srovnávací vzorek musí obsahovat 1,0 g vysušeného kalu, tzn. vzorek kalu, který bude sloužit pro měření rychlosti sedimentace, bude podle koncentrace sušiny dosahovat „vlhké“ hmotnosti cca 3 – 10 g.

Pro měření jsme připravili (12.7.2011) celkem osm vzorků – kombinace čtyř přípravků a dvou různých ředění s destilovanou vodou. Navážené vzorky byly ponechány 43 dní v klidu. Během této doby, bylo chování vzorků zaznamenáváno. Vzorky však vykazovaly stejné vlastnosti jako při použití desetinásobku enzymů. Žádný rozdíl nebyl zpozorován ani u vzorků, které byly zředěny 1 l destilované vody. Ani u těchto vzorků nedošlo k redukci kalu. Následně jsme provedli pozorování

rychlosti sedimentace kalu ve vodě z důvodu vyhodnocení, zda má vzorek materiálu lepší sedimentační vlastnosti. (zákal měřený v průběhu času pomocí turbidimetrické metody byl měřen 25.8.2011, pozorováno celkem 8 vzorků).

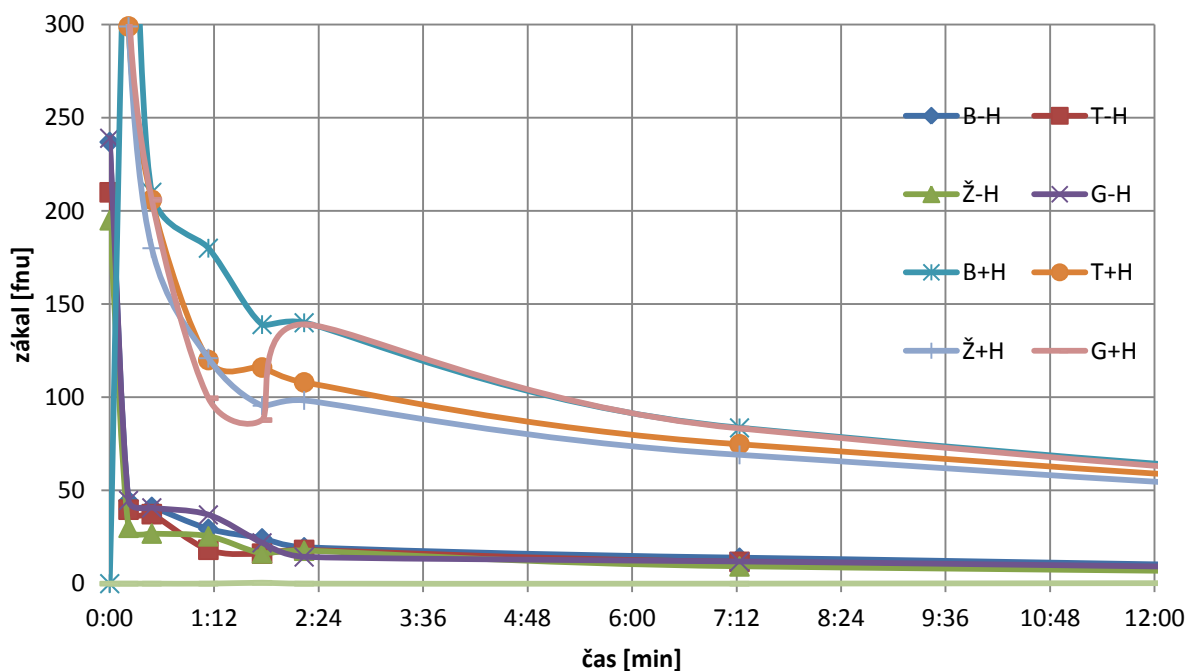
Tab. 5-6 Popis vzorků pro stanovení hmotnosti nevysušeného kalu

Označení vzorku	Koncentrace sušiny [%]	Objem kalu	Přídavek směsi enzymů	Hmotnost/objem směsi enzymů navážená	Požadované hmotnostní množství vysušeného vzorku[g]	Hmotnost vlhkého vzorku[g]
B-H	30,04	1 l	Bioseptik	1,3 g	1,00	3,33
Ž-H	27,10	1 l	Žumpur	1,5 g	1,00	3,69
T-H	30,37	1 l	Tablety	0,3 g	1,00	3,29
G-H	26,00	1 l	Gel	15 ml	1,00	3,85
B+H	6,13	1 l + 1 l vody	Bioseptik	1,3 g	1,00	16,32
Ž+H	10,16	1 l + 1 l vody	Žumpur	1,5 g	1,00	9,84
T+H	10,49	1 l + 1 l vody	Tablety	0,3 g	1,00	9,53
G+H	10,60	1 l + 1 l vody	Gel	15 ml	1,00	9,43

Měření bylo zahájeno bezprostředně po důkladném promíchání dávky kalu a destilované vody. V předem stanovených časových intervalech byla měřena hodnota zákalu. Výsledky měření jsou zaznamenané v Tab. 5-7.

Tab. 5-7 Hodnoty zákalu u vzorků, doplněných přísadkou enzymů

Čas [min]	Turbidita [FNU]								Původní voda (destilovaná)
	B-H	Ž-H	T-H	G-H	B+H	T+H	Ž+H	G+H	
0:00:00	237	195	210	239	900	689	632	712	0,46
0:13:00	44,5	30,0	39,7	44,7	391	299	299	313	
0:29:00	41,2	26,9	37,3	40,7	210	206	180	206	
1:08:00	29,4	25,4	18,2	36,9	180	120	121	99,5	
1:45:00	24,3	16,2	16,1	21,9	139	116	95,5	87,8	
2:14:00	19,5	17,7	18,1	14,3	140	108	98,3	139	
7:14:00	13,9	9,26	11,7	11,8	83,6	74,8	69,1	83,2	
27:14:00	3,73	3,1	3,16	3,91	31	29,5	27,2	28,3	
95:59:00	3,07	2,03	1,55	2,61	10,55	8,01	6,59	10,8	



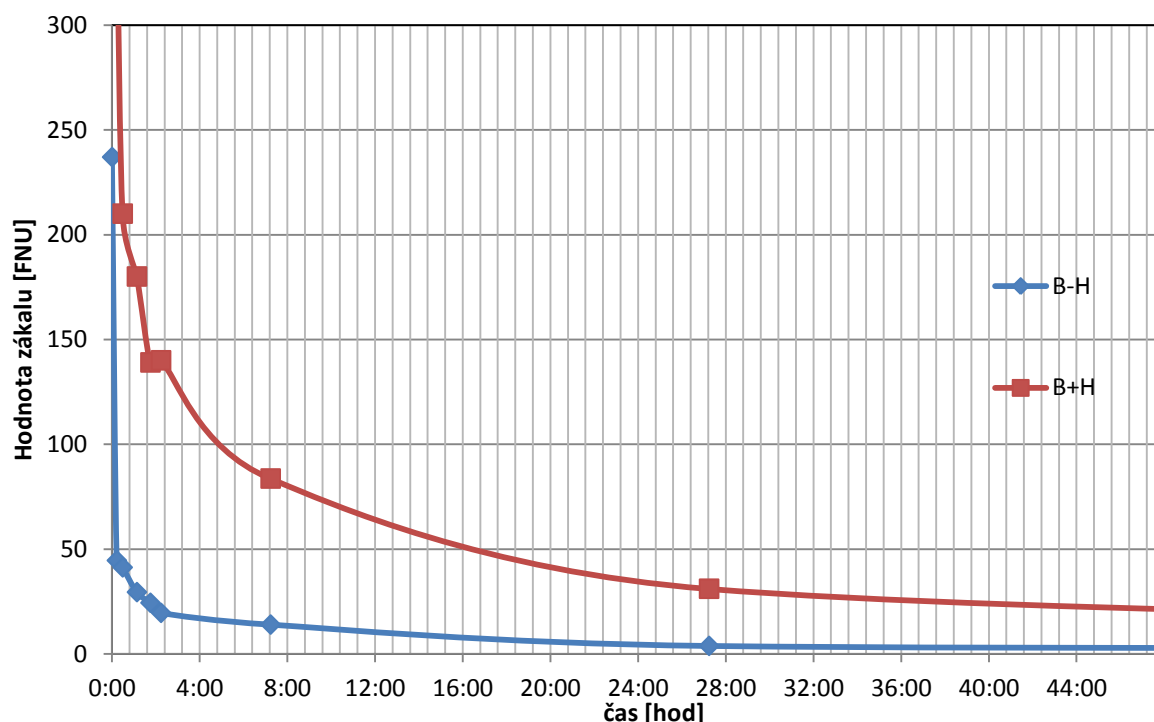
Graf. 3 Průběh sedimentace při aplikaci enzymatických směsí

Z grafu je patrné, že hodnota zákalu postupně klesá u všech vzorků (projev sedimentace nerozpuštěných látek). Neprokázano se, že by různé enzymatické směsi při jejich vzájemném porovnání měly vliv na rychlost sedimentace nerozpuštěných látek. U všech čtyř vzorků při stejné koncentraci sušiny (resp. stejném množství nerozpuštěných látek na začátku měření) byla naměřena přibližně stejná hodnota zákalu, lišící se řádově v jednotkách FNU (NTU).

V porovnání s naměřenými hodnotami vzorků, které byly po dobu 21 dní pravidelně promíchávány se směsí enzymů, došlo k výraznému rozdílu. Čistírenský kal, který byl během působení enzymů o

koncentraci sušiny v hodnotách mezi 26,0 – 30,4 %, dosahoval výrazně lepších sedimentačních charakteristik, než stejný kal o koncentracích sušiny v rozmezí 6,1 – 10,6 %. Výsledek je okamžitě patrný a v praxi aplikovatelný. Pokud bude uvažována v procesu regenerace filtračního materiálu sekundární sedimentace kalu v usazovací nádrži (během proplachování zakolmatovaného filtračního materiálu dochází k usazení vymytého kalu z filtračního materiálu), je vhodné vyplavovaný čistírenský kal před aplikací enzymů nejprve částečně odvodnit, kal ponechat přirozené mineralizaci a poté jej „vyplachovat“ před usazovací nádrží. Odvodněný kal, který dosahuje koncentrace sušiny cca 30 %, má výrazně lepší sedimentační vlastnosti - téměř veškeré částice se usadí již během prvních dvou hodin. Takto předupravený kal je tedy možné vypustit do příslušné šachty mezi lapák písku a usazovací nádrží, u níž je dle projektové dokumentace navržena minimální doba zdržení 2 hodiny. Napouštění musí respektovat maximální průtoky usazovací nádrže. V dalším textu bude mj. zjišťováno, zda je nutná přítomnost enzymatických přípravků.

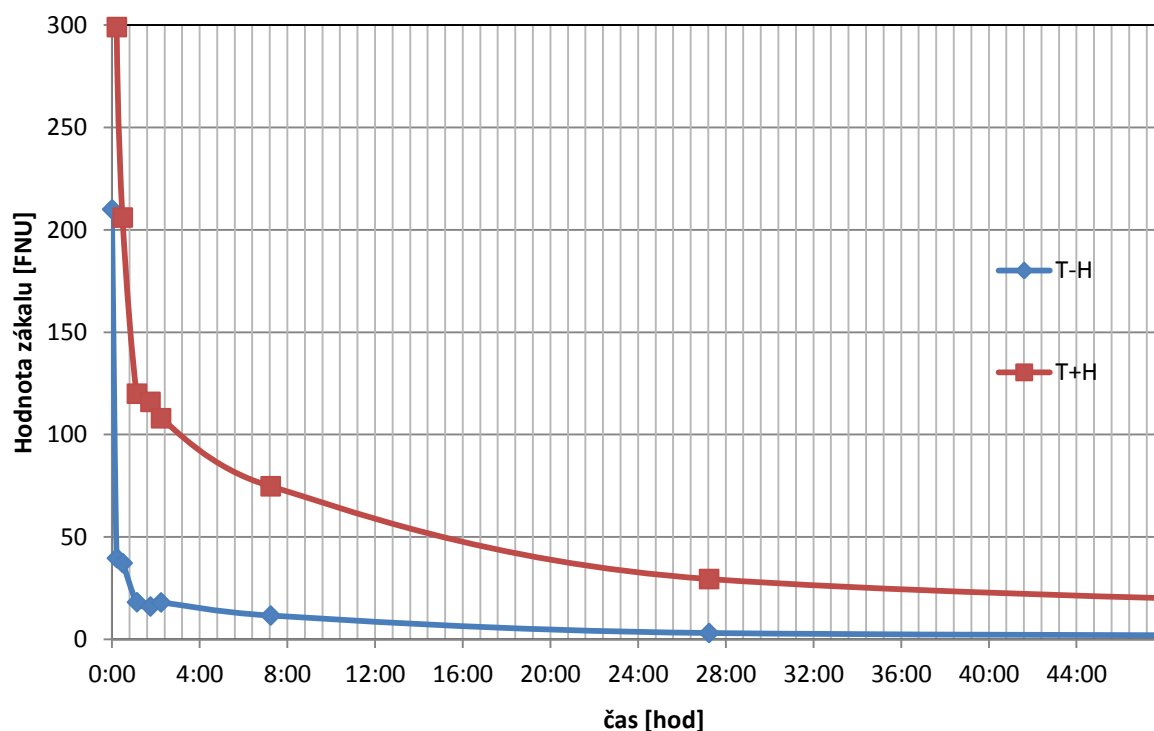
Pro názornost jsou zpracovány samostatné grafické závislosti u jednotlivých směsí bakteriálních kultur. Graf. 4 znázorňuje porovnání rychlosti usazování nerozpuštěných látek primárního kalu, na kterém byla aplikována dávka přípravku Bioseptik. Oba testovací vzorky jsou popsány výše.



Graf. 4 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídatkem „Bioseptik“ o různých koncentracích sušiny kalu

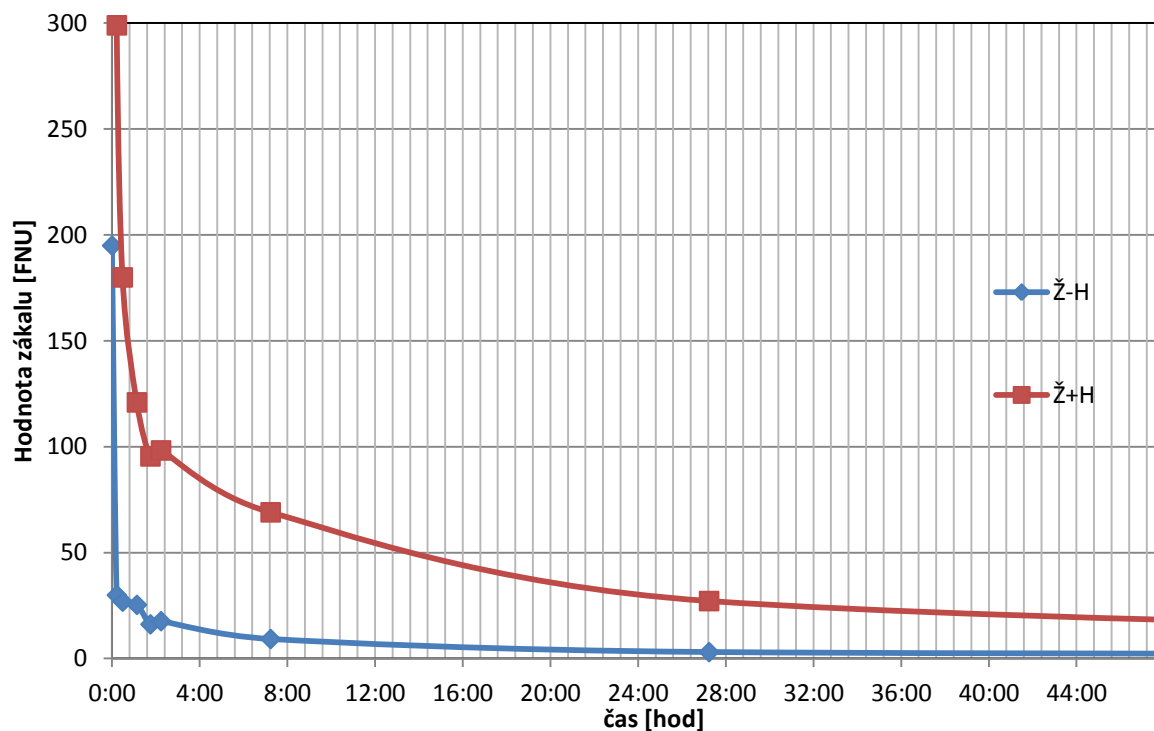
Z výsledků je patrné rychlejší dosažení nižších koncentrací rozpuštěných látek ve vodě u vzorku, jehož koncentrace sušiny byla 30 %, oproti vzorku o koncentraci 6 % (hmotnostní množství

vysušeného kalu je v obou případech stejné – stanovené výpočtem dle postupu uvedeného na začátku kapitoly 5.3). Sedimentace má výrazně rychlejší charakter, např. srovnatelné hodnoty 30 FNU dosahuje vzorek o koncentraci 6 % již v čase 1:08, stejné hodnoty zákalu dosahuje vzorek o koncentraci sušiny 30 % až v čase 27 hodiny, tedy při vzájemném porovnání 22 x rychlejší sedimentace.



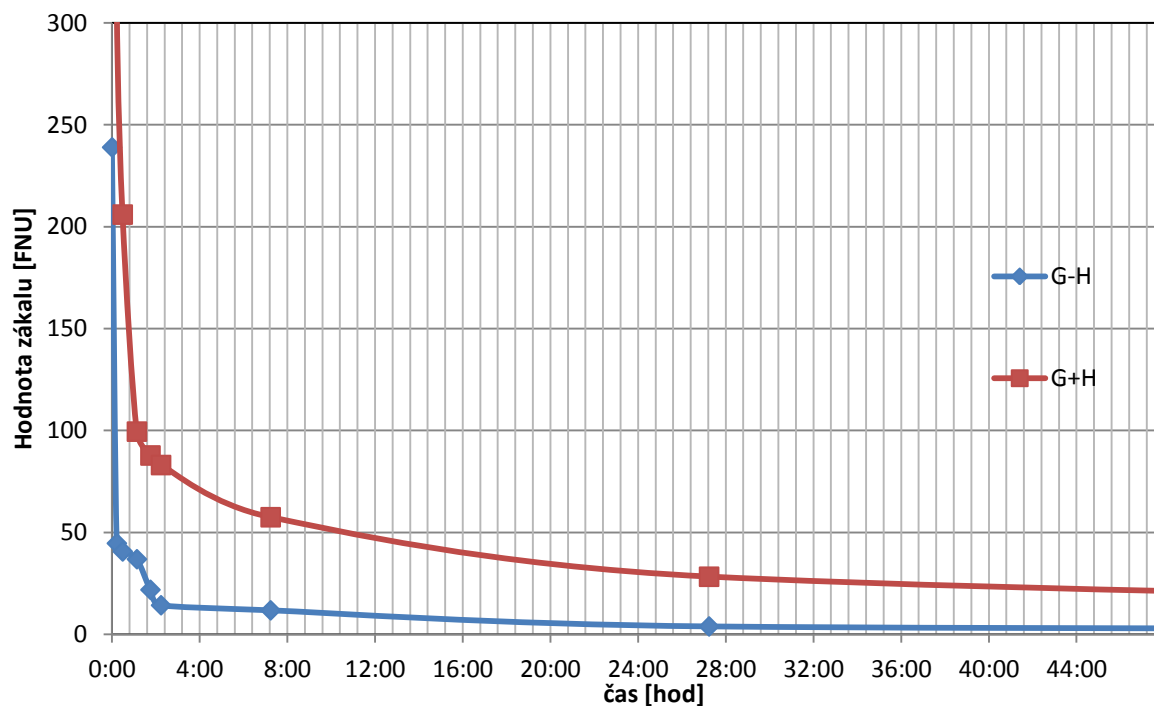
Graf. 5 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídavkem „Tablet“ o různých koncentracích sušiny kalu

Při uvažování jiné směsi enzymů (tablety) a opět vzájemném porovnání dvou různých vzorků, které obsahují rozdílné koncentrace sušiny (30,4 % a 10,5 %), mají výsledky obdobný charakter, jako v předchozím případě. Kal o koncentraci 30,4 %, ze kterého byl navážen 1,0 g sušiny (tj. 3,29 g původního vzorku), sedimentoval v porovnání s druhým vzorkem (sušina 10,5 %, naváženo 9,53 g) podstatně rychleji nízkých hodnot zákalu, tzn. sedimentace kalu probíhala rychleji. Pro srovnání – hodnoty 30 FNU dosahuje kal (30,4 %) v čase 1:30, kal s vyšším obsahem vody (sušina 10,5 %) až v čase 27 hodin, tj. 18 x rychlejší sedimentace.



Graf. 6 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přidavkem „Žumpur“ o různých koncentracích sušiny kalu

Třetí srovnávaná série vzorků – tj. primární kal s přidavkem přípravku „Žumpur“, dosahovala opět srovnatelných výsledků, jak v předchozích dvou případech. Hodnoty koncentrace sušiny 27,1 % a 10,2 %, opět rychlejší sedimentace „hustějšího“ kalu. Pro srovnání vybraná hodnota zákalu 30 FNU – vzorek o koncentraci sušiny 27,1 % (kterého bylo naváženo 3,69 g) byla dosažena již v čase 0:13. Oproti tomu druhý vzorek o koncentraci sušiny 10,2 % (naváženo 9,84 g) dosahoval hodnoty 30 FNU v čase 26 hodin. Tzn. při vzájemném porovnání až 120 x rychlejší sedimentace u hustějšího vzorku.



Graf. 7 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přidavkem Gelu o různých koncentracích sušiny kalu

Poslední srovnávaná série dvou vzorků o různých koncentracích sušiny (26 % a 10,6 %) s přidavkem Gelové směsi enzymů a bakterií, dosahovala opět srovnatelných hodnot v problematice sedimentace nerozpuštěných látek. Vzorku o vyšší koncentraci sušiny bylo naváženo 3,85 g a vzorku řidšího 9,43 g. Strmější průběh je názorný na Graf. 7. Vybrané hodnoty 30 FNU dosahuje hustější kal po čase 1:18, kal o nižší koncentraci sušiny až v čase 26:30. Při vzájemném porovnání je to přibližně 20 x rychlejší sedimentace nerozpuštěných látek.

5.4 Průběh sedimentace kalu - vliv mrazu

Pokusy, založené na vystavení sedimentovaného primárního kalu z usazovací nádrže, který byl vyplaven na filtrační pole, jsou koncipovány tak, že na počátku měření bylo vybráno několik vzorků, které byly umístěny do klimatizační skříně a vystaveny konstantní -30 °C. Vzorky se postupně z klimatizační skříně vyjímaly k testování rychlosti sedimentace kalu.

Každému pokusu, zaměřenému na sedimentaci kalu, předcházelo stanovení koncentrace sušiny, které bylo rozhodující pro určení dávky kalu (cílem bylo vždy stejné množství kalu, resp. sušiny kalu). Při extrémně nízkých teplotách jsme zkoušeli různé vlhkostní koncentrace vzorků s cílem ověřit, zda má koncentrace sušiny vzorku na mineralizaci zásadní vliv. Vycházeli jsme z teorie, že „sušší“ vzorky by měli snadněji zmineralizovat, kdežto u vzorků ve vodním prostředí (vzorky, u nichž byla záměrně přidána voda o různém poměru ředění) by k mineralizaci dojít nemělo a vzorky budou vykazovat horší sedimentační charakteristiky. Zároveň jsme se zaměřili i na dobu vystavení záporným teplotám – teoreticky delší doba zmrazení zajistí výraznější mineralizaci a tedy lepší výsledky.

Další tématické zaměření, týkající se sedimentace kalu, resp. její rychlosti, bylo tedy zaměřeno na pozorování, zda vlivem vystavení vzorků kalu mrazovým teplotám dochází k rychlejší mineralizaci, potažmo vyvločkování kolmatantu.

5.4.1 Krátkodobý pokus

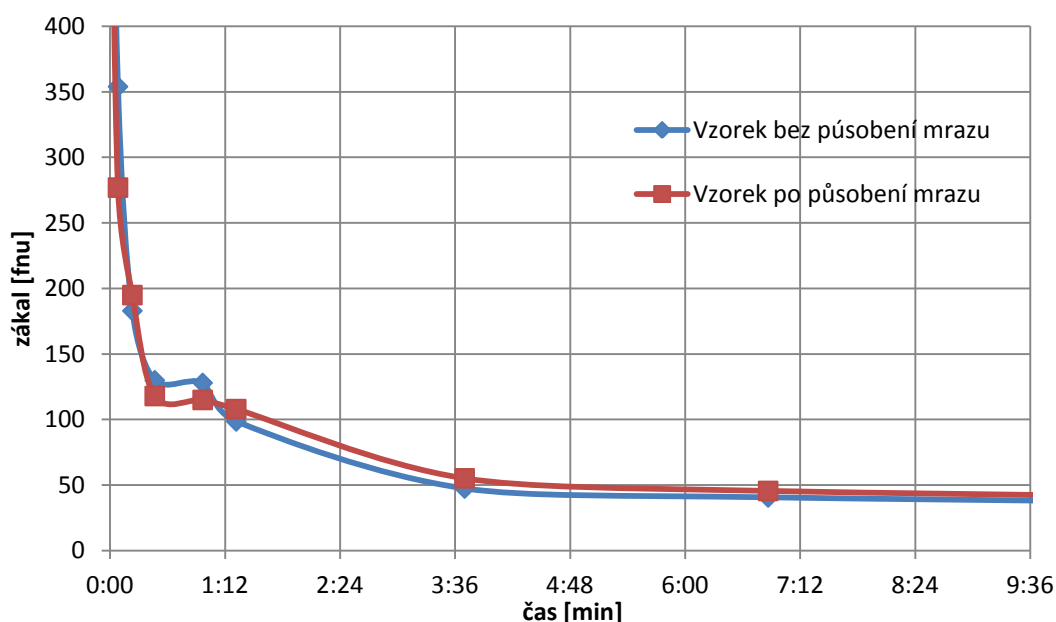
Po stanovení sušiny jsme určili potřebné množství vlhkého vzorku, abychom obdrželi 1 g vzorku suchého (Tab. 5-8). Obě dvě nádoby s kalem jsme doplnili 1 l vody, dokonale vzorky promíchali a bezprostředně po ukončení míchání odebrali z každé nádoby jeden vzorek do odběrných kyvet. Kyvety se přímo umísťují do Turbidimetru, bezprostředně po odběru vzorku kalné vody. Vzorky jsme dále nechali sedimentovat a po předem stanoveném čase jsme znovu odebrali vzorky pozorované vody a změřili hodnotu zákalu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5-9.

Tab. 5-8 Výpočet potřebné hmotnosti vlhkého vzorku na 1 g vzorku suchého

Označení vzorku	Koncentrace sušiny	Požadované hmotnostní množství vysušeného vzorku	Hmotnostní množství vlhkého vzorku
[–]	[%]	[g]	[g]
č.50, č.51	15,29	1,00	6,54

Tab. 5-9 Měření zákalu v čase

Čas [min]	Hodnota zákalu, turbidita [FNU]	
	Vzorky bez působení mrazu	Vzorky po působení mrazu
0	695	619
0:05	354	277
0:14	183	195
0:28	130	118
0:58	128	115
1:19	98,6	108
3:42	47,4	55,2
6:52	40,6	45,6
17:22	32,4	35,7



Graf. 8 Zobrazení stupně zákalu v závislosti na čase

Z prvních naměřených výsledků, které měly ověřit rozdílné sedimentační charakteristiky, se předpokládaná hypotéza nepotvrdila. Pokud další série měření potvrdí první výsledky, bude to znamenat, že čistírenský kal, který je vystaven záporným teplotám a následně rozmražen, nemá lepší sedimentační vlastnosti oproti kalu, který těmto teplotám vystaven není. Další výsledky budou sloužit k popisu a možnostem zahuštění kalu v sedimentačním prostoru usazovací nádrže. Na základě naměřených hodnot koncentrací zákalu bude stanovena nutná doba zdržení k tomu, aby se z protékající odpadní vody separovalo co možná největší množství nerozpuštěných látek.

Na základě prvních výsledků lze vyslovit hypotézu, že působení mrazu po 2 dny nemá výraznější vliv na sedimentaci nerozpuštěných látek, tzn. nedochází k vyločkování jemných částic kalu. Lze však

očekávat, že k mineralizaci dojde lépe při odvodnění kalu, resp. při zvýšení jeho koncentrace sušiny (obdobně jako v předchozím pokusu s aplikací enzymů).

5.4.2 Dlouhodobý pokus

Druhou, výše popsanou metodou přirozené mineralizace čistírenského kalu, je jeho vystavení záporným teplotám. V rámci následujícího pokusu jsme se zaměřili na vliv koncentrace sušiny a vliv délky trvání vystavení kalu záporným mrazovým teplotám.

Primární kal, vyplavený na povrchu filtrační náplně kořenového filtru (KČOV Dražovice) jsme rozdělili na několik vzorků:

Tab. 5-10 Tabulka označení jednotlivých vzorků pro pokus zmrazováním

Čas vystavení extrémně nízkým teplotám	Odvodněný kal	Vzorek kalu o původní koncentraci sušiny	Ředěný kal: destilovaná voda 1: 0,5	Ředěný kal: destilovaná voda 1: 1
0 dní	A	B	C	D
1 den	1.A	1.B	1.C	1.D
6 dny	6.A	6.B	6.C	6.D
8 dní	8.A	8.B	8.C	8.D
12 dní	12.A	12.B	12.C	12.D

Vyplavený kal jsme rozdělili do čtyř větších nádob, každá o objemu 500 ml (odvodněný kal; kal s původní koncentrací sušiny; kal ředěný s destilovanou vodou v poměru 1:0,5; kal ředěný destilovanou vodou v poměru 1:1). Každý odměrný válec jsme dále rozdělili na 4 menší vzorky, které následně byly ponechány v mrazovém prostředí pokaždé delší časový interval (bez mrazu - 1 den – 6 dny – 8 dní – 12 dní). Celkem bylo vytvořeno 20 vzorků. Pro posouzení vlivu koncentrace sušiny na výslednou mineralizaci jsme potřebovali připravit odvodněný kal. U první sady (sloupec A v Tab. 5-10 jsme tedy použili odvodněný kal, který jsme v laboratorních podmínkách pomocí látkové netkané geotextilie nechali po dobu 12 hodin odvodnit a poté jsme provedli stanovení koncentrace sušiny.

Druhá sada obsahovala původní kal (kal s původní koncentrací sušiny), odebraný z filtračních polí KČOV Dražovice, v Tab. 5-10 sloupec B.

Třetí sada obsahovala původní kal z KČOV Dražovice, který byl naředěn destilovanou vodou v poměru 1:0,5. Před samotným rozdělením vzorků a zahájením měření byla provedena důkladná homogenizace. V Tab. 5-10 je třetí sada ve sloupci C. Poslední, čtvrtá řada, byla sestavena ze vzorků původního kalu (opět kal s původní koncentrací sušiny, ředěný destilovanou vodou v poměru 1:1), v Tab. 5-10 ve sloupci D.

Všech 20 vzorků bylo označeno dle Tab. 5-10, následně hermeticky uzavřeno (použitím potravinářské fólie). Vzorky byly umístěny do klimatizační skříně, kde byly ponechány po dobu 1 den – 6 dny – 8 dní – 12 dní při teplotě -30 °C.

U vzorků A., B., C. a D. (tyto vzorky nebyly vloženy do mazacího zařízení) jsme stanovili koncentraci sušiny, výsledky jsou uvedeny v Tab. 5-11, Tab. 5-13 (vysušení při 105 °C), díky níž jsme byli schopni vypočítat kolik budeme potřebovat gramů vlhkého vzorku, abychom získali 1 g vzorku suchého.

