

Analýza měřicí metody CST

Markéta Muchová

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce byla analýza měřicí metody CST. Pomocí CST metru a stopek typu MR 413 s použitím papíru Filpap byla testována odvodnitelnost aerobního a anaerobního kalu. Bylo měřeno CST kalu, kalu ředěného jeho filtrátem a filtrátu. Aerobní kal vykazoval lepší odvodnitelnost, hodnoty CST byly několik sekund. U anaerobního kalu se jednalo o několik desítek sekund. Byla stanovována optimální dávka flokulantu Praestol 650 BC a Praestol 853 BC. Byl měřen vliv teploty kalu na jeho odvodnitelnost. Byl prokázán pozitivní vliv teploty na odvodnitelnost u anaerobního kalu. Při porovnání teplot 20 °C a 30 °C klesly hodnoty CST až o 64%. Bylo vyzkoušeno použití jiného druhu papíru a byl testován vliv vlhkosti papíru na měření CST, z jehož výsledků plyne doporučení, že pro stanovení CST by bylo vhodné papír předem vysušit. Výsledky všech měření a stavu přístroje jsou průběžně diskutovány a na závěr celkově shrnuty.

ABSTRAKT

The aim of this master thesis was analysis of CST measuring method. The dewaterability of aerobic and anaerobic sludge was tested using the CST-meter, stopwatch type MR 413 and the filter paper Filpap. The CST values were measured for: the sludge, the sludge diluted in its filtrate and the filtrate. The aerobic sludge had better dewaterability and the CST values were only in the range of few seconds, instead of the case of the anaerobic sludge, where the CST values were several tents of seconds. The optimal batch of flocculants Praestol 650 BC and Praestol 853 BC was also specified in this work. The effect of temperature on the dewaterability of the sludge was measured. Comparing the temperatures of the sludge 20 °C and 30 °C decrease of the CST values was almost 64%. Using of different type of the filter paper and the effect of humidity of filter paper on the CST measurement was tested and as can be clearly seen from the results, it can be recommended to dry the filter paper before measurement of the CST values. All the important results of each measurement and function of CST-meter are discussed continuously and at the end of whole master thesis too.

Na tomto místě chci poděkovat Ing. Marii Dvořáčkové Ph.D. za odborné vedení a podnětné rady při vypracování této diplomové práce. Dále děkuji celému kolektivu Ústavu inženýrství a ochrany životního prostředí za vytvoření velmi dobrých pracovních podmínek. Také děkuji rodičům a kolegům za všestrannou podporu při studiu.

Prohlášení

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo dle uvážení vedoucího diplomové práce a vedoucího ústavu. V případě publikací budu uvedena jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem pouze citovala.

Ve Zlíně dne 24.května 2005

.....

Markéta Muchová

OBSAH

OBSAH.....	5
ÚVOD.....	7
1. TEORETICKÁ ČÁST.....	8
1. 1 ROZDĚLENÍ KALŮ.....	8
1. 2 MOŽNOSTI ÚPRAVY KALU.....	10
1. 3 UMĚLÉ ODVODŇOVÁNÍ KALŮ	12
1. 4 USAZOVÁNÍ.....	13
1. 5 ZAHUŠŤOVACÍ KŘIVKA	14
1.5.1 Úvod	14
1.5.2 Určování zahušťovacích vlastností kalu statickými pokusy	15
1.5.3 Stanovení času kapilárního sání (CST) dané suspenze	18
1.5.4 Přístrojová technika	20
1. 6 METODY CST	20
1.6.1 CST technologie	21
1.6.2 Vlivy na CST	24
1. 7 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ A CÍLE PRÁCE	26
1.7.1 Nejistoty měření CST	28
1.7.2 Návrh konstrukce měření CST vyšší generace	29
1.7.3 Cíle práce	29
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
2. 1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE	30
2.1.1 Organické flokulanty: Praestol 650 BC, Praestol 853 BC, Superfloc 100 A	30
2.1.2 Biologický materiál : aerobní a anaerobní kal	30
2.1.3 Ostatní chemikálie	30
2. 2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	30
2.2.1 CST metr	30
2.2.2 Vodivostní cela	31
2.2.3 Ostatní	31

