

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

**Posouzení vlivu sedimentačních vlastností
aktivovaného kalu na účinnost separace
v dosazovacích nádržích**

Diplomová práce

Bc. Markéta Kejhová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Pollert, Ph. D.

Leden 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Posouzení vlivu sedimentačních vlastností aktivovaného kalu na účinnost separace v dosazovacích nádržích" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 7.1.2018 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu prof. Ing. Jaroslavovi Pollertovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce. Dále velké díky patří rodině a přátelům za jejich psychickou podporu během celého studia a pomoc při každé situaci, ať už šlo o technické problémy s elektronikou nebo vyzvedávání knih v knihovně.

Anotace

Tato práce se zabývá problematikou dosazovacích nádrží a posouzením vlastností kalu na nich. Nejprve je v práci uveden popis čištění odpadní vody na ČOV, neboť jen správná funkce všech jednotlivých částí vede k nejlepším výsledkům celkové účinnosti čištění odpadní vody. V další části práce je pak podrobně rozebírána konstrukce a funkce dosazovací nádrže. Práce se zabývá problémy u aktivovaného kalu, který je důležitý pro správnou funkci aktivace. V praktické části pak dochází k zaměření se na konkrétní čistírnu, a to Ústřední čistírnu odpadních vod v Praze. Na této čistírně v současné době probíhá měření pro řešení projektu „ÚČOV – hydraulická a kalová bezpečnost DN“. Výsledkem projektu má být matematický model dosazovací nádrže, pro různě zatěžovací stavy a návrh opatření. Momentálně je projekt ve fázi měření vlastností kalu a posuzování reologických vlastností, se kterými se bude v projektu pracovat.

Klíčová slova

Dosazovací nádrž, aktivovaný kal, sedimentace, kalový index, viskozita

Annotation

This thesis deals with problematics of secondary clarifier and evaluate its sludge qualities. At first in the thesis description of waste water treatment in WTPs is stated, as the correct function of all its individual part leads to better results of total efficiency of waste water treatment. Then the construction and function of the secondary clarifier is described in detail. The thesis deals with problems of activated sludge, which is important for the proper function of activation. The practical part is focused on specific wastewater treatment plant, Ústředníčistírnaodpadníchvod v Praze. A project „WTP – hydraulic and sludge safety of secondary clarifier“ currently takes place there. The outcome of the project should be a mathematical model of the secondary clarifier, for different loading states and draft of precautions. At the moment the project is in the phase of measuring qualities of the sludge and evaluating rheological characteristics, which will be later on worked with.

Key words

Secondary clarifier, activated sludge, sedimentation, sludge index, viscosity

Obsah

1. Úvod	10
2. Rešerše	11
2.1 Legislativa	11
2.1.1 Zákon o vodách 254/2001 Sb.	11
2.1.2 Nařízení vlády č. 401/2015	11
2.2 Odpadní vody	13
2.2.1 Množství a složení odpadní vody	13
2.2.2 Znečištění odpadních vod.....	14
2.3 Procesy čištění na ČOV	17
2.3.1 Mechanické čištění odpadní vody	17
2.3.2 Biologické čištění	19
2.3.3 Kalové hospodářství	21
2.4 Dosazovací nádrž	25
2.4.1 Typy DN	25
2.4.2 Funkce DN.....	26
2.4.3 Návrh a dimenzování DN	26
2.4.4 Konstrukce DN	27
2.4.5 Aktivovaný kal.....	29
2.5 ČOV Praha.....	35
2.5.1 Průběh čištění na ÚČOV Praha	35
2.5.2 Separace aktivovaného kalu na ÚČOV Praha	39
3. Metodika měření.....	40
3.1 Zpracování výsledků	40
3.2 Záznam naměřených hodnot.....	40
3.3 Průběh měření.....	42
4. Vyhodnocení měření	45
4.1 Sedimentace podle umístění.....	45
4.2 Zdánlivá viskozita.....	47
4.3 Tečné napětí	50
5. Závěr	52
6. Použité zdroje.....	53

1. Úvod

S odpadními vodami se do povrchových vod dostává řada nečistot, jako jsou organické látky, toxiny, mikroorganismy, a to vše narušuje vodní ekosystémy. Dosazovací nádrže jsou jeden z posledních objektů na ČOV a tak se její účinnost projevuje na vnosu znečištění do životního prostředí. Díky stále se zvyšujícím nárokům na čistotu vypouštěné vody a změnám složení odpadní vody, je nutné zajímat se o možnosti zefektivnění účinnosti čištění vody. Navrhování dosazovacích nádrží podle normy ČSN uvádí velikost nádrže pro správnou funkčnost na základě doby zdržení odpadní vody. Už ovšem neuvádí, jak zvýšit účinnost pomocí vhodného vnitřního uspořádání. Tato problematika není jednoduchá a je tedy nutné provádět výzkum pro konkrétní nádrže na různých ČOV. Výhodou v dnešní době je možnost matematického modelování navržených změn. Ten umožňuje ověření výsledů a to nejlépe na měření na skutečném díle.

2. Rešerše

2.1 *Legislativa*

2.1.1 Zákon o vodách 254/2001 Sb.

Upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztah fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha.

2.1.2 Nařízení vlády č. 401/2015

Nařízení vlády 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. Předchůdcem tohoto nařízení bylo nařízení vlády č. 61/2003.

V tomto nařízení vlády jsou uvedeny emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod a minimální účinnosti. Odpadní vody vypuštěné z komunálních čistíren podle velikosti musí splňovat standardy v následujících tabulkách:

Kategorie ČOV (EO) ^{1),7)} nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺ *		N _{celk} ^{2), 8)} *		P _{celk}	
	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	průměr ⁵⁾	m ^{4), 6)}	průměr ⁵⁾	m ^{4), 6)}	průměr ⁵⁾	m ⁴⁾
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 – 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 – 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Tab. 1 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p)³⁾, maximální hodnoty (m)⁴⁾ a hodnoty průměru ⁵⁾ koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺ *	N _{celk} ³⁾ *	P _{celk} *
< 500	70	80	-	-	-
500 - 2 000	70	80	50	-	-
2 001 – 10 000	75	85	60	-	70
10 001 – 100 000	75	85	-	70	80
> 100 000	75	85	-	70	80

Tab. 2 Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech

2.2 Odpadní vody

Odpadní vody jsou vody, které mají změněné vlastnosti. Byly použité v domácnostech, domech, sídlištích, obcích, školách, zdravotnických zařízeních, průmyslových i zemědělských podnicích a v jiných objektech. Srážkové vody, které mohou ohrozit povrchové a podzemní vody, jsou částečně odváděné s odpadními vodami. (2)

Odpadní vody, které odvádí stoková síť, se dělí na splaškové, městské, balastní, srážkové vody.

2.2.1 Množství a složení odpadní vody

Odpadní vody jsou zpravidla velice proměnlivé jak z hlediska kvality a tak z hlediska jejich vypouštěného množství. Přesto lze u odpadních vod městských a průmyslových vysledovat určitou pravidelnost v průtokovém množství a kvalitě, související s životním rytmem obce nebo podmíněnou výrobním procesem v průmyslovém závodě. Kvalita a množství přitékajících odpadních vod je ovlivněno charakterem oblasti, uživateli vody a stavem stokového systému. Množství odpadní vody kolísá během roku, měsíce, týdne i dne. (7)

Orientační hodnoty složení městských odpadních vod jsou uvedeny v následující tabulce:

ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
hodnota pH	6.5 - 8.5	
nerozpuštěné látky	200 - 700	mg/l
usaditelné	73	%
neusaditelné	27	%
rozpuštěné látky	600 - 800	mg/l
BSK ₅	100 - 400	mg/l
CHSK _{Cr}	250 - 800	mg/l
TOC (DOC)	cca 250	mg/l
N _{celk}	30 - 70	mg/l
N-NH ₄	20 - 45	mg/l
P _{celk}	5 - 15	mg/l

Tab. 3 Orientační hodnoty složení městských odpadních vod

2.2.2 Znečištění odpadních vod

Znečišťující látky můžeme rozdělit do kategorií uvedených v následující tabulce:

Označení skupiny	Znečišťující látky	Příklady
1	rozpuštěné	ve filtrátu za filtrem - vel. pórů 45μm
1.1	organické	
1.1.1	biologicky rozložitelné	cukry, mastné kyseliny, ...
1.1.2	biologicky nerozložitelné	azobarviva, ...
1.2	anorganické	amonné ionty, fosforečnany, ...
2	nerozpuštěné	
2.1	organické	
2.1.1	biologicky rozložitelné	škrob, bakterie, ...
2.1.2	biologicky nerozložitelné	papír, plasty, ...
2.1.3	usaditelné	celulosová vlákna, ...
2.1.4	neusaditelné	
2.1.4.1	koloidní	bakterie, ...
2.1.4.2	plovoucí	papír, ...
2.2	anorganické	
2.2.1	usaditelné	písek, hlína, ...
2.2.2	neusaditelné	brusný prach, ...

Tab. 4 Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách

Chceme-li odpadní vody zbavit všech znečišťujících látek nebo alespoň převážné většiny, musíme obvykle zařadit za sebou několik principiálně rozdílných procesů. Jednotlivé procesy čištění se nazývají jednotkovými operacemi a takto vzniklý sled nebo určitá konfigurace jednotlivých operací se nazývá technologická linka čištění.

Do takto konstruované klasifikace polutantů samozřejmě nelze zařadit všechny typy znečištění, a proto je třeba změnit také některé jeho další specifické druhy jako např.: tepelné znečištění, radioaktivita, mikrobiální znečištění, povrchově aktivní látky nebo široký okruh mikropolutantů, tj. látek, které již v nepatrných koncentracích mohou negativně ovlivnit kvalitu vody případně její působení na člověka. V posledních letech se hodně hovoří o zbytečných lécích, kosmetických prostředcích nebo obecně o látkách se specifickými fyziologickými účinky. (1)

Vyjadřování znečištění odpadních vod

Základním měřítkem pro vyjadřování znečištění je tzv. ekvivalentní obyvatel (EO). Jedná se o znečištění vyprodukované 1 obyvatelem za den. Při stanovení potřebného výkonu čistírny, zejména biologické části, se počet připojených obyvatel na čistírnu udává v EO.

2.2.2.1 Ukazatele znečištění odpadních vod

Ukazatelů znečištění může být celá řada. Volí se vždy takové, které jsou pro daný účel nejvhodnější. Proto se liší obvykle používané ukazatele pro pitnou vodu, pro splaškové nebo průmyslové odpadní vody.

Ukazatele znečištění lze rozdělit do různých skupin:

- Fyzikální ukazatele – teplota, barva, zákal, průhlednost, vodivost
- Chemické ukazatele – pH, chemické složení, tvrdost vody
- Radiologické ukazatele
- Mikrobiologické ukazatele – koliformní bakterie, mezofilní, psychofilní bakterie
- Biologické ukazatele – saprobní index
- Ekologické ukazatele – podmínky pro život ryb, neporušená samočisticí schopnost
- Skupinové (technologické) ukazatele

BSK₅ biochemická spotřeba kyslíku

CHSK chemická spotřeba kyslíku

C_{org} organický uhlík

NL nerozpuštěné látky

RL rozpuštěné látky

Organické ukazatele znečištění

Většina odpadních vod obsahuje pestrou směs různých organických látek. Kvalitativní i kvantitativní stanovení jednotlivých sloučenin by bylo velmi pracné a zdlouhavé, a proto se neprovádí. V praxi se stanovuje skupina příbuzných látek pomocí jednoho standardu, nazývá se tedy toto stanovení skupinovým. Mezi skupinová stanovení patří i metody, kterými se stanovuje suma všech organických látek pomocí kyslíku spotřebovaného na jejich oxidaci.

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) se stanovuje jako množství kyslíku potřebné na chemickou oxidaci všech organických látek. Udává se v mg/l, tj. jako množství O₂ v mg na jeden litr analyzované odpadní vody.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) se stanovuje jako množství kyslíku potřebné na biochemickou oxidaci organických látek. Využívá se schopnosti některých mikroorganismů rozkládat za přítomnosti kyslíku organické látky. Udává se mg/l, tj. jako množství O_2 v mg na jeden litr analyzované odpadní vody.