Tab. 5-11 Hmotnosti vzorků

Označení vzorku*	Hmotnost misky [g]	Hmotnost misky a původního vzorku [g]	Hmotnost misky a vysušeného vzorku [g]	Hmotnost misky a vzorku po žihání [g]
2B	90,16	213,17	108,34	102,15
9B	56,56	244,59	108,28	100,62
8B	89,18	183,2	101,1	96,59
12B	96,6	243,06	114,47	107,37

*Vzorky kalu odebraného z KČOV Dražovice (bez ředění a odvodnění)

Tab. 5-12 Stanovení potřebné hmotnosti vlhkého vzorku

Označení vzorku	koncentrace sušiny[%]	Požadovaná hmotnost vysušeného vzorku[g]	Hmotnost vlhkého vzorku[g]
A	20,79	1,00	4,81
B	13,31	1,00	7,51
C	8,23	1,00	12,15
D	6,28	1,00	15,91

Tab. 5-13 Hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody

Označení vzorku	Množství přidané vody [ml]	Hmotnost misky [g]	Hmotnost misky a vzorku [g]	Hmotnost misky a vzorku po vysušení [g]	Hmotnost misky a vzorku po žihání [g]
1:0,5 a	100	11,16	18,66	11,79	11,51
1:0,5 b	100	12,44	19,89	13,04	12,76
1:1 a	100	11,94	17,41	12,33	12,05
1:1 b	100	12,1	17,77	12,41	12,24
O.K. a	0	65,71	100,17	72,72	70,11
O.K. b	0	65,1	112,9	75,19	71,59

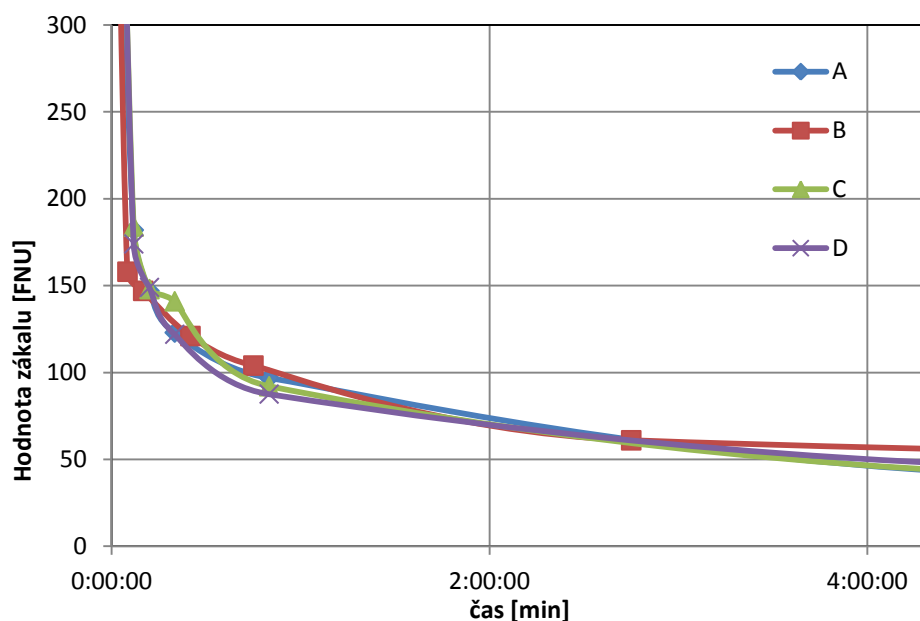
Pomocí zjištěných hodnot koncentrací byly naváženy potřebné hmotnosti vlhkého vzorku, vloženy do jednotlivých nádob a každý tento vzorek byl následně doplněn destilovanou vodou o objemu 1000 ml. Všechny vzorky byly důkladně promíchány a opět pomocí turbidimetru byla žištěována hodnota

zákalu s cílem vyhodnocení rychlosti sedimentace nerozpuštěných látek. v čase. Hodnota zákalu byla stanovována v předem stanovených intervalech.

Tab. 5-14 Hodnota zákalu vzorků primárního kalu nevystaveného mrazovým podmínkám (31.8.2011)

Turbidita [FNU]					
Čas [min]	A	B*	C	D	Čas*[min]
0:00	519	593	646	673	0:00
0:05	182	158	184	174	0:07
0:10	147	157	148	149	0:12
0:25	123	107	145	122	0:20
0:45	96,9	104	92,1	87,6	0:50
2:45	39,8	61	40,7	45,2	5:00
19:15	21,5	29,7	21,7	25,7	19:00
22:53	20	22,5	19,1	21,9	23:59
23:59	-	21,9	-	-	-

pozn.: hodnoty času platí pro vzorek B, který byl pozorován s časovým posunem



Graf. 9 Hodnota zákalu vzorků, které neprošly zmrazováním

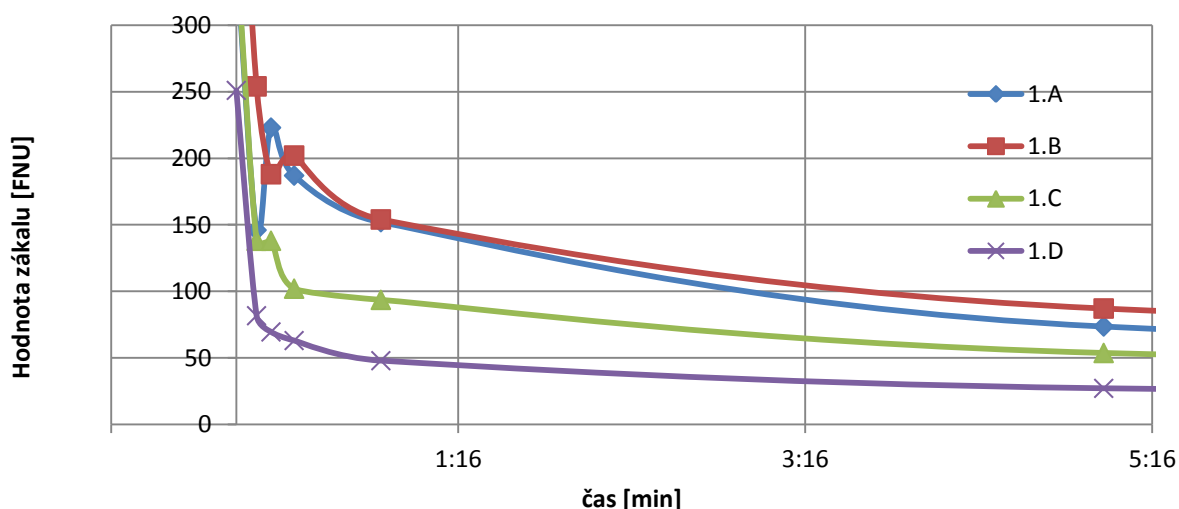
Výsledky, uvedené v grafu 8, ukazují, že pokud se původní kal rozdělí na několik vzorků, z nichž se u některých cíleně zvýší koncentrace sušiny (vzorek A), resp. sníží ředěním s destilovanou vodou (vzorek C a D), a zároveň je pokaždé stejná hmotnost sušiny aplikována do objemu vody 1000 ml, jsou sedimentační charakteristiky všech vzorků téměř totožné – liší se řádově v jednotkách procent. Výsledek jen dokazuje správný postup ředění jednotlivých vzorků a následný přepočítání na hmotnost

vysušeného vzorku. Naměřené hodnoty budou sloužit pro porovnání se sedimentačními charakteristikami vzorků kalu, který prošel zmrazovacím cyklem.

Druhý den (1.9.2011) byla vyjmuta první sada vzorků z mrazícího zařízení. Jednalo se o vzorky s označením 1.A, 1.B, 1.C a 1.D., které byly po dobu 24 hodin vystaveny záporné teplotě -30 °C. Vzorky se nechaly v laboratorních podmínkách volně rozmrazit, následně byly důkladně zhomogenizovány. Navážena byla opět hmotnost vlhkého vzorku (taková, aby odpovídala hmotnosti vysušeného vzorku 1,0 g). Vzorky byly doplněny 1000 ml destilované vody, promíchány a homogenizovány, bezprostředně po ukončení mýchání a homogenizaci bylo započato měření hodnoty zákalu pomocí turbidimetru. Hodnoty z rozborů jsou uvedeny v Tab. 5-15.

Tab. 5-15 Hodnota zákalu vzorků po 24 hodinách zmrazování (1.9.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	1.A	1.B	1.C	1.D
0:00	351	500	359	251
0:07	146	254	138	81,7
0:12	223	188	138	69,5
0:20	187	202	102	63
0:50	152	154	93,6	47,9
5:00	73,6	87,1	53,7	27,1
19:00	37,8	46,4	28,8	17,3
23:59	29,4	40,2	23,8	14,6



Graf. 10 Hodnoty zákalu vzorků, které byly po dobu 24 hodin zmrazování při -30 °C

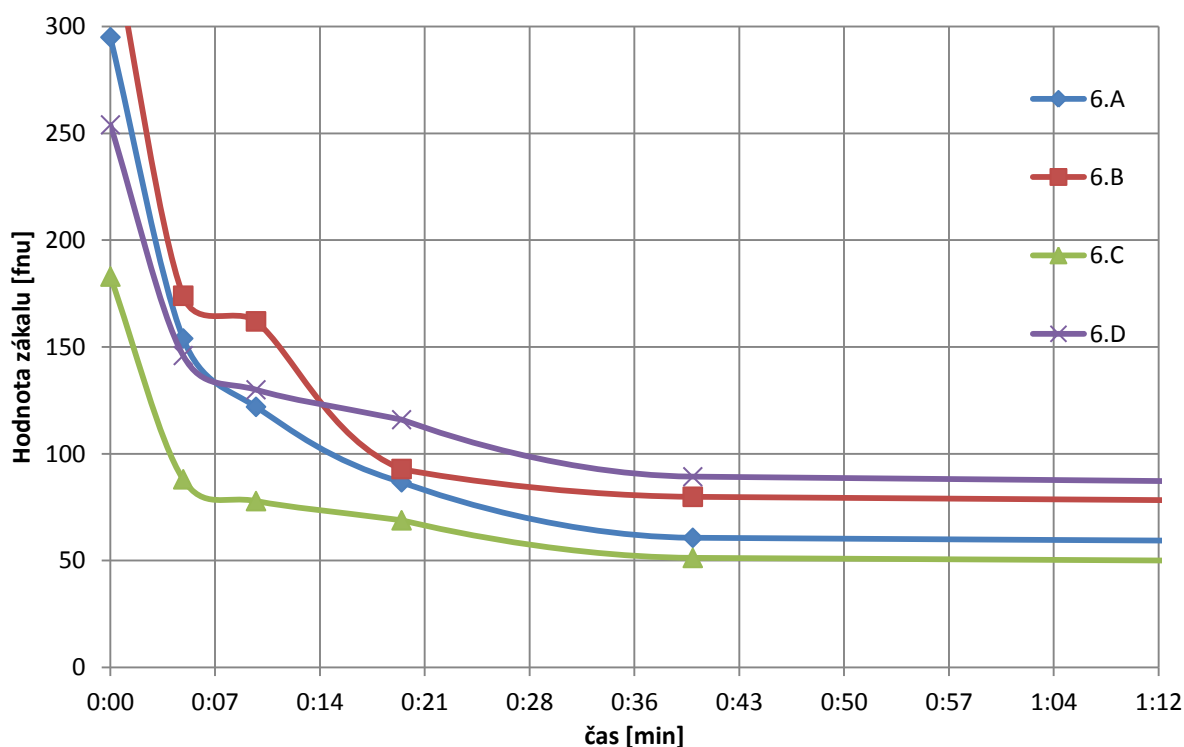
Výsledky z rozborů první sady, umístěné do klimatizační skříně na 24 hodin, ukazují postupný vliv koncentrace sušiny v testovaném vzorku na rychlost sedimentace po vystavení mrazu na 24 hodin. A sice, nejhůře sedimentoval kal o koncentraci sušiny 13,3 % (kal odebraný z povrchu filtrační náplně

kořenového filtru, v Tab. 5-10 označen jako vzorek B. Obdobných usazovacích charakteristik dosahoval i odvodněný vzorek o koncentraci sušiny 20,8 %. Poněkud rychleji sedimentoval kal, který byl během exponování mrazu částečně ředěn destilovanou vodou (koncentrace sušiny 8,23 % vznikla po naředění kalu ozn. B s 0,5 l destilované vody). A naprosto nejlepších sedimentačních charakteristik dosahuje kal, který během vystavení na mráz obsahoval koncentraci sušiny 6,3 %.

Mezitím, co bylo prováděno stanovování zákalu na první sadě (ozn. 1), pokračuje pokus s dalšími sadami, které jsou dále vystaveny teplotě -30°C . Dne 6.9.2011 byla z klimatizační skříně vyjmuta druhá sada vzorků (6.A, 6.B, 6.C, 6.D). Aplikovali jsme stejný postup jako u první sady, tedy navážení vždy stejného množství sušiny kalu. Naměřené hodnoty zákalu jsou uvedeny v Tab. 5-16.

Tab. 5-16 Hodnota zákalu po 144 hodinách zmrazování (6.9.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	6.A	6.B	6.C	6.D
0:00:00	295	345	183	254
0:05:00	154	174	88,1	146
0:10:00	122	162	77,9	130
0:20:00	86,7	92,9	68,9	116
0:40:00	60,7	79,9	51,3	89,3
23:20:00	27,2	26,4	14,6	25,2
47:03:00	16,5	16,2	10,5	15,3



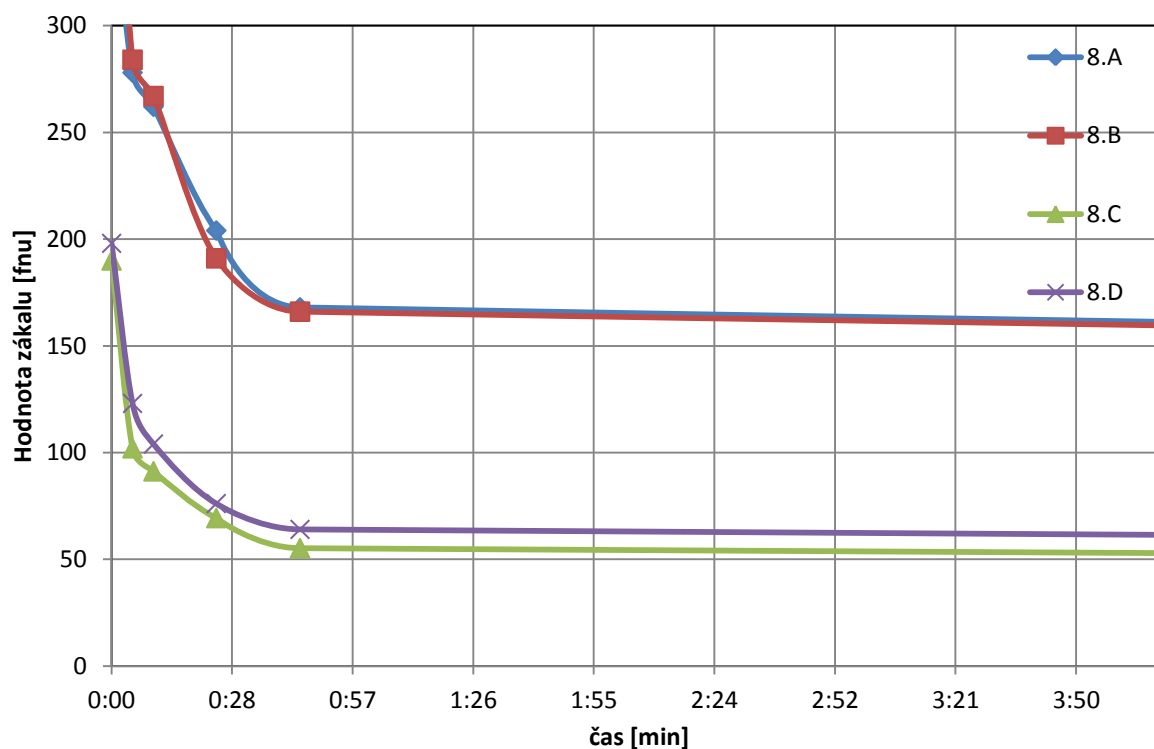
Graf. 11 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 144 hodin zmrazován při -30°C (6.9.2011)

Oproti předchozí sadě, která byla v klimatizační skříni 24 hodin, byla druhá sada ve stejných extrémních podmínkách 144 hodin (tj. 6 dní). Výsledky se liší oproti předchozím vzorkům – nejlépe sedimentuje vzorek ředěný destilovanou vodou v poměru 1:0,5 (sušina 8,23 %), následuje jej odvodněný vzorek (sušina 20,8 %). Zbývající dva vzorky (sušina 13,3 % a 6,28 %) se liší minimálně, jejich hodnoty téměř korespondují.

Dne 8.9.2011 byla po 192 hodinách (tj. 8 dní) zmrazování vyjmuta sada vzorků s označením 3. (8.A, 8.B, 8.C, 8.D). Přehled výsledků měřené sedimentace nerozpuštěných látek je podrobně rozepsán v Tab. 5-17.

Tab. 5-17 Hodnota zákalu po 192 hodinách zmrazování (8.9.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	8.A	8.B	8.C	8.D
0:00:00	368	441	190	198
0:05:00	278	284	102	123
0:10:00	262	267	91,2	104
0:25:00	204	191	69,3	76,1
0:45:00	168	166	55,2	64
94:58:00	8,76	7,57	3,98	3,65



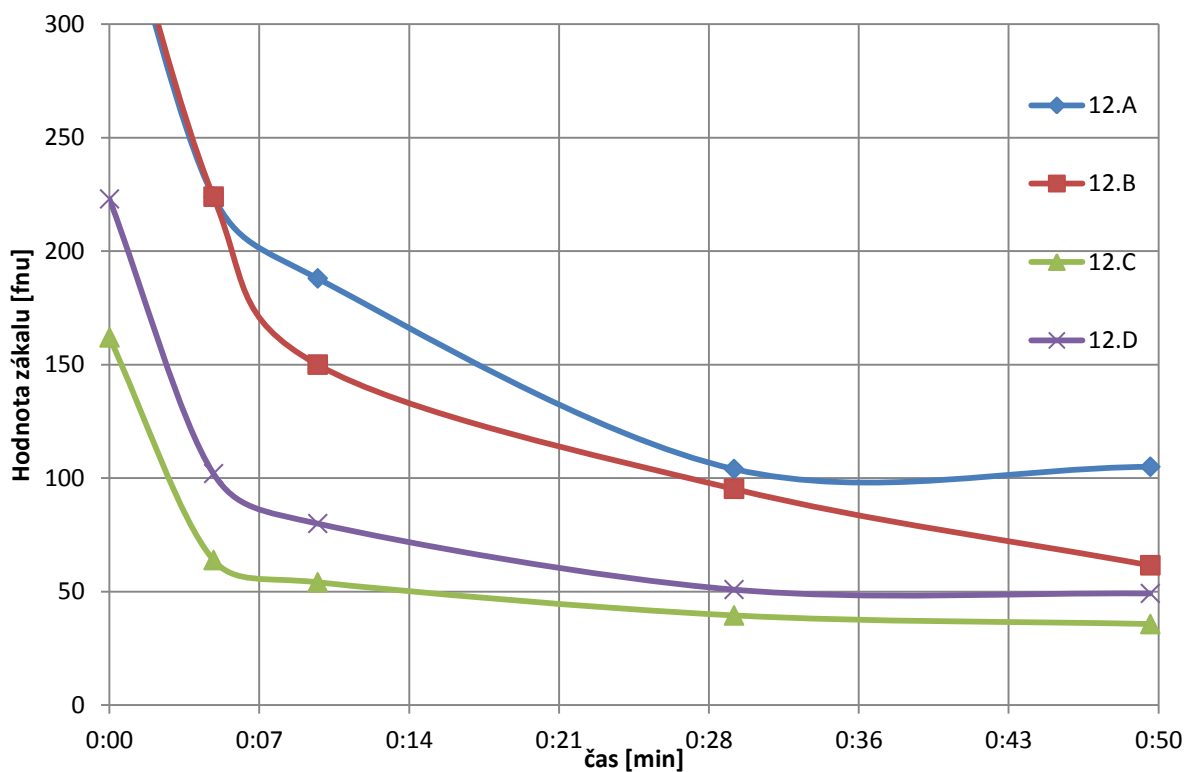
Graf. 12 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 192 hodinách zmrazován při -30 °C (8.9.2011)
Po 8 dnech zmrazování, můžeme pozorovat, že vzorek odvodněný (8.A) a vzorek původní (8.B), mají takřka totožný průběh sedání kalu. Stejný úkaz pozorujeme u vzorku zředěného 1:0,5 (8.C) a vzorek

zředěný v poměru 1:1 (8.D). Oproti prvním dvěma vzorkům je rychlost sedimentace kalu podstatně rychlejší. Nejrychleji sedimentuje kal naředěný destilovanou vodou 1:0,5 a nejpomaleji odvodněný vzorek.

Dne 12.9.2011 byla vyjmuta poslední sada vzorků s označením 12.A, 12.B, 12.C a 12.D. Přehled výsledků najdeme v Tab. 5-18.

Tab. 5-18 Hodnota zákalu po 288 hodinách zmrazování (12.9.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	12.A	12.B	12.C	12.D
0:00:00	370	375	162	223
0:05:00	224	224	63,9	102
0:10:00	188	150	54,1	80
0:30:00	104	95,3	39,5	50,9
0:50:00	105	61,6	35,7	49,2



Graf. 13 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 288 hodinách zmrazován při -30 °C (12.9.2011)

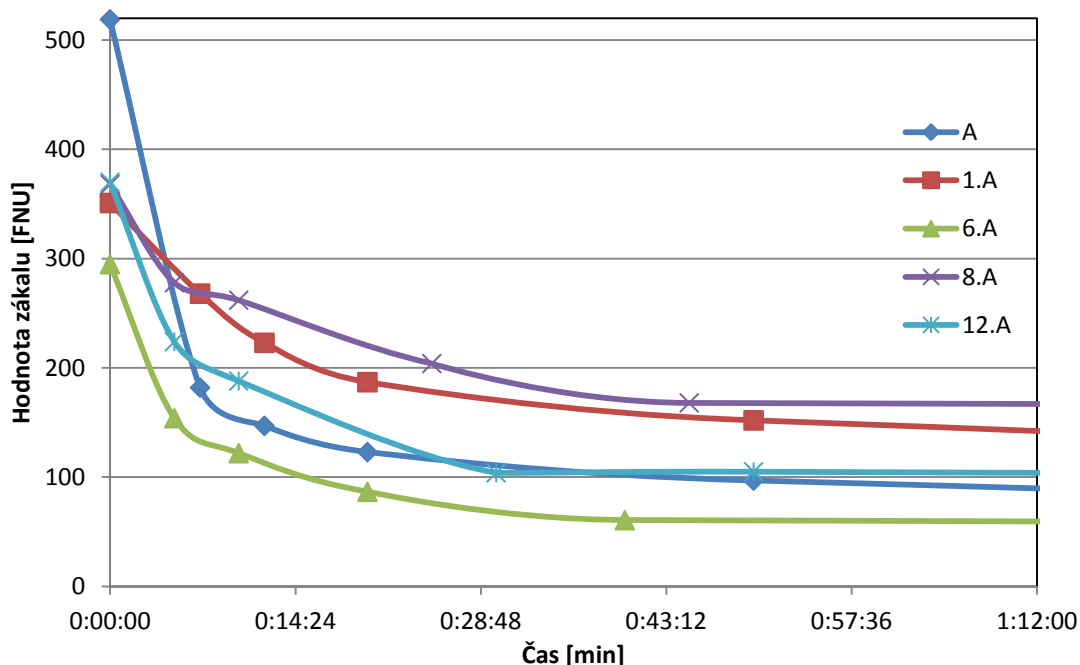
Po 12 dnech zmrazování nejrychleji sedimentuje opět vzorek zředěný destilovanou vodou v poměru 1:0,5 (12.C) a nejpomaleji odvodněný vzorek (12.A). Z tabulky je patrné, že kal po 50 minutách měření sedimentuje rychleji než u vzorků, které byly zmrazovány pouhých 8 dní. Z toho můžeme usuzovat, že rychlost usazování kalu se zvyšuje s dobou pobytu v mrazícím zařízení.

Pro lepší přehlednost pokusu jsme připravili vzorky kalů stejných vlastností (ale s různou délkou vystavení mrazovým teplotám) do přehledných tabulek a do jednotlivých grafů:

- 0.A, 0.B, 0.C, 0.D – vzorky ze dne 31.8.2011
- 1.A, 1.B, 1.C, 1.D – vzorky ze dne 1.9.2011
- 6.A, 6.B, 6.C, 6.D – vzorky ze dne 6.9.2011
- 8.A, 8.B, 8.C, 8.D – vzorky ze dne 8.9.2011
- 12.A, 12.B, 12.C, 12.D – vzorky ze dne 12.9.2011

Tab. 5-19 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A, 1.A, 6.A, 8.A, 12.A

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.A	Čas [min]	1.A	Čas [min]	6.A	Čas [min]	8.A	Čas [min]	12.A
0:00	519	0:00	351	0:00:00	295	0:00:00	368	0:00:00	370
0:07	182	0:07	268	0:05:00	154	0:05:00	278	0:05:00	224
0:12	147	0:12	223	0:10:00	122	0:10:00	262	0:10:00	188
0:20	123	0:20	187	0:20:00	86,7	0:25:00	204	0:30:00	104
0:50	96,9	0:50	152	0:40:00	60,7	0:45:00	168	0:50:00	105
5:00	39,8	5:00	73,6	23:20:00	27,2	94:58:00	8,76	-	-
19:00	21,5	19:00	37,8	47:03:00	16,5	-	-	-	-
23:59	20	23:59	29,4	-	-	-	-	-	-

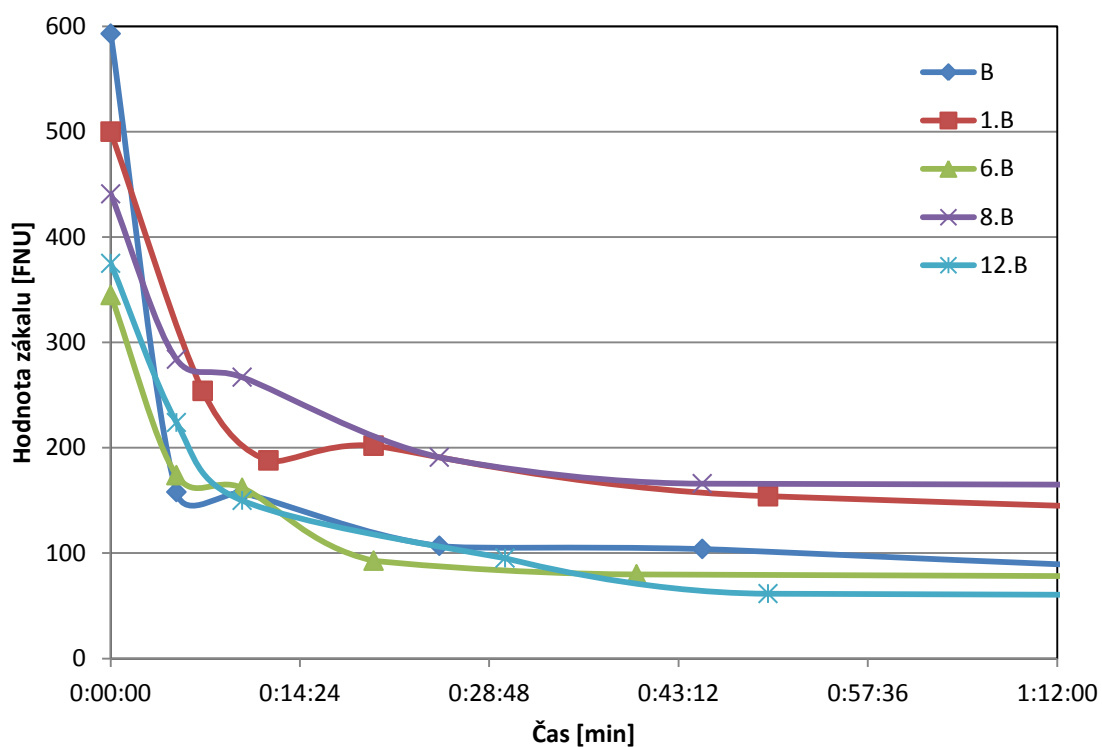


Graf. 14 Přehled vzorků s různou délkou vystavení extrémnímu mrazu (odvodněný kal)

Z tohoto přehledu vzorků se stejnými vlastnostmi, ale s různou délkou vystavení záporným teplotám v mrazícím zařízení nejrychleji sedimentuje překvapivě kal, který byl vystaven konstantní záporné teplotě pouhých 6 dní a je těsně následován kalem, který nebyl vystaven záporným teplotám. U tohoto přehledu nemůžeme říct, zda má mráz nějaký vliv na rychlost sedimentace kalu.