2.3	PRACOVNÍ METODIKY A JEJICH VYHODNOCENÍ	32
2.3.1	Stanovení CST	32
2.3.2	Stanovení vodivosti	33
2.3.4	Stanovení pH	33
2.3.5	Stanovení sušiny kalu	34
3.	VÝSLEDKY A DISKUSE	35
3.1	STANOVENÍ ČASU KAPILÁRNÍHO SÁNÍ	35
3.1.1	Měření vlivu stáří kalu na CST u aerobního kalu	35
3.1.2	Měření CST u anaerobního kalu v závislosti na sušině kalu	37
3.2	STANOVENÍ Vlivu TEPLoty NA CST	39
3.2.1	Měření CST aerobního kalu v závislosti na teplotě kalu	39
3.2.2	Měření CST anaerobního kalu v závislosti na teplotě kalu	42
3.3	STANOVENÍ Vlivu FLOKULANTŮ NA CST	44
3.3.1	Měření CST aerobního kalu s flokulanty	44
3.3.2	Měření CST anaerobního kalu s flokulanty	46
3.4	STANOVENÍ CST V ZÁVISLOSTI NA DRUHU POUŽITÉHO PAPÍRU	48
3.4.1	Stanovení vlivu papíru na CST u aerobního kalu	48
3.4.2	Stanovení vlivu papíru na CST u anaerobního kalu	51
3.5	STANOVENÍ Vlivu Vlhkosti PAPÍRU FILPAP NA MĚŘENÍ CST	53
3.5.1	Stanovení vlivu vlhkosti papíru Filpap na měření CST u aerobního kalu	53
3.5.2	Stanovení vlivu vlhkosti papíru Filpap na měření CSt u anaerobního kalu	55
3.6	ANALÝZA MĚŘENÍ NA STÁVAJÍCÍM ZAŘÍZENÍ	56
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK	64

ÚVOD

Vodu člověk potřebuje nejen jako nezbytnou životní potřebu, ale také jako prostředek při různých činnostech. Čím vyspělejší je společnost, tím vzrůstá spotřeba vody. A s tím je spojena i vzrůstající produkce vod odpadních. Tyto se dostávají na ČOV a při čistících procesech vzniká množství kalu, které je potřeba dále zpracovat.

Při tomto zpracovatelském procesu je velmi důležitým krokem minimalizace kapalné fáze v kalu. Cílem této diplomové práce je popis a analýza měřicí metody CST, která je uplatňována v laboratorních podmínkách jako vhodný způsob k testování odvodnitelnosti kalu. Je využívána také při navrhování usazovacích nádrží a k hodnocení vlastností kalu.

Jde o poměrně jednoduchou metodu, v níž je tlakový spád při filtraci nahrazen filtračním papírem. Při samotném měření pak záleží na vlastnostech kalu, sušině kalu, viskozitě, teplotě, přidaném flokulantu i homogenitě filtračního papíru.

V této diplomové práci je také analyzován stav stávajícího přístroje pro měření CST.

1. TEORETICKÁ ČÁST

Kalová problematika vystupuje stále více do popředí, protože s rozmachem čistírenské techniky jsou produkována vzrůstající množství kalů, zvětšuje se plocha potřebných depónií a vzrůstá nebezpečí vyluhování různých látek z kalů do podzemních vod nebo splachu do vod povrchových. Je proto nutné s každou navrhovanou technologií čištění odpadních vod řešit i problém kalového hospodářství. Kaly se mohou buď likvidovat, nebo využít. Navržený způsob likvidace nebo využití závisí na fyzikálních a fyzikálně chemických vlastnostech kalů a na jeho chemickém složení, zjištěného chemickým rozbořem.

1.1 Rozdělení kalů

Kalem se rozumí suspenze anorganických nebo organických látek ve vodě odpadající při různých technologiích čištění odpadních vod nebo při úpravě vody. Mezi kaly se počítají i sedimenty na dně nádrží, řek i jezer.

Rozlišuje se tuhá fáze kalu a fáze kapalná (kalová voda). Kalová voda je kapalina oddělující se při zahušťování kalu od tuhé fáze. Tuhá fáze kalu je obvykle heterogenní směs částic různé velikosti. Podle povahy této disperze se rozlišuje kal zrnitý a kal vločkovitý. U zrnitého kalu se jednotlivé částice nespojují a každá sedimentuje samostatně bez vlivu jiných částic. U vločkovitého kalu dochází ke vzájemnému spojování (nabalování) jednotlivých částic kalu během sedimentace, čímž se jejich hmotnost zvyšuje, a tím vzrůstá i rychlost sedimentace.

V kalu mohou převládat buď látky organické, nebo anorganické. Přebírají-li organické látky podléhající snadno biologickému rozkladu, hovoří se o kalech hnilobných. Přebírají-li látky anorganické nebo organické nerozložitelné, hovoří se o kalech nehnílných. Přebírají-li v kalu anorganické látky, hovoří se také o kalech minerálních.

Nejvýznamnější skupinu tvoří hnilobné kaly, které se nezbytně musí dále zpracovávat, protože při jejich skladování dochází k biologickému rozkladu přítomných organických látek. Vzhledem k nedostatku kyslíku probíhají při deponování těchto kalů ve spodních vrstvách anaerobní pochody a vznikají páchnoucí látky, hygienicky závadné. Proto se hnilobné kaly musí stabilizovat. Stabilizace může probíhat za podmínek buď anaerobních, nebo aerobních. Při stabilizaci kalu se hnilobné látky i mineralizují nebo se přeměňují na organické látky nehnídné (např. huminové).