Vztah mezi CHSK a BSK, protože $CHSK_{Cr}$ udává spotřebu kyslíku na oxidaci všech oxidovatelných látek a BSK_5 udává spotřebu kyslíku na oxidaci pouze biochemicky rozložitelných látek, je vždy CHSK větší než BSK. (4)

2.3 Procesy čištění na ČOV

2.3.1 Mechanické čištění odpadní vody

Mechanické čištění slouží pro odstranění nerozpuštěných látek, které tvoří podstatnou část znečištění odpadních vod. Jedná se o první stupeň čištění, někdy se používá i jako třetí stupeň (filtrace před vypuštěním vyčištěné vody), třetí stupeň však může být i čištění biologické (stabilizační nádrž). V následující tabulce je uveden přehled mechanických způsobů čištění odpadní vody:

Způsob	Používaná zařízení
Cezení jsou zachycovány nerozpuštěné příměsi, rozměrově větší než otvory, kterými protéká cezená voda	česla síta
Usazování a zahušťování využívá gravitační sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	lapák šterku, lapák písku usazovací nádrž, dosazovací nádrž zahušťovací nádrž
Vzplývání využívá vztlakovou sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	lapáky tuků odlučovač olejů a ropných látek
Filtrace jsou zachycovány nerozpuštěné příměsi, rozměrově větší než otvory, kterými protéká cezená voda	pískové (jiné) lože jemná síta, bubnové filtry sítopásové lisy, kalolisy, membrány
Flotace je uměle snižována hustota příměsí a vzniklý rozdíl hustot je využíván k oddělení složek (vztlakem)	flotační vany s tlakovým vzduchem elektroflotulační vany
Odstředování (centrifugace) využívá odstředivou sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	kontinuální odstředivky

Tab. 5 Přehled používaných mechanických způsobů čištění odpadních vod

2.3.1.1 Česle a síta

Česle slouží k odstranění hrubých nečistot a plovoucích objektů ze surové vody (kuchyňské odpadky, hadry, papír, zbytky obalů, dřevo apod.) přitékající do ČOV. Je to mříž tvořená

rámem a česlicemi, skloněná ve směru toku pod úhlem 30° až 60°. Česlice jsou obvykle kruhového nebo obdélníkového průřezu. Voda protéká průlinami, tj. volným prostorem mezi česlicemi. Česlicový rám je vsazen do přítokového žlabu obdélníkového průřezu. Za česlemi je snížené dno, aby nedocházelo ke vzdouvání hladiny na česlích. Česle se dělí podle velikosti průlin na hrubé, střední a jemné. (Slavíčková)

Hrubé česle je nutno stírat obvykle jednou až dvakrát denně. Jemné česle je nutno stírat častěji. Rychlost průtoku na česlích bývá nejčastěji 0,7 až 0,9 m/s. Aby nedocházelo k usazování písku, nesmí klesnout pod 0,3 m/s a nemá překročit 1,2 m/s, aby nedocházelo ke strhávání již zachycených nečistot. Obvyklým uspořádáním česlí je objekt s více žlaby. Pro objekt s jedním žlabem je požadován nouzový obtok s ručně shrabovanými hrubými česlemi. Je nutno zajistit, aby se každý žlab mohl samostatně vyřadit z provozu. (7)

2.3.1.2 Lapáky písku

Odpadní voda obsahuje kromě organických látek také těžký inertní materiál, jako jsou popílky, škvára, skořápky, úlomky kostí a také značné množství písku (především u jednotné stokové soustavy). V lapácích písku se zachycují sunuté a unášené minerální látky.

Průměrné složení písku obsahuje 10 až 20 % sušiny, ve které bývá zhruba 50 % organických látek. Množství písku uváděné na osobu a rok je 5 až 12 l u jednotné kanalizace však může být i podstatně větší.

Lapáky písku jsou zařízení, které slouží k zachytávání písku a minerálních částic s takovou účinností, aby byla zajištěna ochrana dalších objektů a zařízení ČOV. Lapák písku je navržen tak, aby byly zachyceny částice do velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm s měrnou hmotností přibližně 1400 kg.m⁻³. (9)

Typy lapáků písku:

- Horizontální
- Vertikální

2.3.1.3 Usazovací nádrže

K separaci tuhé fáze od kapaliny se používá většinou průtočných usazovacích nádrží. Nádrže s přerušovaným provozem a používané pro menší provozy a tím i menší objemy vod se nazývají dekantační.

Základní typy průtočných nádrží jsou:

- Pravoúhlé s horizontálním průtokem
- Kruhové s horizontálním průtokem
- Vertikálně protékané usazovací nádrže

Pravoúhlé a kruhové s horizontálním průtokem se používají především na separaci zrnitých suspenzí, nádrže radiální a vertikálně protékané se navrhují především na separaci vločkových kalů. (1)

Usazovací nádrže se používají k zachycení dobře usaditelných nerozpuštěných látek před dalšími stupni čištění (před biologickým nebo chemickým čištěním). Používají se proto, aby odlehčily zatížení druhého stupně čištění. Jsou nejdůležitější jednotkou mechanické části čistírny, jelikož se zde odstraňuje největší procento nerozpuštěných látek a suspendovaných látek. Zachytí 40 až 70 % rozptýlených látek. Redukce BSK₅ je 25 až 45 %. Množství látek odstraněných sedimentací závisí na hydraulickém zatížení nádrže. V závislosti na střední době zdržení se počítá s následujícími čistícími účinnostmi:

ukazatel	0.5-1.0 h	1.0-1.5 h	1.5-2 h
NL	46%	51%	58%
BSK ₅	17%	25%	33%

Tab. 6 Účinnost usazovacích nádrží dle doby zdržení

Primární usazovací nádrže bývají vybaveny vedle stíracího zařízení dna pro odstranění kalu i stíráním hladiny, neboť v přiváděné vodě jsou obsaženy i látky plovoucí. Kal odpadající ze stírané hladiny je zpracován spolu s kalem sedimentovaným. (7)

2.3.2 Biologické čištění

Biologické čištění odpadních vod je ve svém principu napodobení a urychlení procesů, které probíhají v přírodě. Podstatou biologického čištění odpadních vod jsou aerobní biochemické

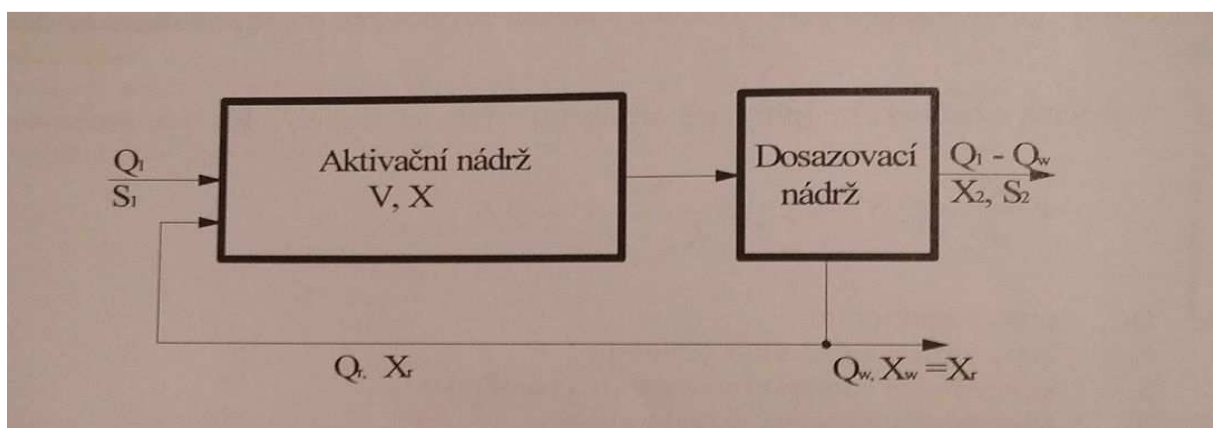
pochody, při kterých se rozmnožují převážně heterotrofní bakterie i jiné mikroorganismy a rozkládají organické látky k získání energie pro životní pochody i stavbu vlastních organismů.

Cílem biologického čištění je koagulovat a rozkládat neusaditelné koloidní látky a stabilizovat organické látky. Téměř všechny odpadní vody mohou být čištěny biologicky. Biologické čištění probíhá za aerobních nebo anaerobních podmínek. U komunálních odpadních vod je to redukce organických látek a nutrietů (N a P) v aerobních podmínkách. Vznikají různé plyny, voda a buněčná hmota se specifickou hmotností o něco vyšší než voda. (7)

2.3.2.1 Aktivace

Aktivační proces je nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách. Princip biologického čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Organické látky, které jsou zdrojem organického uhlíku a energie pro růst buněk se přeměňují na novou buněčnou hmotu a oxidují se na konečné produkty, především oxid uhličitý a vodu. Obsah aktivační nádrže nazýváme aktivační směs.

V základním uspořádání přitéká odpadní voda po mechanickém čištění do aktivační nádrže, kde se mísí s recirkulovaným (vratným) kalem. Po projití směsí aktivační nádrží se aktivovaný kal separuje od vyčištěné vody v dosazovací nádrži. Zahuštěný aktivovaný kal se recirkuluje zpět na začátek aktivační nádrže. Odstraňování nerozpuštěných a rozpuštěných organických látek z odpadní vody má za následek kontinuální tvorbu nové biomasy, která se ze systému musí periodicky odstraňovat ve formě přebytečného aktivovaného kalu. Zjednodušené schéma celého procesu je na následujícím obrázku:



Obr. 1 Blokové schéma aktivačního procesu: Q_1 - přítok, Q_r -recirkulovaný nebo také vratný kal, Q_w - přebytečný kal, $X_r=X_w$ - koncentrace sušiny vratného a přebytečného kalu, X_2 - koncentrace suspendovaných látek na odtoku, S_2 -BSK₅ na odtoku

Po aktivaci pokračuje odpadní voda na dosazovací nádrž, kterou se budu podrobně zabývat později, neboť na ni bude navazovat i následné měření.

2.3.3 Kalové hospodářství

2.3.3.1 Charakteristika kalu

Kal je produktem čištění odpadních vod. Náklady na zpracování kalu činí cca 40% celkových investičních i provozních nákladů ČOV. Technologické problémy na řadě čistírenských provozů způsobuje právě nedořešená nebo nevyhovující kalová koncovka. K technickému řešení vlastní koncovky přistupuje dále neméně důležitý problém následného využití nebo likvidace kalu. Řešení problematiky zpracování a zneškodňování kalu z ČOV v současné době ovlivňuje zejména:

- Nárůst produkce čistírenských kalů
- Obtíže spojené se změnami vlastnosti kalů produkovaných novými technologickými postupy čištění odpadních vod
- Nové legislativní předpisy pro nakládání s odpady
- Vyhláška č. 382/2001 Sb., pro zemědělské využití kalu nově zavádějící hygienická kritéria

Základní charakteristikou kalu je obsah vody určující jeho objemové množství. Látky obsažené v kalu, stanovené jeho odpařením při 105°C tvoří sušinu. Určitou část sušiny tvoří látky původně ve vodě rozpuštěné, včetně koloidních, které při zahušťování a odvodňování kalu zůstávají v kalové vodě, příp. filtrátu, fugátu apod. Látky suspendované tvoří většinou podstatnou část kalové sušiny a mají při zpracování kalu rozhodující význam. Většinou nepřekročí sušina 10%, závisí však značně na charakteru kalových částic. Proto dva různé kaly o stejné sušině (což platí o zahuštěném i odvodněném kalu) mohou mít zcela odlišnou konzistenci.

Organické látky kalové suspenze lze dále dělit na látky biologicky rozložitelné (působením mikroorganismů) a látky vůči tomuto rozkladu resistantní. Mikrobiální rozklad organického podílu kalu, příp. některé fáze tohoto rozkladu probíhají často za tvorby zapáchajících látek. Takové kaly je nutno před jeho dalším zpracováním stabilizovat. Významné jsou i hygienické vlastnosti kalu, zejména obsah patogenních zárodků - bakterií, virů, protozoí, červů a jejich vajíček aj. – obvyklých např. u kalů městských ČOV, příp. kalů produkovaných z odpadních vod splaškových nebo majících původ v chovu zvířat a zpracování jejich těl (kafilérie, jatka).

Při stabilizaci kalu je kladen důraz i na usmrcení těchto patogenů nebo alespoň výrazně snížení jejich počtu. Hygienické hledisko postihuje i přítomnost toxických látek v kalu, zejména těch, které nejsou při jeho zpracování rozloženy a mohou ve finální etapě jeho využití nebo zneškodnění ohrožovat životní prostředí (těžké kovy aj.).

2.3.3.2 Druhy a složení kalů

Složení kalu, produkovaného při čištění odpadní vody, závisí v první řadě na jejím složení, na způsobu čištění a parametrech provozu. Při více stupňovém čištění odpadní vody jsou z každého stupně produkovány kaly odlišného složení, někdy se i významně liší. Kaly tvoří 1 až 2% čištěných odpadních vod, ale obsahují 50 až 80% původního znečištění. Obecně lze čistírenské kaly rozdělit dle charakteru a způsobu vzniku na kaly primární, biologické a chemické. (7)

Primární kal

Vzniká v objektech primární sedimentace, tj. usazovacích nádržích, usazením usaditelného podílu nerozpuštěných látek v odpadní vodě. Množství primárního kalu tedy závisí především na množství nerozpuštěných látek přitékajících na ČOV a na účinnosti primární sedimentace. Obsahuje 2 až 5% sušiny.

Přebytečný biologický kal (sekundární)

Vzniká jako přebytečný kal z aktivačního systému nebo kal ze systémů s přisedlou kulturou. Sekundární kal je směs přiváděných inertních nerozpuštěných látek v odpadní vodě do aktivace a vyprodukované biomasy. Obsahuje 0,5 až 1,5% sušiny.

Chemický kal (terciární)

Jedná se o kal vzniklý v rámci chemického srážení (nejčastěji fosforu). Případně se může jednat o kal vzniklý v rámci dočišťování odtoku (terciární čištění).

Jak primární, tak sekundární kal může být odebírán a dále zpracováván odděleně nebo společně. Pokud je přebytečný biologický kal veden před usazovací nádrž, v ní znovu separován a pak odváděn společně s primárním kalem, tak se tato směs nazývá smíšený surový kal. (7)

2.3.3.3 Reologické charakteristiky kalu a jejich význam

Reologie je nauka o deformaci a toku materiálu (hmoty). Studuje souvislosti mezi různými druhy deformace hmoty a zkoumá příčiny a projevy deformací; tyto deformace mohou být komplikované a závisí na mnoha faktorech.

Zabývá se vztahem mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí. U newtonovských kapalin je tato závislost lineární. Poměr smykového napětí a smykové rychlosti je veličina zvaná viskozita či vazkost.

Viskozita charakterizuje vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Jedná se o míru odporu vůči toku. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině. Pro ideální kapalinu má viskozita nulovou hodnotu. Taková kapalina se zařazuje jako další skupenství, tzv. superkapalina.