Tab. 5-20 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B, 1.B, 6.B, 8.B, 12.B

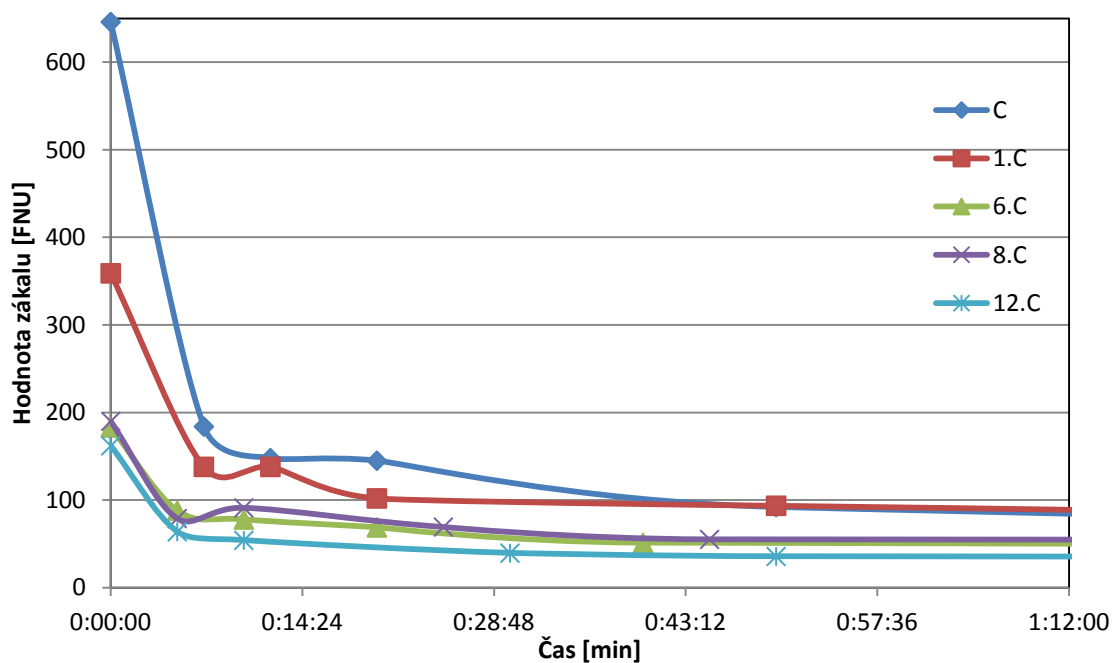
Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.B	Čas [min]	1.B	Čas [min]	6.B	Čas [min]	8.B	Čas [min]	12.B
0:00	593	0:00	500	0:00:00	345	0:00:00	441	0:00:00	375
0:05	158	0:07	254	0:05:00	174	0:05:00	284	0:05:00	224
0:10	157	0:12	188	0:10:00	162	0:10:00	267	0:10:00	150
0:25	107	0:20	202	0:20:00	92,9	0:25:00	191	0:30:00	95,3
0:45	104	0:50	154	0:40:00	79,9	0:45:00	166	0:50:00	61,6
2:45	61	5:00	87,1	23:20:00	26,4	94:58:00	7,57	24:00:00	31,3
19:15	29,7	19:00	46,4	47:03:00	16,2	-	-	-	-
22:53	22,5	23:59	40,2	-	-	-	-	-	-
23:59	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-



Graf. 15 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal)

Tab. 5-21 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.C, 1.C, 6.C, 8.C, 12.C

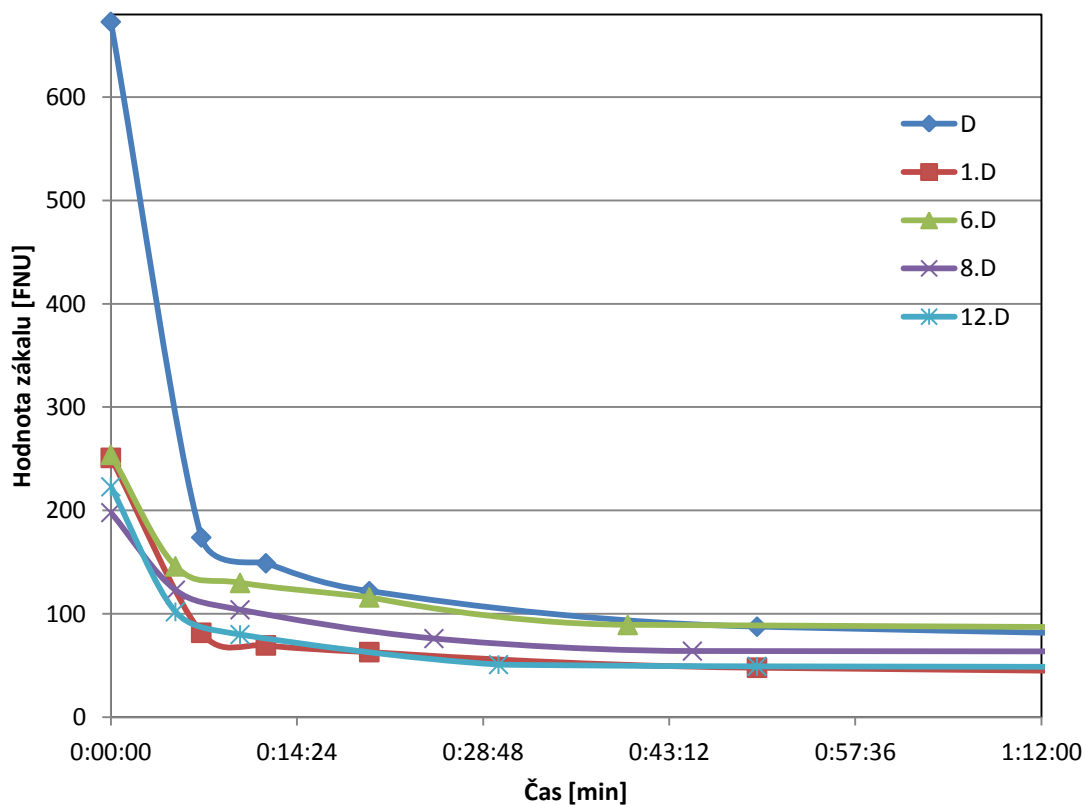
Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.C	Čas [min]	1.C	Čas [min]	6.C	Čas [min]	8.C	Čas [min]	12.C
0:00	646	0:00	359	0:00:00	183	0:00:00	190	0:00:00	162
0:07	184	0:07	138	0:05:00	88,1	0:05:00	79	0:05:00	63,9
0:12	148	0:12	138	0:10:00	77,9	0:10:00	91,2	0:10:00	54,1
0:20	145	0:20	102	0:20:00	68,9	0:25:00	69,3	0:30:00	39,5
0:50	92,1	0:50	93,6	0:40:00	51,3	0:45:00	55,2	0:50:00	35,7
5:00	40,7	5:00	53,7	23:20:00	14,6	94:58:00	3,98	24:00:00	14,7
19:00	21,7	19:00	28,8	47:03:00	10,5	-	-	-	-
23:59	19,1	23:59	23,8	-	-	-	-	-	-



Graf. 16 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:0,5)

Tab. 5-22 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.D, 1.D, 6.D, 8.D, 12.D

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.D	Čas [min]	1.D	Čas [min]	6.D	Čas [min]	8.D	Čas [min]	12.D
0:00	673	0:00	251	0:00:00	254	0:00:00	198	0:00:00	223
0:07	174	0:07	81,7	0:05:00	146	0:05:00	123	0:05:00	102
0:12	149	0:12	69,5	0:10:00	130	0:10:00	104	0:10:00	80
0:20	122	0:20	63	0:20:00	116	0:25:00	76,1	0:30:00	50,9
0:50	87,6	0:50	47,9	0:40:00	89,3	0:45:00	64	0:50:00	49,2
5:00	45,2	5:00	27,1	23:20:00	25,2	94:58:00	3,65	24:00:00	21,7
19:00	25,7	19:00	17,3	47:03:00	15,3	-	-	-	-
23:59	21,9	23:59	14,6	-	-	-	-	-	-



Graf. 17 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:1)

Pro verifikaci pokusu s různou délkou ponechání kalu v mrazu, byl tento pokus zopakován krok po kroku. Opět jsme vytvořili 24 vzorků s různou vlhkostí (odvodněný kal, původní kal, naředěný kal destilovanou vodou v poměru 1:1 a naředěný kal destilovanou vodou v poměru 1:0,5). Vzorky se umístili do mrazícího zařízení na 0 – 1 – 6 – 8 -12 dní.

- 0.A, 0.B, 0.C, 0.D – vzorky ze dne 12.10.2011
- 1.A, 1.B, 1.C, 1.D – vzorky ze dne 13.10.2011
- 6.A, 6.B, 6.C, 6.D – vzorky ze dne 18.10.2011
- 8.A, 8.B, 8.C, 8.D – vzorky ze dne 20.10.2011
- 12. A, 12.B, 12.C, 12.D – vzorky ze dne 24.10.2011

Tab. 5-23 Hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody

Označení vzorku	Hmotnost misky [g]	Hmotnost misky a vzorku [g]	Hmotnost misky a vzorku po vysušení [g]	Hmotnost misky a vzorku po žihání [g]
1:0,5	24,25	46,335	26,705	-
1:1	21,18	44,22	23,01	-
O.K.	22,41	47,475	28,085	-
P.K.	21,455	43,54	25,225	-

Opět jako v předchozím případě jsme stanovili koncentraci sušiny, abychom mohli určit množství vlhkého vzorku, které přidáme do 1000 ml destilované vody. U takto připraveného vzorku byla stanovena hodnota zákalu u jednotlivých sérií.

Tab. 5-24 Stanovení potřebné hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody

Označení vzorku	koncentrace sušiny	Požadovaná hmotnost vysušeného vzorku	Hmotnost vlhkého vzorku
[-]	[%]	[g]	[g]
1:0,5	11,125	1	8,99
1:1	7,95	1	12,58
O.K.	22,66	1	4,41
P.K.	17,07	1	5,86

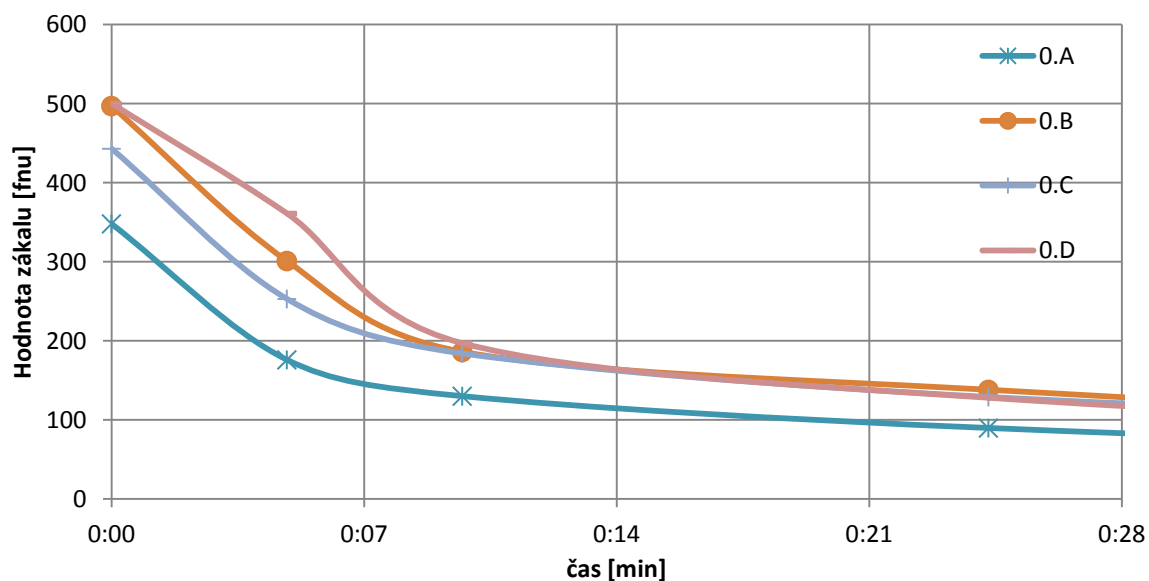
Tab. 5-25 Tabulka označení jednotlivých vzorků pro pokus zmrazováním

Čas vystavení extrémně nízkým teplotám	Odvodněný kal	Vzorek kalu o původní koncentraci sušiny	Ředěný kal: destilovaná voda 1: 0,5	Ředěný kal: destilovaná voda 1: 1
0 dní	0.A	0.B	0.C	0.D
1 den	1.A	1.B	1.C	1.D
6 dny	6.A	6.B	6.C	6.D
8 dní	8.A	8.B	8.C	8.D
12 dní	12.A	12.B	12.C	12.D

Dne 12.10.2011 byly vloženo 20 vzorků do mrazícího zařízení a zároveň byla provedena zkouška hodnoty zákalu na vzorcích, které záporným teplotám nebyly vystaveny.

Tab. 5-26 Hodnota zákalu vzorků bez působení mrazu (12.10.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	0.A	0.B	0.C	0.D
0:00	348	497	443	500
0:05	176	301	253	361
0:10	130	186	184	197
0:25	89,7	138	129	128
0:45	65,6	101	102	93,7
1:30	46,8	75,1	74,3	71,7
120:00:00	9,25	13,6	14,6	13,1



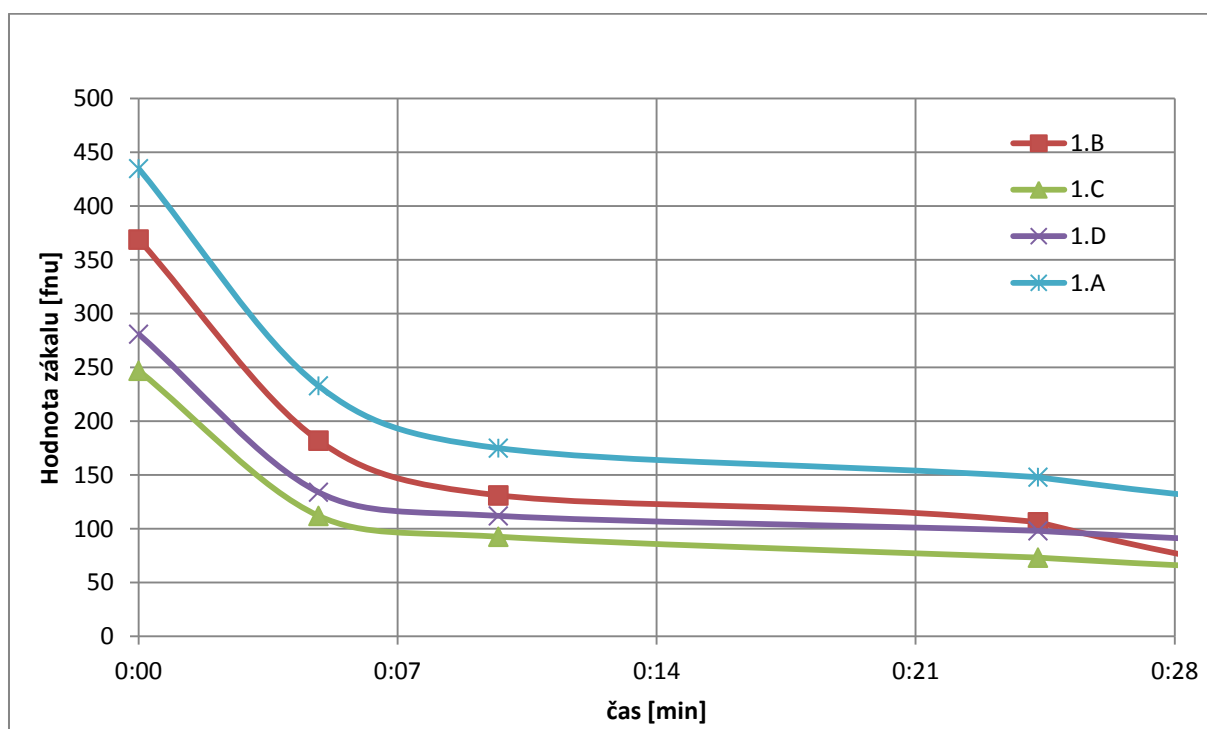
Graf. 18 Hodnoty zákalu vzorku bez působení mrazu (12.10.2011)

Rozdíl mezi jednotlivými vzorky je v minimální. Rychlost sedimentace se po 5 dnech vzájemně liší v rádech desetin.

Dne 13.10.2011 byla z klimatizační skříně vyjmuta první série vzorků, bylo provedeno stanovení rychlosti sedimentace, resp. průběhu hodnoty zákalu.

Tab. 5-27 Hodnota zákalu po 25 hodinách zmrazování (13.10.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	1.A	1.B	1.C	1.D
0:00	435	369	247	281
0:05	233	182	112	134
0:10	175	131	92,6	112
0:25	148	106	73,2	98,1
0:45	100	17,2	51,4	77,1
103:46:00	4,78	3,9	3,61	3,88



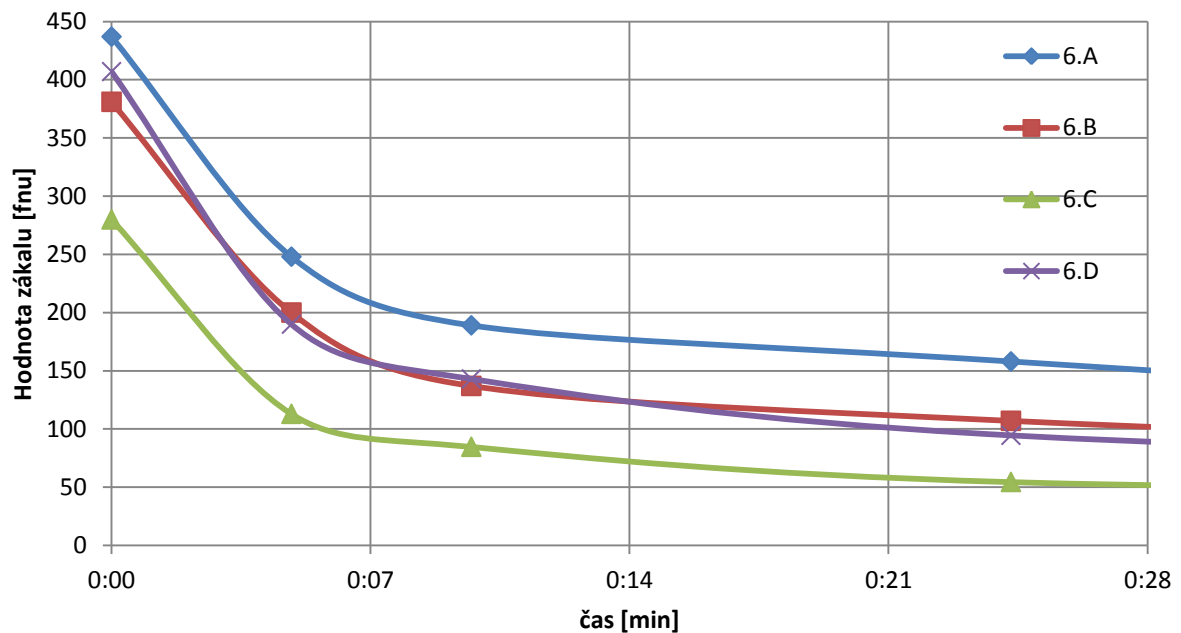
Graf. 19 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 25 hodinách zmrazován při -30 °C (13.10.2011)

Rozdíl v rychlosti sedimentace jednotlivých vzorků je minimální, po 5 dnech se vzájemně liší v řádech desetin.

18.10.2011 jsme odebrali druhou sérii vzorků, které byly vystaveny teplotě -30 °C po dobu 99 hodin.

Tab. 5-28 Hodnota zákalu po 99 hodinách zmrazování (18.10.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	6.A	6.B	6.C	6.D
0:00	437	381	280	407
0:05	248	200	113	190
0:10	189	137	84,7	143
0:25	158	107	54,5	94,5
1:00	90	65,3	41	60,3
1:15	65,3	41,9	26,1	50,1
20:35	23,1	21,2	16,4	22

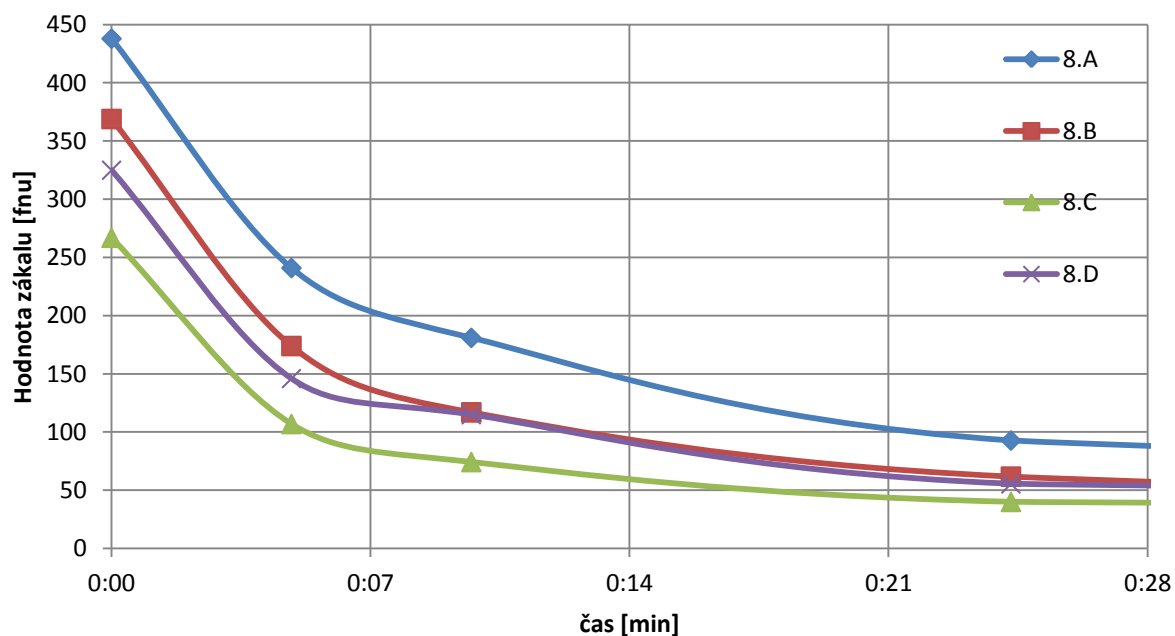


Graf. 20 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 99 hodinách zmrazován při -30 °C (18.10.2011)

20.10.2011 byly zpracovány vzorky ze třetí série, které byly 146 hodin zmrazeny na teplotu -30°C. Opět bylo provedeno zpracování průběhu hodnoty zákalu, resp. rychlosti sedimentace organického materiálu.

Tab. 5-29 Hodnota zákalu po 146 hodinách zmrazování (20.10.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	8.A	8.B	8.C	8.D
0:00	438	369	267	325
0:05	241	174	107	146
0:10	181	117	74,3	115
0:25	92,8	61,8	40,1	55,6
1:05	66,1	36,3	36	47,2
26:55:00	20,4	16,9	12,4	17,3

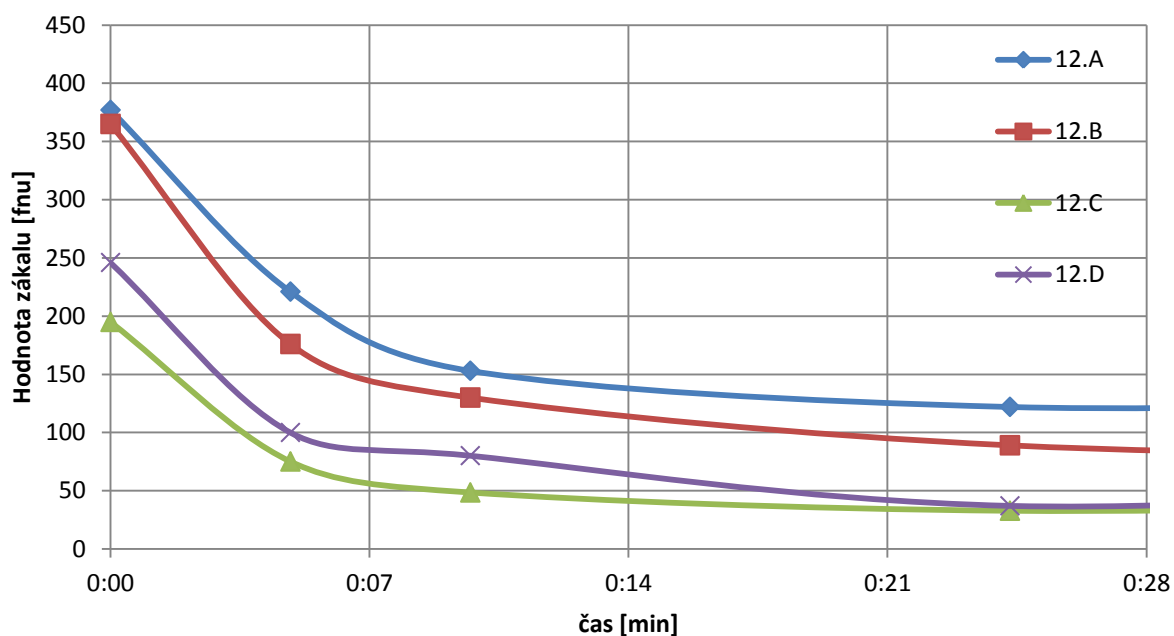


Graf. 21 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 146 hodinách zmrazován při -30 °C (20.10.2011)

Poslední série vzorků s různou koncentrací vody byla vyjmuta z mrazícího zařízení 24.10.2011, vzorky byly v záporné teplotě - 30 °C ponechány 249 hodin.

Tab. 5-30 Hodnota zákalu po 249 hodinách zmrazování (24.10.2011)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	12.A	12.B	12.C	12.D
0:00	377	365	195	246
0:05	221	176	75,1	100
0:10	153	130	48,5	80,1
0:25	122	89	32,8	37
0:45	124	77,5	38,9	53,9
1:00	82,3	66	28,6	29,7



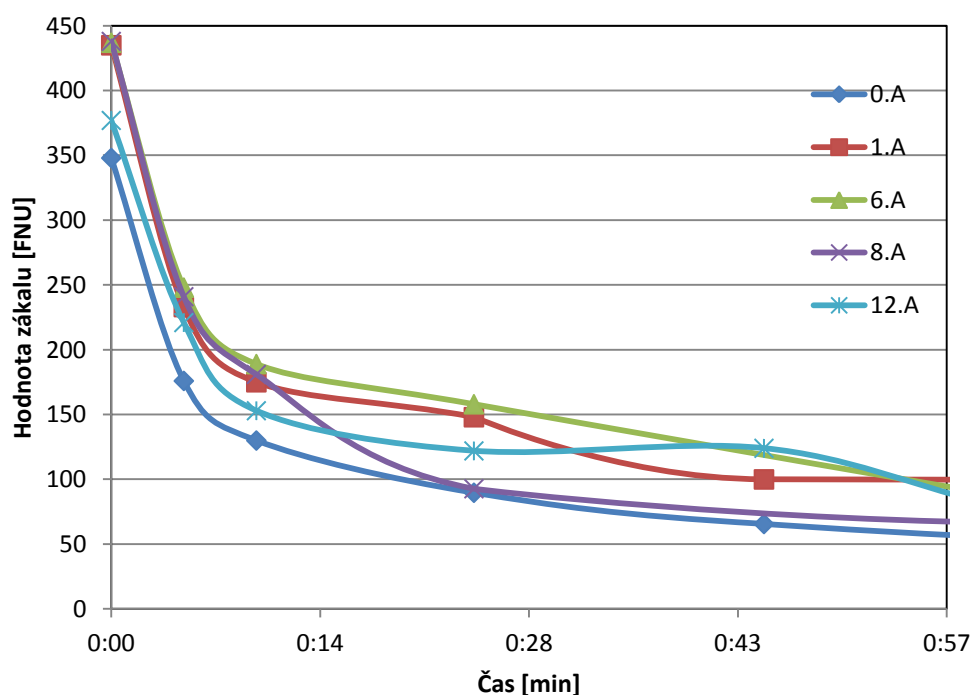
Graf. 22 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 249 hodinách zmrazován při -30 °C (24.10.2011)

Jako u většiny ostatních grafů nejrychleji sedimentuje naředěný kal v poměru 1:0,5. To popírá naši hypotézu, že čím sušší kal, tím kal rychleji sedimentuje. Ukazuje se také, že nejlépe sedimentuje kal, který je naředěn maximálně v poměru 1:0,5. Ředění na 1:1 nevykazuje uspokojivé hodnoty. Je tedy zbytečné ředit kal v tomto poměru.

Pro přehlednost jsme opět seřadili jednotlivé vzorky o stejných koncentracích ale různé délce pobytu v mrazícím zařízení k sobě (0.A – 1.A – 6.A – 8.A – 12.A: jedná se o odvodněný kal). Takto jsme schopni provést porovnání vzorků o stejných vlastností.

Tab. 5-31 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A – 1.A – 6.A – 8.A – 12.A

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.A	Čas [min]	1.A	Čas [min]	6.A	Čas [min]	8.A	Čas [min]	12.A
0:00	348	0:00	435	0:00	437	0:00	438	0:00	377
0:05	176	0:05	233	0:05	248	0:05	241	0:05	221
0:10	130	0:10	175	0:10	189	0:10	181	0:10	153
0:25	89,7	0:25	148	0:25	158	0:25	92,8	0:25	122
0:45	65,6	0:45	100	1:00	90	1:05	66,1	0:45	124
1:30	46,8	103:46:00	4,78	1:15	65,3	26:55:00	20,4	1:00	82,3
120:00:00	9,25	-	-	20:35	23,1	-	-	-	-

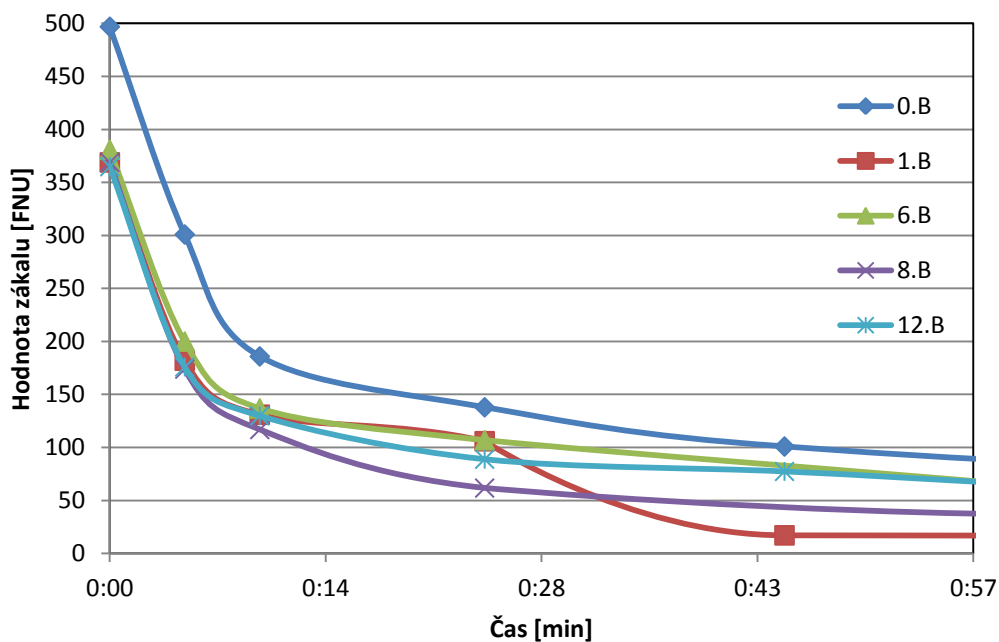


Graf. 23 Přehled vzorků odvodněného kalu s různou délkou vystavení záporným teplotám

V následující tabulce jsou seřazeny vzorky 0.B. – 1.B – 6.B – 8.B – 12.B, které představují původní kal, který byl sedimentován na filtračním prostředí kořenového filtru. Vzorky nebyly odvodněny ani ředěny vodou.

Tab. 5-32 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B, 1.B, 6.B, 8.B, 12.B

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.B	Čas [min]	1.B	Čas [min]	6.B	Čas [min]	8.B	Čas [min]	12.B
0:00	497	0:00	369	0:00	381	0:00	369	0:00	365
0:05	301	0:05	182	0:05	200	0:05	174	0:05	176
0:10	186	0:10	131	0:10	137	0:10	117	0:10	130
0:25	138	0:25	106	0:25	107	0:25	61,8	0:25	89
0:45	101	0:45	17,2	1:00	65,3	1:05	36,3	0:45	77,5
1:30	75,1	103:46:00	3,9	1:15	41,9	26:55:00	16,9	1:00	66
120:00:00	13,6	-	-	20:35	21,2	-	-	-	-

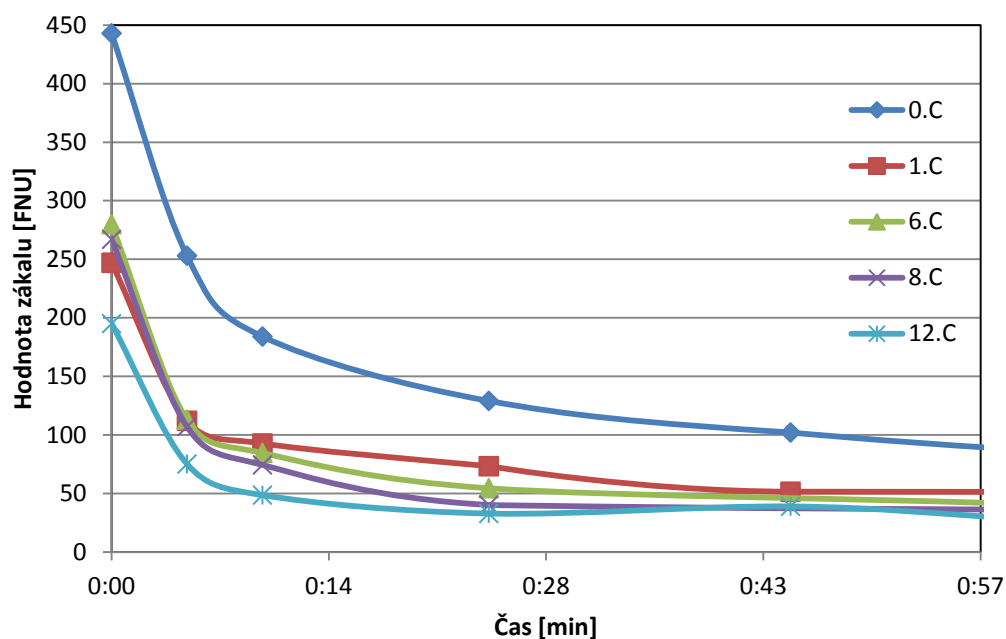


Graf. 24 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal)

Vzorky 0.C. - 1.C – 6.C – 8.C – 12.C jsou vzorky původního kalu ředěné destilovanou vodou v poměru 1:0,5 (objem kalu: objem vody)

Tab. 5-33 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků C, 1.C, 2.C, 3.C, 4.C

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.C	Čas [min]	1.C	Čas [min]	6.C	Čas [min]	8.C	Čas [min]	12.C
0:00	443	0:00	247	0:00	280	0:00	267	0:00	195
0:05	253	0:05	112	0:05	113	0:05	107	0:05	75,1
0:10	184	0:10	92,6	0:10	84,7	0:10	74,3	0:10	48,5
0:25	129	0:25	73,2	0:25	54,5	0:25	40,1	0:25	32,8
0:45	102	0:45	51,4	1:00	41	1:05	36	0:45	38,9
1:30	74,3	103:46:00	3,61	1:15	26,1	26:55:00	12,4	1:00	28,6
120:00:00	14,6	-	-	20:35	16,4	-	-	-	-



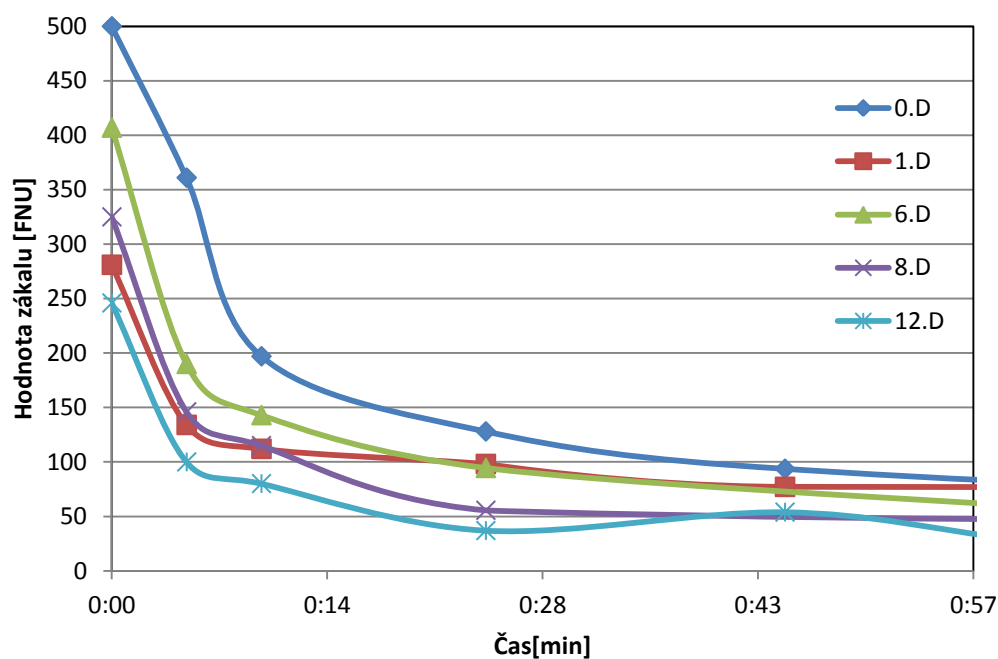
Graf. 25 Přehled vzorků s různou délkou pobytu v klimatizační skříni (původní kal s přidanou pitnou vodou, ředění v poměru 1:0,5)

Předpoklad ohledně délky vystavení záporným teplotám, se naplňuje až u tohoto porovnání kalu naředěného 1:0,5. Nejrychleji sedimentuje kal zmrazený 12 dní, následován kalem 8 denním, 6 denním, jednodenním a nejpomaleji sedimentuje kal, který nebyl vystaven záporným teplotám.