Surové kaly, u nichž dosud nezačaly probíhat anaerobní rozkladné pochody, se označují jako čerstvé. Ostatní se nazývají hnilobné.

Mezi hnilobné kaly patří např. kaly z městských a průmyslových biologických čistíren odpadních vod. Mezi kaly nehnídné patří kaly vodárenské (koagulační kaly, kaly z odželezování a odmanganování) a kaly z chemických čistíren průmyslových odpadních vod (kaly neutralizační a kaly z adsorpčního srážení). Do této skupiny patří i různé průmyslové odpady, které přecházejí do odpadních vod přímo. Jde např. o kaly z rudných úpraven, hutního průmyslu, úpraven uhlí a z keramických závodů.

Surový kal je ve stavu, v jakém byl odstraněn z odpadní vody bez další úpravy. Surové kaly obsahují nadměrné množství vody, a zaujímají proto velký objem, což znesnadňuje jejich další zpracování. Voda může být přítomná buď jako gravitační (volná) nebo jako vázaná kapilárními silami, adsorpčními silami, v buněčné hmotě nebo vázaná chemicky [1].

V technologii čištění vody jsou kaly produkovány jako primární (z usazovacích nádrží) nebo jako biologické či chemické (též sekundární) z dalších stupňů čištění. Snahou je samozřejmě dosáhnout co nejmenšího objemu, tedy co nejvíce odvodněného kalu [2].

Kapalina, která se odděluje od vyhnílého kalu, se nazývá kalová voda. Její množství se pohybuje od 0,1 do 0,4 % objemu čistěných odpadních vod v závislosti na velikosti čistírny. Je značně znečištěna : BSK₅ se pohybuje od 0,2 do 2 g/l, NL od 0,2 do 2,5 g/l a amoniakální dusík od 0,4 do 0,7 g/l. Nejrozšířenějším způsobem likvidace kalové vody

je její přivádění na přítoku na čistírnu. Přivádění kalové vody musí být řízené, nejlépe v nočních hodinách, kdy je přítok na čistírnu minimální [3].

Kal, který se má dobře mechanicky odvodňovat, má obsahovat málo tuků, pH má být co nejblíže neutrálnímu a koeficient stlačitelnosti má být vyšší než 0,5.

Filtrací přes filtrační vrstvu se z kalu odstraní voda, která je vázaná mezi jeho jednotlivými částicemi. Ostatní voda v kalu vázaná se musí odpařit z povrchu kalového pole [4].

1.2 Možnosti úpravy kalu

Kaly, ať již průmyslové nebo z městských čistíren, nejsou-li upraveny, obtížně se odvodňují; pevné látky v nich obsažené se snadno stlačují a velmi rychle ucpávají filtrační médium. Předúprava kalu před odvodněním má všeobecně za účel lepší koncentraci kalu – zahuštění kalu, a tak docílením konstantních vlastností mechanicky odvodněného kalu, tím i konstantní sušiny.

Úprava vlastností kalu se nejčastěji provádí chemickými prostředky. Tyto snižují náboj na suspendované částici a tím snižují její tendenci vázat vodu. Zlepšuje se tak usazování vlivem gravitace i mechanickými prostředky.

Ke zlepšení odvodňovacích vlastností kalů se používaly až do nedávna soli železa, často s vápnem. Tyto jsou korozivní, a jako jeden z nejzávažnějších problémů, se kterým se setkáváme při jejich používání, je ucpávání filtračního systému nánosem hydroxidu železitého a uhličitanu vápenatého. Mimo to tyto obě chemikálie zvyšují při spalování vysušeného kalu množství popílku. V dnešní době se proto anorganické chemikálie nahrazují vhodnějšími organickými flokulanty.

K zahuštění kalu můžeme použít tyto procesy: sedimentaci, flotaci, příp. vypírání. Dávkování organických flokulantů ke kalu poskytuje v těchto případech : zvýšení kapacity, čistší odtok (zlepšené odlučování kalu), vyšší koncentraci kalu, vyšší sušinu

zahuštěného kalu. Příznivý vliv organických flokulantů na úpravu kalu je dokumentován četnými výsledky.

Burke J. T. mimoto zjišťuje, že nejlepší vliv organických polymerů je při úpravě surového kalu; zlepšení charakteristiky kalu vyžaduje pouze ekonomické dávky flokulantu. Vyhnílý kal – částečně vyhnílý aktivovaný kal – se upravuje polymery mnohem hůře.

Podle patentu Dow Chemical Company se pro úpravu kalu před odvodněním doporučují kationické polyelektrolyty, zvláště s obsahem velkého množství hydrofilních skupin .

Organické flokulanty, přirozené i syntetické, jsou polymery, jejichž makromolekuly se skládají z opakujících se jednotek, malé molekulové váhy. Každá z těchto opakujících se jednotek nese jednu nebo více hydrofilních nebo ionisace schopných skupin. Polymerní molekula je propojena kovalentními vazbami.