Kapaliny s nenulovou viskozitou se označují jako viskózní (vazké). Viskozita představuje základní veličinu pro měření fyzikálních charakteristik kalu souvisejících s deformací a charakterem toku. Vnitřní tření závislé na gradientu rychlosti je dáno vztahem:

$$\tau = \frac{\mu * dv}{dy}$$

τ - napětí (Pa)

μ = dynamická viskozita (vazkost) nebo součinitel viskozity (vnitřního tření) (Pa.s)

dv/dy = smyková rychlost, gradient (růst) rychlosti ve směru kolmém na rychlost (s^{-1})

Reologické vlastnosti kalu v jednotlivých krocích procesu čištění odpadních vod jsou důležité nejenom z hlediska návrhu parametrů pro jeho transport (tlakové ztráty v potrubí), skladování či skládkování, filtrace přes membránu a získávání bioplynu, ale rovněž pro kontrolu procesu stabilizace či dávkování polymerů před odvodněním nebo při přenosu kyslíku (návrh aeračního systému).

Reologické vlastnosti jsou rovněž indikátorem kvality kalu v aeračních nádržích a závisí na mnoha faktorech jako jeho zdroj, sušina, celková koncentrace nerozpuštěných látek, teplota, postup jeho zpracování, jeho typ, smyková rychlost, vlastnosti nerozpuštěných látek, např.

velikost, tvar, hustota, jejich vzájemná interakce či schopnost flokulace apod. (Abu-Jdayil B. et al., 2010, Papaet al., 2015, Sanin, 2002).

Vzhledem k výše jmenovanému jsou reologické vlastnosti kalu důležité z ekonomického hlediska (Ratkovich et al., 2013). Reologické vlastnosti aktivovaného kalu jsou více komplexní, neboť se skládá z vody, z rozpuštěných složek odpadní vody a nerozpuštěných složek jako vločky, nerozpuštěné složky odpadní vody a mikrobiální produkty jako ECP. U sekundárního usazování kalu je důležité porozumět reologii při vysoké koncentraci kalu a nízkých stříhových rychlostech (Ratkovich et al., 2013). (10)

2.3.3.4 Zpracování kalu

Pod zpracováním kalu rozumíme souhrn procesů vedoucích k jeho objemu, redukci zápachu a možnosti jeho dalšího využití. Jedná se o následující procesy:

- Odebrání kalu ze systému
- Zahušťování kalu
- Předúprava kalu
- Stabilizace, hygienizace kalu
- Odvodňování kalu
- Finální likvidace kalu

2.4 Dosazovací nádrž

Základní úkolem dosazovací nádrže je separace biomasy (aktivovaného kalu, strženého biofirnu) od vyčištěné odpadní vody. V případě aktivačního procesu musí dosazovací nádrž odseparovaný aktivovaný kal současně i zahustit (na hodnotu sušiny okolo 1%), aby bylo možno vratným kalem udržovat požadovanou koncentraci biomasy v aktivační nádrži a aby se zmenšil objem přebytečného kalu odváděného do kalového hospodářství.

Účinná separace biomasy je rozhodující pro kvalitu finálního odtoku. Špatně fungující dosazovací nádrž může zcela zvrátit dobrý čistící efekt předchozího biologického reaktoru. Suspenze unikající z dosazovací nádrže je totiž živá biomasa, která zvyšuje hodnoty BSK₅ odtoku asi o 50%. Tato biomasa obsahuje i významné množství dusíku a fosforu – zvláště v systémech se zvýšeným biologickým odstraňováním fosforu. Vinou špatné konstrukce a provozování může v dosazovací nádrži docházet i k sekundárnímu znečišťování vyčištěné odpadní vody, zejména fosforem uvolňovaným z buněk poly-P bakterií. (1)

2.4.1 Typy DN

Podle způsobu protékání aktivační směsi lze dosazovací nádrže rozdělit na:

- Kruhové nádrže s horizontálním průtokem (radiální)
- Pravoúhlé nádrže s horizontálním průtokem
- Nádrže s vertikálním průtokem

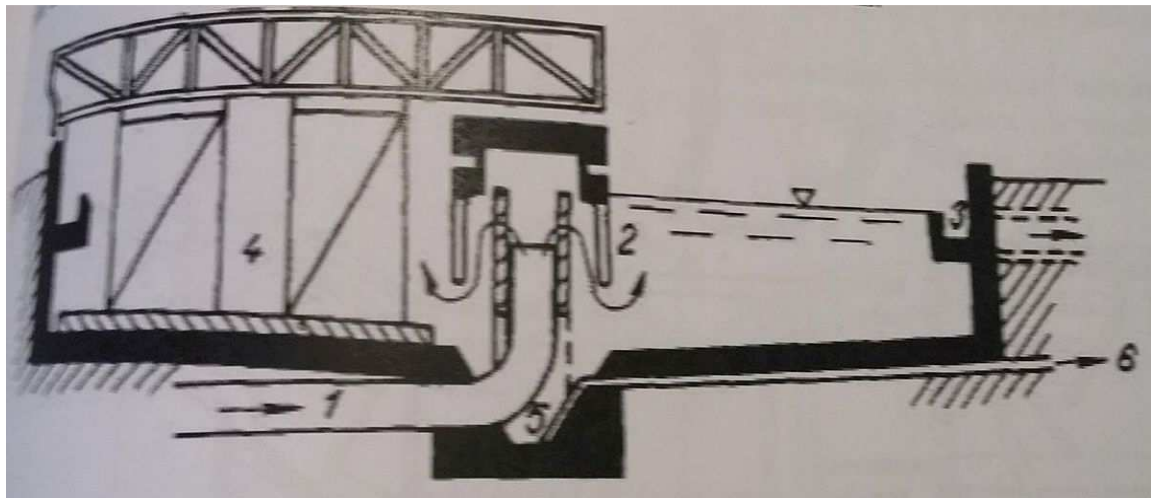
2.4.1.1 Kruhové dosazovací nádrže s horizontálním průtokem

U kruhových nádrží se doporučuje radiální horizontální průtok, čímž se k separaci využije maximum usazovací plochy. Z hydraulického hlediska jsou nejvýhodnější nádrže co největších rozměrů, neboť se tak na odtoku již neprojeví vzruchy způsobené vtokem v aktivační směsi. V praxi jsme však omezeni různými faktory, např. i vlivem větru na hladinu v dosazovací nádrži. Doporučuje se maximální průměr kruhových nádrží 55 m. Schéma řezu dosazovací nádrže je vidět na obr. 2. (1)

Hloubka musí být taková, aby poskytla dostatečný prostor pro vlastní sedimentaci, zahuštění i uskladnění odsazeného kalu. Pokud není nádrž navrhována na extrémní navrhování průtoku, jsou obvykle následující hloubky jednotlivých zón:

- Sedimentační zóna až 2,5 m

- Přechodová zóna min. 1,0 m
- Zahušťovací a zásobní zóna 0,7 – 1,3 m



Obr. 2 Schématický řez kruhovou sedimentační nádrží (radiální): 1-přítok, 2-uklidňovací válec, 3-odtokový žlab, 4-shrabovací zařízení, 5-kalová jímka, 6-odvod kalu

2.4.2 Funkce DN

Základní požadavky na funkci DN:

- Odseparování aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody s minimální zbytkovou koncentrací nerozpuštěných látek.
- Zahuštění odsazeného kalu na požadovanou koncentraci.
- Akumulaci aktivovaného kalu pro případ zvýšeného průtoku aktivačním systémem tak, aby nedocházelo k vyplavování biomasy ze systému. (1)

2.4.3 Návrh a dimenzování DN

Doba zdržení odpadní vody θ (h) je definována jako poměr:

$$\theta = \frac{V}{Q_1}$$

V je objem nádrže (m^3)

Q_1 je průtok (m^3/h)

Povrchové hydraulické zatížení v (m/h) je definováno jako množství odpadní vody přiváděné na jednotku plochy dosazovací nádrže za hodinu

$$v = \frac{Q_1}{A_D}$$

Q_1 je průtok (m^3/h)

A_D je plocha dosazovací nádrže (m^2)

V následující tabulce jsou uvedeny doporučené návrhové parametry nádrží v závislosti na způsobu průtoku nádrží:

Umístění dosazovací nádrže a způsob průtoku nádrží	Teoretická doba zdržení při Q_{\max} (h)	Povrchové hydraulické zatížení při Q_{\max} (m/h)
za biofiltry, horizontální	1.6	2
za aktivací, horizontální	1.8	1.6
za biofiltry, vertikální	1.2	2.5
za aktivací, vertikální	1.6	2

Tab. 7 Doporučené návrhové parametry dosazovacích nádrží

2.4.4 Konstrukce DN

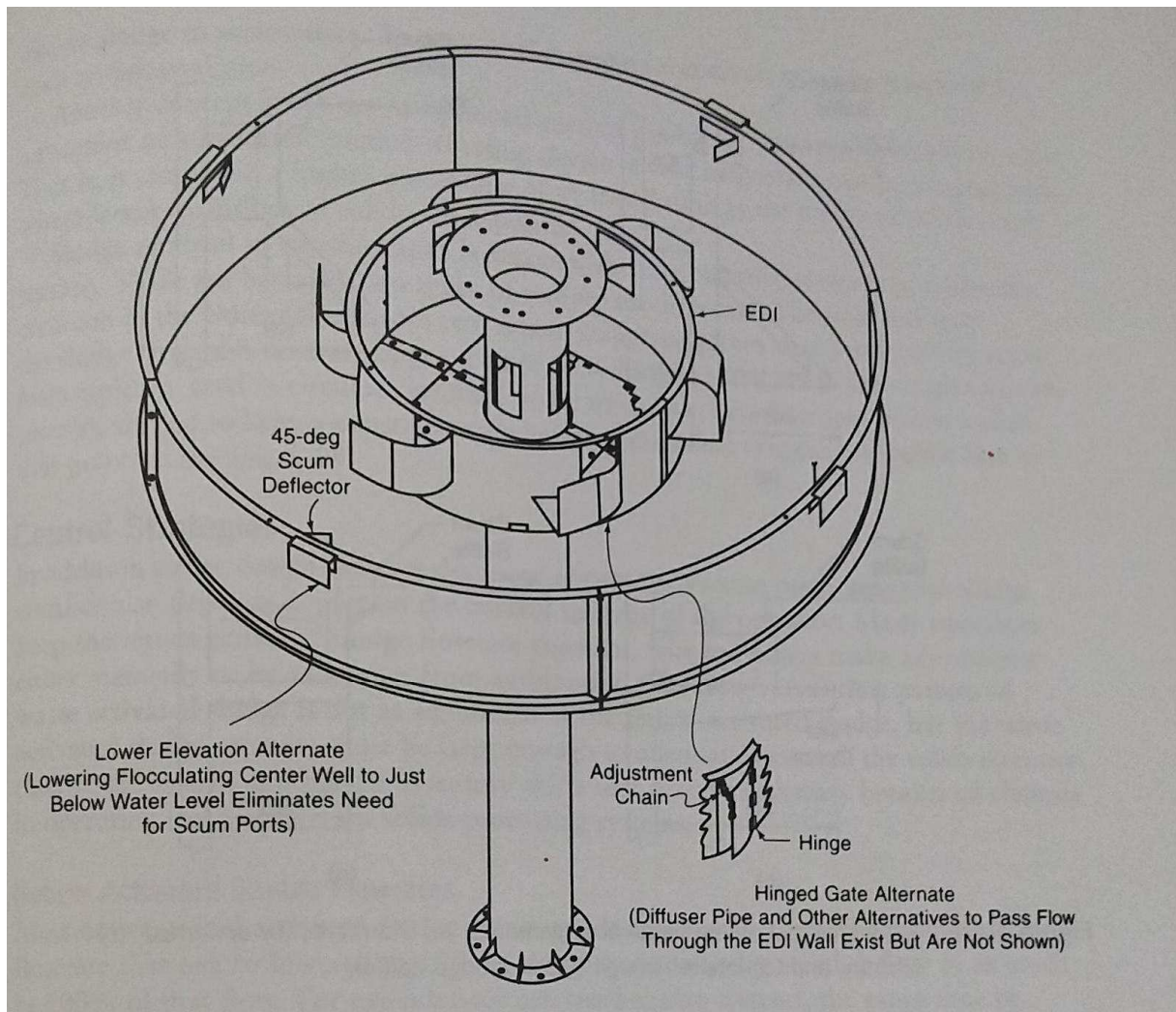
Klasická konstrukce dosazovací nádrží se skládá ze čtyř základních částí:

- Vstupního (vtokového) objektu
- Stírání a odtah (vyklízení) zahušťovaného kalu
- Odtokového objektu vyčištěné odpadní vody
- Zařízení na odstraňování plovoucích látek (1)

2.4.4.1 Vstupní (vtokový) objekt

Slouží k usměrnění toku tak, aby nenarušoval laminární proudění v usazovacím prostoru (uklidnění toku odpadní vody přitékající do nádrže a k jejímu stejnoměrnému rozdělení do nádrže na celý její průtočný profil). U podélně protékaných nádrží tvoří vtokový objekt přítokový žlab s dnovými nebo čelními otvory, doplněný usměrňovací nornou stěnou, někdy se používá flokulační válec. U kruhových nebo čtvercových nádrží je vtokovým objektem rozdělovací válec umístěný ve vertikální ose nádrží. Norná stěna příp. uklidňovací válec s deflektory musí zasahovat dostatečně hluboko, aby vznikl dostatečně velký uklidňovací prostor pro zrušení kinetické energie přitékající vody a zabránilo se tak zkratovému proudění

vody při hladině. Příklad konstrukce vtokového objektu na dosazovací nádrž je na následujícím obrázku:



Obr. 3 Vtokový objekt na dosazovací nádrž (8)