Vzorky 0.D. - 1.D – 6.D – 8.D – 12.D jsou vzorky původního kalu ředěné destilovanou vodou v objemovém poměru 1:1.

Tab. 5-34 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.D, 1.D, 6.D, 8.D, 12.D

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	D	Čas [min]	1.D	Čas [min]	2.D	Čas [min]	3.D	Čas [min]	4.D
0:00	500	0:00	281	0:00	407	0:00	325	0:00	246
0:05	361	0:05	134	0:05	190	0:05	146	0:05	100
0:10	197	0:10	112	0:10	143	0:10	115	0:10	80,1
0:25	128	0:25	98,1	0:25	94,5	0:25	55,6	0:25	37
0:45	93,7	0:45	77,1	1:00	60,3	1:05	47,2	0:45	53,9
1:30	71,7	103:46:00	3,88	1:15	50,1	26:55:00	17,3	1:00	29,7
120:00:00	13,1	-	-	20:35	22	-	-	-	-



Graf. 26 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:1)

5.5 Porovnání provedených pokusů

Porovnáním dvou stejných pokusů za stejných podmínek a dodržení postupu provádění pokusu si můžeme ověřit, zda má zmrazování požadovanou účinnost na mineralizaci kalu. Pokusy byly provedeny v datech: 31.8.2011 – 12.9.2011 první, resp. 12.10.2011 – 24.10.2011 druhý.

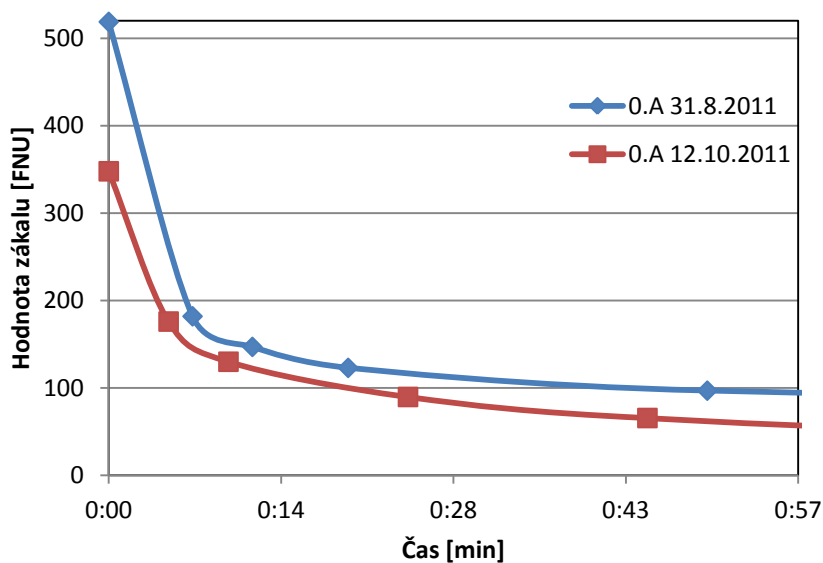
Označení jednotlivých vzorků v následujících tabulkách a grafech:

- 0.A - 31.8.2011 – pokus uskutečněný 31.8.2011 (první pokus)
- 1.A – 1.9.2011 – pokus uskutečněný 1.9.2011 (první pokus)
- 6.A – 6.9.2011 – pokus uskutečněný 6.9.2011 (první pokus)
- 8.A – 8.9.2011 – pokus uskutečněný 8.9.2011 (první pokus)
- 12.A – 12.9.2011 – pokus uskutečněný 12.9.2011 (první pokus)

- A - 12.10.2011 – pokus uskutečněný 12.10.2011 (druhý pokus)
- 1.A – 13.10.2011 – pokus uskutečněný 13.10.2011 (druhý pokus)
- 6.A – 18.10.2011 – pokus uskutečněný 18.10.2011 (druhý pokus)
- 8.A – 20.10.2011 – pokus uskutečněný 20.10.2011 (druhý pokus)
- 12.A – 24.10.2011 – pokus uskutečněný 24.10.2011 (druhý pokus)

Tab. 5-35 Porovnání vzorků z prvního pokusu a druhého pokusu odvodněného kalu bez působení mrazu

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	0.A - 31.8.2011	Čas [min]	0.A - 12.10.2011
0:00	519	0:00	348
0:07	182	0:05	176
0:12	147	0:10	130
0:20	123	0:25	89,7
0:50	96,9	0:45	65,6
5:00	39,8	1:30	46,8
19:00	21,5	120:00:00	9,25
23:59	20	-	-

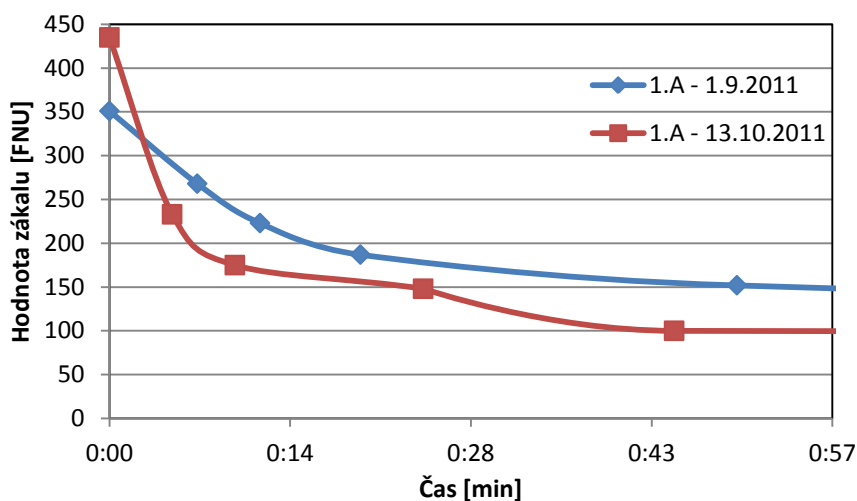


Graf. 27 Grafické porovnání hodnot zákalu prvního a druhého pokusu bez působení mrazu

Výsledky ze dvou provedených pokusů ukazují, že hodnoty se navzájem velice podobají. Rozdíly jsou způsobeny nejspíše přípravou vzorků. Pro velice přesné a vypovídající hodnoty rychlostí usazování částice by bylo potřeba zpracovat větší počet měření. Přesto se ukazuje, že při aplikaci odvodněného kalu do vodního prostředí bez vystavení mrazovým teplotám je rychlost sedimentace dostatečná již v průběhu první hodiny, kdy zákal dosahuje hodnoty do 100 FNU (což lze považovat za hraniční zákal pro usazovací nádrže, předřazené filtračnímu prostředí kořenové čistírny odpadních vod).

Tab. 5-36 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.A - 1.9.2011	Čas [min]	1.A - 13.10.2011
0:00	351	0:00	435
0:07	268	0:05	233
0:12	223	0:10	175
0:20	187	0:25	148
0:50	152	0:45	100
5:00	73,6	103:46:00	4,78
19:00	37,8	-	-
23:59	29,4	-	-

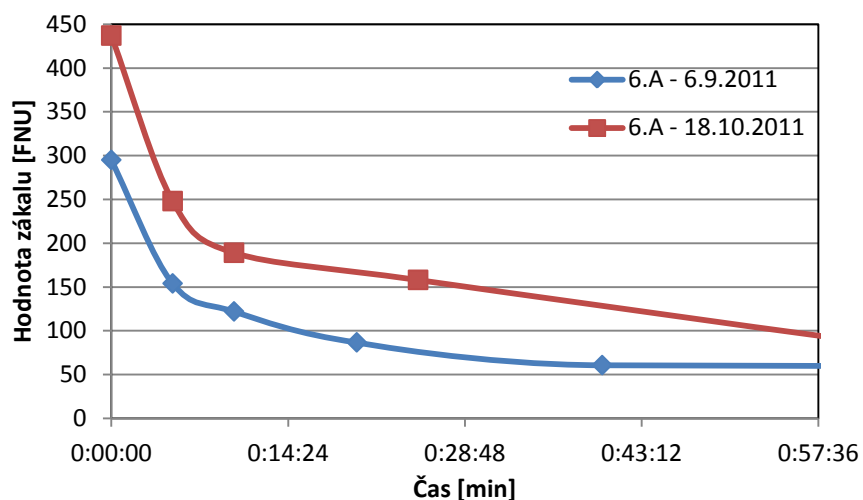


Graf. 28 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

Po vystavení odvodněného kalu záporným teplotám po dobu 24 hodin lze považovat oba pokusy opět za reprezentativní. Oproti předchozímu vzorku, který nebyl v mrazícím zařízení aplikován vůbec, se sedimentace částečně snížila, v tomto případě lze mluvit o hodnotě 100 FNU pouze u prvního pokusu. Druhý pokus dosahuje hodnoty 100 FNU až v čase přibližně 3 hodiny.

Tab. 5-37 Porovnání vzorků odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	6.A - 6.9.2011	Čas [min]	6.A - 18.10.2011
0:00:00	295	0:00	437
0:05:00	154	0:05	248
0:10:00	122	0:10	189
0:20:00	86,7	0:25	158
0:40:00	60,7	1:00	90
23:20:00	27,2	1:15	65,3
47:03:00	16,5	20:35	23,1

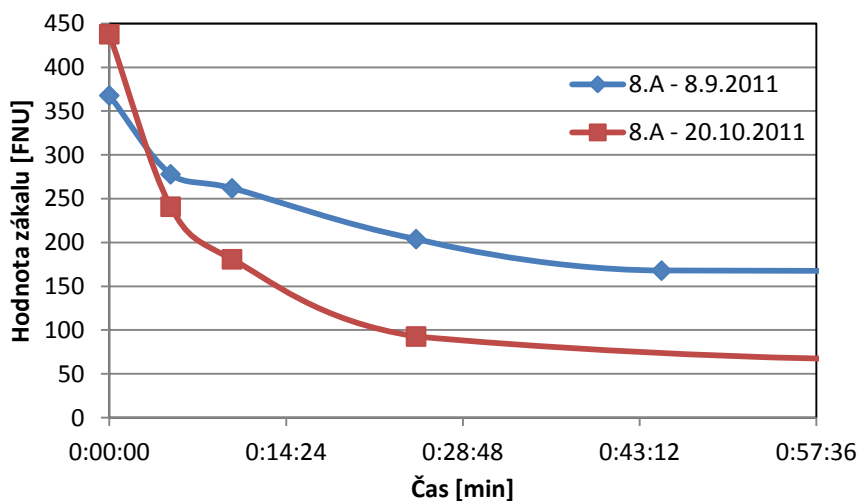


Graf. 29 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

Podle předchozího pokusu, kdy se hodnota rychlosti sedimentace vzorku odvodněného kalu částečně zhoršila oproti vzorku bez vystavení záporné teplotě, dochází naopak opět k rychlejší sedimentaci, velice podobné jako v prvním pokusu. Sedimentace, způsobující zákal o hodnotě 100 FNU, nastává po čase 14 minut při prvním pokusu a přibližně 51 minut při pokusu číslo dvě.

Tab. 5-38 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	8.A - 8.9.2011	Čas [min]	8.A - 20.10.2011
0:00:00	368	0:00	438
0:05:00	278	0:05	241
0:10:00	262	0:10	181
0:25:00	204	0:25	92,8
0:45:00	168	1:05	66,1
94:58:00	8,76	26:55:00	20,4

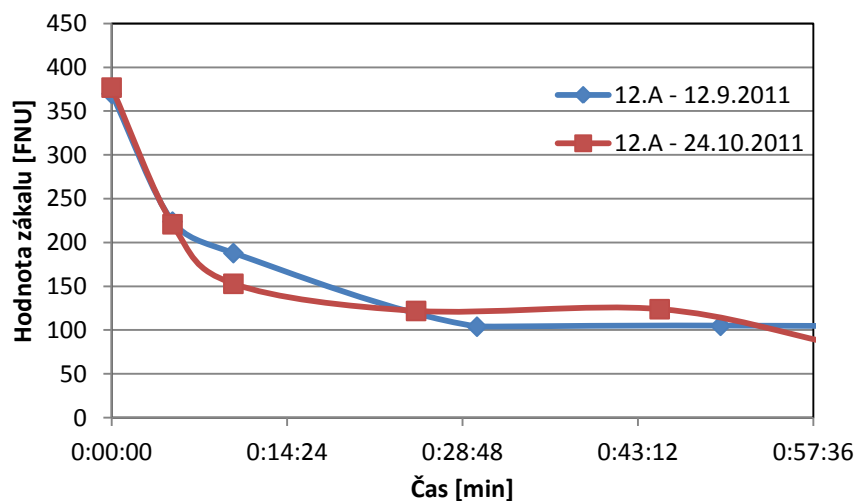


Graf. 30 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Hodnoty, vypovídající o sedimentaci kalu, který byl vystaven záporným teplotám po dobu 8 dní, uvedené v předchozí tabulce a grafu, jsou opět „horší“, než v případě vystavení mrazu po dobu 6 dní. Výrazná rozkolísanost dosažení hodnoty 100 FNU v čase přibližně 3 hodiny u prvního pokusu, resp. 21 minut u pokusu druhého, vypovídá opět o potřebě provedení většího počtu pokusů.

Tab. 5-39 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	12.A - 12.9.2011	Čas [min]	12.A - 24.10.2011
0:00:00	370	0:00	377
0:05:00	224	0:05	221
0:10:00	188	0:10	153
0:30:00	104	0:25	122
0:50:00	105	0:45	124
24:00:00	40,4	1:00	82,3

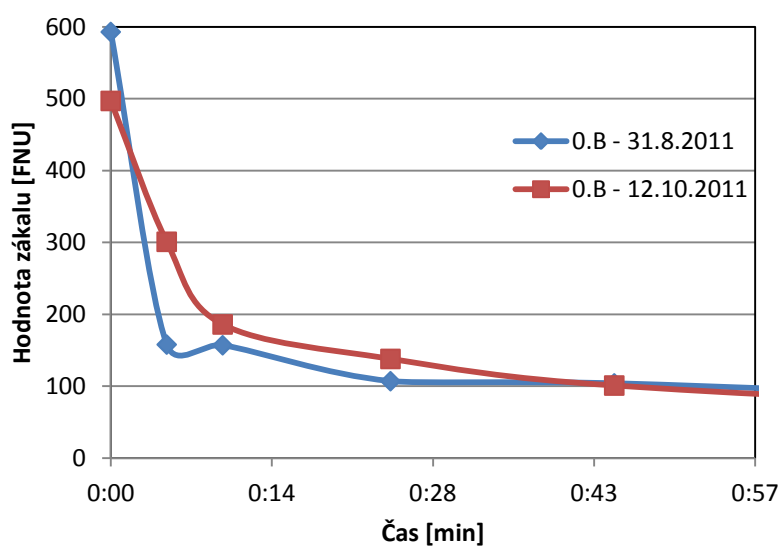


Graf. 31 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Poslední provedený pokus na odvodněném kalu, potvrzuje, že při aplikaci kalu, obsahujícího přibližně 22 % koncentraci sušiny, nemá výrazný vliv na mineralizaci, resp. vyvločkování kalu, doba vystavení kalu na mrazovém prostředí. Hodnoty rozborů, prováděné postupně v čase, nevykazují tendenci přibližovat se rychlejšímu nebo pomalejšímu usazování. Na mineralizaci nejspíše bude mít větší vliv čas, během kterého dojde k mineralizaci prostřednictvím přítomnosti vzduchu. Tuto hypotézu ale provedený pokus nepotvrzuje.

Tab. 5-40 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C bez působení mrazu

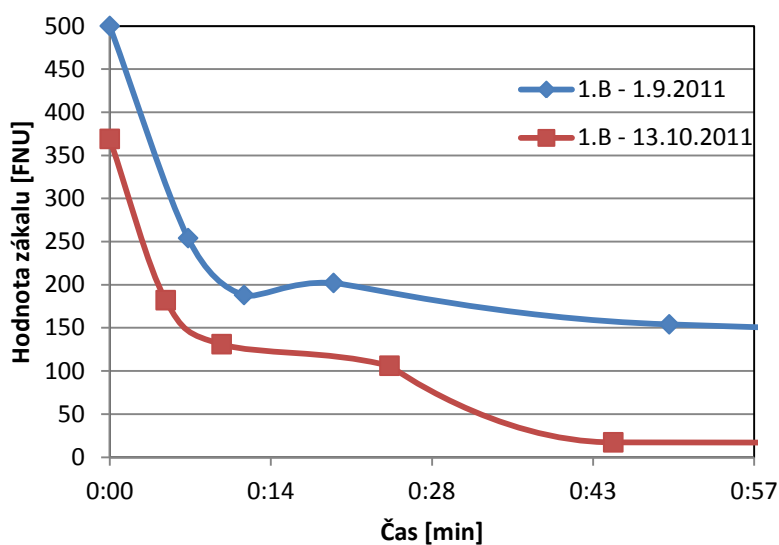
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	0.B - 31.8.2011	Čas [min]	0.B - 12.10.2011
0:00	593	0:00	497
0:05	158	0:05	301
0:10	157	0:10	186
0:25	107	0:25	138
0:45	104	0:45	101
2:45	61	1:30	75,1
19:15	29,7	120:00:00	13,6
22:53	22,5	-	-
23:59	21,9	-	-



Graf. 32 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C bez vystavení mrazu

Tab. 5-41 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

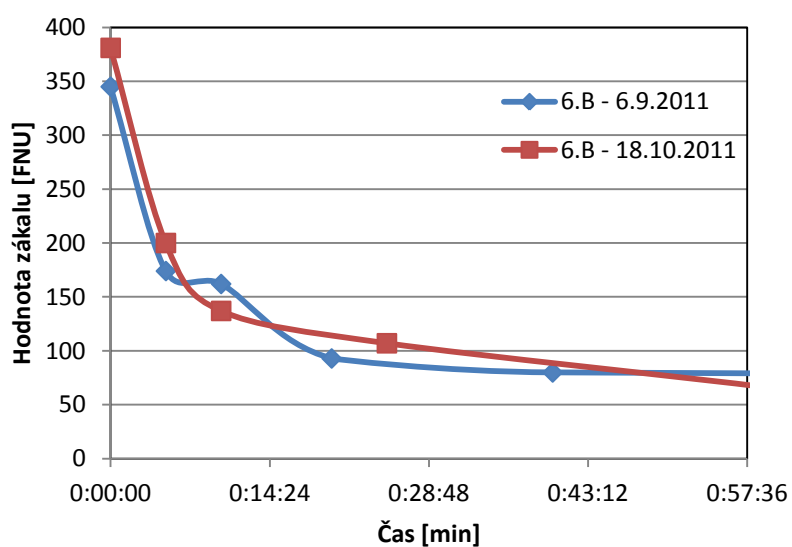
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.B - 1.9.2011	Čas [min]	1.B - 13.10.2011
0:00	500	0:00	369
0:07	254	0:05	182
0:12	188	0:10	131
0:20	202	0:25	106
0:50	154	0:45	17,2
5:00	87,1	7:46	3,9
19:00	46,4	-	-
23:59	40,2	-	-



Graf. 33 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den
 Hodnoty u pokusu ze 13.10.2011 a 1.9.2011 se v době 25 minut odlišují v řádech 100 FNU a po 50 minutách v řádech 130 FNU. Je pravděpodobné, že při navažování kalu, se do vzorku dostala větší částice organického materiálu.

Tab. 5-42 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

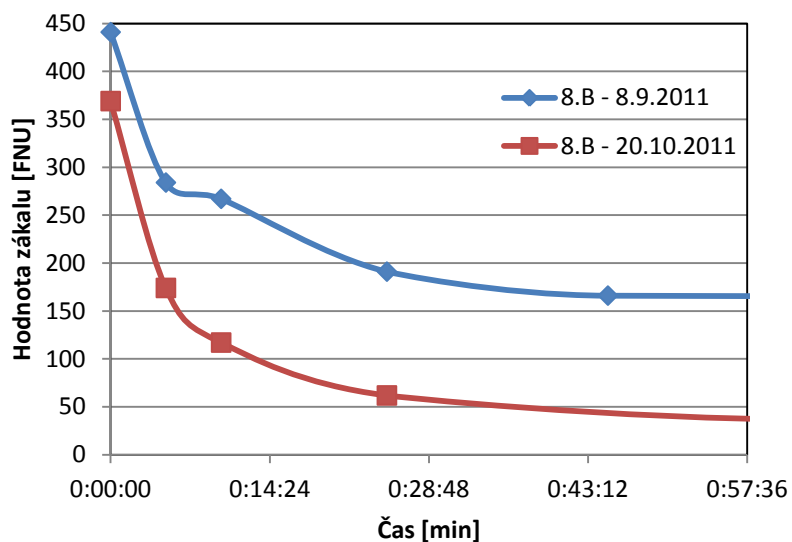
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	6.B - 6.9.2011	Čas [min]	6.B - 18.10.2011
0:00:00	345	0:00	381
0:05:00	174	0:05	200
0:10:00	162	0:10	137
0:20:00	92,9	0:25	107
0:40:00	79,9	1:00	65,3
23:20:00	26,4	1:15	41,9
47:03:00	16,2	20:35	21,2



Graf. 34 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

Tab. 5-43 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	8.B - 8.9.2011	Čas [min]	8.B - 20.10.2011
0:00:00	441	0:00	369
0:05:00	284	0:05	174
0:10:00	267	0:10	117
0:25:00	191	0:25	61,8
0:45:00	166	1:05	36,3
94:58:00	7,57	26:55:00	16,9

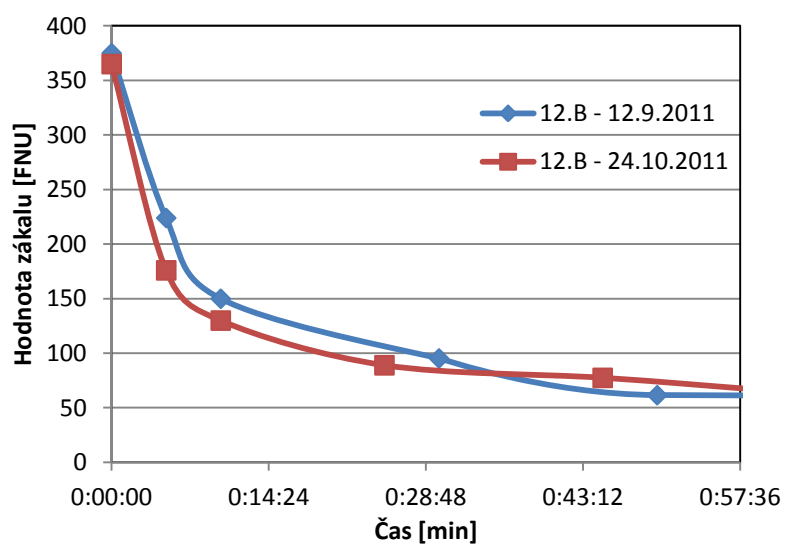


Graf. 35 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Je pravděpodobné, že opět při navažování kalu, se do vzorku dostala větší částice organického materiálu.

Tab. 5-44 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	12.B - 12.9.2011	Čas [min]	12.B - 24.10.2011
0:00:00	375	0:00	365
0:05:00	224	0:05	176
0:10:00	150	0:10	130
0:30:00	95,3	0:25	89
0:50:00	61,6	0:45	77,5
24:00:00	31,3	1:00	66

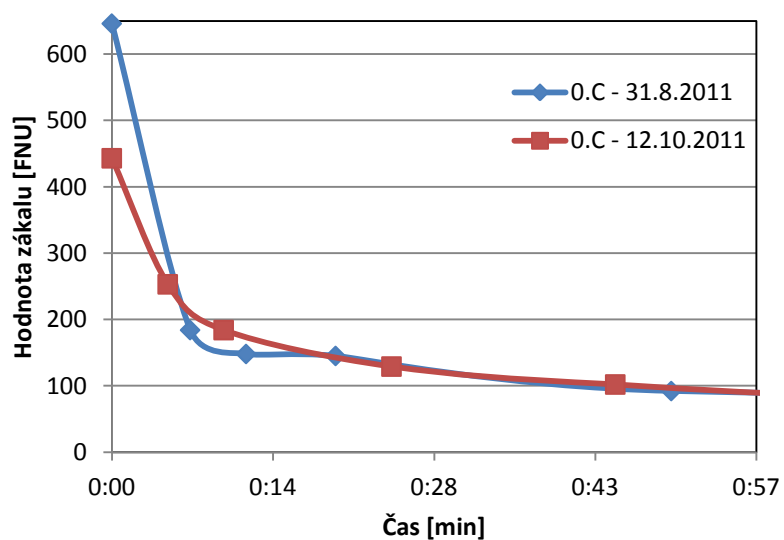


Graf. 36 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Při provedení opakovaného pokusu, výsledky prokazují správnost provedení celého pokusu.

Tab. 5-45 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) bez vystavení záporným teplotám

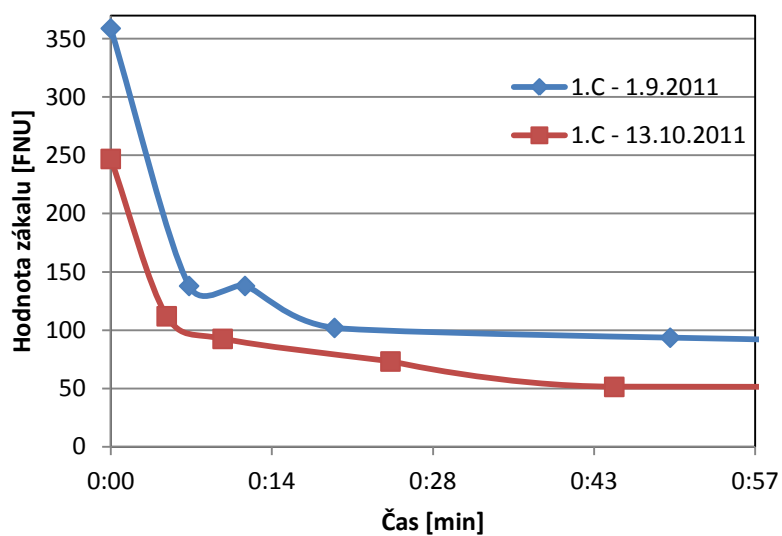
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	0.C - 31.8.2011	Čas [min]	0.C - 12.10.2011
0:00	646	0:00	443
0:07	184	0:05	253
0:12	148	0:10	184
0:20	145	0:25	129
0:50	92,1	0:45	102
5:00	40,7	1:30	74,3
19:00	21,7	120:00	14,6
23:59	19,1	-	-



Graf. 37 Grafické porovnání hodnot zákalu zředěného kalu (1:0,5), bez vystavení záporným teplotám

Tab. 5-46 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

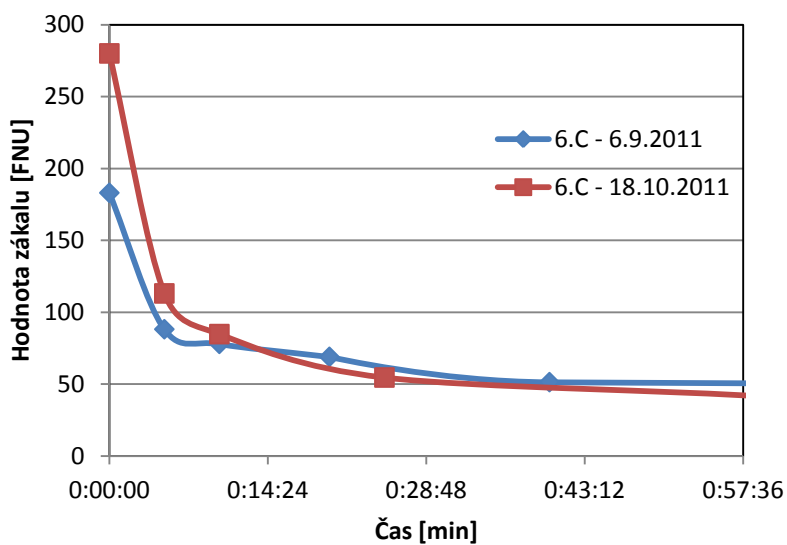
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.C - 1.9.2011	Čas [min]	1.C - 13.10.2011
0:00	359	0:00	247
0:07	138	0:05	112
0:12	138	0:10	92,6
0:20	102	0:25	73,2
0:50	93,6	0:45	51,4
5:00	53,7	103:46:00	3,61
19:00	28,8	-	-
23:59	23,8	-	-



Graf. 38 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

Tab. 5-47 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

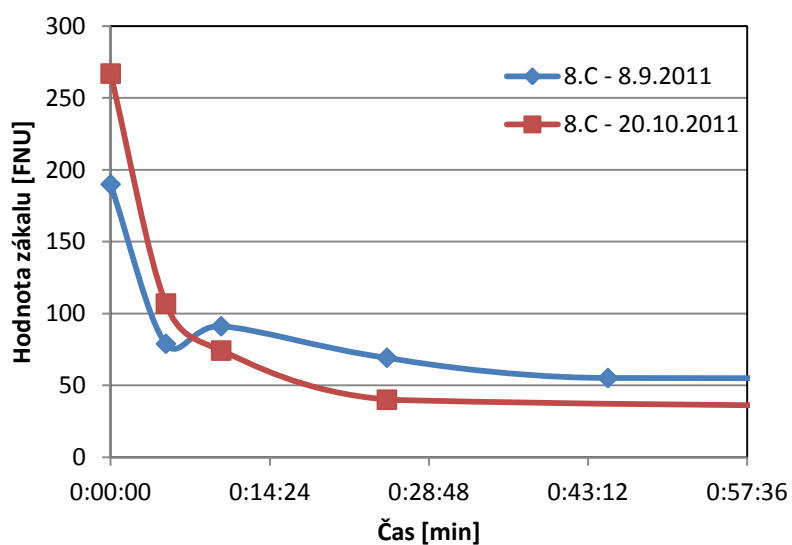
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	6.C - 6.9.2011	Čas [min]	6.C - 18.10.2011
0:00:00	183	0:00	280
0:05:00	88,1	0:05	113
0:10:00	77,9	0:10	84,7
0:20:00	68,9	0:25	54,5
0:40:00	51,3	1:00	41
23:20:00	14,6	1:15	26,1
47:03:00	10,5	20:35	16,4