Většina syntetických organických flokulantů představuje ve vodě rozpustné lineární polymery, charakterizované přítomností funkčních skupin zakotvených na jejich vláknitých molekulách. Jednotlivé molekuly dosahují délky koloidních molekul.

Vlákna jsou citlivá vůči působení ve vodném roztoku a při neopatrném zacházení mohou být rozbita. Ty polymery, které nesou na svém polymerním řetězci ionisace schopné funkční skupiny, se nazývají polyelektrolyty nebo polyiony.

Podle stavu disociace, v jakém se nacházejí organické flokulanty ve vodném roztoku, lze je rozdělit do těchto základních skupin:

- neionické polymery : neelektrolyty, např. polyvinylalkohol, polyethylenoxid
- ionické polymery : ve vodě vytvářejí složitý vysokomolekulární polyvalentní iont doprovázený ekvivalentním množstvím jednoduchých protiiontů, tzv. polyelektrolyty

- a) anionické polymery : makroionty se záporným nábojem a jednoduchými kationty, př. H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+
- b) kationické polymery : makroionty s kladným nábojem a jednoduchými anionty. Př. OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- .

Působení organických flokulantů spočívá tudíž na jednom příp. kombinaci dvou uvedených mechanismů:

- a) neutralisaci náboje částic v roztoku (redukce elektrokinetického potenciálu). Pokud suspendované částice mají záporný náboj, agregace částic na základě uvedeného jevu by platila pro polyelektrolyty kationické
- b) mostění suspendovaných částic dlouhými řetězci vysokomolekulárních polymerů. Polymery se adsorbují na povrchu více než jedné částice, vázajíce ji tak dohromady. Tento mechanismus flokulace může nastat jak kationickými, tak anionickými i neionickými polymery [5].

1.3 Umělé odvodňování kalů

V některých případech nebude možno počítat s odvodňováním kalů na otevřených kalových polích, zvláště ne u velkých čistíren. Jestliže by v dosažitelné vzdálenosti nebyl dostatek pozemků nebo by nebyl zájem o využití v zemědělství, je nutné počítat s umělým odvodňováním kalů, popř. s další likvidací spalováním.

Pro umělé odvodňování kalů je třeba také často rozhodnout tam, kde jsou kaly zatíženy větším množstvím minerálních látek nebo chemikálií, které by při využití v zemědělství byly škodlivé.

Stupeň využitelnosti zařízení se vyjadřuje celkovou sušinou kalového koláče nebo množstvím odvodněného kalu na jednotku plochy nebo obsahu filtru, síta, odstředivky za 1 hodinu provozu. Při chemické předúpravě kalu se musí počítat i s dávkou chemikálií. Odpočítává se sušina uniklá ve filtrátu, obtokem nebo v prací vodě. Je tedy třeba řádně měřit množství a obsah sušiny kalu přidávaného do odvodňovacího zařízení včetně chemikálií, měřit a vážit obsah sušiny ve filtrátu, v přepadu nebo prací vodě.

Druhým kritériem je účinnost v odstranění sušiny z odvodňovaného kalu; vyjadřuje se v procentech. Je to závislé na měrné hmotě kalové sušiny, na úpravě kalu, na druhu

zařízení, v případě filtrů na druhu filtračního média. Při použití vhodných tkanin se dosáhne 98 % až 99 % účinnosti v odstranění sušiny z kalu (vlna, flanel), při použití sít nebo tzv. Coil-filtru se spirálami jako filtračního média se docílí účinnosti odstranění sušina z 80 % až 90 % [4].

1.4 Usazování

Při usazování suspenzí můžeme rozlišovat :

- a) Prostou sedimentaci.
 - b) Rušenou sedimentaci.
 - c) Zahušťování suspenzí.
-
- a) Při prosté sedimentaci si částice zachovávají svůj individuální charakter a pro jednotlivé částice suspenze platí vztahy pro pád izolované částice v klidném prostředí.
 - b) Vzroste-li koncentrace nad 0,5 objemových %, počne rozruch způsobený pádem jedné částice ovlivňovat sedimentační rychlost částic jiných a současně počne koncentrace suspenze ovlivňovat viskozitu a hustotu prostředí. Protože rychlost usazování částic je funkcí obou těchto veličin, mění se sekundárně i usazovací rychlost částic. Takové usazování se nazývá rušené. Při rušeném usazování částice ještě zachovávají svůj individuální charakter.
 - c) U suspenzí, kde kalové částice mají velký objem nebo kde koncentrace suspendovaných látek je tak velká, že jednotlivé částice jsou v těsné blízkosti, ztrácí částice svůj individuální charakter. Při sedimentaci takových suspenzí se vytváří rozhraní mezi kapalnou fází a vrstvou kalu. Dochází k pohybu kapaliny pórovitou vrstvou, která vlivem gravitace ssedá nebo o pohyb částice v kapalném prostředí.