2.4.4.2 Odtokový objekt

Je tvořen přepadovou hranou s předřazenou nornou stěnou a odtokovým žlabem. Odtokový žlab usměrňuje tok odpadní vody usazovacím prostorem. Přepadová hrana musí být vodorovně uložena a má tvar „pily“, který zajišťuje rovnoměrnost přepadání vyčištěné vody. Bývá osazena z jedné nebo obou stran odtokového žlabu, čistí se kartáčem. Norná stěna zachycuje plovoucí látky, které se podle potřeby stahují do náklonného žlabu a odvádí do zahušťovací akumulární jímky. U kruhových nádrží se odtokový žlab umísťuje na obvodu nádrže, u pravoúhlých nádrží na konci nádrže a u čtvercových nádrží po jejich obvodu. Někdy se jako odtokový objekt používá ponořené děrované potrubí. (7)

2.4.4.3 Zařízení na stírání kalu

Slouží ke stírání zahuštěného kalu ze dna sedimentační nádrže a stírání plavoucích látek z hladiny nádrže. Kal sedimentuje (a zahušťuje se) v nejnižší části usazovací nádrže, stírané plovoucí látky se akumulují do sběrné jímky, jejíž přepradová hrana musí být situovaná nad maximální hladinou vody v nádrži. U pravoúhlých nádrží s horizontálním průtokem to je naklápěcí půlkruhová roura, ze které gravitačně odtékají plovoucí látky do sběrné akumulární jímky. (7)

Typy stíracích zařízení:

- Řetězové shrabovací zařízení
- Pojízdny shrabovací most
- Otočný shrabovací most
- Shrabovací systém Zicker
- Hydropneumatické shrabování hladiny

2.4.5 Aktivovaný kal

Procesy biologického čištění odpadních vod probíhají v biologickém reaktoru působením mikroorganismů. Aktivním činitelem v tomto procesu je funkční polykultura (směsná kultura) kultivovaná nejčastěji ve formě suspenze (aktivovaný kal) v aktivační nádrži a nebo ve formě nárostu (biofilm) v biofilmových reaktorech. (1)

2.4.5.1 Separační a zahušťovací vlastnosti aktivovaného kalu

Podmínkou funkce každého aktivačního systému je dobrá flokulace mikroorganismů tvořících aktivovaný kal. Velké, pevné a kompaktní vločky aktivovaného kalu jsou předpokladem dobrých sedimentačních a zahušťovacích vlastností. Sedimentační vlastnosti aktivovaných kalů lze kvantifikovat zejména následujícími způsoby:

Kalový index KI

Klasický KI je definován jako specifický objem usazeného kalu po 30 min. sedimentace v 1 l odměrném válci (V_{30}) vztažený na koncentraci sušiny X.

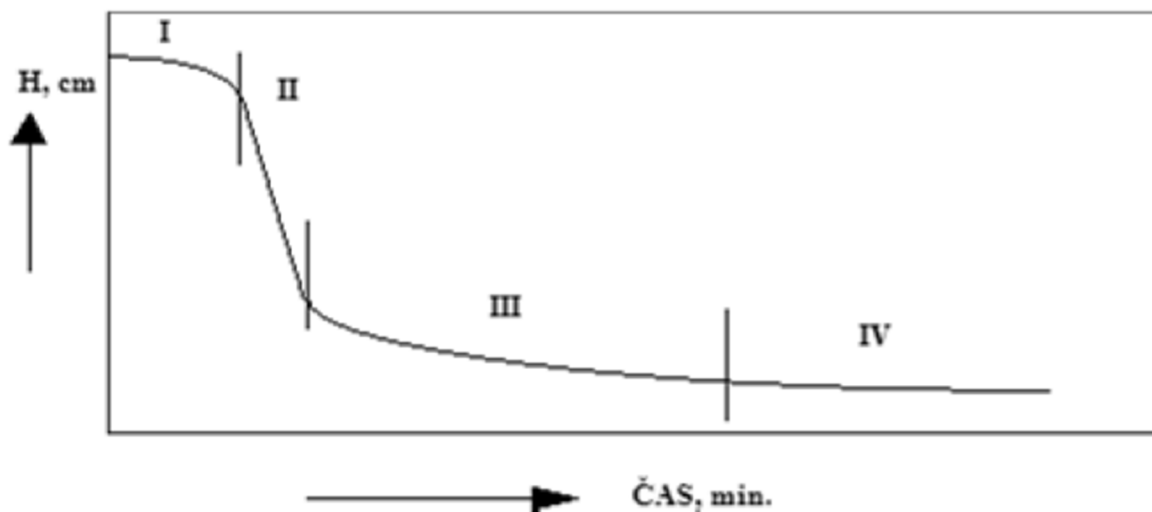
$$KI = \frac{V_{30}}{X}$$

Hodnota KI však není zcela nezávislá na koncentraci kalu. V zahraničí je snaha podmínky měření KI, co nejvíce standardizovat a vyloučit vliv koncentrace i stěnového efektu. Doporučuje se proto při testu používat pomalu míchaný válec (tzv. míchaný kalový index). Při měření KI by se rovněž neměla výrazně lišit hodnota koncentrace aktivovaného kalu X, a proto je v některých zemích standardizována, např. na hodnotu 3,5 g/l. V jiných zemích jsou podmínky stanovení KI standardizovány opačným způsobem, kdy objem usazeného kalu po 30 min. by neměl výrazně přesahovat 200 ml/l.

Pro praktické provozní potřeby v ČR, kde se provádí pouze klasický kalový index, je možno shrnout, že pokud hodnota KI překročí 200 ml/g při koncentracích biomasy běžných v aktivaci, bude se jednat o špatně sedimentující a zahušťující se kal. (4)

Zónová sedimentační rychlost (ZSR)

ZSR je dána rychlostí pohybu rozhraní voda-kal při sedimentačním testu a je odečítána z lineární části zahušťovací křivky na následujícím obrázku:



Obr. 4 Schéma znázornění zahušťovací křivky

I – fáze reflokulace, II – fáze zónové sedimentace, III – přechodová, deformační fáze, IV – fáze kompresní

Reflokulační fáze popisuje chování aktivovaného kalu ve flokulačním prostoru dosazovací nádrže. Během reflokulace dochází k agregaci mikrovloček do laditelných mikroskopických útvarů. Délka reflokulační fáze závisí na výskytu vláknitých mikroorganismů, zvýšená přítomnost vláknité populace bude vyžadovat delší reflokulační fázi a naopak. U některých

aktivovaných kalů s velmi nízkými kalovými indexy fáze reflokulace prakticky chybí. Ve fázi zónové sedimentace lze pozorovat rovnoměrný pohyb rozhraní voda – kal. Tato fáze přechází plynule v deformační fázi, za kterou dochází ke kompresi odsazeného kalu tj. vytlačování vodní fáze z kanálek ve vrstvě zahušťovaného kalu. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty kalových indexů a zónových sedimentačních rychlostí pro různé typy aktivovaného kalu: (10)

typ aktivovaného kalu	KI (ml/g)	ZSR (m/h)
dobře sedimentující	<100	>3
"lehký"	100-200	2-3
zbytnělý	>200	<1.2

Tab. 8 Hodnoty kalových indexů a zónových sedimentačních rychlostí pro různé sedimentující typy aktivovaného kalu

2.4.5.2 Separační problémy aktivovaného kalu

Dosazovací nádrž slouží jako prostředí, které dovoluje aktivovanému kalu jeho separaci flotací a gravitační sedimentací od vyčištěné odpadní vody.

V současné době se potýkáme se separačními problémy, které souvisí s kvalitou a mikrobiálním složením aktivovaného kalu. (2)

Základních druhů separačních problémů aktivovaných kalů, které lze poznat mikroskopickým rozbohem:

- Disperzní růst
- Neusaditelné mikrovločky
- Viskózní bytnění
- Vzplývající kal
- Vlákňité bytnění
- Tvorba biologické pěny

Disperzní růst

Bakterie aktivovaného kalu nemají schopnost aglomerovat a tvořit usaditelné vločky. Vyskytují se převážně ve formě jednotlivých volně dispergovaných buněk nebo malých shluků (průměr 10 – 20 μm), které vzhledem ke své nízké sedimentační rychlosti unikají do finálního odtoku a způsobují jeho značnou turbiditu.

Případy totálního disperzního růstu nejsou v čistírenské praxi obvyklé. Většinou je část směsné kultury přítomna ve formě dobře sedimentujících vloček a část jako neusaditelná disperze. Na aktivační čistírně můžeme pozorovat disperzní růst zejména v prvních fázích po spuštění ČOV do provozu, kdy poměr mezi přiváděným substrátem a množstvím biomasy v systému je z různých důvodů příliš vysoký.

V případě disperzního růstu se nám při sedimentačním testu neobjeví rozhraní kal-voda (tj. nelze ani změřit ZSR). Pod mikroskopem lze v nativním preparátu pozorovat enormní množství agregátů tvořených pouze několika buňkami, nikoliv však velké a kompaktní vločky.

Tvorba neusaditelných vloček

Vnější symptom tvorby mikrovloček je podobný disperznímu růstu – odtok z dosazovací nádrže obsahuje mnoho neusaditelných částic, které způsobují zvýšení hodnot BSK₅ a CHSK. Při sedimentaci pozorujeme rozdělení aktivační směsi do dvou částí. Jednu, tvořenou velkými vločkami, rychle sedimentující a po 30 min. zaujímající malý objem. Takový kal tedy vykazuje velmi nízké KI. Druhá část zůstává v supernatantu a způsobuje jeho zákal. Pod mikroskopem lze pozorovat množství kompaktních, ale velmi malých vloček (<80µm). (10)

Viskózní bytnění

Tento problém je způsoben nadměrnou produkcí extracelulárních biopolymerů. Tyto materiály v sobě vážou velké množství vody a jsou viskózní. Aktivovaný kal získává charakter želé, špatně zahušťuje a odvodňuje a při provzdušnění silně pění.

Vláknité bytnění

Vláknité mikroorganismy jsou přirozenou složkou mikrobiálního společenstva a do určité míry přispívají ke vzniku kompaktních a pevných vloček aktivovaného kalu, neboť tvoří jejich kostru. Mírně zbytněné kaly navíc obvykle poskytují odtoky vyšší kvality, neboť vláknitá struktura v tomto případě působí jako síť, do které jsou zachycovány jemně suspendované částice.

Pokud však množství vláknitých mikroorganismů v aktivovaném kalu přesáhne určitou mez, objeví se následující problémy:

- Nízká zónová sedimentační rychlost (obvykle pod 1,2 m/h při koncentraci kalu 3-5 g/l)
- Zvýšený objem kalu po sedimentaci, hladina odsazeného kalu v dosazovací nádrži se viditelně přibližuje k odtokovému žlábků a dochází k samovolnému odkalování systému.
- Kal usazený v dosazovací nádrži je řídký, takže nelze udržet požadovanou hodnotu koncentrace biomasy v aktivační nádrži a dochází k hydraulickému přetěžování kalového hospodářství.

Biologická tvorba pěn

Některé vláknité mikroorganismy se vyznačují silně hydrofobním povrchem buněk a tvorbou biologických povrchově aktivních látek. Při aeraci v aktivační nádrži pak tyto mikroorganismy způsobují tvorbu biologické pěny, do které jsou zachyceny i ostatní mikroorganismy aktivovaného kalu. V extrémních případech se může většina biomasy v systému zkoncentrovat do pěny a ztratit kontakt s odpadní vodou. Pěna poté postupuje až do dosazovací nádrže a výrazně zhoršuje kvalitu finálního odtoku.

Vzplývání aktivovaného kalu

Problém se projevuje zdánlivě podobně jako tvorba pěn. Dosazovací nádrž je pokryta vrstvou plovoucí biomasy viz obr. 5, která rovněž může zhoršovat kvalitu odtoku. Biomasa je však k hladině vyflotována bublinkami dusíku, vznikajícími biologickou denitrifikací v zahuštěné vrstvě kalu u dna. Příčinou tohoto jevu je tedy příliš vysoká koncentrace dusičnanů na odtoku z aktivace a dlouhá doba zdržení usazeného aktivovaného kalu v dosazovací nádrži.(10)



Obr. 5 Vzplývající kal v DN

Většina separačních problémů aktivovaného kalu souvisí s povahou vloček. Protože nebyla dosud nalezena ekonomicky výhodnější metoda separace aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody jiná než gravitační sedimentace je důležité, aby měl aktivovaný kal dobré separační schopnosti. Dobrá kvalita vloček aktivovaného kalu je tedy základem úspěšného separačního procesu. (2)

2.5 ČOV Praha

ÚČOV byla uvedena do provozu v roce 1966. Ve své době patřila k největším v Evropě, avšak brzy přestávala plnit zvyšující se požadavky na kvalitu vyčištěné vody. Z tohoto důvodu byly nejdříve v 80. a pak znovu v 90. letech minulého století na ÚČOV provedeny významné rekonstrukce a dostavby některých nových objektů. Jednalo se především o zvýšení kapacity biologického stupně čištění včetně zavedení procesu nitrifikace odpadní vody.

V kalovém hospodářství byly instalovány odstředivky na strojní odvodňování kalu. Pro výrobu tepla a elektrické energie z bioplynu byly instalovány nové kogenerační jednotky. Také byl postupně vybudován rozsáhlý automatický a monitorovací systém řízení technologických procesů čištění vody, zpracování kalů i výroby energií. I v současné době na ÚČOV průběžně dochází k výměně a modernizaci fyzicky nebo morálně zastaralého zařízení, které zajišťují udržení požadované kvality procesu čištění odpadních vod.

Současná ÚČOV je mechanicko-chemicko-biologická čistírna. Průměrný přítok odpadní vody v posledních letech činí necelé 4 m³/s odpadní vody. Čistírna biologicky odstraňuje uhlíkové znečištění a částečně nitrifikuje amoniakální dusík. Fosfor se z vody odstraňuje srážením železitými solemi. Technologická čistící linka sestává z lapačů šterku, jemných česlí, podélného provzdušňovaného lapáku písku, primárních usazovacích nádrží, aktivačních nádrží s jemnobublinnými aerátory, dosazovacích nádrží a regenerační nádrže vratného kalu.