Graf. 39 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

Tab. 5-48 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

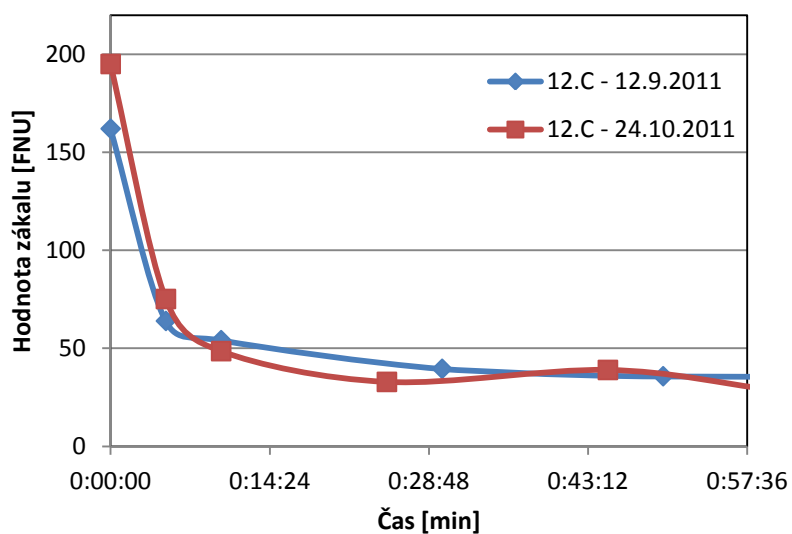
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	8.C - 8.9.2011	Čas [min]	8.C - 20.10.2011
0:00:00	190	0:00	267
0:05:00	79	0:05	107
0:10:00	91,2	0:10	74,3
0:25:00	69,3	0:25	40,1
0:45:00	55,2	1:05	36
94:58:00	3,98	26:55:00	12,4



Graf. 40 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Tab. 5-49 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

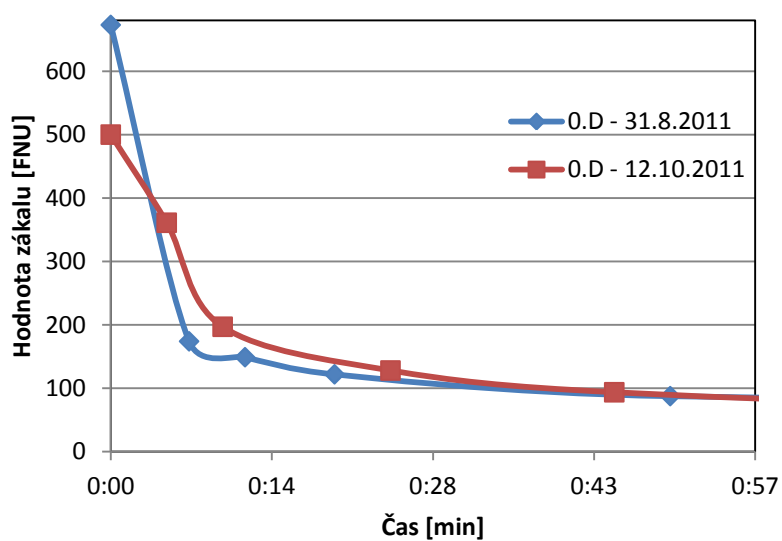
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	12.C - 12.9.2011	Čas [min]	12.C - 24.10.2011
0:00:00	162	0:00	195
0:05:00	63,9	0:05	75,1
0:10:00	54,1	0:10	48,5
0:30:00	39,5	0:25	32,8
0:50:00	35,7	0:45	38,9
24:00:00	14,7	1:00	28,6



Graf. 41 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Tab. 5-50 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) bez vystavení mrazovým teplotám

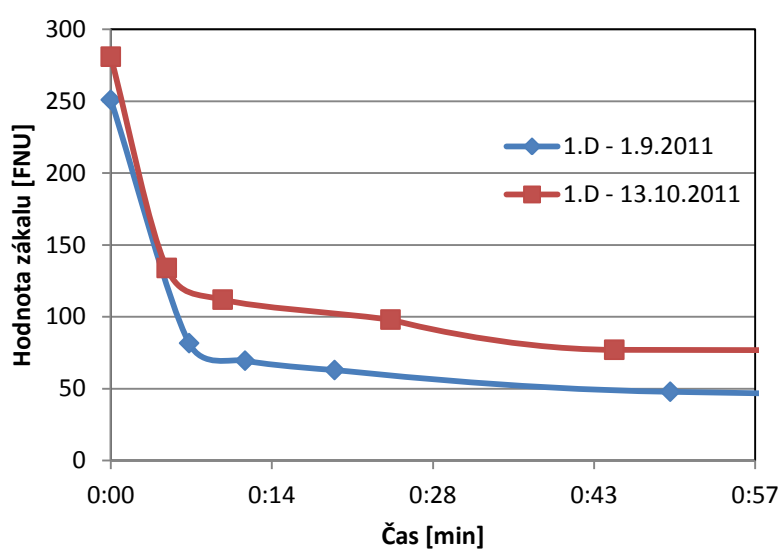
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	0.D - 31.8.2011	Čas [min]	0.D - 12.10.2011
0:00	673	0:00	500
0:07	174	0:05	361
0:12	149	0:10	197
0:20	122	0:25	128
0:50	87,6	0:45	93,7
5:00	45,2	1:30	71,7
19:00	25,7	120:00:00	13,1
23:59	21,9	-	-



Graf. 42 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) bez vystavení mrazovým teplotám

Tab. 5-51 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

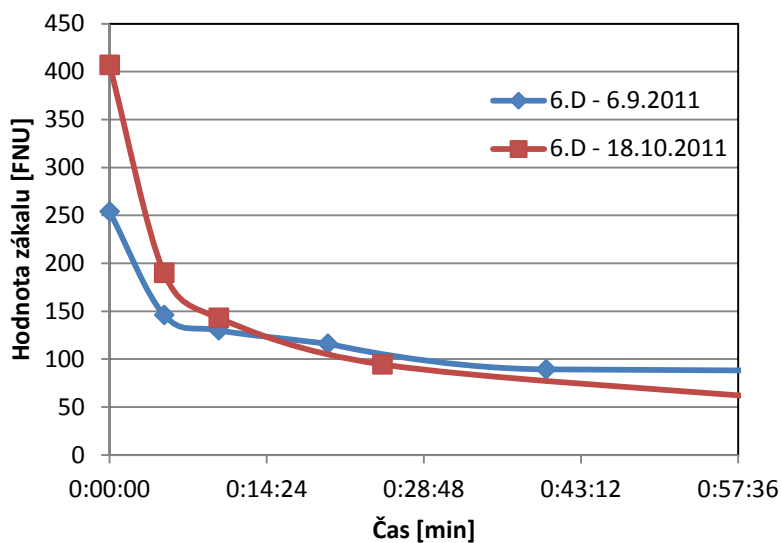
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.D - 1.9.2011	Čas [min]	1.D - 13.10.2011
0:00	251	0:00	281
0:07	81,7	0:05	134
0:12	69,5	0:10	112
0:20	63	0:25	98,1
0:50	47,9	0:45	77,1
5:00	27,1	103:46:00	3,88
19:00	17,3	-	-
23:59	14,6	-	-



Graf. 43 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den

Tab. 5-52 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

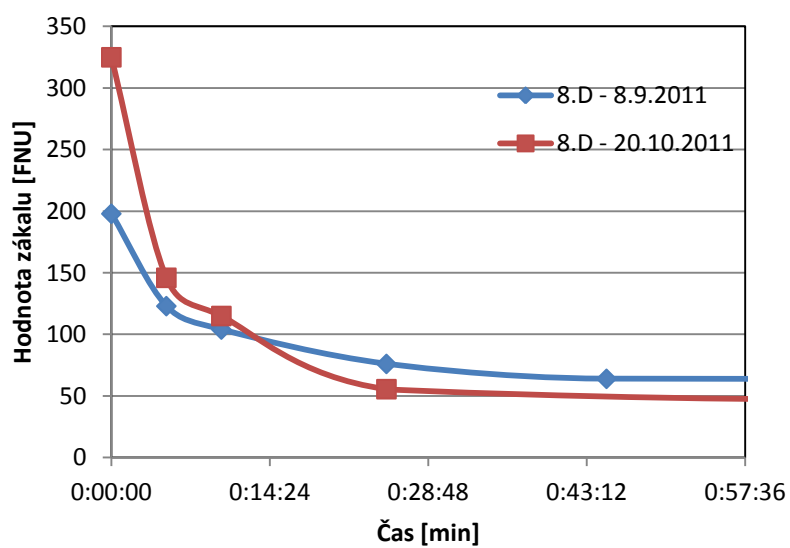
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	6.D - 6.9.2011	Čas [min]	6.D - 18.10.2011
0:00:00	254	0:00	407
0:05:00	146	0:05	190
0:10:00	130	0:10	143
0:20:00	116	0:25	94,5
0:40:00	89,3	1:00	60,3
23:20:00	25,2	1:15	50,1
47:03:00	15,3	20:35	22



Graf. 44 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní

Tab. 5-53 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

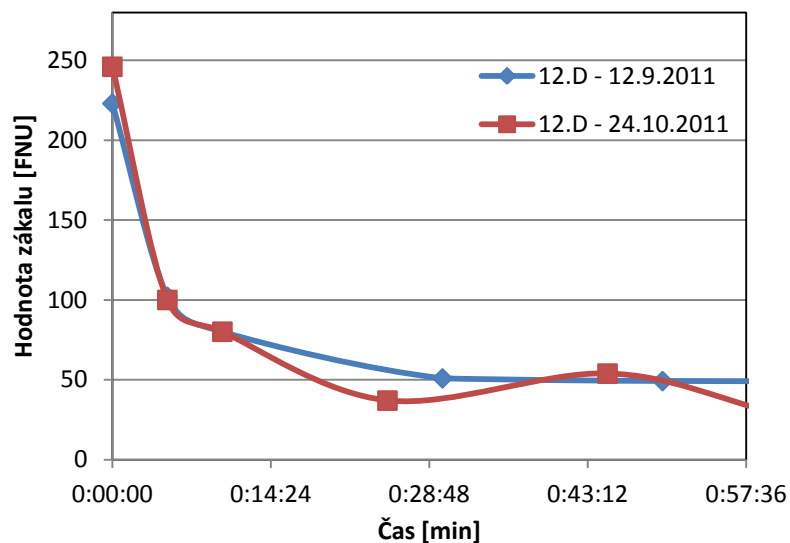
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	8.D - 8.9.2011	Čas [min]	8.D - 20.10.2011
0:00:00	198	0:00	325
0:05:00	123	0:05	146
0:10:00	104	0:10	115
0:25:00	76,1	0:25	55,6
0:45:00	64	1:05	47,2
94:58:00	3,65	26:55:00	17,3



Graf. 45 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní

Tab. 5-54 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	12.D - 12.9.2011	Čas [min]	12.D - 24.10.2011
0:00:00	223	0:00	246
0:05:00	102	0:05	100
0:10:00	80	0:10	80,1
0:30:00	50,9	0:25	37
0:50:00	49,2	0:45	53,9
24:00:00	21,7	1:00	29,7



Graf. 46 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní

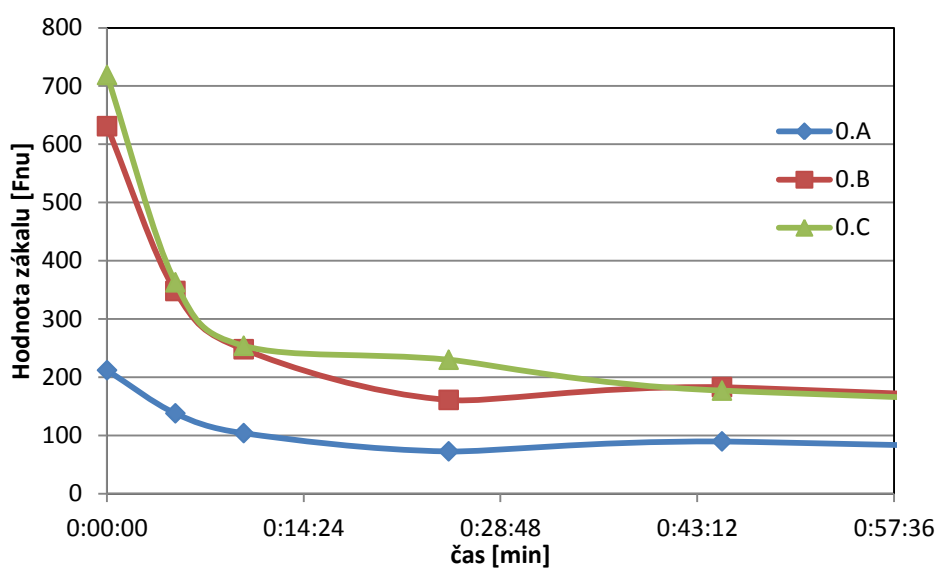
5.6 Cykly

Pokus, kde jsme vytvořili 15 vzorků ze tří různých koncentrací vody v kalu (vytvořeny 3 sady). První označena sada A byla sada, která byla vytvořena z odvodněného kalu. Sada B byla z původního kalu. Sada C z původního kalu, který jsme namíchali v poměru 1:1 s pitnou vodou. V mrazícím zařízení bylo nastaveno cyklování (střídání teplot -30°C a $+30^{\circ}\text{C}$). Nejdříve se vzorky zmrazily na -30°C po dobu 12 hodin a následně na ně působila teplota $+30^{\circ}\text{C}$ po dalších 12 hodin. Vzorky se umístili do mrazícího zařízení na 0 – 1 – 2 – 3 – 4 dny.

- 0.A, 0.B, 0.C – vzorky ze dne 12.12.2011
- 1.A, 1.B, 1.C – vzorky ze dne 13.12.2011
- 2.A, 2.B, 2.C – vzorky ze dne 14.12.2011
- 3.A, 3.B, 3.C – vzorky ze dne 15.12.2011
- 4. A, 4.B, 4.C – vzorky ze dne 16.12.2011

Tab. 5-55 Hodnota zákalu vzorků, které neprošly cykly (12.12.2011)

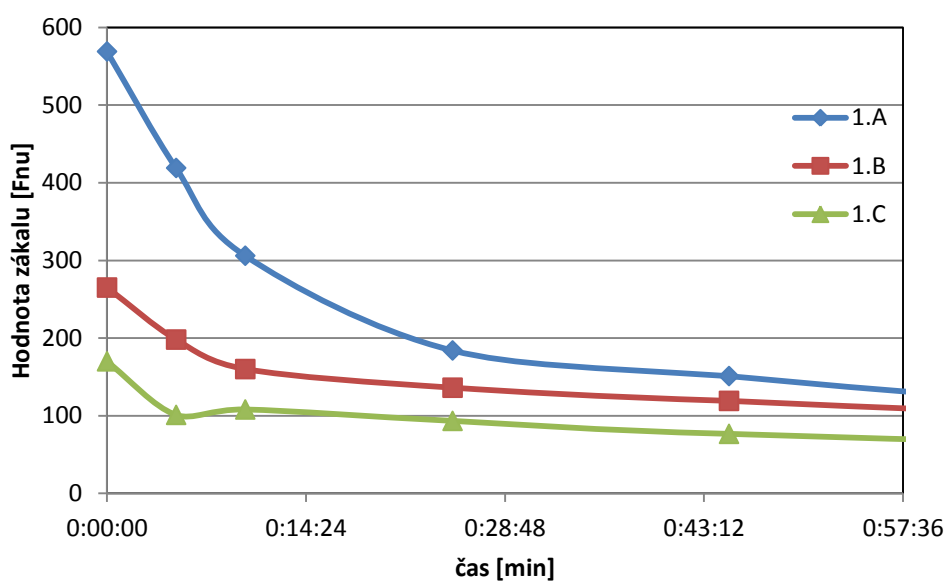
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	0.A	0.B	0.C
0:00:00	212	631	719
0:05:00	138	348	363
0:10:00	104	248	254
0:25:00	72,7	161	230
0:45:00	89,8	183	177
2:15:00	61	132	129
23:53:00	17,2	41,7	41



Graf. 47 Hodnoty zákalu vzorků, které neprošly cykly (12.12.2011)

Tab. 5-56 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 24 hodin (13.12.2011)

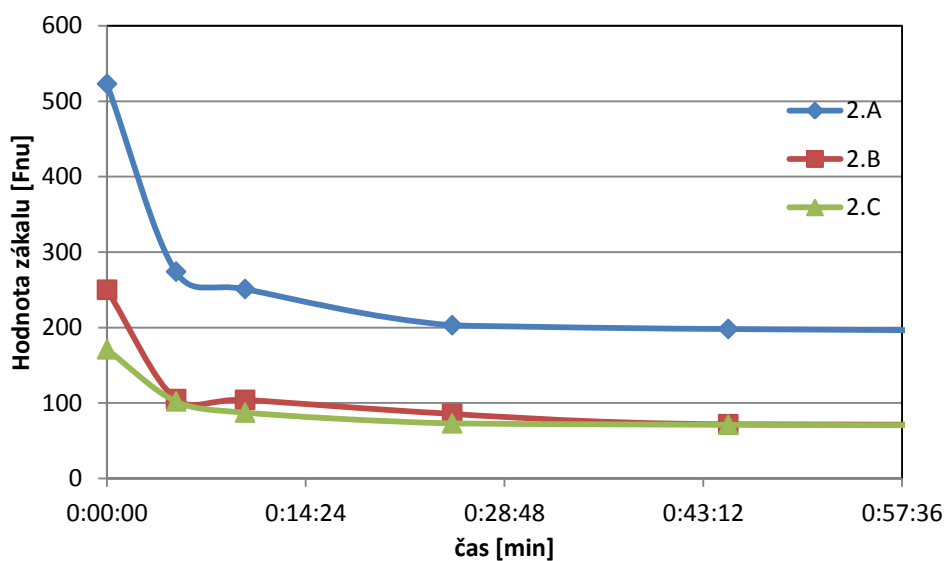
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.A	1.B	1.C
0:00:00	569	265	170
0:05:00	419	198	101
0:10:00	306	160	108
0:25:00	184	136	93,3
0:45:00	151	119	76,6
1:45:00	93,1	90,1	56,6
22:34:00	50	33,8	25,5



Graf. 48 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 24 hodin (13.12.2011)

Tab. 5-57 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 48 hodin (14.12.2011)

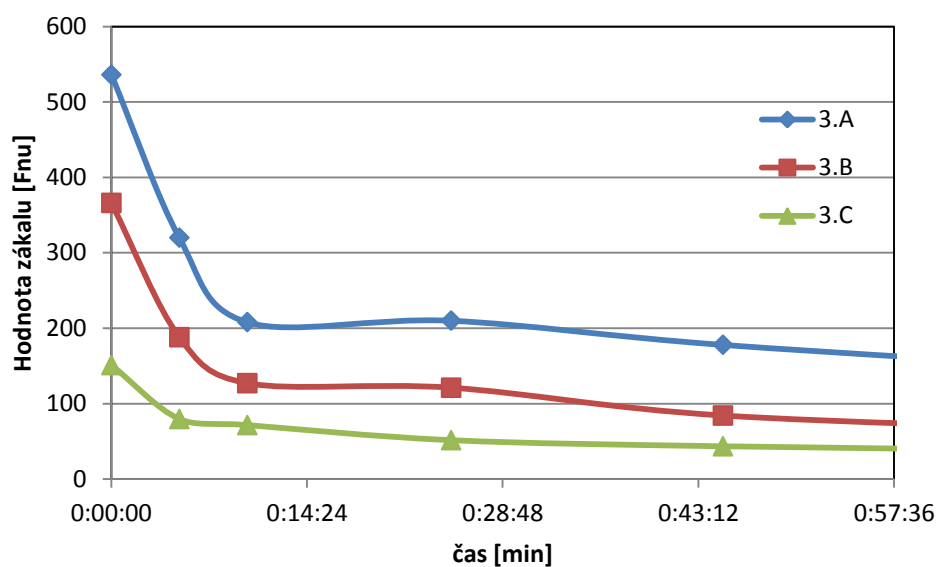
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	2.A	2.B	2.C
0:00:00	523	250	171
0:05:00	274	105	102
0:10:00	251	104	87,2
0:25:00	203	85,6	72,9
0:45:00	198	71,7	71
22:39:00	47,4	25,3	15,2



Graf. 49 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 48 hodin (14.12.2011)

Tab. 5-58 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 70 hodin (15.12.2011)

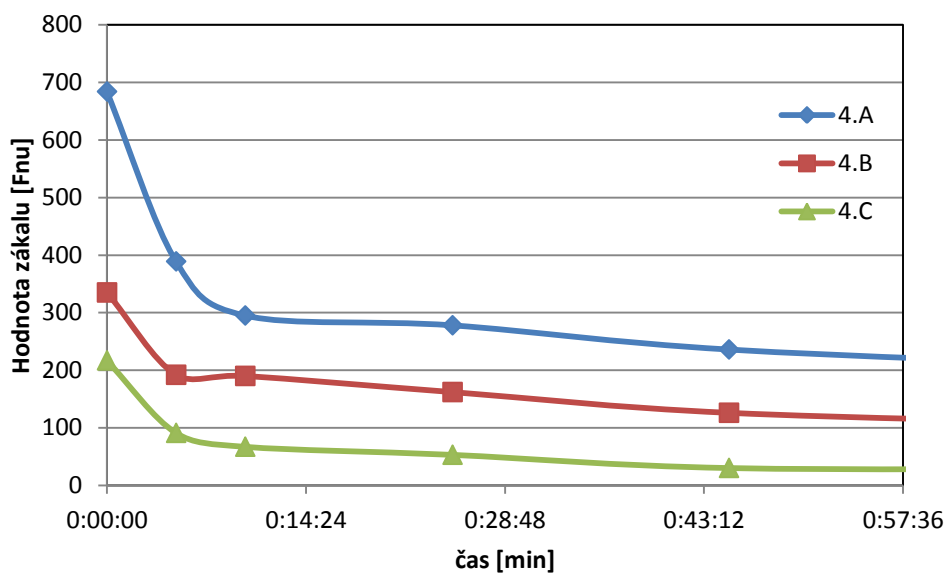
Turbidita [FNU]			
Čas [min]	3.A	3.B	3.C
0:00:00	536	366	151
0:05:00	320	188	79,5
0:10:00	208	127	71,5
0:25:00	210	121	51,5
0:45:00	178	84,1	43,4
1:17:00	142	62,7	36,5



Graf. 50 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 70 hodin (15.12.2011)

Tab. 5-59 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 92 hodin (16.12.2011)

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	4.A	4.B	4.C
0:00:00	684	335	217
0:05:00	389	192	91,1
0:10:00	295	190	67,1
0:25:00	278	162	53,1
0:45:00	236	126	30,2
1:17:00	204	105	28,7

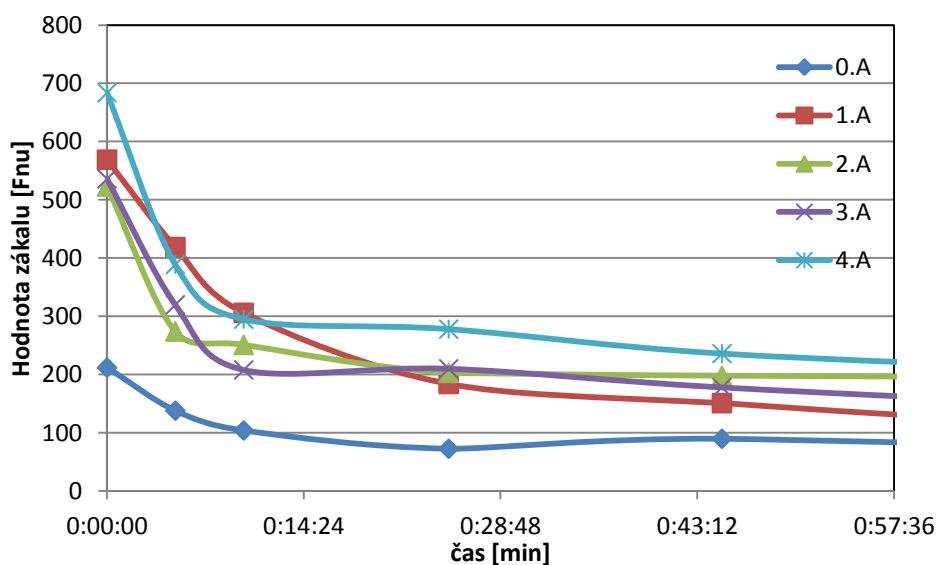


Graf. 51 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 92 hodin (16.12.2011)

Pro přehlednost byly seřazeny jednotlivé vzorky o stejných koncentracích ale různé délce pobytu v mrazícím zařízení k sobě (0.A – 1.A – 6.A – 8.A – 12.A: jedná se o odvodněný kal). Takto jsme schopni provést porovnání vzorků o stejných vlastností.

Tab. 5-60 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A – 1.A – 2.A – 3.A – 4.A

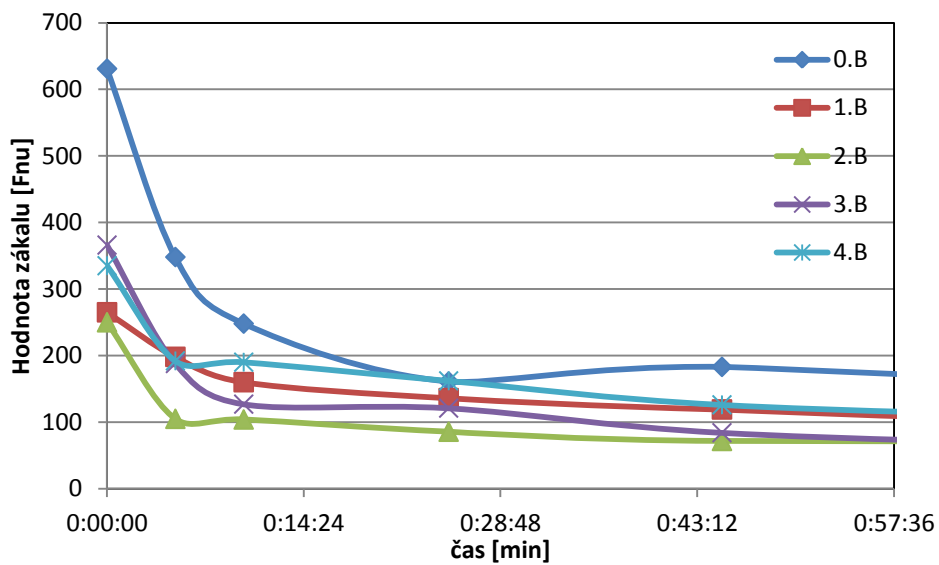
Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.A	Čas [min]	1.A	Čas [min]	2.A	Čas [min]	3.A	Čas [min]	4.A
0:00:00	212	0:00:00	569	0:00:00	523	0:00:00	536	0:00:00	684
0:05:00	138	0:05:00	419	0:05:00	274	0:05:00	320	0:05:00	389
0:10:00	104	0:10:00	306	0:10:00	251	0:10:00	208	0:10:00	295
0:25:00	72,7	0:25:00	184	0:25:00	203	0:25:00	210	0:25:00	278
0:45:00	89,8	0:45:00	151	0:45:00	198	0:45:00	178	0:45:00	236
2:15:00	61	1:45:00	93,1	22:39:00	47,4	1:17:00	142	1:17:00	204
23:53:00	17,2	22:34:00	50	-	-	-	-	-	-



Graf. 52 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (odvodněný původní kal)

Tab. 5-61 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B – 1.B – 2.B – 3.B – 4.B

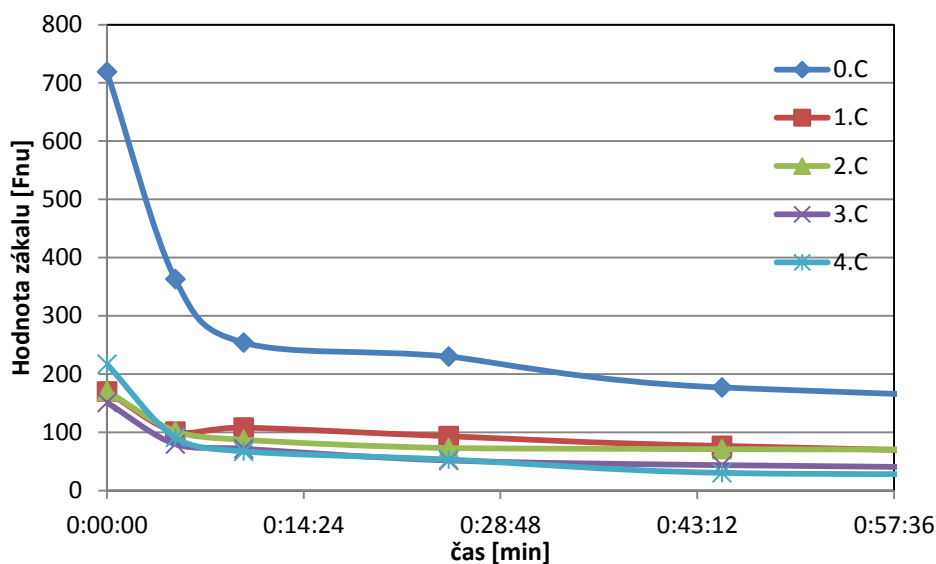
Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.B	Čas [min]	1.B	Čas [min]	2.B	Čas [min]	3.B	Čas [min]	4.B
0:00:00	631	0:00:00	265	0:00:00	250	0:00:00	366	0:00:00	335
0:05:00	348	0:05:00	198	0:05:00	105	0:05:00	188	0:05:00	192
0:10:00	248	0:10:00	160	0:10:00	104	0:10:00	127	0:10:00	190
0:25:00	161	0:25:00	136	0:25:00	85,6	0:25:00	121	0:25:00	162
0:45:00	183	0:45:00	119	0:45:00	71,7	0:45:00	84,1	0:45:00	126
2:15:00	132	1:45:00	90,1	22:39:00	25,3	1:17:00	62,7	1:17:00	105
23:53:00	41,7	22:34:00	33,8	-	-	-	-	-	-



Graf. 53 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (původní kal)

Tab. 5-62 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.C – 1.C – 2.C – 3.C – 4.C

Turbidita [FNU]									
Čas [min]	0.C	Čas [min]	1.C	Čas [min]	2.C	Čas [min]	3.C	Čas [min]	4.C
0:00:00	719	0:00:00	170	0:00:00	171	0:00:00	151	0:00:00	217
0:05:00	363	0:05:00	101	0:05:00	102	0:05:00	79,5	0:05:00	91,1
0:10:00	254	0:10:00	108	0:10:00	87,2	0:10:00	71,5	0:10:00	67,1
0:25:00	230	0:25:00	93,3	0:25:00	72,9	0:25:00	51,5	0:25:00	53,1
0:45:00	177	0:45:00	76,6	0:45:00	71	0:45:00	43,4	0:45:00	30,2
2:15:00	129	1:45:00	56,6	22:39:00	15,2	1:17:00	36,5	1:17:00	28,7
23:53:00	41	22:34:00	25,5	-	-	-	-	-	-



Graf. 54 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (původní kal s příměsí pitné vody v poměru 1:1)

Cyklování teplot po dobu 4 dní způsobuje větší rychlost sedimentace v řádech 140 FNU po 45 minutách měření oproti vzorkům, které nebyly vystaveny působení cyklování. Vzorky cyklující 1, 2 a 3 dny vykazují podobné hodnoty.