Pro navrhování usazovacích nádrží je nutno znát charakteristiky suspenze, které podávají informaci o zastoupení částic určité velikosti v suspenzi, případně charakteristiky suspenze mající význam při zahušťování kalu.

Pro suspenze, které obsahují částice podléhající sedimentaci se zjišťuje zastoupení částic určité velikosti (sedimentační analýza) nejčastěji metodami založenými na analýze sedimentující suspenze v určité výšce sloupce. Sedimentační analýzu koncentrované suspenze, kde by docházelo k rušenému usazování, je možno provést po příslušném nařazení kapalnou fází. Protože při prosté sedimentaci je usazovací rychlost částic konstantní po celé dráze jejich pohybu v kapalině je možno sedimentační analýzu těchto suspenzí provádět v malých laboratorních přístrojích (výška 10 – 15 cm). Použijeme-li pro tyto suspenze sedimentační analýzu vzorků odebíraných z různých hloubek sloupce, získáme vždy stejnou křivku usazovacích rychlostí.

V technologii vody se někdy rozlišují suspenze, které obsahují kal zrnitý a kal vločkový. Za vločkový se považuje kal, který během usazování podléhá ortokinetické koagulaci. Zrnitý jí nepodléhá.

Během pohybu částic vločkových kalů v kapalném prostředí se mění usazovací rychlosti hlavně tím, že se částice při srážce spojují do větších celků. Počet srážek je úměrný mimo jiné dráze a proto sedimentační analýza takových suspenzí z různých hloubek sloupce vede k různým křivkám usazovacích rychlostí. Hodnoty získané na malých laboratorních přístrojích by tedy nesouhlasily s poměry, které budou v provozních nádržích. Podklady pro navrhování usazovacích nádrží na tyto suspenze mají být získány sedimentační analýzou ve válcích, jejichž výška bude přibližně odpovídat výšce usazovacího prostoru provozní nádrže.

Hodnoty ze sedimentační analýzy mají význam pro separaci tuhé fáze. Ve spodních vrstvách usazovací nádrže však vzrůstá koncentrace suspendovaných látek tak vysoko, že v suspenzi se ztrácí individuální charakter částic (viz bod c). Zajímá-li nás stupeň zahuštění, který se v daném zařízení dosáhne, pak musíme vycházet z charakteristik pro zahušťování suspenzí [6].

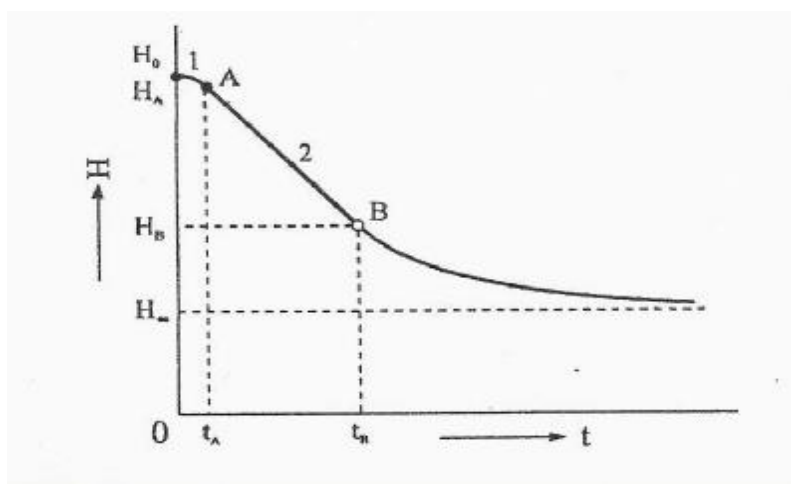
1.5 Zahušťovací křivka

1.5.1 Úvod

Nejrozšířenějším zařízením na zahušťování kalů jsou gravitační zahušťovací nádrže. V praxi se proto nejčastěji setkáváme s úkolem navrhnout usazovací nádrž na určitý stupeň zahuštění. K tomu je třeba znát zahušťovací křivku dané suspenze při různých koncentracích suspendovaných látek, z níž pak sestrojíme křivku hustoty hmotnostního toku částic potřebnou pro určení nutné plochy nádrže. Taková měření lze provádět i v laboratoři jako statický pokus a použitím skleněných válců. Ostatní způsoby zahušťování jsou závislé na typu zařízení, např. odstředivek nebo flotačního zařízení a není proto možné uvést obecný návod na provedení a vyhodnocení pokusu.