Přebytečný biologický kal je po zahuštění na odstředivkách smísen s primárním kalem a čerpán do dvoustupňových vyhnívacích nádrží, kde je udržována teplota 55°C. Vyhnílý kal je pak odvodňován na odvodňovacích odstředivkách. Bioplyn vznikající při vyhnívání kalu je využíván k výrobě tepla a elektrické energie. (11)

2.5.1 Průběh čištění na ÚČOV Praha

Průběh čištění odpadní vody na těchto částech již byl popsán v úvodní části o mechanickém, biologickém čištění a kalovém hospodářství. V této části tedy již nebude podrobně rozepisované jednotlivé stupně čištění, ale pouze se zaměřím na odlišnosti.

Odpadní voda přitékající na ÚČOV je nejprve čerpána na lapák písku a šterku. Následně putuje přes česle do usazovací nádrže. V usazovací nádrži vzniká primární kal, který je odváděn na kalové hospodářství.

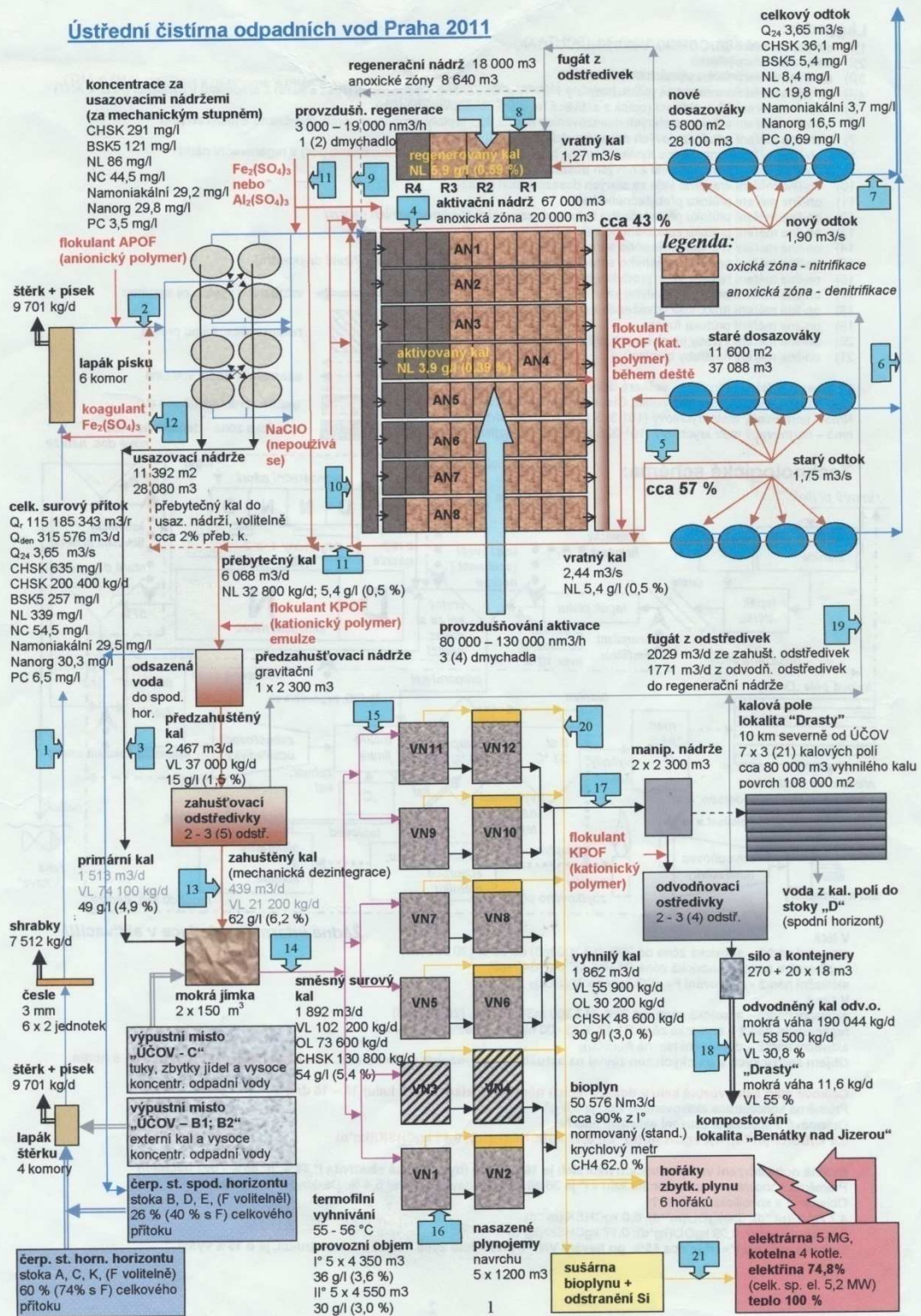
Dále je přidáván síran železitý nebo hlinitý do odpadní vody, která putuje na aktivaci, kde se nachází oxická zóna – nitrifikace a anoxická – denitrifikace. Dochází k odstraňování dusíku a fosforu. Společně je přiváděn na aktivaci i vratný kal ze starých dosazovacích nádrží. K vratnému kalu z nových dosazovacích nádrží je nejprve přidáván fugát z odstředivek a prochází regenerační částí. Dochází k bioaugmentaci, což vede k namnožení bakterii na 2-3%, což zlepšuje odstranění dusíku v aktivační části. Teprve pak je vratný kal přiváděn do aktivace. Velkou chybou na ÚČOV Praha je chybějící recirkulace v rámci aktivace.

Z aktivace voda putuje primárně na staré dosazovacích nádrže. Za deště je navíc přidáván flokulant a voda je přiváděna na nové dosazovací nádrže. Z dosazovacích nádrží dochází k odtoku vyčištěné vody do recipientu. Vratný kal se navrácí zpět do aktivaci, jak již bylo řečeno a přebytečný kal putuje na kalové hospodářství.

Kalové hospodářství je postaveno na dvoustupňovém vyhnívání. Nejprve je kal přiváděn do předzahušťovací nádrže, ze které pokračuje na zahušťovací odstředivky. Z nich směsný surový kal pokračuje na termofilní vyhnívání. Výstupem je vyhnílý kal, který putuje do manipulační nádrže, ze které pokračuje do odvodňovací odstředivky a následně odvážen na kompostování.

Další podrobnosti o průběhu čištění odpadní vody na ÚČOV Praha jsou uvedeny na následujících obrázcích:

Ústřední čistírna odpadních vod Praha 2011

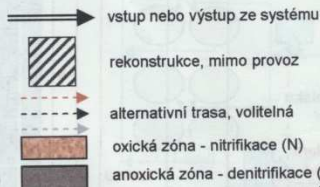


Obr. 6 Schéma ÚČOV Praha

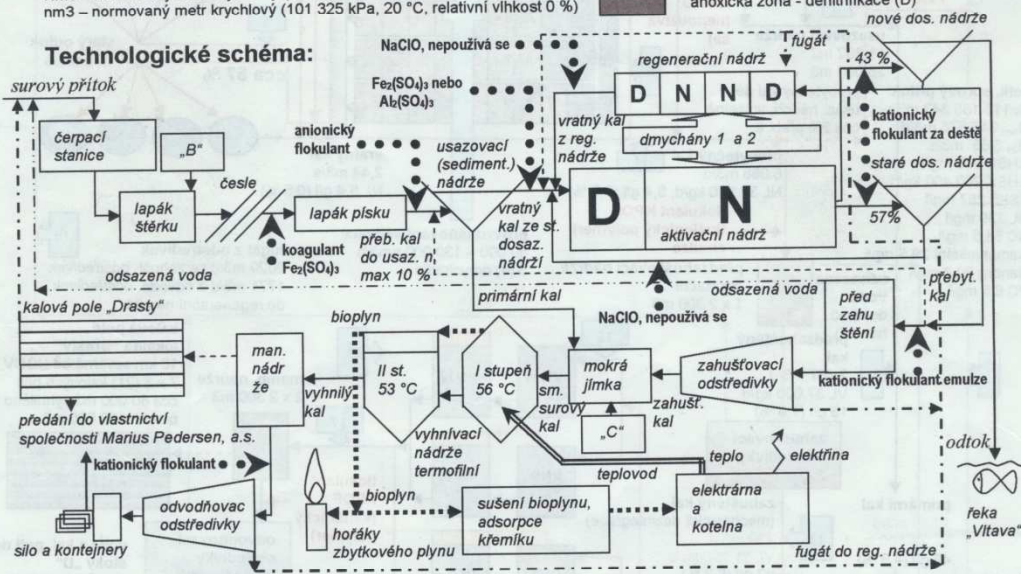
Legenda:

- 1) on-line měření BSK, CHSK, VL, NL, NL (S, B, T, P, X)
- 2) on-line měření průtoku
- 3) on-line měření průtoku primárního kalu a NL
- 4) on-line měření koncentrace a teploty, teploty aktivace, dusičnanů a denitrifikaci (AN3 a AN6) a amoniaku v nitrifikaci (AN3 a AN7)
- 5) on-line měření NL v aktivaci (odtok z aktivace na staré dosazovací nádrže)
- 6) on-line měření odtoku ze starých dosazovacích nádrží, NL, teploty, amonných iontů, dusičnanů a fosforečnanů
- 7) on-line měření odtoku z nových dosazovacích nádrží, NL a teploty
- 8) on-line měření koncentrace kyslíku, teploty, pH, amonných iontů (R2) a dusičnanů (R4) v regenerační nádrži
- 9) on-line měření vratného kalu z nových dosazovacích nádrží
- 10) on-line měření vratného kalu ze starých dosazovacích nádrží
- 11) on-line měření průtoku přebytečného kalu
- 12) on-line měření průtoku přebytečného kalu do usazovacích (sedimentačních nádrží)
- 13) on-line měření průtoku zahusťeného kalu a NL
- 14) on-line měření průtoku smíšeného surového kalu a NL
- 15) on-line měření průtoku smíšeného surového kalu do každé vyhnivací nádrže (řízení dávkování)
- 16) on-line měření hladiny kalu, produkce bioplynu a teploty
- 17) on-line měření průtoku vyhnílého kalu
- 18) on-line měření hmotnosti odváženého odvodněného kalu
- 19) on-line měření průtoku fúgátů
- 20) on-line měření výroby bioplynu pro každý plynem
- 21) on-line měření spotřeby bioplynu

NL – nerozpuštěné látky, VL – veškeré látky, OL – organické látky
 BSK – biochemická spotřeba kyslíku, CHSK – chemická spotřeba kyslíku
 Nm3 – normovaný metr krychlový (101 325 kPa, 0 °C, relativní vlhkost 0 %)
 nm3 – normovaný metr krychlový (101 325 kPa, 20 °C, relativní vlhkost 0 %)



Technologické schéma:



Žádná interní recirkulace v aktivaci!!!

V létě
 aktivací nádrž – anoxická zóna od 20% (13 300 m³) do 30% (20 000 m³)
 regenerační nádrž – anoxická zóna R1+R4 48% (8 640 m³)
 aktivací nádrž - dávkování Fe₂(SO₄)₃ nebo Al₂(SO₄)₃

V zimě
 aktivací nádrž – anoxická zóna od 20% (13 300 m³) do 30% (20 000 m³)
 regenerační nádrž – anoxická zóna R1 17% (3 400 m³) nebo letní nastavení
 aktivací nádrž – dávkování hlavně Al₂(SO₄)₃

Objem anoxických a oxických zón závisí na aktuálních provozních podmínkách. Celkový průtok čistírnou trvá 6 - 9 hodin.

Celkové stáří kalu, včetně kalu v dosazovacích nádržích (celkové stáří kalu) 10 – 15 dní.

Průměrná koncentrace aktivovaného kalu je 3,9 g/l.

Objemové a specifické zatížení aktivací nádrže:

0,6 kgBSK5/(m³·d); 1,4 kgCHSK/(m³·d); 0,17 kgBSK5/(kg·d); 0,41 kgCHSK/(kg·d)

Reálná doba zdržení ve vyhnivacích nádržích je 16 - 20 dní (hydraulická efektivita I° 88%, II° 65% - bez míchání)

Průměrná koncentrace anaerobního kalu v I° je 36 g/l (3,6%), dávkovaný kal 5,4%. Dávkování 24x denně.

Objemové a specifické zatížení I°:

4,7 kgVL/(m³·d); 3,4 kgOL/(m³·d); 6,0 kgCHSK/(m³·d)

0,13 kgVL/(kg·d); 0,09 kgOL/(kg·d); 0,17 kgCHSK/(kg·d)

Celkové zatížení I°+ II° je cca 55%, po havárii VN7 + VN8 – léto 2005 – nyní v rekonstrukci, je o 15% vyšší.

Obr. 7 Schéma ÚČOV Praha

2.5.2 Separace aktivovaného kalu na ÚČOV Praha

K separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody slouží na ÚČOV osm starých a čtyři nové dosazovací nádrže. Jedná se o kruhové nádrže, radiálně protékané. Staré dosazovací nádrže mají průměr 43 m a hloubku u vnější stěny 2,5 m. Nové dosazovací nádrže mají hloubku 4,5 m.

Aktivační směs natéká středovým vtokovým objektem ve tvaru osmihranu. Usazený kal je stírán ke středu nádrže shrabováký zavěšenými na otočném jednoramenném pojezdovém mostě do kalové jámy, odkud gravitačně odtéká do čerpací stanice vratného a přebytečného kalu.

Vyčištěná voda natéká do mezikruhového ocelového odtokového žlabu, neseného na betonových sloupech, který je propojen s obvodovým sběrným odtokovým žlabem, odkud odtéká do podzemního betonového žlabu.