5.7 Porovnání pokusu zmrazování (-30 °C) a cyklů (+30 °C a -30 °C)

Abychom zjistili, zda má na mineralizaci kalu větší účinek, pokud je kal pouze zmrazován, nebo je naopak účinnější zmrazování požadovanou vystavit kal kladným a záporným hodnotám na mineralizaci kalu, provedli jsme srovnání dvou různých pokusů. Navzájem jsme srovnali vzorky, které v mrazícím zařízení strávili shodně 1 den a dále vzorky, které byly v mrazícím zařízení 4 dny (střídání teplot) a 6 dní (pouze zmrazování). K porovnání 4 a 6 dnů jsme přikročili z toho důvodu, protože nebylo připraveno dostatek vzorků, které cyklovaly.

Pokusy byly provedeny v datech: *mráz* – 13.10.2011 a 25.10.2011

cykly - 13.12.2011 – 16.12.2011

Označení jednotlivých vzorků v následujících tabulkách a grafech:

- 1.A mráz – pokus uskutečněný 13.10.2011
- 1.B mráz – pokus uskutečněný 13.10.2011
- 1.C mráz – pokus uskutečněný 13.10.2011
- 1.D mráz – pokus uskutečněný 13.10.2011

- 6.A mráz – pokus uskutečněný 25.10.2011
- 6.B mráz – pokus uskutečněný 25.10.2011
- 6.C mráz – pokus uskutečněný 25.10.2011
- 6.D mráz – pokus uskutečněný 25.10.2011

- 1.A cykly – pokus uskutečněný 13.12.2011
- 1.B cykly – pokus uskutečněný 13.12.2011
- 1.C cykly – pokus uskutečněný 13.12.2011

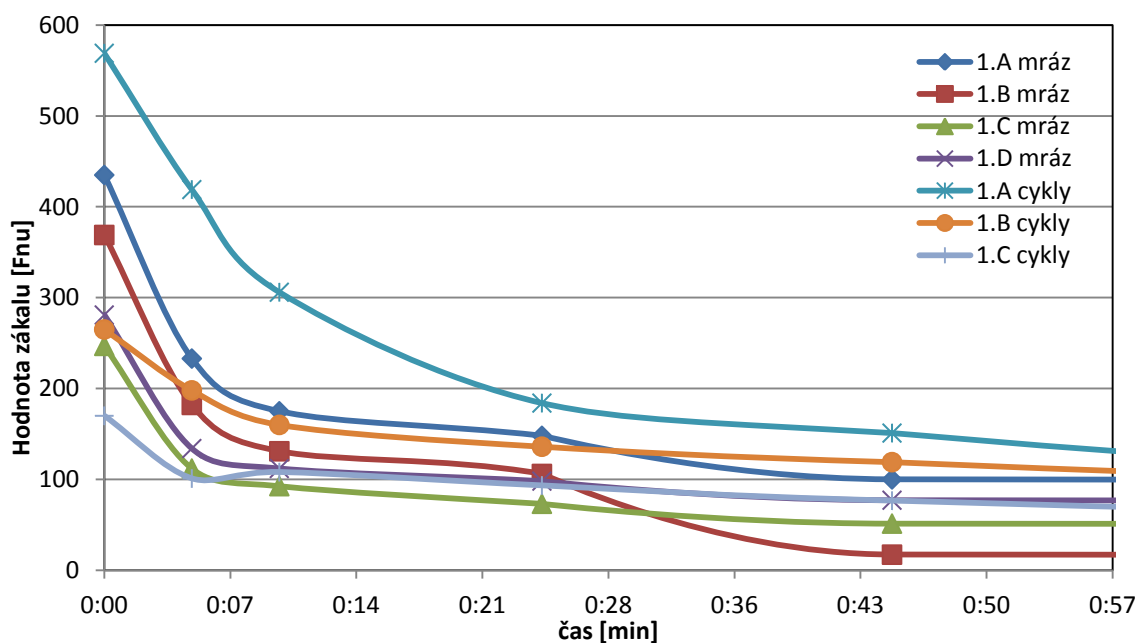
- 6.A cykly – pokus uskutečněný 16.12.2011
- 6.B cykly – pokus uskutečněný 16.12.2011
- 6.C cykly – pokus uskutečněný 16.12.2011

Tab. 5-63 Vzorek, který byl vystaven jen mrazu (-30 °C) ze dne 13.10.2011 (kap. 5.4.2)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	1.A mráz	1.B mráz	1.C mráz	1.D mráz
0:00	435	369	247	281
0:05	233	182	112	134
0:10	175	131	92,6	112
0:25	148	106	73,2	98,1
0:45	100	17,2	51,4	77,1
103:46:00	4,78	3,9	3,61	3,88

Tab. 5-64 Vzorky, které prošly zmrazovacími cykly (+30 °C a -30 °C) ze dne 13.12.2011

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	1.A cykly	1.B cykly	1.C cykly
0:00:00	569	265	170
0:05:00	419	198	101
0:10:00	306	160	108
0:25:00	184	136	93,3
0:45:00	151	119	76,6
1:45:00	93,1	90,1	56,6
22:34:00	50	33,8	25,5



Graf. 55 Porovnání dvou různých sad vzorků po 1 dni v mrazícím zařízení

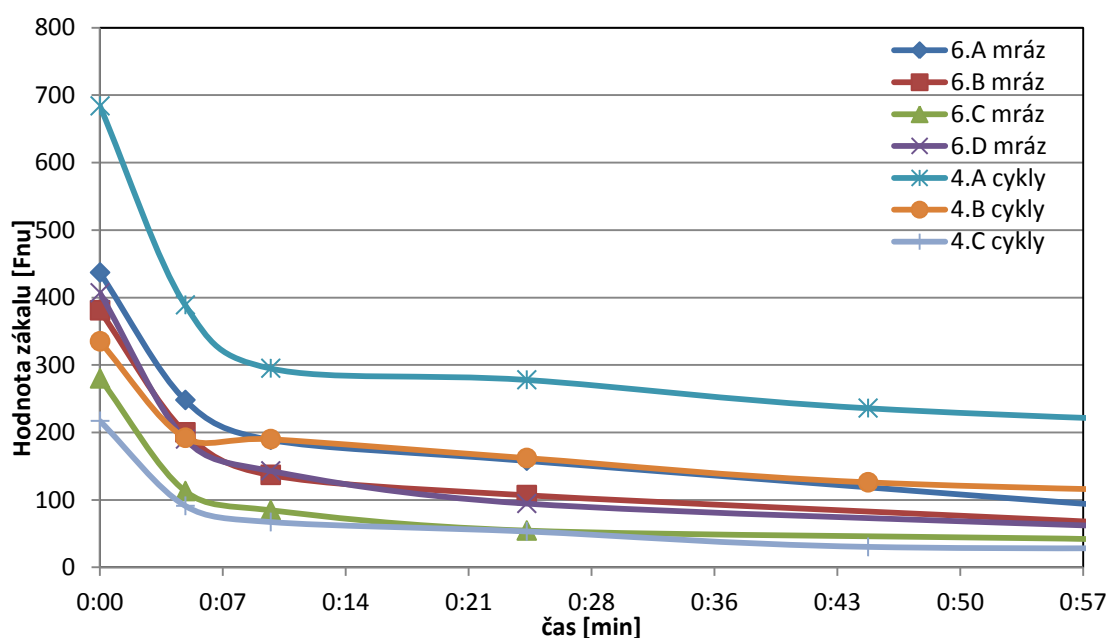
Cykly se v tomto porovnání ve srovnání s mrazem projeví jako neúčinné. Nejlépe vyšly všechny vzorky, které byly jen zmrazovány a vzorky, které prošly cykly, se umístily jako poslední. Jednodenní cykly pravděpodobně nebudou mít na mineralizaci kalu žádný vliv.

Tab. 5-65 Vzorek, který byl vystaven jen mrazu (-30 °C) ze dne 25.10.2011 (kap. 5.4.2)

Turbidita [FNU]				
Čas [min]	6.A mráz	6.B mráz	6.C mráz	6.D mráz
0:00	437	381	280	407
0:05	248	200	113	190
0:10	189	137	84,7	143
0:25	158	107	54,5	94,5
1:00	90	65,3	41	60,3
1:15	65,3	41,9	26,1	50,1
20:35	23,1	21,2	16,4	22

Tab. 5-66 Vzorky, které prošly zmrazovacími cykly (+30 °C a -30 °C) ze dne 16.12.2011

Turbidita [FNU]			
Čas [min]	4.A cykly	4.B cykly	4.C cykly
0:00:00	684	335	217
0:05:00	389	192	91,1
0:10:00	295	190	67,1
0:25:00	278	162	53,1
0:45:00	236	126	30,2
1:17:00	204	105	28,7



Graf. 56 Porovnání dvou různých sad vzorků po 4 a 6 dnech v mrazícím zařízení

Z výše uvedeného grafu je patrné, že lepší sedimentace se docílí v případě, kdy je kal naředěn v poměru 1:1 než v případě odvodnění kalu.

5.8 Stanovení množství kolmatantu – čerstvý materiál

Dne 9.12.2011 jsme provedli pokus s odebraným kolmatantem (ze dne 2.12.2012), kde jsme postupovali dle metodiky popsané v kap 4.3.1 . Přehled výsledků je uveden v

Tab. 5-67, Tab. 5-68 a Tab. 5-69.

Tab. 5-67 Stanovení hmotnosti štěrku

označení vzorku	hmotnost misky [g]	miska + filtrát [g]	Hmotnost vzorku-směsi [g]	hmotnost vypraného štěrku po vysušení [g]	hmotnost vypraného štěrku po žhání [g]
1a	604,48	1605,86	1001,38	936,62	934,03
1b	484,94	1483,93	998,99	933,11	924,12
2a	486,62	1485,76	999,14	874,73	860,26
2b	480,78	1480,63	999,85	946,62	936,25
3a	405,13	1404,04	998,91	921,52	916,03
3b	493,13	1402,34	909,21	830,84	815,08
4a	540,05	1540,23	1000,18	769,89	759,37
4b	752,65	1753,47	1000,82	779,35	772,38
5a	286,01	1287,29	1001,28	930,2	843,61
5b	338,37	1339,93	1001,56	870,34	850,75

Tab. 5-68 Stanovení hmotnosti kalu

označení vzorku	hmotnost misky [g]	Miska + kal + voda [g]	kal+voda [g]	Hmotnost miska + kal po vysušení [g]	Hmotnost kalu po vysušení [g]
1a	405,01	746,69	341,68	409,65	4,64
1b	493,15	836,21	343,06	498,18	5,03
2a	535,72	898,63	362,91	545,45	9,73
2b	486,58	821,57	334,99	496,55	9,97
3a	572,67	989,37	416,7	614,05	41,38
3b	338,4	646,26	307,86	347,93	9,53
4a	486,58	1034,28	547,7	519,31	32,73
4b	327,77	849,58	521,81	355,64	27,87
5a	338,4	694,26	355,86	359,89	21,49
5b	572,67	940,4	367,73	623,24	50,57

Procentuelní vyjádření obsahu kalu:

$$m_{nl} = \left(\frac{m_3}{m_1} \right) * 100$$

m_{nl} ... hmotnost minerálního materiálu [%]

m_1 ... hmotnost vzorku směsi [g]

m_3 ... hmotnost kalu po vysušení [g]

Procentuelní vyjádření obsahu vody:

$$m_v = \left(\frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1} \right) * 100$$

m_v ... hmotnost vody v původním vzorku [%]

m_1 ... hmotnost vzorku směsi [g]

m_2 ... hmotnost vypraného štěrku po vysušení [g]

m_3 ... hmotnost kalu po vysušení [g]

Procentuelní vyjádření obsahu kameniva:

$$m_{nl} = \left(\frac{m_4}{m_1} \right) * 100$$

m_{nl} ... hmotnost minerálního materiálu [%]

m_1 ... hmotnost vzorku směsi [g]

m_4 ... hmotnost vypraného štěrku po žíhání [g]

Procentuelní vyjádření obsahu kořenů:

$$m_k = \left(\frac{m_2 - m_4}{m_1} \right) * 100$$

m_k ... hmotnost směsi kořenů mokřadních rostlin [%]

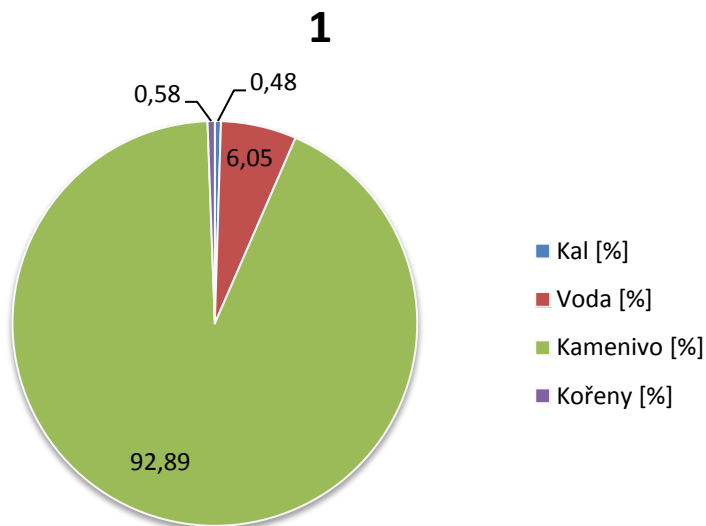
m_1 ... hmotnost vzorku směsi [g]

m_2 ... hmotnost vypraného štěrku po vysušení [g]

m_4 ... hmotnost vypraného štěrku po žíhání [g]

Tab. 5-69 Vyjádření jednotlivých procentuelních složek

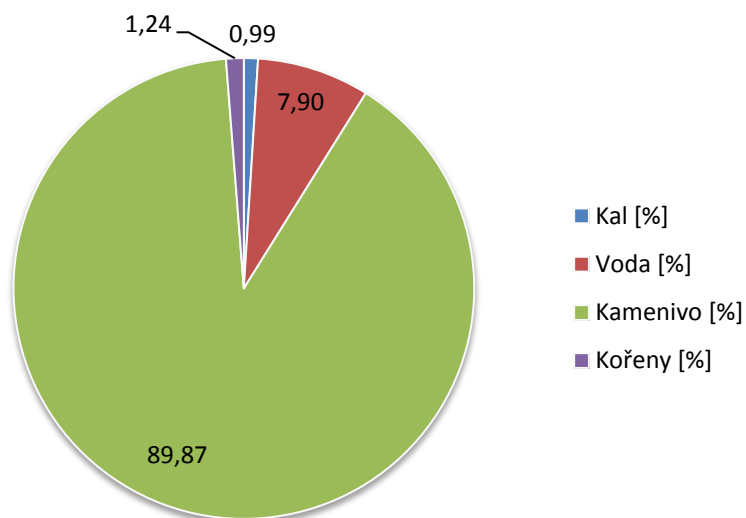
označení vzorku	Kal [%]	Voda [%]	Kamenivo [%]	Kořeny [%]
1a	0,5	6,0	93,3	0,3
1b	0,5	6,1	92,5	0,9
Průměr	0,48	6,05	92,89	0,58
2a	1,0	11,5	86,1	1,4
2b	1,0	4,3	93,6	1,0
Průměr	0,99	7,90	89,87	1,24
3a	4,1	3,6	91,7	0,5
3b	1,0	7,6	89,6	1,7
Průměr	2,60	5,59	90,68	1,14
4a	3,3	19,8	75,9	1,1
4b	2,8	19,3	77,2	0,7
Průměr	3,03	19,55	76,55	0,87
5a	2,1	5,0	84,3	8,6
5b	5,0	8,1	84,9	2,0
Průměr	3,60	6,50	84,60	5,30



Graf. 57 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 1

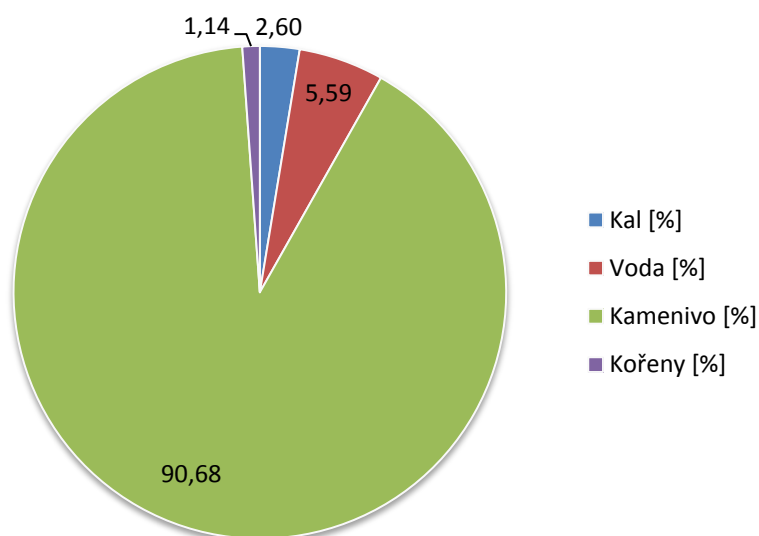
Kamenivo ve filtračním materiálu zabírá 92,89%, což je největší podíl, dále následuje podíl vody, který činí 6,05% tedy poměrně vysokou část a čistý kal pouze 0,48%. Kal ve filtračním materiálu je tedy zastoupen z malé části. Tento filtrační materiál pochází z hloubky 30 cm, kde rozsah kolmatace nebyl tak výrazný.

2

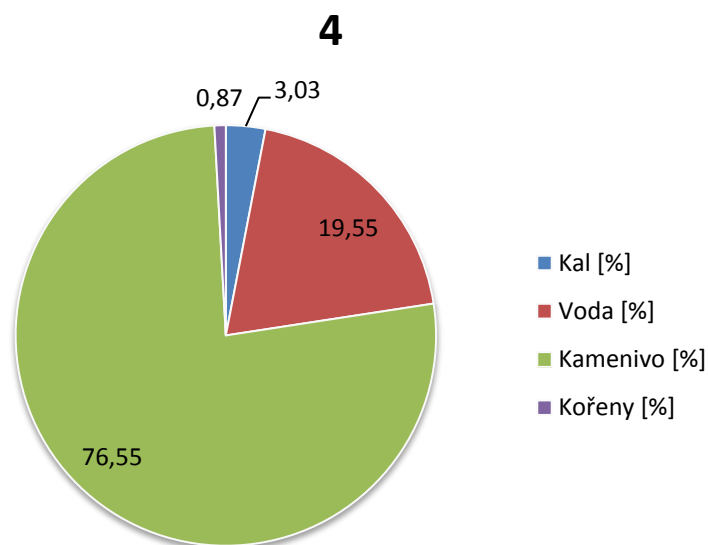


Graf. 58 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 2
Filtreační materiál pochází z hloubky 20 – 30 cm.

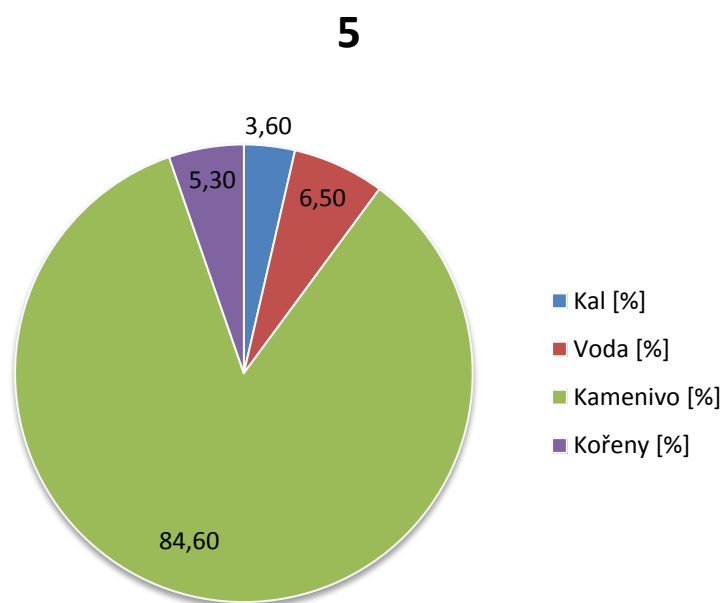
3



Graf. 59 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 3
Filtreační materiál pochází z hloubky 15 – 20 cm. Postupně se procentuelní zastoupení složky kalu zvyšuje.



Graf. 60 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 4
 Filtrační materiál pochází z hloubky 10 – 15 cm.



Graf. 61 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 5

Filtrační materiál z hloubky 0 - 10 cm. Procentuelní zastoupení kořenů v materiálu stoupl se zmenšující se hloubkou odebraného filtračního materiálu.

5.9 Stanovení množství kolmatantu – „měsíční“ vzorek

Materiál, který byl 2.12.2011 rozprostřen do vyrobených boxů, byl vystaven přírodním vlivům (vítr, sníh, přirozené odvodnění,..) především dešťovým srážkám. Abychom zjistili, zda díky tomuto působení došlo ke snížení množství kolmatantu v kamenivu, odebrali jsme po 31 dnech z každého boxu vrstvu vzorku o mocnosti 5 cm. Objem odebraného vzorku je 2 l. Tento materiál byl odebrán do jednotlivých vzorkovnic, které byly řádně označeny a zdokumentovány a následně dopraveny do laboratoře.

Dne 10.1.2012 bylo přikročeno ke stejným rozborům jako v kap. 0.

Tab. 5-70 Stanovení hmotnosti štěrku

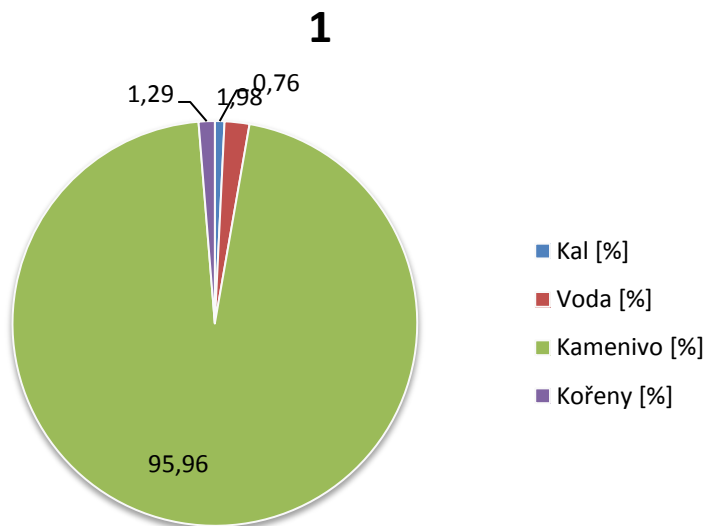
označení vzorku	Hmotnost vzorku-směsi [g]	hmotnost vypraného štěrku po vysušení [g]	hmotnost vypraného štěrku po žihání [g]
1a	1000,00	970,68	957,78
1b	1000,45	974,8	961,92
2a	1000,39	938,3	925,9
2b	1000,64	955,89	946,82
3a	1000,08	938,99	926,84
3b	1000,31	927,57	914,3
4a	1000,61	908,32	898,35
4b	1000,25	914,01	901,85
5a	1000,62	943,93	932,32
5b	1000,35	947,9	935,16

Tab. 5-71 Stanovení hmotnosti kalu

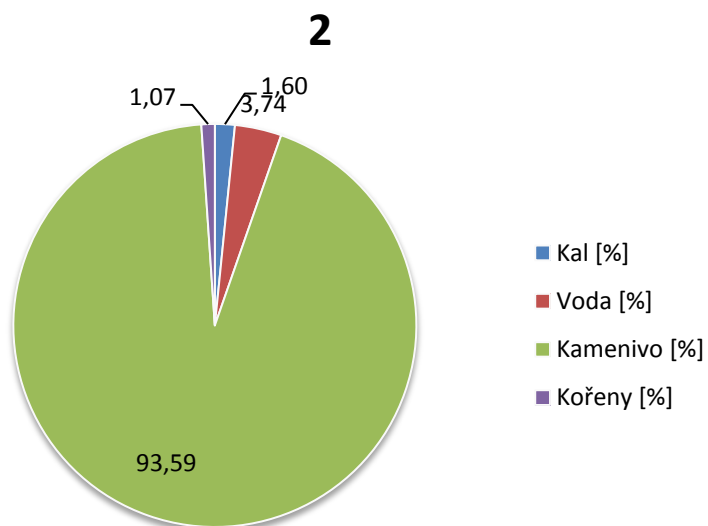
označení vzorku	hmotnost misky [g]	Miska + kal + voda [g]	kal+voda [g]	Hmotnost miska + kal po vysušení [g]	Hmotnost kalu po vysušení [g]
1a	480,83	786,61	305,78	488,88	8,05
1b	751,15	1049,68	298,53	758,4	7,25
2a	486,63	803,98	317,35	505,25	18,62
2b	604,08	860,61	256,53	617,44	13,36
3a	405,11	749,95	344,84	422,86	17,75
3b	783,05	1072,38	289,33	804,53	21,48
4a	493,08	898,15	405,07	528,68	35,6
4b	508,61	862,55	353,94	540,56	31,95
5a	540,34	842,95	302,61	558,93	18,59
5b	764,95	1013,68	248,73	784,61	19,66

Tab. 5-72 Procentuelní vyjádření jednotlivých složek

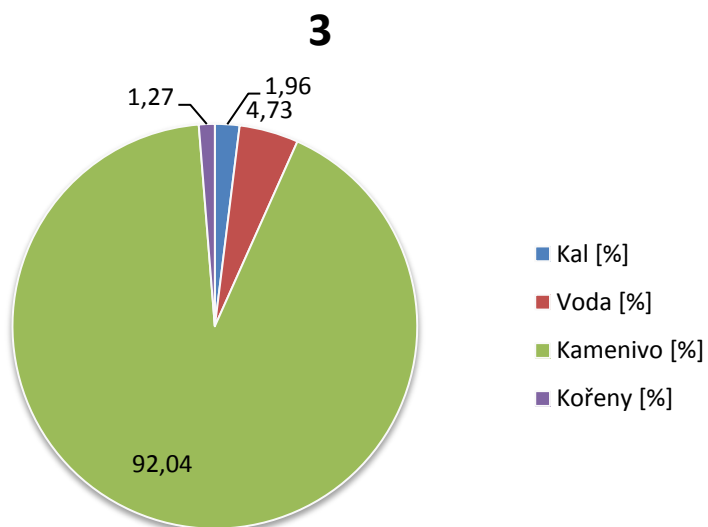
označení vzorku	Kal [%]	Voda [%]	Kamenivo [%]	Kořeny [%]
1a	0,8	2,1	95,8	1,3
1b	0,7	1,8	96,1	1,3
Průměr	0,76	1,98	95,96	1,29
2a	1,9	4,3	92,6	1,2
2b	1,3	3,1	94,6	0,9
Průměr	1,60	3,74	93,59	1,07
3a	1,8	4,3	92,7	1,2
3b	2,1	5,1	91,4	1,3
Průměr	1,96	4,73	92,04	1,27
4a	3,6	5,7	89,8	1,0
4b	3,2	5,4	90,2	1,2
Průměr	3,38	5,55	89,97	1,11
5a	1,9	3,8	93,2	1,2
5b	2,0	3,3	93,5	1,3
Průměr	1,91	3,54	93,33	1,22



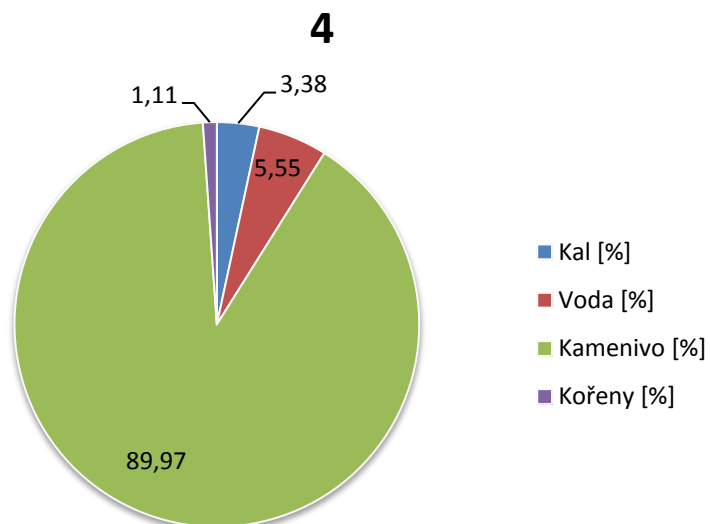
Obr. 5-3 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 1



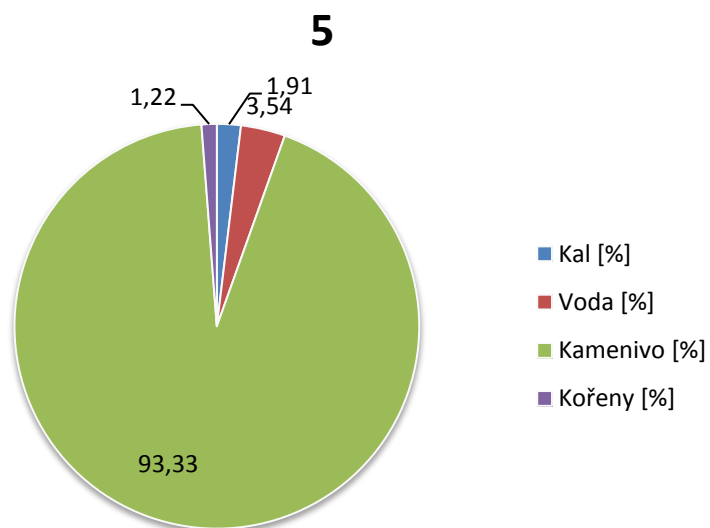
Obr. 5-4 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 2



Obr. 5-5 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 3



Obr. 5-6 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 4



Obr. 5-7 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 5

5.10 Porovnání množství kolmatantů odebraných 2.12.2011 a 6.1.2012

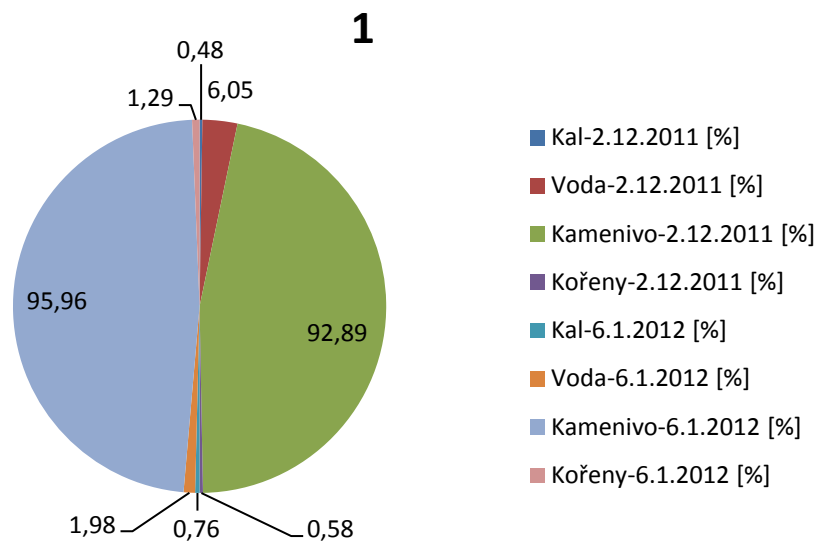
Abychom zjistili, jaký vliv měly přírodní podmínky na odkalení odtěženého materiálu, provedli jsme porovnávací pokusy.