1.5.2 Určování zahušťovacích vlastností kalu statickými pokusy

Když množství suspendovaných látek v suspenzi vzrůstá, začne se při určité koncentraci vytvářet při usazování mezi kapalnou fází a vrstvou kalu rozhraní. Toto rozhraní se pohybuje ve směru gravitačního zrychlení, objem kalového sloupce se zmenšuje a dochází k zahušťování kalu. Při jaké koncentraci tento jev nastává, závisí na charakteru suspenze. V některých případech (u aktivovaného kalu) to bývá již při hodnotách 1 g/m^3 i menších, naopak u některých zrnitých kalů až při hodnotách 100 i více kg/m^3 . Informace o poměrech ve vrstvě kalu podává tzv. zahušťovací křivka. Měří se obvykle ve skleněných válcích, které umožňují sledovat pohyb rozhraní mezi kapalnou fází a vrstvou kalu. Zahušťovací křivka se získá vynesemím polohy rozhraní v závislosti na čase. Její typický průběh je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1. Tvar zahušťovací křivky

Na zahušťovací křivce můžeme pozorovat několik oblastí. V čase t_0 je výška kalového rozhraní H_0 . Pohyb rozhraní může být zpočátku nepatrný (oblast 1). V suspenzi dochází k flokulaci a k tvorbě kanálků, kterými je v další fázi vytlačována kapalina z nižších vrstev. Po určitém čase t_A (od bodu A) se začne rozhraní pohybovat konstantní rychlostí (oblast 2). Rychlost u v této lineární fázi zahušťování je

$$u = \frac{H_A - H_B}{t_B - t_A} \quad (1)$$

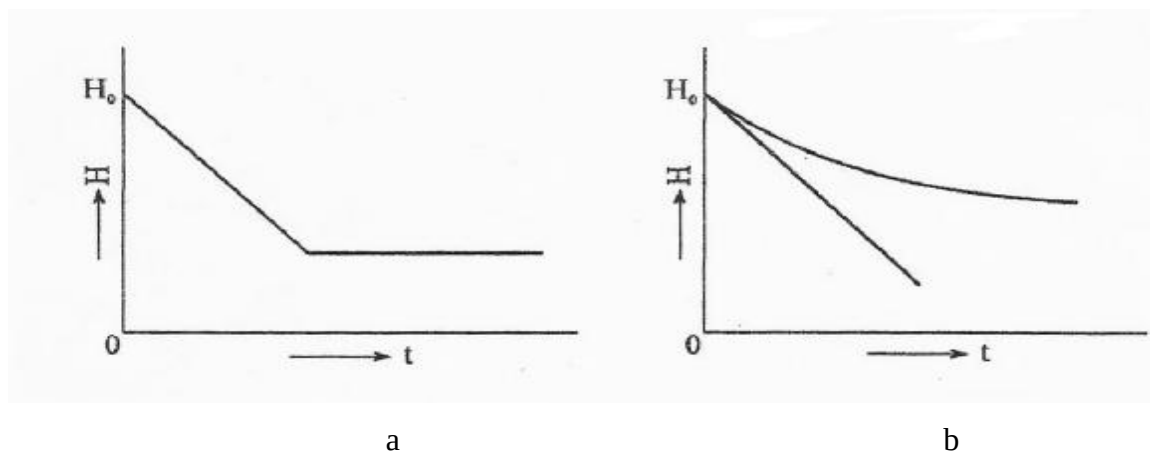
kde H_A a H_B jsou výšky kalového rozhraní v časech t_A a t_B .

V této oblasti je pohyb částic v horních vrstvách suspenze omezen blízkostí okolních částic, proto tam nedochází k větším změnám v jejich poloze, nevytváří se koncentrační gradient a nenastává tedy ani zahušťování. U dna, kde se částice ukládají, dochází k jejich vzájemnému styku. Během procesu pak postupně vzrůstá vrstva částic, které se vzájemně dotýkají a uvnitř sloupce kalu se tak vytváří ještě jedno, neviditelné rozhraní – rozhraní mezi částicemi, které se již dotýkají a ostatní suspenzí. Toto rozhraní se postupně pohybuje směrem vzhůru, až v bodě **B** (čase t_B) se setká s viditelným rozhraním, které pozorujeme mezi vrstvou kalu a kapalnou fází. Od času t_B jsou již všechny částice ve vzájemném styku, pohyb rozhraní se začne zpomalovat a vrstva kalu podléhá zahušťování v celé výšce kalového sloupce. Na další zahušťování kalu v určité vrstvě má vliv hmotnost nadloží nad udanou vrstvou. V dalším průběhu zahušťování se někdy rozlišuje oblast deformační a oblast kompresní [7, 8]. Zahušťovací křivka se asymptoticky blíží hodnotě H_∞ , která odpovídá výšce vrstvy kalu s maximální ulehlostí částic.