V roce 2009 byly provedeny úpravy jednotlivých starých dosazovacích nádrží pro stírání a odtah plovoucích nečistot spočívající v instalaci norných stěn na odtokové žlaby, stíracích lišt, dvou jámek s čerpadly pro odtah plovoucích nečistot v obou mezikružích a zařízení pro automatické čištění norných stěn. (10)

3. Metodika měření

Měření probíhalo na dosazovací nádrži na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze. Odběr vzorků kalu probíhal v různých částech nádrže a za různých průtokových poměrů. Dále se zjišťovali vlastnosti kalu během sedimentace v závislosti na různých faktorech. Výsledky z měření se následně využijí pro tvorbu matematického modelu.

Účinnost dosazovací nádrže na separaci kalu z vody je klíčovým faktorem pro správnou funkci ČOV a ta je stanovena přepadem nerozpuštěných látek. Přesné znalosti vlastností kalu při různých průtokových podmínkách je důležitá pro posouzení chování v nádrži. Matematický model může pak předpovídat chování při změnách geometrie nádrže a při různých zatěžovacích stavech. Zlepšení funkce dosazovací nádrže sníží přepad nerozpuštěných látek a tím i vliv na životní prostředí. (10)

3.1 Zpracování výsledků

Zpracování výsledků je možné rozdělit do několika skupin:

- Hodnoty závislé na umístění odběru v nádrži
- Hodnoty závislé vzájemně na sobě
- Hodnoty proměnné podle průtokových parametrů

3.2 Záznam naměřených hodnot

Zpracování výsledků závisí na typu závislosti. Zjištěné vlastnosti použijeme pro hodnocení chování a pro vývoj matematického modelu. Pro přesné zjištění chování kalu byla vypracována jednotná záznamová tabulka, která obsahuje tyto informace:

- Pozice odběru – vzdálenost od středu R (m) a hloubka H (m)
- Datum a čas odběru
- Koncentrace nerozpuštěných látek X - koncentrace kalové sušiny aktivační směsi (g.ml⁻¹).
 - Před sedimentací - nátok na kolonu, nátok do DN, odtok z DN
 - Po sedimentaci – supernatant, v místě sedimentace, usazený kal
- Průtok (l/s)
- Teplota (°C)

- Hladina v odtokovém žlabu (mm)
- Hustota (g/l)
 - Před sedimentací - nátok na kolonu, nátok do DN, odtok z DN
 - Po sedimentaci – supernatant, v místě sedimentace, usazený kal
- Kalový index (ml/g)
- Viskozita (Pa.s)
 - Před sedimentací - nátok na kolonu, nátok do DN, odtok z DN
 - Po sedimentaci – supernatant, v místě sedimentace, usazený kal
- ZSR (m/h)
- Vločky - malé (%), střední (%), velké (%)
- Sacharidy vázané a volné - nátok DN (mg/g(org))
- Proteiny vázané a volné - nátok DN (mg/g(org))
- Humínové látky vázané a volné - nátok DN (mg/g(org))
- Sedimentační test (cm) (10)

3.3 Průběh měření

Veškeré testy probíhaly na ÚČOV Praha v sedimentačních kolonách o výšce 280 cm a průměru 15 cm (viz. obr. 8). Kal byl do kolon čerpán z jednotlivých míst dosazovací nádrže čerpadlem.



Obr. 8 Sedimentační kolony

Pro zkoumání byly odebírány vzorky v horní, střední a dolní části kolony. Přímo na místě byly měřeny zónová sedimentační rychlost (ZSR), reologické vlastnosti, hustota, teplota a kalový index (KI).

Na následujícím obrázku je vidět detail sedimentačního válce na počátku sedimentace:

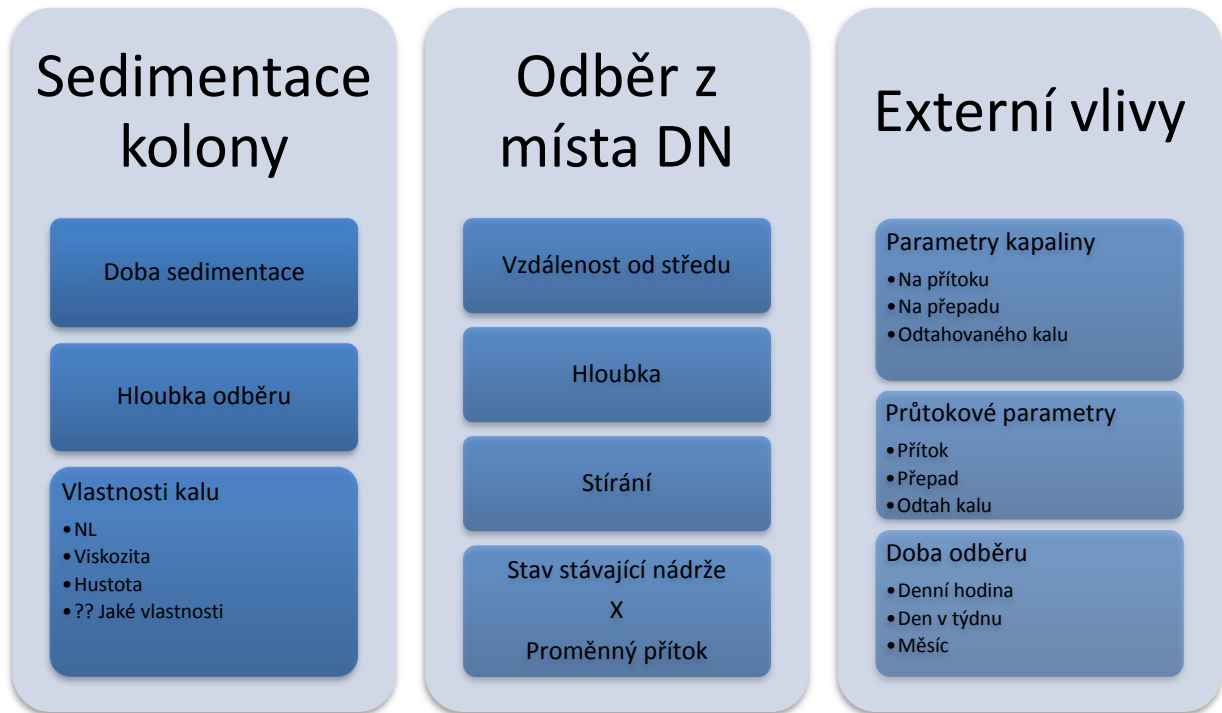


Obr. 9 Detail sedimentačního válce na počátku sedimentace

Koncentrace extracelulárních polymerů (ECP) – sacharidy, proteiny a huminové látky byly stanoveny spektrofotometricky. Volné ECP byly od vázaných odděleny centrifugací. Vázané ECP byly extrahovány teplotně s následnou centrifugací. Koncentrace veškerých nerozpuštěných látek a organických nerozpuštěných látek byly stanoveny gravimetricky dle Horákové a kol. (2005).

Hustota byla měřena pyknometrem o objemu 100 ml. Pro měření viskozity byl využit rotační viskozimetr Rheometer RC20 se specializovaným softwarem Rheotec 3000, verze 2.0. Byly měřeny hodnoty tečného napětí a viskozity v rozsahu hodnot smykových rychlostí 0 – 1000 1/s.KI byl stanoven v odměrném válci o objemu 1 litr. ZSR byla měřena po dobu 1 hodiny. Z naměřených hodnot byla vypočtena ZSR v m/h jako směrnice lineární části závislosti výšky rozhraní kalu na čase (Wanner, 1994).

Vzhledem k tomu, že vzorky do kolon jsou odebírány z různých míst DN, máme možnost sledovat vývoj kalu v samotné nádrži. To nám umožňuje jedinečný pohled na vývoj kalu. Tyto hodnoty pak slouží jako vstup do matematického modelu. Schéma postupu měření je na následujícím obrázku:



Obr. 10 Schéma sedimentačních testů jako základních zdrojových dat pro tvorbu matematického modelu k určení parametrů dosazovacích nádrží (10)

4. Vyhodnocení měření

Dobře sedimentující kal musí splňovat následující:

- Kritéria KI a ZSR pro dobře sedimentující kal
- Po sedimentaci by měl kal zanechat čirý supernatant a neměl by zaujímat nadměrný objem
- Odsazený kal by neměl vzplývat po dobu alespoň 1,5-2 hod.

4.1 Sedimentace podle umístění

Datum a čas odběru vzorku byl zaznamenán na místě, celkem bylo provedeno 19 měření. Odběr kalu probíhal v různých částech DN, což určuje R (vzdálenost od středu nádrže) a H (hloubka odběru). Následně byly dopočteny hodnoty průtoku podle výšky hladiny v odtokovém žlabu. Hustota byla měřena pyknometrem o objemu 100 ml.

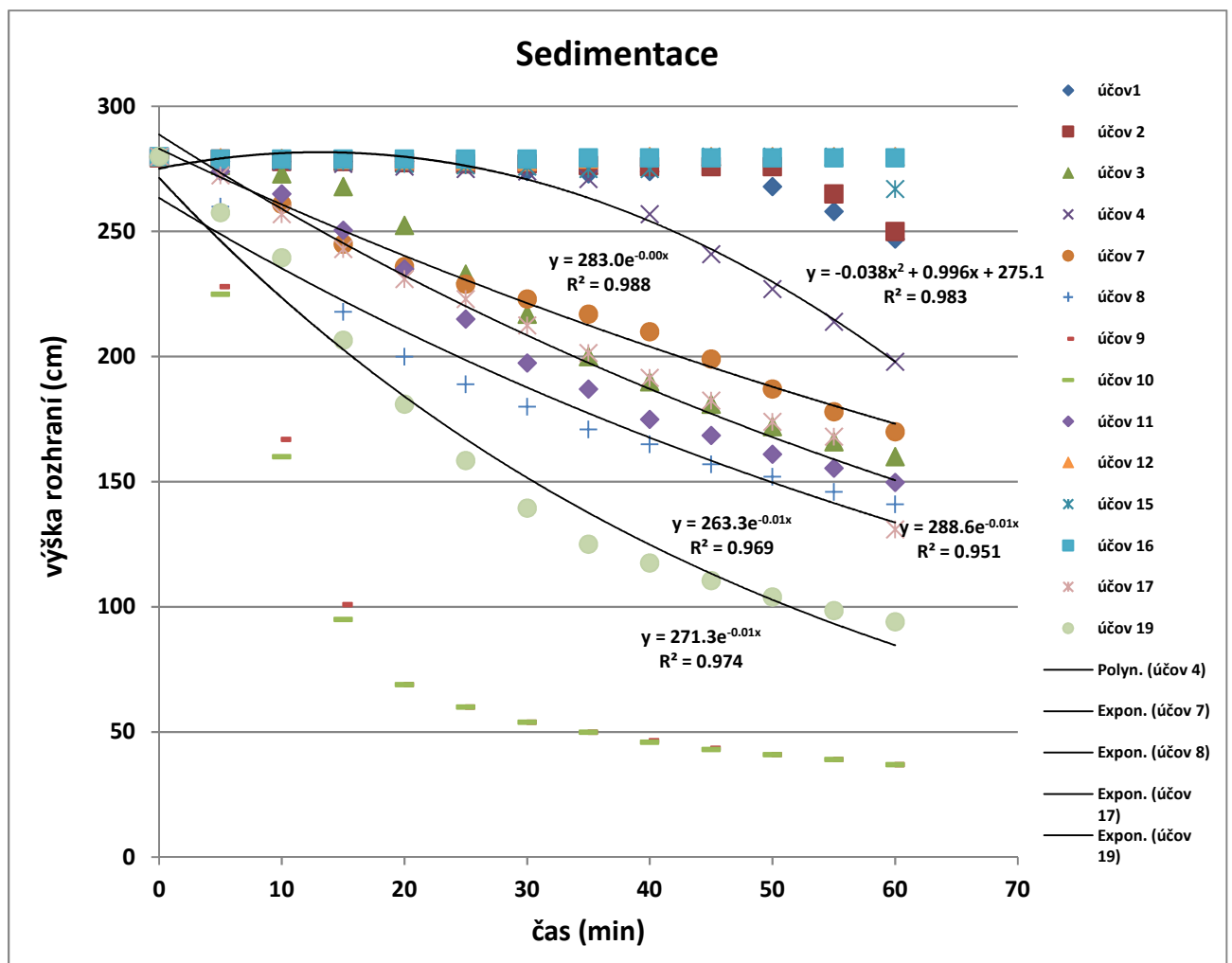
úřov č.měření	R (m)	H (m)	Datum odběru	Čas odběru	X - nátok na kolonu	Průtok (m ³ /s)	Hladina v odtokovém žlabu (mm)	Hustota (g/l)	Kalový index (ml/g)	Viskozita - nátok na kolonu (Pa.s)
1	5.00	2.35	5.9.2017	10:18	4.41	544.83	257.00	1008.43	201.81	0.00137
2	15.00	2.40	5.9.2017	10:27	5.58	541.40	260.00	1008.38	179.21	0.00160
3	10.00	2.50	5.9.2017	11:55	4.32	538.41	263.00	1008.35	-	0.00166
4	15.00	2.50	5.9.2017	12:03	5.38	543.64	258.00	1008.48	186.05	0.00162
5	5.00	2.00	5.9.2017	13:34	0.29	557.70	248.00	1007.04	74.83	0.00130
6	15.00	2.00	5.9.2017	13:42	0.28	557.70	248.00	1007.04	106.38	0.00124
7	5.00	2.60	6.9.2017	9:20	4.56	587.79	233.00	1009.82	177.63	0.00632
8	10.00	2.50	6.9.2017	9:26	3.44	540.35	261.00	1016.67	192.14	0.00236
9	15.00	2.00	6.9.2017	12:04	0.99	535.09	267.00	1007.84	121.21	0.00135
10	10.00	2.00	6.9.2017	12:07	1.20	535.84	266.00	1015.23	108.79	0.00160
11	5.00	2.50	6.9.2017	13:40	3.69	551.50	252.00	1008.65	214.09	0.00174
12	15.00	2.50	6.9.2017	13:45	5.56	551.50	252.00	1016.77	179.86	0.00225
13	15.00	2.20	7.9.2017	9:48	0.03	540.35	261.00	1007.59	-	0.00277
14	10.00	2.10	7.9.2017	9:53	0.00	535.84	266.00	1007.52	-	0.00140
15	10.00	2.70	7.9.2017	11:20	6.04	535.09	267.00	1009.05	165.56	0.00571
16	15.00	2.60	7.9.2017	11:28	6.66	534.38	268.00	1008.35	150.15	0.00250
17	5.00	2.65	8.9.2017	9:30	4.54	564.66	244.00	1016.57	182.82	0.00145
18	10.00	2.60	8.9.2017	9:35	5.90	552.97	251.00	1009.29	147.46	0.00133
19	15.00	2.15	8.9.2017	11:00	2.88	539.36	262.00	1016.02	166.67	0.00131

Typ aktivovaného kalu podle vyhodnocení KI vyšel „lehký“ kal (100-200) pro většinu měření, ve dvou případech zbytnělý (>200). Ve třech měřeních nebylo možné kalový index zjistit.