Pokusy byly provedeny v datech: *první pokus* – 9.12.2011 (kal odebraný 2.12.2011)

druhý pokus - 10.1.2012 (kal odebraný 6.1.2012)

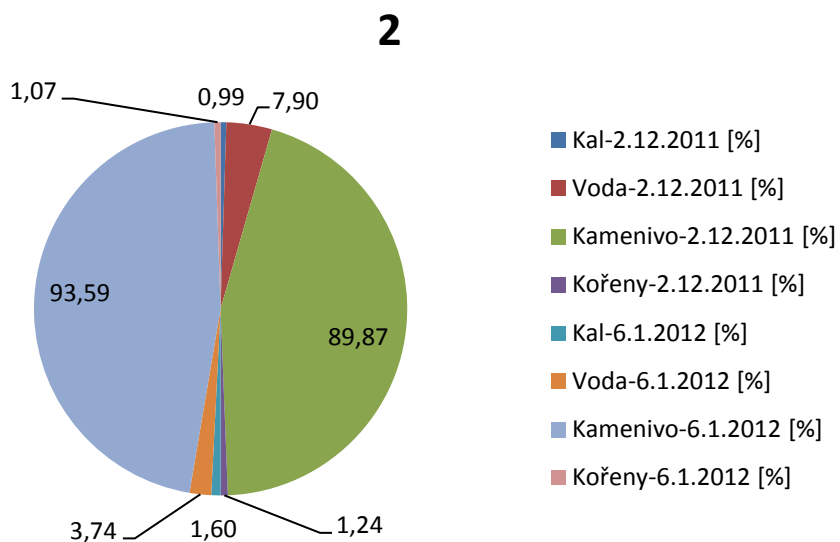
Tab. 5-73 Porovnání procentuelních vyjádření jednotlivých složek vzorků, které byly odebrány 2.12.2011 a 6.1.2012

označení vzorku	Kal-2.12.2011 [%]	Voda-2.12.2011 [%]	Kamenivo-2.12.2011 [%]	Kořeny-2.12.2011 [%]	označení vzorku	Kal-6.1.2012 [%]	Voda-6.1.2012 [%]	Kamenivo-6.1.2012 [%]	Kořeny-6.1.2012 [%]
1a	0,5	6,0	93,3	0,3	1a	0,8	2,1	95,8	1,3
1b	0,5	6,1	92,5	0,9	1b	0,7	1,8	96,1	1,3
Průměr	0,48	6,05	92,89	0,58	Průměr	0,76	1,98	95,96	1,29
2a	1,0	11,5	86,1	1,4	2a	1,9	4,3	92,6	1,2
2b	1,0	4,3	93,6	1,0	2b	1,3	3,1	94,6	0,9
Průměr	0,99	7,90	89,87	1,24	Průměr	1,60	3,74	93,59	1,07
3a	4,1	3,6	91,7	0,5	3a	1,8	4,3	92,7	1,2
3b	1,0	7,6	89,6	1,7	3b	2,1	5,1	91,4	1,3
Průměr	2,60	5,59	90,68	1,14	Průměr	1,96	4,73	92,04	1,27
4a	3,3	19,8	75,9	1,1	4a	3,6	5,7	89,8	1,0
4b	2,8	19,3	77,2	0,7	4b	3,2	5,4	90,2	1,2
Průměr	3,03	19,55	76,55	0,87	Průměr	3,38	5,55	89,97	1,11
5a	2,1	5,0	84,3	8,6	5a	1,9	3,8	93,2	1,2
5b	5,0	8,1	84,9	2,0	5b	2,0	3,3	93,5	1,3
Průměr	3,60	6,50	84,60	5,30	Průměr	1,91	3,54	93,33	1,22



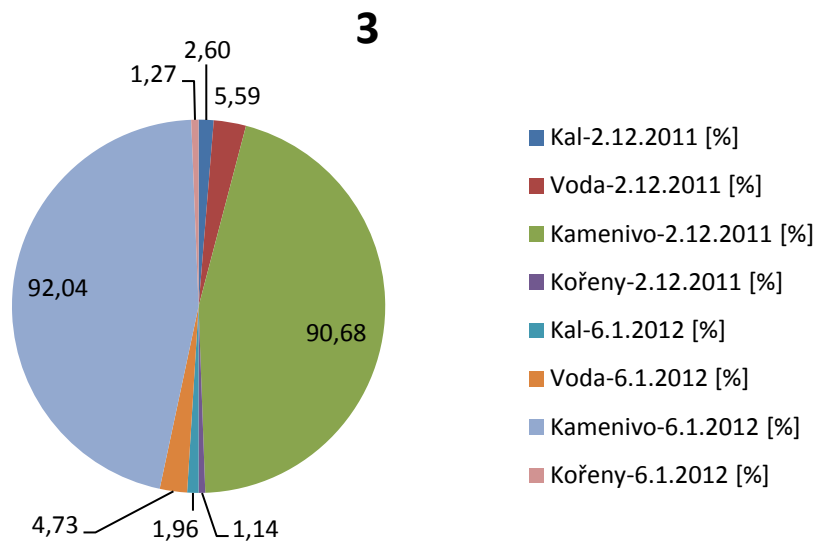
Obr. 5-8 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 1

Po 31 dnech přirozeného odvodnění materiálu se složka vody snížila z hodnoty 6,05% na 1,98%. Přítomnost vody tedy klesla o 67,27%.



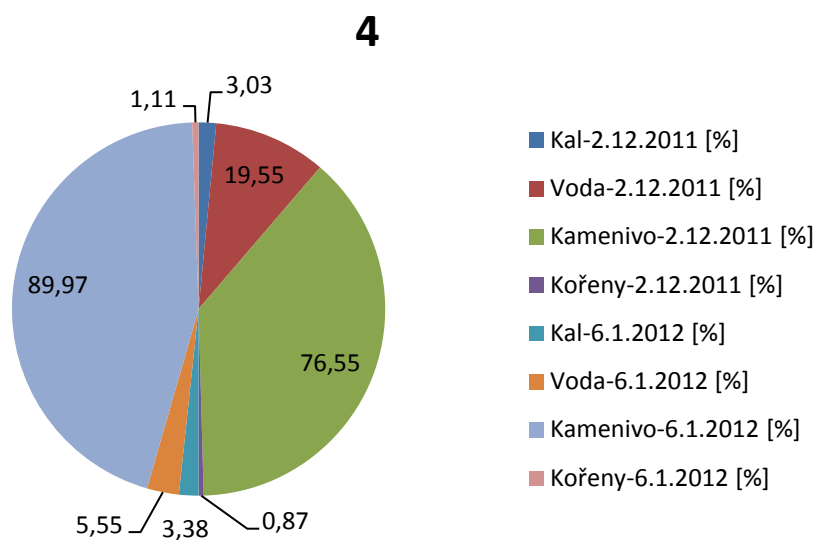
Obr. 5-9 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 2

U vzorku z boxu č.2 se filtrační materiál samovolně odvodnil o 52,66%, což by mohlo mít vliv na mineralizaci kalu.



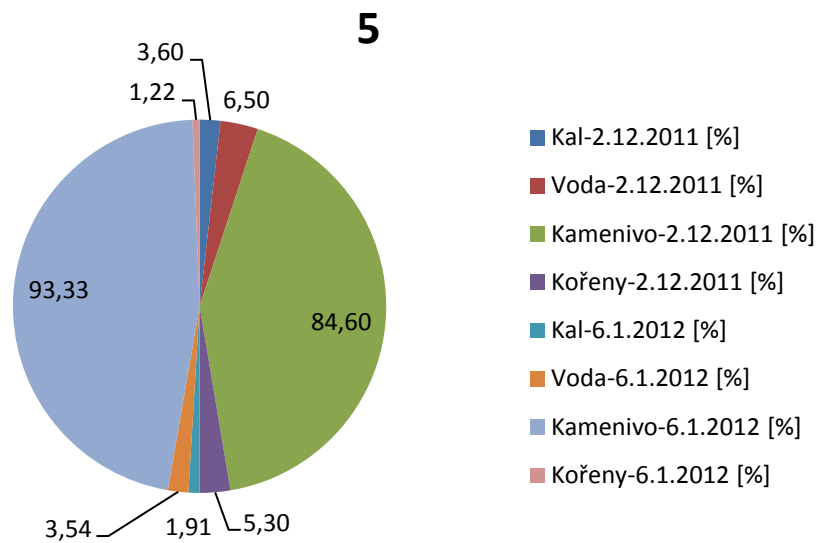
Obr. 5-10 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 3

Hodnota kalu se ve druhé odběru snížila přibližně o 24,61% oproti prvnímu odběru.



Obr. 5-11 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 4

Největší rozdíl pozorujeme opět u složky vody. Druhý odběr oproti prvnímu ukazuje, že hodnota vody se snížila o 71,61%.



Obr. 5-12 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 5

V boxu č. 5 došlo k úbytku vody o 45,54% a kal o 46,94% a kořeny o 76,98%.

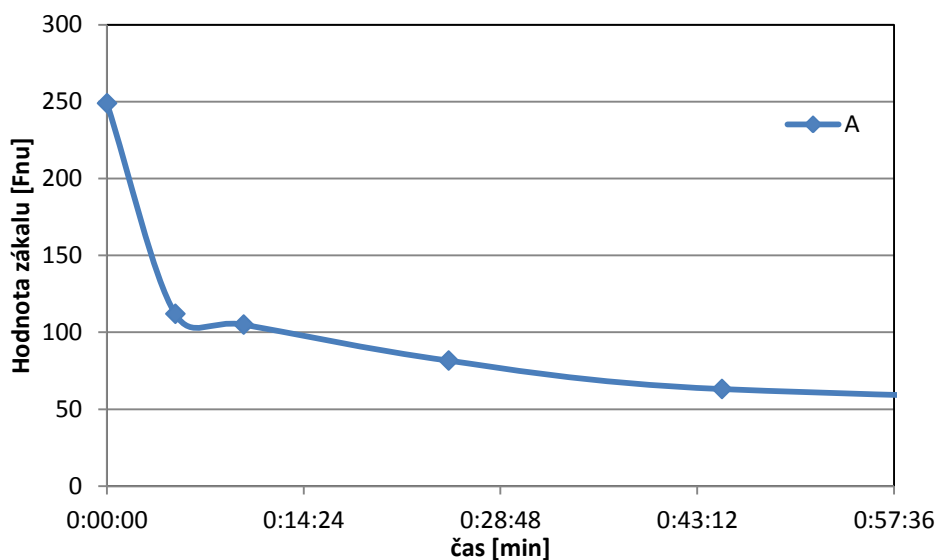
Z tohoto jednoho porovnání dvou různých období nelze vycházet při posuzování vyplavení kalu v závislosti na délce působení přírodních podmínek. Aby byly výsledky vypovídající, bude třeba delší časový horizont pozorování a ověření tohoto pokusu, který proběhne na jaře 2012.

5.11 Stanovení hodnoty zákalu u vzorku odebraného 6.1.2012

U vzorku odebraného 6.1.2012 jsme zjišťovali hodnotu zákalu, abychom zjistili, zda působení přírodních podmínek má vliv na mineralizaci kolmatantu.

Tab. 5-74 Hodnota zákalu

Turbidita [FNU]	
Čas [min]	A
0:00:00	249
0:05:00	112
0:10:00	105
0:25:00	81,6
0:45:00	63,1
2:05:00	44,7



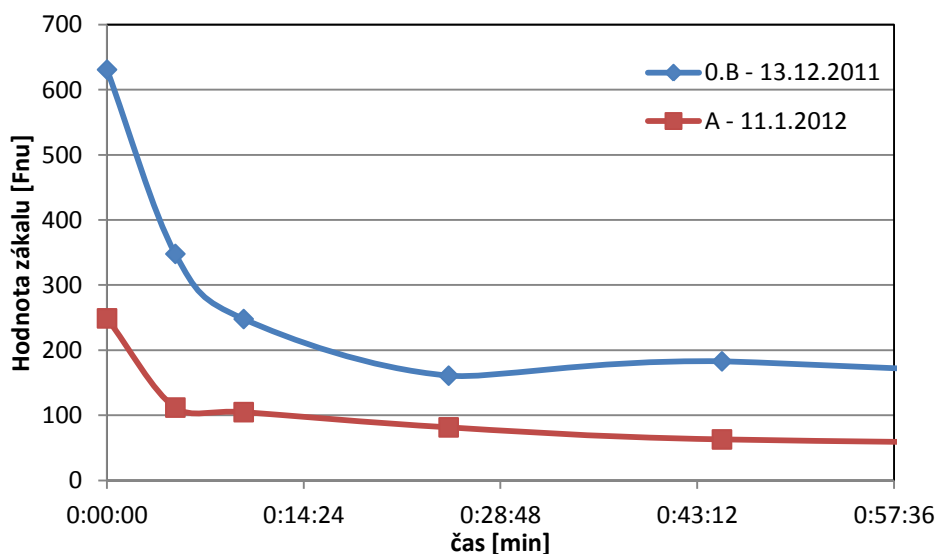
Obr. 5-13 Průběh klesání zákalu

5.12 Porovnání hodnot zákalu u vzorků ze dne 2.12.2011 a 6.1.2012

Porovnali jsme rychlost sedimentace u vzorku, který jsme získali aplikací filtračního materiálu z kořenového pole do 5 boxů a hodnotu zákalu u vzorku, který byl odebrán po 31 dnech v tomto boxu. Tento pokus měl ukázat, jaký vliv a efekt má ponechání vzorku v přírodních podmínkách na rychlost sedimentace.

Tab. 5-75 Porovnání zákalu u vzorku právě odtěženého materiálu (2.12.2011) a materiálu odebraného po 31 dnech (6.1.2012)

Turbidita [FNU]		Turbidita [FNU]	
Čas [min]	0.B - 13.12.2011	Čas [min]	A - 11.1.2012
0:00:00	631	0:00:00	249
0:05:00	348	0:05:00	112
0:10:00	248	0:10:00	105
0:25:00	161	0:25:00	81,6
0:45:00	183	0:45:00	63,1
2:15:00	132	2:05:00	44,7
23:53:00	41,7	22:10:00	11,9



Obr. 5-14 Porovnání rychlosti sedání hodnoty zákalu

Hodnota zákalu u vzorku, který jsme odebrali 11.1.2012 ukazuje, že rozdíl oproti původnímu odběru se pohybuje v rozmezí 120 FNU po 45 minutách měření zákalu. Abychom však mohli prokázat, že vystavení přírodním podmínkám má opravdu vliv na mineralizaci kalu, bude potřeba provést těchto pokusů více. Tyto pokusy budou prováděny v průběhu roku 2012.

6 Provozní měření - KČOV Dražovice

Pro účely pozorování mineralizace a vyvločkování v provozních podmínkách bylo vytěženo celkem 2,4 m³ zakolmatovaného filtračního materiálu z různých hloubek filtračního pole (tzn. různé stádia kolmatace). Následně byl materiál rozprostřen na jednotlivé pokusné plochy, umístěné v areálu KČOV Dražovice (pokusných ploch je celkem 9).

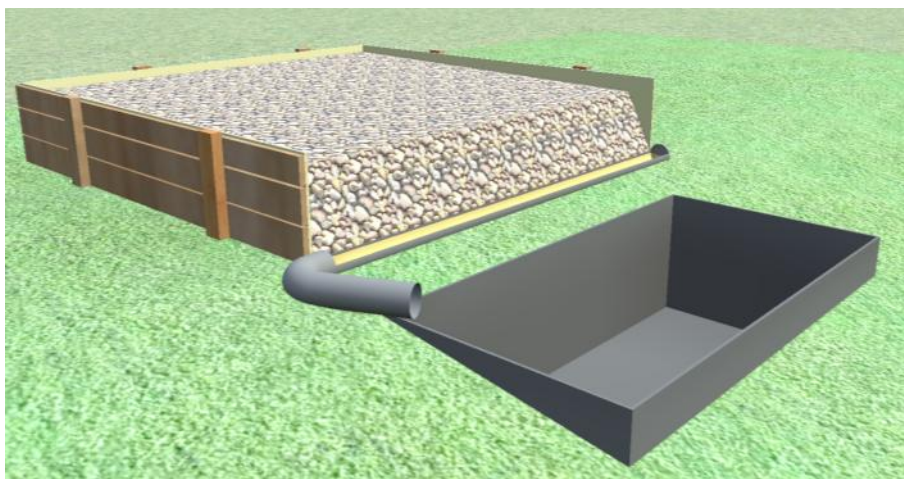
Veškerý objem filtračního materiálu ve výše popsaném množství byl vytěžen z nejméně zakolmatované části filtračního pole. Z důvodu snadnější dostupnosti strojní techniky byl vytěžen materiál z prvního filtračního pole, které je navíc nejméně zasaženo kolmatačními procesy. Vytěžen byl materiál o půdorysné ploše přibližně 3 x 3 m, v hloubce maximálně 30 cm. Obratem byl tento vytěžený prostor vyplněn novou filtrační náplní. Plochu určenou k vytěžení jsme lokalizovali v blízkosti rozdělovacího potrubí v nejvzdálenějším rohu od rozdělovací šachty, vzdálenost od okraje v obou směrech přibližně 2,0 m.

Před rozprostřením materiálu jsme stanovili množství kalu ve filtračním materiálu (nerozpuštěné látky, resp. koncentrace sušiny) a také bylo stanoveno množství organických látek (kořenů) ztrátou žiháním ve vypraném vzorku. Stejně rozborů jsou provedeny i v průběhu zimního období.

V průběhu zimního období jsme kontinuálně zaznamenávali teplotu a srážky prostřednictvím profesionální meteorologické stanice. Během měření bylo zaznamenáváno množství zachycené prosakující dešťové vody, ve které jsme stanovili nerozpuštěné látky.

Zakolmatovaný filtrační materiál jsme rozprostřeli na celkem 9 ploch, z nichž každá má půdorysnou plochu 1,0 x 1,0 m. Každá plocha je specifická sklonem dna (vyspádování pomocí nasypání a urovnání podkladního písku) a výškou vrstvy volně loženého filtračního materiálu (o výšce 17 – 25 – 50 cm). Prostor všech ploch je tvořen na dně a třech bočních stranách PP stěnou o tloušťce 5,0 mm. Čelní stěna je otevřená, volně přechází v odtokové potrubí, které je vyústěno v připravené 90 l plastovou nádobu. Dešťová voda, která během zimního období dopadá na povrch rozprostřených filtračních náplní, odtéká tedy samospádem do připravených odběrných nádob.

Následný odběr akumulované vody byl podroben fyzikálnímu rozboru – stanovení nerozpuštěných látek. Vyhodnocení určí, jaká výška filtrační náplně a zároveň jaký sklon dna je pro účely regenerace filtračního materiálu přirozenou cestou (prostřednictvím klimatických podmínek) nejvhodnější.



Obr. 6-1 Schematické znázornění připravené plochy o výšce 17 cm



Obr. 6-2 Pohled na plochy po aplikaci zakolmatovaného filtračního materiálu

6.1 Postup měření

Po výstavbě pokusných ploch je na jednotlivé plochy aplikováno množství zakolmatovaného filtračního materiálu, určen je objem tohoto materiálu. Z každé plochy jsou odebrány vzorky (směs štěrku, filtračního materiálu a kořenového systému mokřadních rostlin), stanoven je hmotnostní podíl jednotlivých částí (postupem, popsáním v kapitole 4). Během zimního období je zaznamenávána teplota a srážky. Pravidelně po jednom měsíci je odebírán vzorek materiálu ze svrchní vrstvy, u něhož je provedeno stanovení koncentrace nerozpuštěných látek. Zároveň je po celou dobu měření prováděn odběr prosakující dešťové vody, u níž je taktéž měřena koncentrace nerozpuštěných látek (popřípadě množství vyplavené sušiny).

Výsledky budou vyhodnoceny na jaře roku 2012.

6.1.1 Tablety

První směs bakterií a enzymů tvořily tablety Proseptik, které dle výrobce (<http://obchod.santim.cz/proseptik-bio-tablety-6x20g/d-70243/>) velmi účinně rozkládají nečistoty organického původu. Pevný podíl organického odpadu v septicích a potrubí je podle dostupných informací pomocí enzymů zkapalňován a v této formě dále slouží jako potrava pro bakterie obsažené v přípravku. Tyto bakterie se při dostatku potravy a optimálních podmínkách dále samy rozmnožují a produkují další enzymy.

Bio tablety Proseptik se v praxi aplikují zejména na:

- odstraňují zápach z kanalizace a potrubí
- účinně rozkládá fekálie, organický odpad, papír, škroby a tuky
- snižuje náklady na vyvážení a čištění žump a septiků a na jejich údržbu
- velmi pohodlné dávkování
- příjemná vůně
- pro menší septiky možno tabletu pohodlně rozpůlit
- šetrný k životnímu prostředí, neobsahuje louhy ani jiné žíraviny

Doporučené dávkování podle výrobce je 1 tableta (m = 20 g) na 10 m³ vody v septiku, s opakováním přibližně 1 krát za měsíc. Obsah balení 6 tablet tedy vystačí na 6 měsíců pro septik o objemu 10 m³

Výrobce uvádí návod na použití aplikací tablety 1 krát za měsíc do záchodové mísy na každých 10 m³ objemu septiku. Po rozpuštění tablety záchodové míse je potřeba provést spláchnutí.

První směs bakterií a enzymů tvořily tablety Proseptik, které dle výrobce (<http://obchod.santim.cz/proseptik-bio-tablety-6x20g/d-70243/>) velmi účinně rozkládají nečistoty organického původu. Pevný podíl organického odpadu v septicích a potrubí je podle dostupných informací pomocí enzymů zkapalňován a v této formě dále slouží jako potrava pro bakterie obsažené v přípravku. Tyto bakterie se při dostatku potravy a optimálních podmínkách dále samy rozmnožují a produkují další enzymy.

Doporučené dávkování podle výrobce je 1 tableta (m = 20 g) na 10 m³ vody v septiku, s opakováním přibližně 1 krát za měsíc. Obsah balení 6 tablet tedy vystačí na 6 měsíců pro septik o objemu 10 m³

Výrobce uvádí návod na použití aplikací tablety 1 krát za měsíc do záchodové mísy na každých 10 m³ objemu septiku. Po rozpuštění tablety záchodové míse je potřeba provést spláchnutí.

6.1.2 Žumpur

Druhá směs enzymů byla vytvořena pomocí přípravku Žumpur (<http://obchod.santim.cz/zumpur-1000g/d-69580/>), kde se jednou za 2 týdny vloží tablety do záchodové mísy, kde necháme tablety rozpustit a poté spláchneme. V případě suchých záchodů výrobce doporučuje rozpustit tabletu v 5 litrech vody a následně vylít tento roztok do záchodu.

Žumpur je enzymobakteriální přípravek do septiku a odpadních nádrží. Jedná se o směs enzymů a bakterií, které jsou určeny pro zkapalnění a degradaci organické hmoty. Slouží k bezproblémovému chodu žump, septiku a odpadních systému.

Tento přípravek odstraňuje :

zdroj zápachu

snižuje četnost vyčerpávání

manuálního čištění

usnadňuje údržbu.

vyčerpanou kapalinu lze použít ke kompostování.

Výrobce doporučuje rozpustit tuto směs v 10 l teplé vody (max. 35 °C), tuto směs nalijeme přímo do nádrže nebo septiku. V případě plných nádrží (lapolů) tuku je doporučeno před přidáním první dávky vyčerpání. Pro septiky se používá 20 – 20 g Žumpuru na 1000 l kapacity septiku.

6.1.3 Bioseptik

Jako třetí směs jsme použili Bioseptik (<http://obchod.santim.cz/bioseptik-bakterie-do-septiku-1kg/d-70611/>), což je směs nezávadných, nepatogenních užitečných bakterií a enzymů, které ekologicky rozkládají organické látky v septicích či žumpách. Odstraňuje nepříjemný zápach, vytváří a udržuje přírodní proces rozkladu. Po pravidelném používání se v septiku či žumpě neusazuje tuhý odpad a obsah jímky nezapáchá. Dle doporučeného dávkování by se měl obsah sáčku rozpustit ve 2 l vlažné vody (cca 30-40°C) a po 20-ti minutách se směs aplikuje přes WC nebo přímo do žumpy či septiku. Jedno balení je používáno na septik o objemu 80 m³.

Směs je používána pro její výhody jako:

- odstraňování nepříjemného zápachu
- úspora nákladů na vyvážení a čištění jímky
- šetrnost k životnímu prostředí

6.1.4 Gel – Trepsan forte

Jako poslední, jsme zvolili gel Trepsan forte (<http://obchod.santim.cz/trepsan-forte-1l/d-69534/>), což je silný koncentrát směsi vybraných druhů enzymů se zvýšenou štěpící aktivitou organických látek jako jsou tuky, bílkoviny, fekálie, celulóza, sacharidy apod. Vyrábí se speciálním technologickým postupem. Výsledkem je kapalina obsahující směs proteolytických, amylolytických, celulólytických a lipolytických enzymů, která dokonale vyhovuje uvedeným účelům. Výrobek není toxický, je biologicky odbouratelný a šetří životní prostředí.

Přípravek TREPSAN se dle výrobce aplikuje z důvodu:

- výrazného snižování zápachu odpadních vod i celých systémů
- zlepšuje kalové hospodářství
- podporuje separaci kalu
- rozpouští a uvolňuje tukové a další nánosy v odpadních systémech a brání tvorbě úsad, což představuje podstatné omezení havarijních situací i mechanického čištění systémů
- několikanásobně prodlužuje dobu vývozu jímky, žumpy či septiku

Výrobce doporučuje dávkování (1:100 až 1:300 m³) nejlépe na vstupu do odpadního systému (vpust' apod.). Trepsan Forte se ihned naváže na usazené nečistoty. Protékající voda proto výrazněji nesnižuje jeho účinnost. Postupně dochází k uvolnění usazenin už v kanalizaci a zároveň k promíchání obsahu na přítoku.

7 Vyhodnocení naměřených výsledků

Zaměření výzkumu se soustředilo na několik vybraných témat, popisujících podmínky, k jejichž pochopení je nutné přihlédnout v procesu regenerace filtračního materiálu. Se zakolmatovaným filtračním materiálem, který se v poslední době stává problémem kořenových čistíren a zemních filtrů, je potřeba nakládat také s přihlédnutím ekonomické stránky. Jako nejefektivnější varianta je bezesporu těžba filtračního materiálu a jeho následné rozprostření do tenké vrstvy. Výzkum se zaměřil na pozorování procesu mineralizace během mrazových teplot nejen v laboratorním měřítku, ale také v rámci provozního měření – vystaveno bylo několik pokusných ploch, na kterých bude probíhat měření během zimního období roku 2011/2012.

Druhý způsob popsáný v kapitole 3.4.4, je možnost snížení množství kolmatujícího materiálu prostřednictvím aplikace směsí enzymů a bakteriálních kultur běžně dostupných přípravků, které se používají pro redukcí množství kalu v žumpách a septicích. Výzkum probíhal v laboratorním měřítku aplikací vybraných přípravků na povrch vyplaveného kalu z usazovací nádrže. Tento způsob teoretického snížení množství kolmatantu se však neprojevil jako účinný u žádného ze 4 zvolených druhů použitých enzymů (gel-Trepan forte, Žumpur, Tablety, Bioseptik). Nadávkování desetinásobku doporučené dávky výrobcem se projevilo jako neúčinné, stejně tak nadávkování stonásobku doporučené dávky. Nedošlo k redukcí tuhého materiálu či ztráty zápachu.

Při těžbě materiálu pomocí strojní techniky se ukázalo, že nejvíce zasaženou kolmací je svrchní vrstva filtračního materiálu o mocnosti 10 – 15 cm. Takto vysoká vrstva byla v nejvíce zasažené lokalitě (nejblíže u rozdělovacího potrubí), kdy se nad samotným filtračním materiálem nacházelo přibližně 25 – 30 cm vyplaveného primárního kalu (kap. 5.1). Uvedená mělká vrstva zakolmatovaného filtračního materiálu obsahuje také výrazné příměsi kořenů mokřadních rostlin, ať už se jedná o rákos obecný (kořenící až do hloubky 1,0 m), chrastici rákosovitou nebo orobinec úzkolistý a širokolistý (kořenící mělce do hloubky 0,3 m). Měření ukazuje, že právě nejvyšší vrstva 10 – 15 cm je nejproblematičtější a na ekonomiku regenerace zakolmatovaného filtračního materiálu bude mít nejvýraznější vliv.

Ze získaných provozního pozorování, týkajícího se těžby zakolmatovaného filtračního materiálu, je na zvážení provozovatele (investora), jakým způsobem se vypořádat se zjištěným stavem. Naskýtá se několik možností:

- a) Odebrat vyplavený kal z povrchu filtrační náplně – u malých KČOV nebo větších KČOV s malým plošným rozsahem usazeného kalu je možné provádět odstranění ručně (za pomoci rýče, lopaty, odběrné nádoby, ochranných pomůcek, aj.). Větší KČOV resp. větší rozsah

kolmatujícího kalu je vhodné odebírat strojní technikou (bagr), u níž se ale musí zajistit, že nevjede přímo na povrch filtračního pole (mohlo by dojít k poškození izolační fólie). V obou případech se doporučuje provádět odběr na konci vegetačního období mokřadních rostlin, tzn. v podmínkách mírného klimatu České republiky polovina října. Při využití strojní techniky by se měl zajistit co možná největší odběr kalu z okraje filtračního pole, resp. bez najetí těžké techniky na filtrační pole. Na zbývající nedostupnou část je vhodné použít co možná nejmenší strojní techniku, navíc podloženou plošným krytím (dřevěné trámy aj.) tak, aby byl zajištěn rozklad zatížení strojní techniky a nedošlo k poškození izolační fólie pod strojem.

- b) Odebrat celý objem filtračního materiálu. V úvahu přichází odběr pouze okrajové části (většinou nejvíce zasažená oblast pod nátokovým potrubím, resp. dle změřené výšky vyplaveného kalu lze usuzovat plošný rozsah zakolmatovaného materiálu). S vytěženým materiálem lze nakládat buď dle níže popsaných způsobů, popřípadě jej po provedení rozborů (obsah těžkých kovů aj. látek, popsaný v kap. 3.2) kompostovat nebo přímo aplikovat jako hnojivo v zemědělství
- c) Regenerovat vyplavený jiným způsobem, např. přirozené mineralizace a vyplavení působením deště a jiných klimatických veličin, aj. metody).

8 Aplikace a závěr

Obecně největším problémem tížící všechny dříve navržené kořenové čistírny odpadních vod, je zakolmatování (ucpání) filtračních polí. Na povrchu filtračního pole se vlivem nevhodně navrženého odlehčení dešťové vody a nevhodně navrženého mechanického předčištění vytvoří nepropustná vrstva kalu, která znemožní prostup čištěné vody filtrátem, spotřebovává kyslík, zabraňuje prostupu kyslíku do filtračního prostředí. Odpadní voda vlivem nepropustného podloží neinfiltuje do filtračního materiálu a protéká pouze povrchově směrem k odtokové části. Tento fakt způsobuje snížení čistící účinnosti, neboť není využit veškerý prostor filtračního materiálu.

Během terénního průzkumu jsme vyvodili závěry:

1. kolmatace probíhá jen v části filtračního pole a to u letního potrubí (nárazovější průtoky než v zimním období). Projev kolmatace je intenzivnější právě v okolí rozdělovacího potrubí a s vzdáleností od něj se zmenšuje
2. pod vrstvou kolmatujícího materiálu (kolmatant, usazený primární kal z usazovací nádrže, vyplavené nerozpuštěné látky), jsou během provozování špatně navržené čistírny zasakovány pouze v nízkém rozsahu, a to do hloubky 10 – 15 cm (myšleno do prostoru minerálního filtračního materiálu)

Pokud se rozprostře zakolmatovaný materiál do tenké vrstvy, je možno přistoupit dvěma přístupy:

1. Vrstvu materiálu odvodnit prostřednictvím drenážního systému – čímž se zajistí intenzivnější přestup kyslíku do filtračního materiálu a následuje rychlejší požadovaná mineralizace. Pokud je následně tento materiál ponechán klimatickému působení, zejména dešťových srážek a infiltrující voda je sbírána, probíhá po mineralizaci k rychlejší sedimentaci
2. Vrstvu materiálu ponechat bez možnosti odvodnění – vyžaduje podstatně delší vystavení klimatickým podmínkám, mineralizace probíhá pozvolněji

Během laboratorního měření, kdy byl pozorován vliv vybraných směsí enzymů a bakterií, které se běžně používají pro redukci objemu kalu v žumpách a septicích, jsme došli k závěru, že přítomnost vyšší koncentrace enzymů (po dávkování testovacích směsí) nemá vliv na rychlost mineralizace, resp. sedimentace při následném uvolnění do vodního prostředí. Prokázala se pouze závislost na koncentraci sušiny – pakliže vystavíme hustější kal (vyšší koncentrace sušiny) přirozené mineralizaci, dochází k vyvločkování rychleji. Podrobné výsledky jsou uvedeny v kapitole 5.