V některých případech může oblast na zahušťovací křivce chybět. Na příklad u zrnitých kalů chybí oblast **1**, tj. rozhraní mezi kapalnou fází a vrstvou kalu se již od počátku pohybuje konstantní rychlostí. Po dosažení bodu **B** se tato rychlost prudce sníží, avšak stále se rozhraní alespoň zdánlivě pohybuje konstantní rychlostí, neboť zakřivení je jen velmi málo patrné (viz obr 2a). V jiných případech, je-li počáteční koncentrace

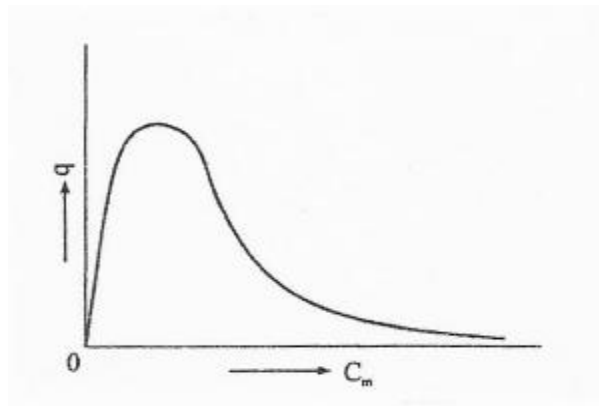
kalu dostatečně velká, může vymizet oblast **1** i **2** a pohyb rozhraní v závislosti na čase se již od počátku procesu děje po křivce (obr 2b).

Pro výpočet nádrží se zřetelem k určitému stupni zahuštění je důležitá maximální rychlost pohybu rozhraní mezi kapalnou fází a vrstvou kalu, tzv. *zahušťovací rychlost* (též rychlost volné sedimentace) u . pokud se na zahušťovací křivce objeví lineární fáze zahušťování, je tato rychlost dána rovnicí (1). Obecně závisí její hodnota na hmotnostní koncentraci suspendovaných látek c_m a na výšce počáteční vrstvy kalu H_0 . S rostoucí hodnotou c_m se lineární fáze usazování zkracuje, až při dosažení určité hodnoty (odpovídá stavu, kdy se částice dotýkají) zcela vymizí. V tomto případě se rychlost zahušťování vyjadřuje jako absolutní hodnota směrnice tečny k zahušťovací křivce v bodě $t = 0$ (obr 2b).



Obr. 2. Zahušťovací křivka

Pro výpočet nádrží se zřetelem k danému stupni zahuštění je nutno znát hodnoty zahušťovacích rychlostí u_i pro různé počáteční koncentrace suspendovaných látek $c_{m,i}$. Při výpočtu nádrží se pak vychází buď z těchto hodnot [9], nebo z tzv. *křivky hustoty hmotnostního toku částic*, která se získá vynesemím hodnot $q_i = c_{m,i} \cdot u_i$ proti hodnotám koncentrací $c_{m,i}$. Veličina q_i pak udává hmotnost suspendovaných látek, jež procházejí jednotkovou plochou kolmou na směr jejich pohybu za jednotku času (hmotnostní prahové zatížení). Typický průběh křivky hustoty hmotnostního toku částic znázorňuje obr.3.



Obr. 3. Obvyklý průběh křivky hustoty
hmotnostního toku částic

Pro závislost zahušťovacích rychlostí na koncentraci suspendovaných látek byla navržena řada vzorců. Pro aktivované kaly, které vznikají při biologickém čištění odpadních vod, byl popsán způsob zpracování naměřených hodnot pomocí počítače [10].

1.5.3 Stanovení času kapilárního sání (CST) dané suspenze

Princip stanovení CST spočívá v nahrazení tlakového spádu, potřebného k filtraci přepážkou, sací silou vhodného filtračního papíru, kterým je filtrát sorbován. Rychlost sorpce závisí hlavně na vlastnostech filtračního papíru (jeho sací síle) a na filtrovatelnosti kalu.

Vlastní technické uspořádání měření je poměrně jednoduché. Vzorek kalu se pipetuje do nádoby tvaru dutého válce, jehož dno tvoří filtrační papír. Vlivem kapilárního sání je filtrát ze vzorku odsáván, na papíru uvnitř nádoby se tvoří koláč a vně nádoby postupuje kruhové filtrační čelo. Měří se čas, za který postoupí čelo kapaliny na filtračním papíru o určitou vzdálenost l (obr 4). Při odvozování matematických vztahů pro proudění kapaliny filtračním papírem se vychází z těchto předpokladů:

1. Makroskopicky pozorovatelný postup čela kapaliny papírem lze nahradit postupem menisku v kapiláře takových efektivních vlastností, aby kapalina postupovala stejně rychle jako na papíru.