Viskozita při nátoku na kolonu se pohybovala mezi 0,0013-0,0063 Pa*s. Hustota se pohybovala mezi 1007-1016 g/l.

Zónová sedimentační rychlost byla zjištěna jen u některých měření. U měření účov 9 a účov 10 hodnota ZSR přesáhla lehce hodnotu 2 m/h. U měření účov 3,8,11,a17 se pohybovala mezi 1,3 -1,4 m/h. U měření účov 1 klesla na 0,23 m/h. U ostatních měření hodnota ZSR nebyla zjištěna.

Vyhodnocení sedimentace podle umístění v nádrži je vidět v následujícím grafu:

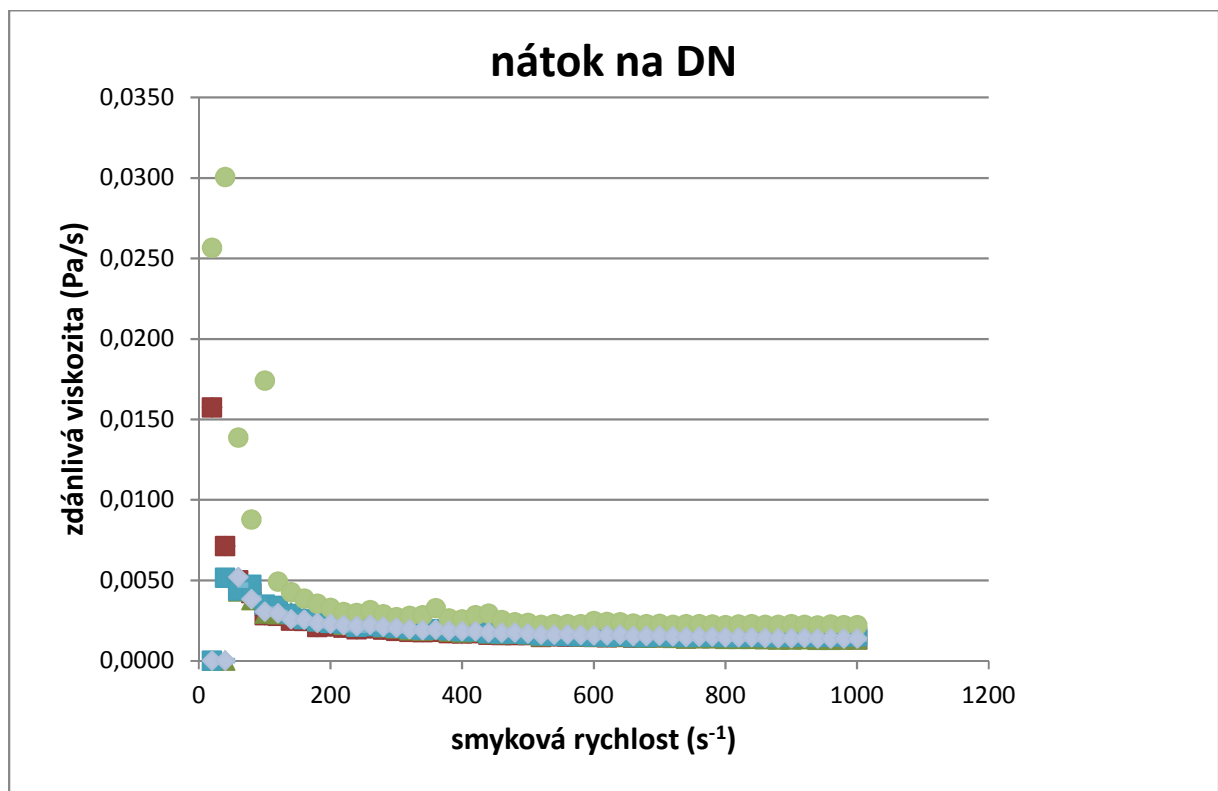


Graf 1 Sedimentace dle umístění

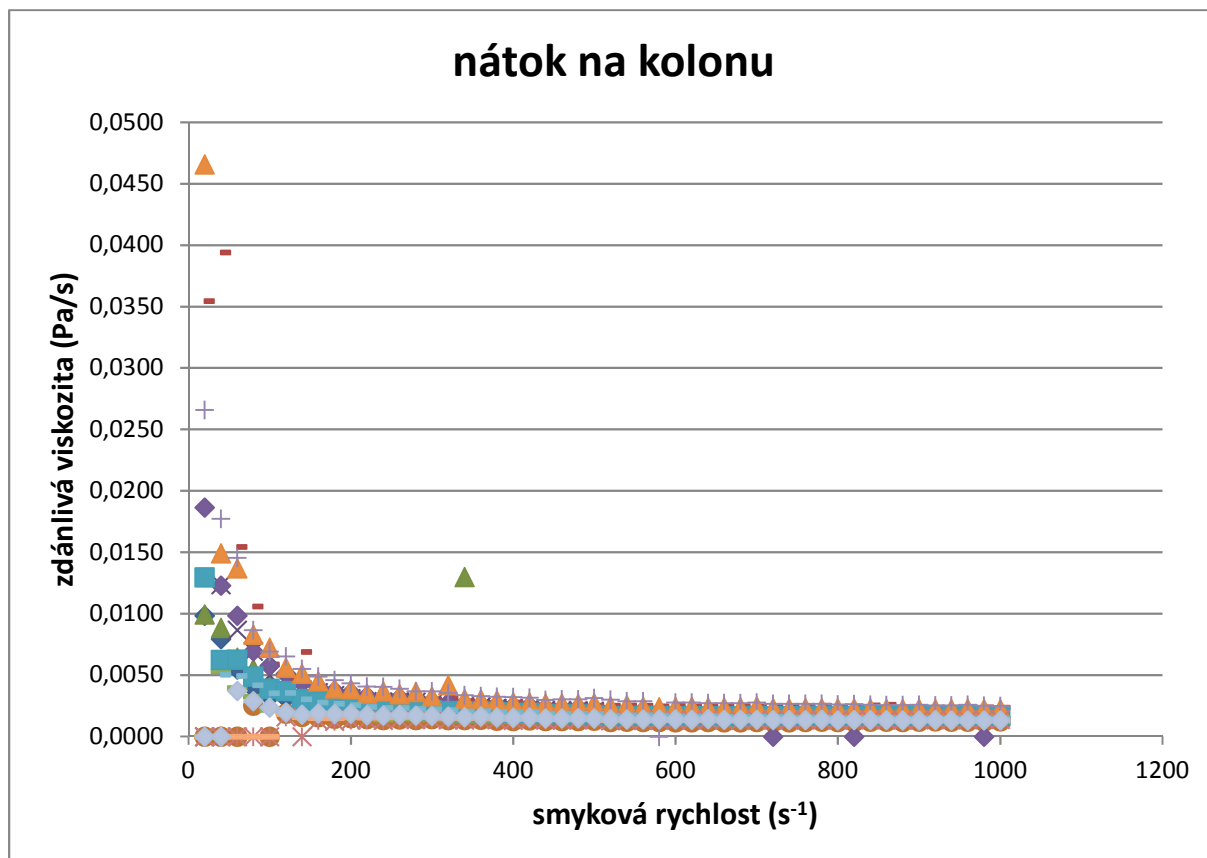
Z grafu je patrné, že při měřeních účov 1, účov 2, účov 15 a účov 16 dochází k pomalejší sedimentaci částic, nastává zde reflokulační fáze sedimentační křivky. Naopak u měření účov 9 a účov 10 je sedimentace nejrychlejší, nastává zde přechodová a kompresní fáze sedimentační křivky.

4.2 Zdánlivá viskozita

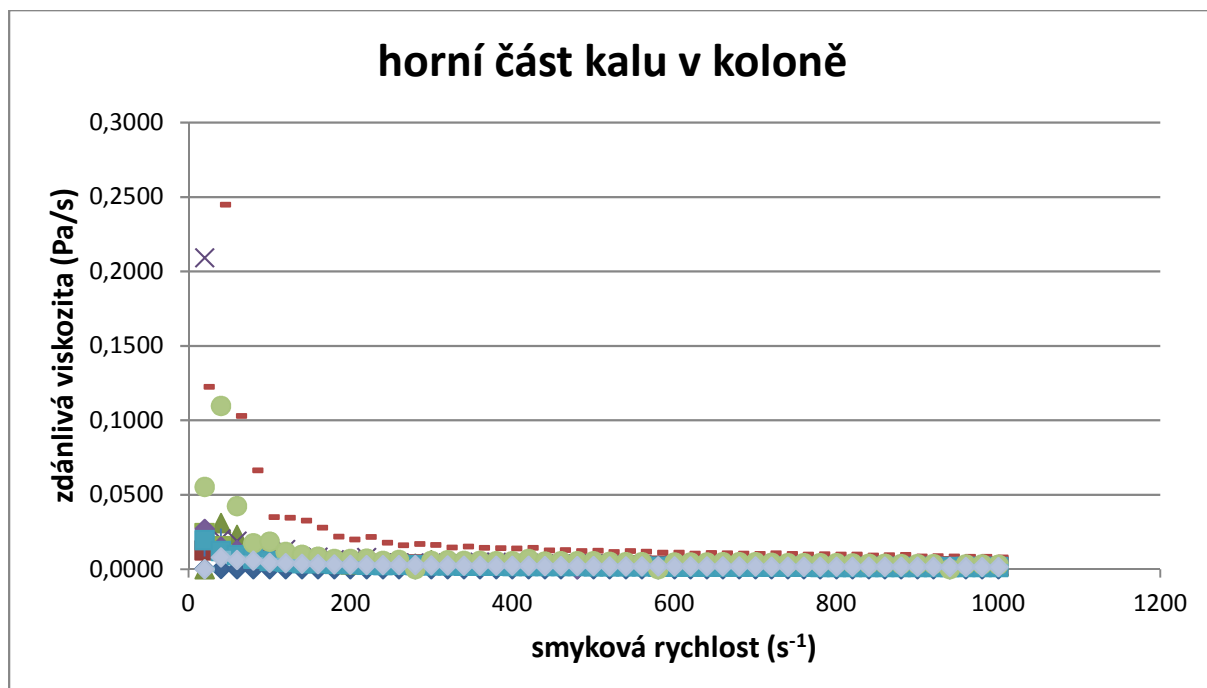
Na následujících grafech je vidět průběh zdánlivé viskozity na smykové rychlosti na nátoku na DN, kolonu a v horní a dolní části kolony:



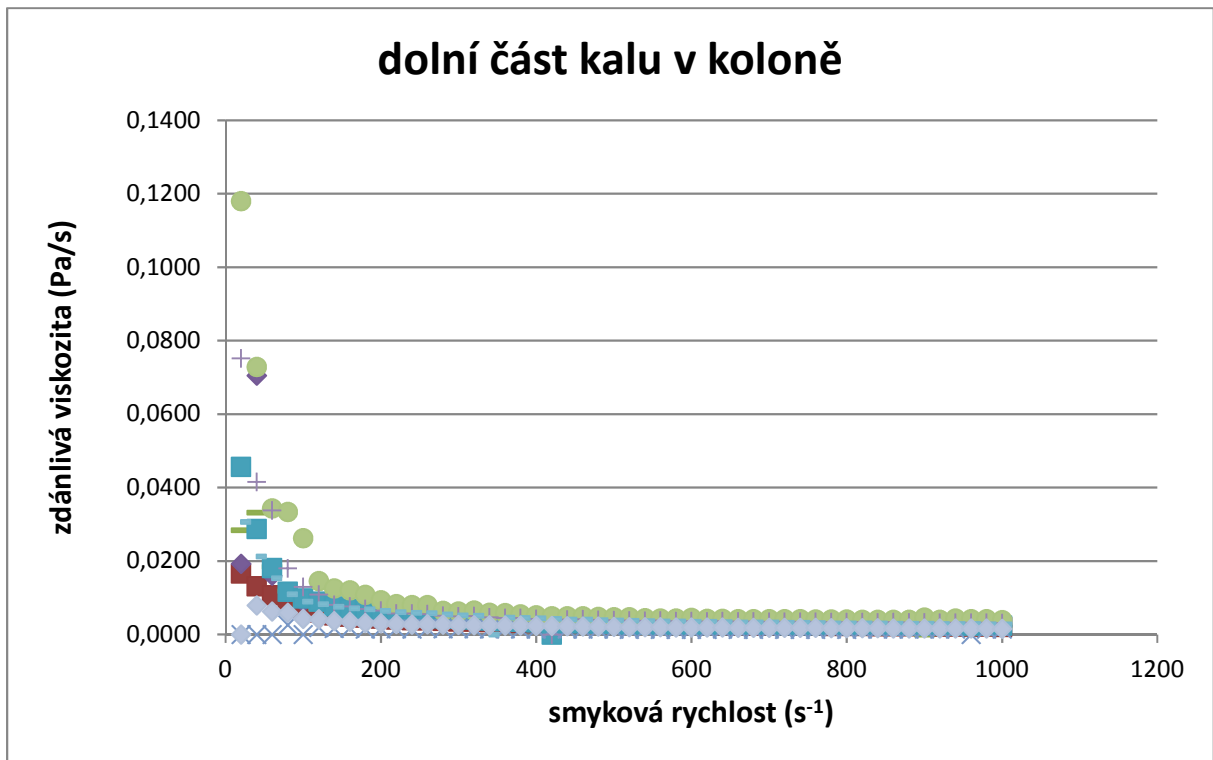
Graf 2 Nátok na DN



Graf 3 Nátok na kolonu

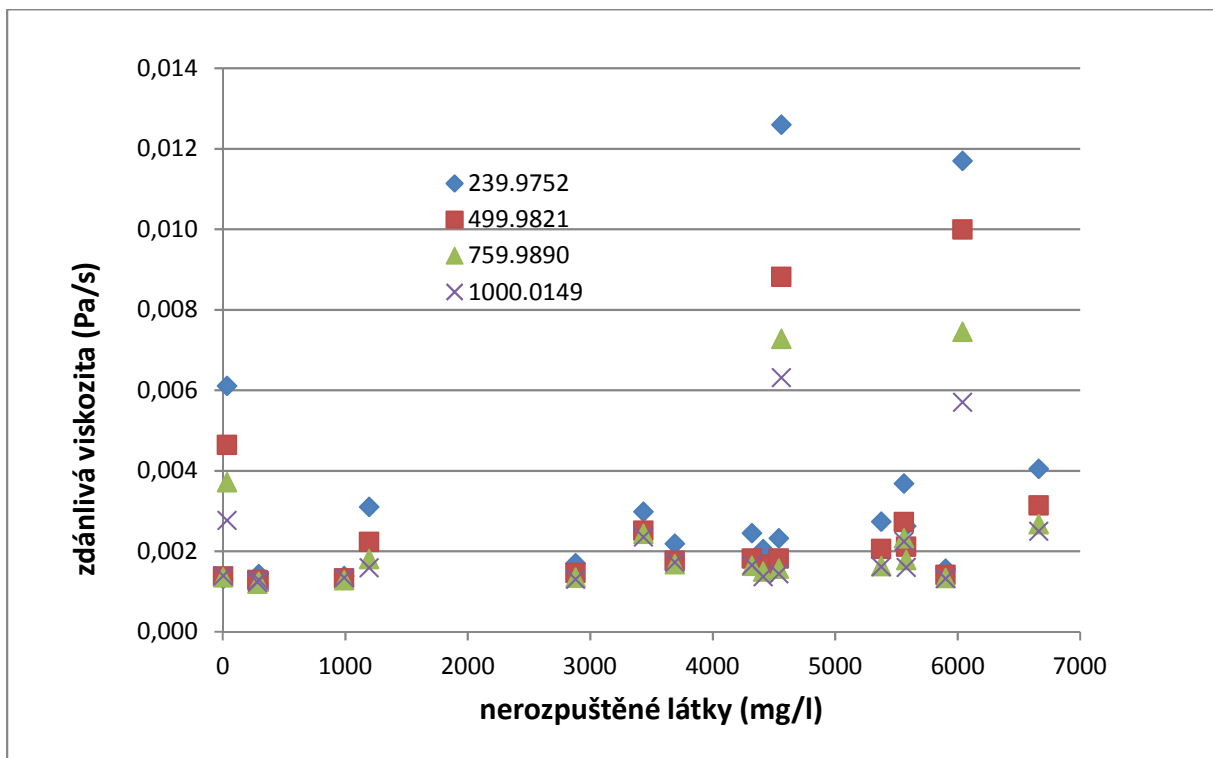


Graf 4 Horní část kalu v koloně



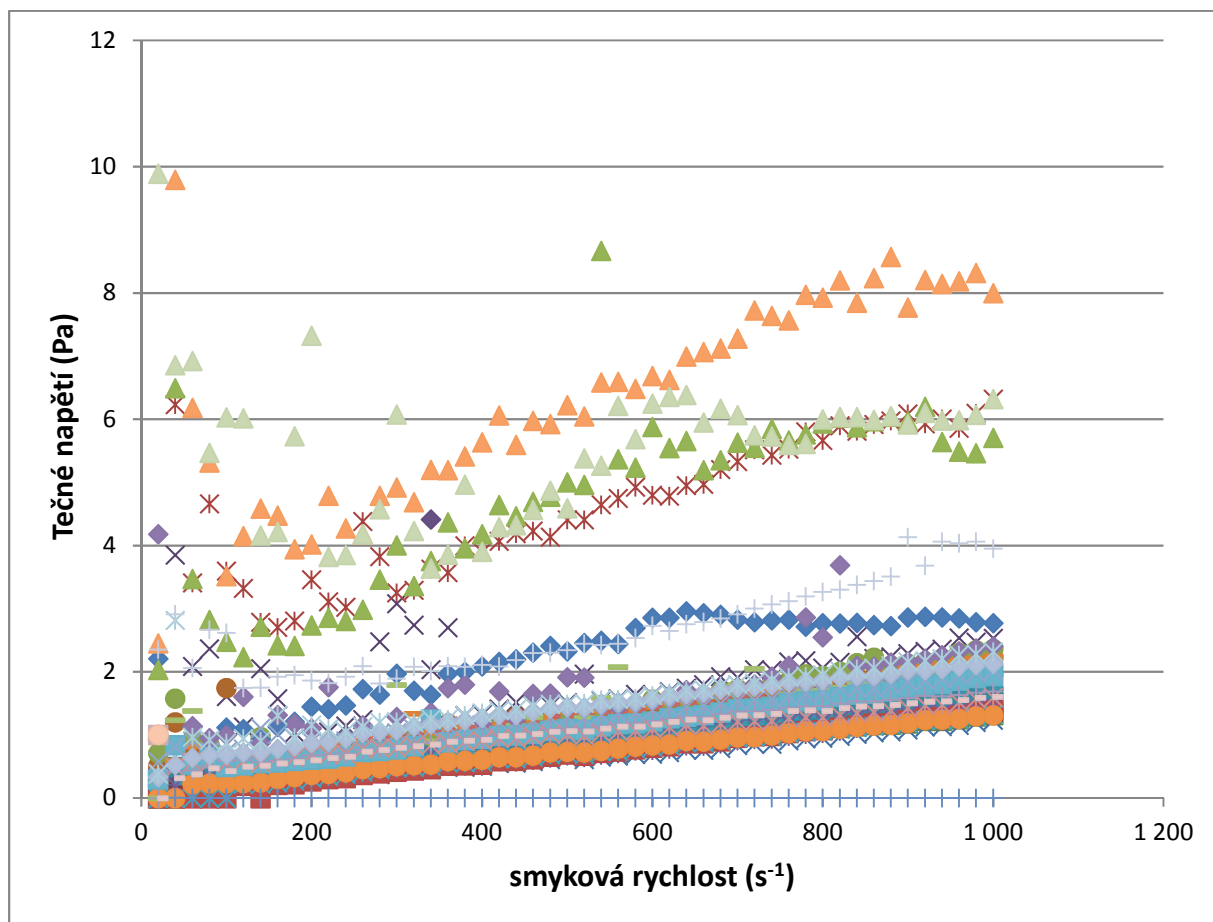
Graf 5 Dolní část kalu v koloně

Z grafů je patrné, že průběh zdánlivých viskozit v závislosti na smykové rychlosti má v jednotlivých částech dosazovací nádrže podobný průběh.



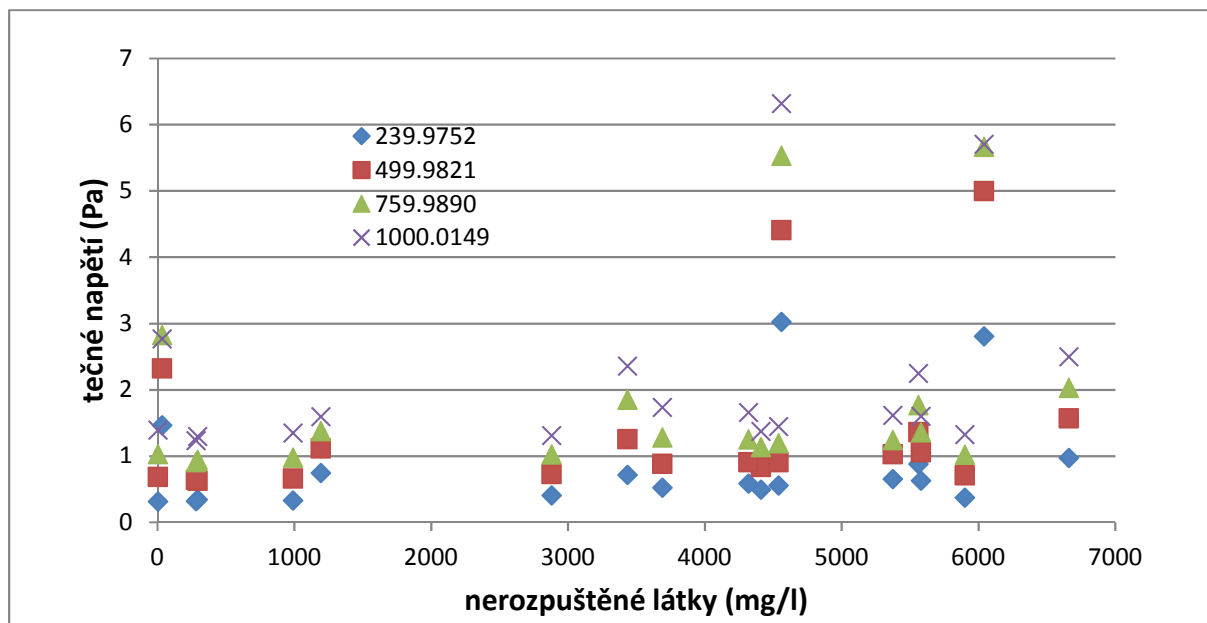
Graf 6 Závislost zdánlivé viskozity na množství nerozpuštěných látek

4.3 Tečné napětí



Graf 7 Průběhu tečného napětí v závislosti na smykové rychlosti

Z grafu můžeme vyzorovat oblast bodů, kde jsou vyšší hodnoty tečného napětí a body jsou více roztroušené nepravidelně. Naopak ve spodní části je nárůst tečného napětí rovnoměrný se zvyšováním smykového napětí.



Graf 6 Závislost zdánlivé tečného napětí na množství nerozpuštěných látek

5. Závěr

Reologické vlastnosti nejsou běžně v praxi měřeny, i když významně ovlivňují sedimentaci kalu a mají význam pro správné fungování dosazovací nádrže. Viskozita může ovlivnit usazovací rychlost kalu a to zejména se změnou dalších doplňkových veličin jako je teplota, koncentrace nerozpuštěných látek či velikost částic. Průběh viskozity a smykové rychlosti má v jednotlivých částech dosazovací nádrže podobný průběh.

Díky odběrům z různých míst nádrže jsme schopni následně namodelovat chování kalu v jednotlivých částech nádrže. Výsledky z grafů mají posloužit pro následné vytvoření matematického modelu dosazovací nádrže. To nám následně umožňuje vhodně navrhnout vnitřní uspořádání nádrže, které povede k lepší separaci kalu a tím i ke zlepšení kvality vypouštěné vody do recipientu. Bude možné i vysvětlit jevy v nádržích a vyhnout se chybám při navrhování nových dosazovacích nádrží.

6. Použité zdroje

1. Ing. Jan Bindzar, Ph.D. a kol., 2009, Základy úpravy a čištění vod, ISBN 978-80-7080-729-3
2. Ing. Josef Kluibr, 2003, Odpadní vody, ISBN 978-80-87096-03-1
3. Prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D. a kol., Průvodní zpráva kontrolovatelné etapy II. o řešení projektu „ÚČOV – hydraulická a kalová bezpečnost DN“ za období 1.1.2017 – 31. 8. 2017
4. Josef Pošta a kol., 2005, Čistírny odpadních vod, ISBN 978-213-1366-8
5. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.
6. Jean-Marie Rovel, Wastewater Treatment Handbook, ISBN 978-2-7430-0970-0
7. Ing. Kateřina Slavíčková, Ph.D., 2013, Vodní hospodářství obcí 1 Úprava a čištění vody, ISBN 978-80-01-05390-4
8. P.Aarne Vesilind, Wastewater Treatment Plant Design, IWA Publishing, ISBN 1 84339 024 8
9. Ing. Tomáš Vítěz, Ph.D, prof. Ing. Bořivoj Groda, CSc., 2008, Čištění a čistírny odpadních vod, ISBN 978-80-7375-180-7
10. Prof. Ing. Jiří Wanner, CSc., Ing. Petr Hlavínek CSc., 1997, Moderní trendy v čištění odpadních vod, Centrum pro kontinuální vzdělávání ve vodním hospodářství, Ústav vodního hospodářství obcí Fakulta stavební VUT Brno
11. www.pvk.cz
12. www.pivokonsky.wz.cz/ZOV16-17/znecistovani_ochrana_vod_9.pdf
13. Zákon o vodách 254/2001 Sb.