Další část výzkumu, zaměřená na vliv mrazu ovlivňujícího rychlost mineralizace kalu, byla prováděna jak v laboratorním, tak v provozním prostředí KČOV Dražovice. V laboratorním měřítku nebylo

prokázáno, že by měla délka vystavení filtračního materiálu na mrazové prostředí vliv na mineralizaci. Výsledky dokazují, že při zmrazení směsi (voda + kal) při jakékoliv koncentraci sušiny, nedochází k ovlivnění rychlosti mineralizace. Výsledky nevykazují tendenční charakter.

Provozní šetření, zaměřené na pozorování schopnosti vyplavení kolmatantu z filtračního materiálu prostřednictvím dešťových srážek, budou k dispozici až během jarního období v roce 2012. Předběžný pokus s odebráním filtračního materiálu po 31 dnech jeho vytěžení, neukázal prokazující výsledky, z nichž by se dal vyvodit definitivní závěr (bližší informace viz kapitola 5.10). Jednotlivé pokusné plochy jsou připraveny na zimní období, materiál v nich je rovnoměrně rozprostřen, připraveny jsou nádoby na sběr infiltrující vody. Během jarního období roku 2012 bude směs vyměněna, zpracována a do pokusných ploch opět nadávkována nová směs tak, aby bylo možné i v provozních podmínkách ověřit, zda mráz má/nemá na mineralizace výrazný vliv.

9 Seznam použitých zdrojů

9.1 Použitá literatura

- [1] BINDZAR, J.: Základy úpravy a čištění vod [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2011-07-24]. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-729-3/>.
- [2] DOBŠÁKOVÁ, M., SPONAR, J. *Zákonné možnosti nakládání s kalem z čistíren odpadních vod*. In: Kaly a odpady 02', Brno: Asociace čistírenských expertů ČR, 2002, s. 267 – 270.,
- [3] DRÁBEK, B. *Kaly a odpady v životním prostředí*. Brno: ČSSI, 1975, 260 s.
- [4] HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J.; PRAX, Petr. Příručka stokování a čištění. 1. vydání. Brno : NOEL 2000 s.r.o., 2001. 251 s. ISBN 80-86020-30-4.
- [5] Horáková, M. a kolektiv.: *Analytika vody*. Vyd. 2., Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. 335 s., ISBN: 80-7080-520-X (brož.).
- [6] HYÁNKOVÁ, E.: *Vlastnosti filtračního prostředí pro přírodní způsoby čištění odpadních vod*. Disertační práce, Brno: ÚVHK FAST VUT, 2005, 86s. 6 příloh
- [7] IMHOFF, K., IMHOFF, K. R. *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. München > R. Oldebourg Verlag, 25.vydání, 1979, 408s.
- [8] LUCKNER, L., LÜTZNER, K., MÜLLER, V.: Teoretische Grundlagen zur Bemessung von Pflanzenkläranlagen, In: *Naturnahe und technische Klein- und Kleine Kläranlagen im Vergleich*, TU Dresden, 1998, s. 19-46
- [9] MICHALOVÁ, M. Čistírenské kaly v ČR. 11. *Sovak*, 2002/5, s. 5 – 7.
- [10] MICHALOVÁ, M. Kaly v ČR, přehledy a trendy. *Vodní hospodářství*, 2004/3, s. 74 – 75.
- [11] REŠETKA, D. *Stokování a čištění odpadních vod*. Praha: STNL, 1983, 160 s.
- [12] ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2006. 283 s. ISBN 80-86769-74-7.
- [13] Urcikán, P., Rusnák, D., & Slovenská technická univerzita (Bratislava, S. (2011). *Stokovanie a čistenie odpadových vôd* (2. vyd.). Bratislava: Nakladateľstvo STU.
- [14] VYMAZAL, J.: Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice, *Vodní hospodářství* 4/2009, ISSN 1211-0760, s. 113 – 118
- [15] VYMAZAL, J. a KRÖPFLOVÁ, L.: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. 2008, Springer, Dordrecht, Nizozemí, 576 s.
- [16] VYMAZAL, J.: *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. ENVI Třeboň: 1995, 146 s.
- [17] VYMAZAL, J.: *Funkce mokřadů*, in *Mokřady a voda v krajině*, Třeboň, 2008, s. 99 – 101.
- [18] VYMAZAL, J.: Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice, *Vodní hospodářství* 4/2009, ISSN 1211-0760, s. 113 – 118

- [19] VYMAZAL, J., GREENWAY, M., TONDERSKI, K., BRIX, H., MANDER, U.: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, *Wetlands and Natural Resource Management*, Berlin, 2006, ISBN 978-3-540-33187-2, 190s.
- [20] VYMAZAL, J. a KRÖPFELOVÁ, L.: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. 1998, Springer, Dordrecht, Nizozemí, 576 s.

9.2 Zdroje na internetu

- [1] Kořenové čistírny odpadních vod pro obce. In. Rybníkar: [online], 2005, [cit. 2011-08-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.rybnikar.cz/obecni-korenove-cistirny/>>.
- [2] Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV)). In KCOV: [online], 2001 [cit. 2011-08-22]. Dostupné z WWW: <<http://kcov.wz.cz/KCOV.php#soucasnystav>>.
- [3] Odlehčovací komora. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2011, last modified on 16. 1. 2011 [cit. 2011-07-24]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Odleh%C4%8Dovac%C3%AD_komora>.
- [4] Měření zákalu: Sledování kvality měřením zákalu. Měřicí technika pro laboratoře a životní prostředí 2011 [online]. 2011, č.1, [cit. 2011-12-11]. Dostupný z http://www.wtwcz.com/download.php?soubor=soubory_katalog/katalog_WTW_zakal.pdf
- [5] <http://www.novotny-atrima.com/podpora.html>
- [6] http://vitrum.cz/turbidimetr-prenosny-2100-q-2100-q-is_k754_p3334.html

9.3 Použité a citované normy

ISO 7027 / DIN 27027 (EN ISO 7027) Jakost vod - Stanovení zákalu

ČSN EN 12879 (758005) – Charakterizace kalu – Stanovení ztráty žíháním

ČSN EN 12880 (758006) – Charakterizace kalů – Stanovení veškerých látek a obsahu vody

ČSN 75 6401 – Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel

ČSN 75 6402 – Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel

ČSN ISO 10381-6 – Kvalita půdy – Odběr vzorků – Část 6: Pokyny pro odběr, manipulaci a uchování půdních vzorků za aerobních podmínek pro studium mikrobiálních procesů, biomasy a diverzity v laboratoři

10 Seznam obrázků

Obr. 2-1 Celkový počet KČOV v ČR (Vymazal, 2009)	6
Obr. 2-2 Zobrazení základních technologických zařízení na KČOV.....	8
Obr. 4-1 Zakolmatovaný filtrační materiál, určený k laboratorním rozborům.....	33
Obr. 4-2 Promývání zakolmatovaného filtračního materiálu (síto 1,0 mm)	34
Obr. 4-3 Materiál zbavený usazeného kalu po promytí na síti	34
Obr. 5-1 Kal ponechaný na vzduchu (pozorovatelná mineralizace na povrchu).....	44
Obr. 5-2 Vysušený kal při 105 °C	44
Obr. 5-3 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 1	115
Obr. 5-4 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 2	116
Obr. 5-5 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 3	116
Obr. 5-6 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 4	117
Obr. 5-7 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 5	117
Obr. 5-8 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 1	119
Obr. 5-9 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 2	119
Obr. 5-10 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 3	120
Obr. 5-11 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 4	120
Obr. 5-12 Porovnání procentuelního vyjádření vzorku 5	121
Obr. 5-13 Průběh klesání zákalu.....	122
Obr. 5-14 Porovnání rychlosti sedání hodnoty zákalu	123
Obr. 14-1 Aplikace enzymů do 8 vzorků.....	1
Obr. 14-2 Aplikace enzymu Bioseptik přímo na kal.....	1
Obr. 14-3 Aplikace enzymu Bioseptiku rozpuštěného v 1 l vody	2
Obr. 14-4 Aplikace enzymu Tablet přímo na kal	2
Obr. 14-5 Aplikace enzymu Tablet rozpuštěného v 1 l vody.....	3
Obr. 14-6 Aplikace enzymu Gelu přímo na kal	3
Obr. 14-7 Aplikace enzymu Gelu rozpuštěného v 1 l vody.....	4
Obr. 14-8 Aplikace enzymu Žumpur přímo na kal.....	4
Obr. 14-9 Aplikace enzymu Žumpur rozpuštěného v 1 l vody	5
Obr. 14-10 Odběr vyplaveného kalu v nejvíce zasaženém místě (hloubka kalu 28 cm)	5
Obr. 14-11 Příprava odvodnění kalu v laminátovém lyzimetru	6
Obr. 14-12 Aplikace anaerobního kalu, těžného z povrchu filtračního pole.....	6
Obr. 14-13 Pohled do dvou velkoobjemových lyzimetrů při aplikaci kolmatantu (sedimentovaný kal)	6
Obr. 14-14 Pohled na aplikovaný kal do lyzimetrů po týdenní aplikaci	7

Obr. 14-15 Ukázka fungujícího odvodnění u pravého lyzimetru.....	7
Obr. 14-16 Příprava zakolmatovaného filtračního odtěžením mokřadních rostlin	8
Obr. 14-17 Těžba zakolmatovaného materiálu po odstranění rostlin a usazené vrstvy kalu na povrchu	8
Obr. 14-18 Těžba filtračního materiálu bez nutnosti vjezdu těžké techniky na filtrační pole	9
Obr. 14-19 Zakolmatovaný materiál – směs štěrku, kořenů rostlin a kolmatantu (vyplaveného kalu z usazovací nádrže).....	9
Obr. 14-20 Aplikace zakolmatované směsi na připravené plochy, odběr vzorků do odběrných nádob	10
Obr. 14-21 Ukázka měření hloubky během těžení materiálu pomocí ostrého úzkého rýče	10
Obr. 14-22 Těžbu materiálu znesnadňuje přítomná odpadní voda ve filtračním prostředí	11
Obr. 14-23 Pohled na mělké prostory připravených ploch, určených k vymrznání směsi filtračního materiálu	11
Obr. 14-24 Pohled na odvodňovací sběrný žlab, umístěný pod nejnižší hranou připravené plochy	12

11 Seznam tabulek

Tab. 3-1 Součinitel maximální a minimální hodinové nerovnoměrnosti k_h a k_{min} (Šálek – Tlapák, 2006)	11
Tab. 3-2 Orientační údaje znečištění odpadních vod podle ČSN 75 6402.....	11
Tab. 3-3 Orientační hodnoty specifické produkce znečištění [$g \cdot d^{-1}$] na jednoho obyvatele (ČSN 75 6402).....	12
Tab. 3-4 Množství čištěných odpadních vod a produkce kalu podle Michalové (2004)	12
Tab. 3-5 Množství primárních čistírenských kalů podle Imhoffa (1979)	13
Tab. 3-6 Koncentrace rizikových prvků z čistíren odpadních vod (Dobšáková-Sponor,2002)	13
Tab. 3-7 Hodnoty specifického znečištění $g/obyvatele$ za usazovacími nádržemi při průtoku Q_v podle střední doby zdržení v usazovacích nádržích, podle ČSN 75 6401	18
Tab. 5-1 Záznam měření výšky vyplaveného kalu na filtračním poli.....	41
Tab. 5-2 Průměrná výška vrstvy kalu v dílčí ploše	41
Tab. 5-3 Stanovení objemu vyplaveného kalu v dílčí ploše.....	41
Tab. 5-4 Stanovení koncentrace sušiny vyplaveného kalu z povrchu kořenového filtru	43
Tab. 5-5 Navážené dávky jednotlivých přípravků.....	45
Tab. 5-6 Popis vzorků pro stanovení hmotnosti nevysušeného kalu	47
Tab. 5-7 Hodnoty zákalu u vzorků, doplněných přídavkem enzymů	48
Tab. 5-8 Výpočet potřebné hmotnosti vlhkého vzorku na 1 g vzorku suchého	53
Tab. 5-9 Měření zákalu v čase	54
Tab. 5-10 Tabulka označení jednotlivých vzorků pro pokus zmrazováním	55
Tab. 5-11 Hmotnosti vzorků	56
Tab. 5-12 Stanovení potřebné hmotnosti vlhkého vzorku	56
Tab. 5-13 Hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody.....	56
Tab. 5-14 Hodnota zákalu vzorků primárního kalu nevystaveného mrazovým podmínkám (31.8.2011)	57
Tab. 5-15 Hodnota zákalu vzorků po 24 hodinách zmrazování (1.9.2011)	58
Tab. 5-16 Hodnota zákalu po 144 hodinách zmrazování (6.9.2011)	59
Tab. 5-17 Hodnota zákalu po 192 hodinách zmrazování (8.9.2011)	60
Tab. 5-18 Hodnota zákalu po 288 hodinách zmrazování (12.9.2011).....	61
Tab. 5-19 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A, 1.A, 6.A, 8.A, 12.A.....	62
Tab. 5-20 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B, 1.B, 6.B, 8.B, 12.B	63
Tab. 5-21 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.C, 1.C, 6.C, 8.C, 12.C	64
Tab. 5-22 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.D, 1.D, 6.D, 8.D, 12.D.....	65

Tab. 5-23 Hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody.....	66
Tab. 5-24 Stanovení potřebné hmotnosti vzorků s různou koncentrací vody	66
Tab. 5-25 Tabulka označení jednotlivých vzorků pro pokus zmrazováním	67
Tab. 5-26 Hodnota zákalu vzorků bez působení mrazu (12.10.2011)	67
Tab. 5-27 Hodnota zákalu po 25 hodinách zmrazování (13.10.2011).....	68
Tab. 5-28 Hodnota zákalu po 99 hodinách zmrazování (18.10.2011).....	69
Tab. 5-29 Hodnota zákalu po 146 hodinách zmrazování (20.10.2011).....	70
Tab. 5-30 Hodnota zákalu po 249 hodinách zmrazování (24.10.2011).....	71
Tab. 5-31 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A – 1.A – 6.A – 8.A – 12.A	72
Tab. 5-32 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B, 1.B, 6.B, 8.B, 12.B	73
Tab. 5-33 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků C, 1.C, 2.C, 3.C, 4.C.....	74
Tab. 5-34 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.D, 1.D, 6.D, 8.D, 12.D.....	75
Tab. 5-35 Porovnání vzorků z prvního pokusu a druhého pokusu odvodněného kalu bez působení mrazu.....	77
Tab. 5-36 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den.....	78
Tab. 5-37 Porovnání vzorků odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	79
Tab. 5-38 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	80
Tab. 5-39 Porovnání dvou pokusů- vzorky odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	81
Tab. 5-40 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C bez působení mrazu.....	82
Tab. 5-41 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den	83
Tab. 5-42 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní	84
Tab. 5-43 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní	85
Tab. 5-44 Porovnání dvou pokusů- vzorky původního kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní	86
Tab. 5-45 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) bez vystavení záporným teplotám	87
Tab. 5-46 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den.....	88

Tab. 5-47 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	89
Tab. 5-48 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	90
Tab. 5-49 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	91
Tab. 5-50 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) bez vystavení mrazovým teplotám..	92
Tab. 5-51 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den.....	93
Tab. 5-52 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	94
Tab. 5-53 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	95
Tab. 5-54 Porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	96
Tab. 5-55 Hodnota zákalu vzorků, které neprošly cykly (12.12.2011)	98
Tab. 5-56 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 24 hodin (13.12.2011).....	99
Tab. 5-57 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 48 hodin (14.12.2011).....	100
Tab. 5-58 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 70 hodin (15.12.2011).....	101
Tab. 5-59 Hodnota zákalu vzorků, které prošly cykly po dobu 92 hodin (16.12.2011).....	102
Tab. 5-60 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.A – 1.A – 2.A – 3.A – 4.A.....	103
Tab. 5-61 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.B – 1.B – 2.B – 3.B – 4.B.....	104
Tab. 5-62 Hodnota zákalu v závislosti na čase u řady vzorků 0.C – 1.C – 2.C – 3.C – 4.C.....	105
Tab. 5-63 Vzorek, který byl vystaven jen mrazu (-30 °C) ze dne 13.10.2011 (kap. 5.4.2).....	107
Tab. 5-64 Vzorky, které prošly zmrazovacími cykly (+30 °C a -30 °C) ze dne 13.12.2011	107
Tab. 5-65 Vzorek, který byl vystaven jen mrazu (-30 °C) ze dne 25.10.2011 (kap. 5.4.2).....	108
Tab. 5-66 Vzorky, které prošly zmrazovacími cykly (+30 °C a -30 °C) ze dne 16.12.2011	108
Tab. 5-67 Stanovení hmotnosti štěrků	109
Tab. 5-68 Stanovení hmotnosti kalu.....	109
Tab. 5-69 Vyjádření jednotlivých procentuelních složek.....	111
Tab. 5-70 Stanovení hmotnosti štěrků	114
Tab. 5-71 Stanovení hmotnosti kalu.....	114
Tab. 5-72 Procentuelní vyjádření jednotlivých složek.....	115
Tab. 5-73 Porovnání procentuelních vyjádření jednotlivých složek vzorků, které byly odebrány 2.12.2011 a 6.1.2012.....	118

Tab. 5-74 Hodnota zákalu.....	122
Tab. 5-75 Porovnání zákalu u vzorku právě odtěženého materiálu (2.12.2011) a materiálu odebraného po 31 dnech (6.1.2012).....	123

12 Seznam grafů

Graf. 1 Zobrazení výšky vyplaveného kalu na filtračním poli	42
Graf. 2 Procentuelní vyjádření koncentrace sušiny.....	43
Graf. 3 Průběh sedimentace při aplikaci enzymatických směsí	48
Graf. 4 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídatkem „Bioseptik“ o různých koncentracích sušiny kalu	49
Graf. 5 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídatkem „Tablet“ o různých koncentracích sušiny kalu.....	50
Graf. 6 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídatkem „Žumpur“ o různých koncentracích sušiny kalu	51
Graf. 7 Porovnání průběžného měření sedimentace nerozpuštěných látek (hodnota zákalu) na vzorcích s přídatkem Gelu o různých koncentracích sušiny kalu.....	52
Graf. 8 Zobrazení stupně zákalu v závislosti na čase.....	54
Graf. 9 Hodnota zákalu vzorků, které neprošly zmrazováním	57
Graf. 10 Hodnoty zákalu vzorků, které byly po dobu 24 hodin zmrazování při -30 °C.....	58
Graf. 11 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 144 hodin zmrazován při -30 °C (6.9.2011)	59
Graf. 12 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 192 hodinách zmrazován při -30 °C (8.9.2011) ...	60
Graf. 13 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 288 hodinách zmrazován při -30 °C (12.9.2011) .	61
Graf. 14 Přehled vzorků s různou délkou vystavení extrémnímu mrazu (odvodněný kal)	62
Graf. 15 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal).....	63
Graf. 16 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:0,5)	64
Graf. 17 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:1)	65
Graf. 18 Hodnoty zákalu vzorku bez působení mrazu (12.10.2011)	67
Graf. 19 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 25 hodinách zmrazován při -30 °C (13.10.2011) .	68
Graf. 20 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 99 hodinách zmrazován při -30 °C (18.10.2011) .	69
Graf. 21 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 146 hodinách zmrazován při -30 °C (20.10.2011)	70
Graf. 22 Hodnoty zákalu vzorku, který byl po dobu 249 hodinách zmrazován při -30 °C (24.10.2011)	71
Graf. 23 Přehled vzorků odvodněného kalu s různou délkou vystavení záporným teplotám	72
Graf. 24 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal).....	73
Graf. 25 Přehled vzorků s různou délkou pobytu v klimatizační skříni (původní kal s přidanou pitnou vodou, ředění v poměru 1:0,5).....	74

Graf. 26 Přehled vzorků s různou délkou vystavení mrazovým teplotám -30°C (původní kal s přidanou vodou v poměru 1:1)	75
Graf. 27 Grafické porovnání hodnot zákalu prvního a druhého pokusu bez působení mrazu	77
Graf. 28 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den.....	78
Graf. 29 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	79
Graf. 30 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	80
Graf. 31 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	81
Graf. 32 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C bez vystavení mrazu.....	82
Graf. 33 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den.....	83
Graf. 34 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	84
Graf. 35 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	85
Graf. 36 Grafické porovnání hodnot zákalu z odvodněného kalu, vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	86
Graf. 37 Grafické porovnání hodnot zákalu zředěného kalu (1:0,5), bez vystavení záporným teplotám	87
Graf. 38 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den	88
Graf. 39 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní	89
Graf. 40 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní	90
Graf. 41 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:0,5) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní	91
Graf. 42 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) bez vystavení mrazovým teplotám.....	92
Graf. 43 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 1 den	93

Graf. 44 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 6 dní.....	94
Graf. 45 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 8 dní.....	95
Graf. 46 Grafické porovnání dvou pokusů- vzorky zředěného kalu (1:1) vystaveného teplotě -30°C po dobu 12 dní.....	96
Graf. 47 Hodnoty zákalu vzorků, které neprošly cykly (12.12.2011).....	98
Graf. 48 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 24 hodin (13.12.2011)	99
Graf. 49 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 48 hodin (14.12.2011)	100
Graf. 50 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 70 hodin (15.12.2011)	101
Graf. 51 Hodnoty zákalu vzorků, které prošly cykly (+30 °C a -30 °C) po dobu 92 hodin (16.12.2011)	102
Graf. 52 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (odvodněný původní kal).....	103
Graf. 53 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (původní kal).....	104
Graf. 54 Přehled vzorků s různou délkou vystavení cyklům střídajících se teplot +30 °C a -30°C (původní kal s příměsí pitné vody v poměru 1:1).....	105
Graf. 55 Porovnání dvou různých sad vzorků po 1 dni v mrazícím zařízení	107
Graf. 56 Porovnání dvou různých sad vzorků po 4 a 6 dnech v mrazícím zařízení.....	108
Graf. 57 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 1.....	111
Graf. 58 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 2.....	112
Graf. 59 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 3.....	112
Graf. 60 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 4.....	113
Graf. 61 Procentuelní vyjádření obsahu jednotlivých složek vzorku 5.....	113

13 Seznam zkratek

ČOV – čistírna odpadních vod

KČOV – kořenová čistírna odpadních vod

LP – lapák písku

NL – nerozpuštěné látky

OV – odpadní vody

UN – usazovací nádrž

ZŽ – ztráta žíháním

14 Seznam příloh

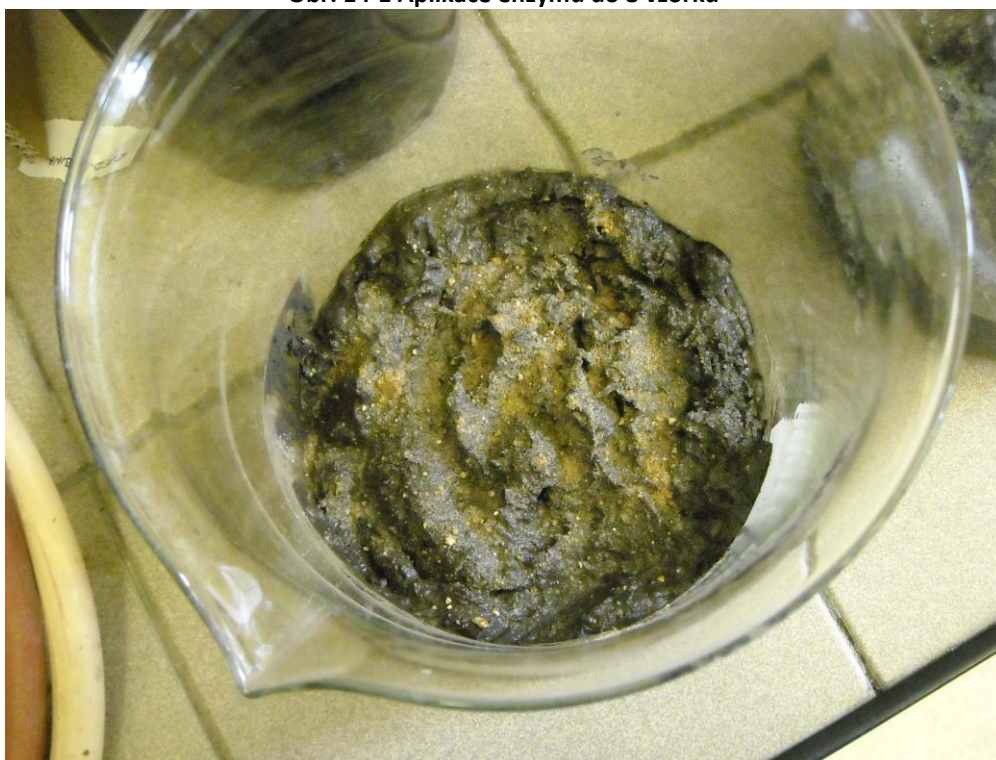
14.1 Fotodokumentace

14.1 Fotodokumentace

14.1.1 Aplikace 4 druhů enzymů (stonásobek doporučené dávky)



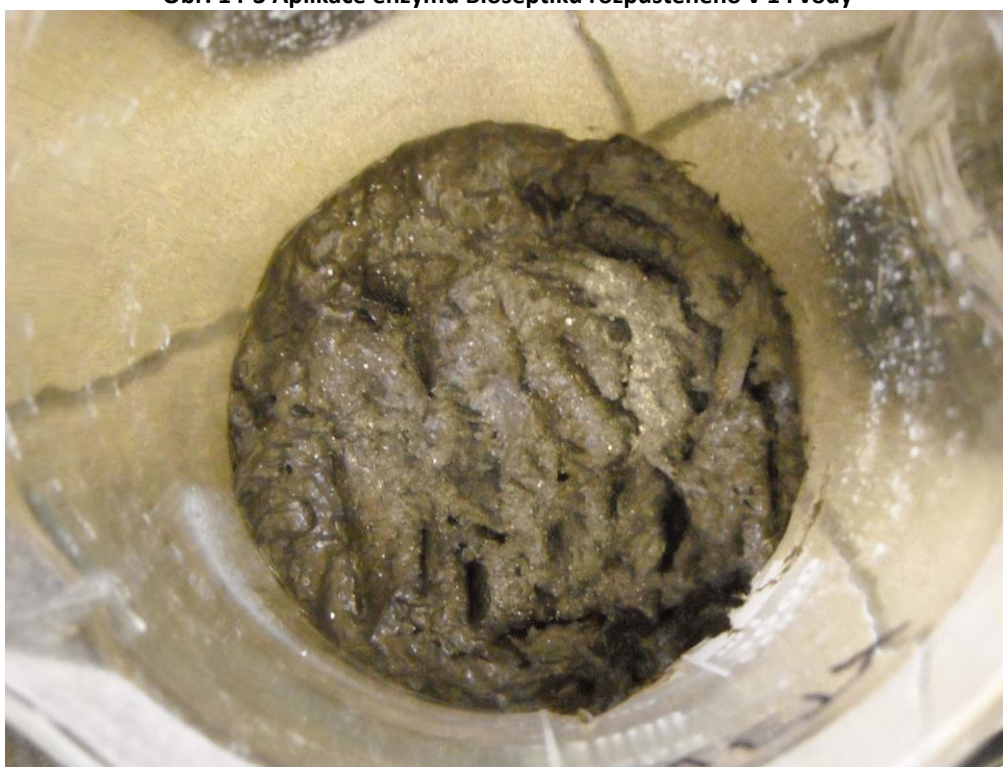
Obr. 14-1 Aplikace enzymů do 8 vzorků



Obr. 14-2 Aplikace enzymu Bioseptik přímo na kal



Obr. 14-3 Aplikace enzymu Bioseptiku rozpuštěného v 1 l vody



Obr. 14-4 Aplikace enzymu Tablet přímo na kal



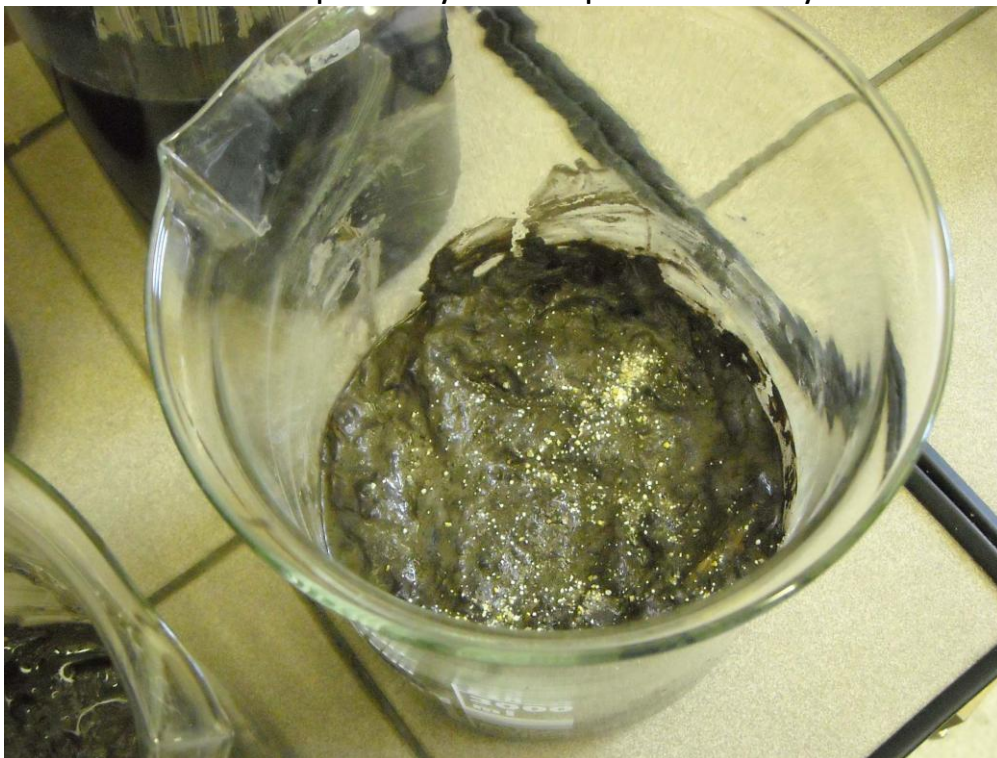
Obr. 14-5 Aplikace enzymu Tablet rozpuštěného v 1 l vody



Obr. 14-6 Aplikace enzymu Gelu přímo na kal



Obr. 14-7 Aplikace enzymu Gelu rozpuštěného v 1 l vody



Obr. 14-8 Aplikace enzymu Žumpur přímo na kal



Obr. 14-9 Aplikace enzymu Žumpur rozpuštěného v 1 l vody

14.1.2 Odběr sedimentovaného kalu z filtračního pole



Obr. 14-10 Odběr vyplaveného kalu v nejvíce zasaženém místě (hloubka kalu 28 cm)



Obr. 14-11 Příprava odvodnění kalu v laminátovém lyzimetru



Obr. 14-12 Aplikace anaerobního kalu, těženého z povrchu filtračního pole

Obr. 14-13 Pohled do dvou velkoobjemových lyzimetrů při aplikaci kolmatantu (sedimentovaný kal)



Obr. 14-14 Pohled na aplikovaný kal do lyzimetrů po týdenní aplikaci



Obr. 14-15 Ukázka fungujícího odvodnění u pravého lyzimetru

14.1.3 Odběr zakolmatovaného filtračního materiálu z filtračního pole



Obr. 14-16 Příprava zakolmatovaného filtračního odtěžením mokřadních rostlin



Obr. 14-17 Těžba zakolmatovaného materiálu po odstranění rostlin a usazené vrstvy kalu na povrchu



Obr. 14-18 Těžba filtračního materiálu bez nutnosti vjezdu těžké techniky na filtrační pole



Obr. 14-19 Zakolmatovaný materiál – směs štěrku, kořenů rostlin a kolmatantu (vyplaveného kalu z usazovací nádrže)



Obr. 14-20 Aplikace zakolmatované směsi na připravené plochy, odběr vzorků do odběrných nádob



Obr. 14-21 Ukázka měření hloubky během těžení materiálu pomocí ostrého úzkého rýče



Obr. 14-22 Těžbu materiálu znesnadňuje přítomná odpadní voda ve filtračním prostředí



Obr. 14-23 Pohled na mělké prostory připravených ploch, určených k vymrznání směsi filtračního materiálu



Obr. 14-24 Pohled na odvodňovací sběrný žlab, umístěný pod nejnižší hranou připravené plochy