2. Rychlost postupu kapaliny je zanedbatelná proti rychlosti všech dějů probíhajících mezi stěnou kapiláry a kapalinou.

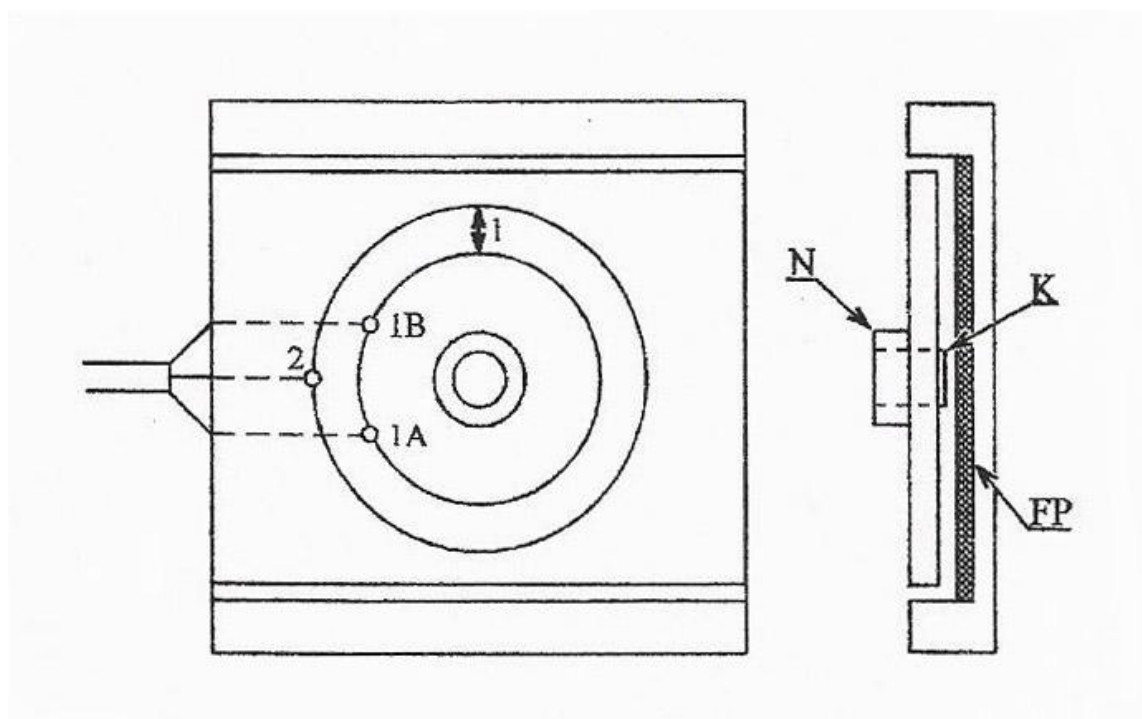
3. Nepřihlíží se ke kinetické energii proudící kapaliny.

4. Hustota vzduchu je zanedbatelná proti hustotě kapaliny.

Je-li proudění kapaliny kapilárou laminární, lze za uvedených předpokladů psát Poiseuilleovu rovnici ve tvaru

$$\frac{dh}{dt} = \frac{F}{8\eta h} \quad (2)$$

kde t je čas, η je viskozita kapaliny, F síla působící pohyb kapaliny v kapiláře, h délka sloupce kapaliny.



Obr. 4. Měřící cela pro stanovení CST

Lze dokázat, že CST je úměrný filtračnímu odporu α :

$$CST = k_1 \cdot \alpha \quad (3)$$

Vztah mezi specifickým filtračním odporem α a CST lze vyjádřit empirickou rovnicí:

$$\text{Log } CST_s = B \log \alpha - C \quad (4)$$

Kde:

$$CST_s = \frac{CST}{c_m} \quad (5)$$

Hodnoty konstant B a C závisejí na druhu kalu a na druhu použitého filtračního papíru. c_m je hmotnostní koncentrace sušiny kalu v suspenzi.

1.5.4 Přístrojová technika

CST se může měřit například na komerčním přístroji firmy Triton Electronics. Obdobný přístroj byl sestaven na Ústavu technologie vody a prostředí VŠCHT Praha ve spolupráci a VÚV TGM Praha. Přístroj se skládá ze tří základních dílů – měřící cely, spínacího zařízení a elektronických stopek.

Měřící cela je zhotovena z tlustostěnného polymethylmetakrylátu. Má dva díly, mezi něž se vkládá filtrační papír. V horním dílu je kruhová zásobní nádobka na vzorek kalu a stabilně upevněné měřící kontakty. Spodní díl slouží jako základna a nosič filtračního papíru. Z měřící cely jsou vyvedeny kontakty.

Spínací zařízení tvoří dva stabilní klopné obvody, jeden obvod je zapojen jako spínací, druhý jako rozpínací v obvodu elektronických stopek [11].

1.6 Metody CST

Protože nejčastějším zařízením pro zahušťování kalů jsou gravitační zahušťovací nádrže, jsou modelové pokusy zaměřeny především na sestavení zahušťovacích křivek příslušných suspenzí.

Zahušťovací vlastnosti kalů lze výrazně zlepšovat přidávkou vhodných polymerních flokulantů. Jejich poloprovozní ověřování je však ekonomicky a časově náročné a proto je pro tyto účely vhodná metoda měření CST (Capillary Suction Time) založená na

principu měření rychlosti kapilárního sání kapalné fáze kalu do filtračního papíru. Výsledky měření se vyjadřují jako „čas kapilárního sání“. Metodu stanovení odvodňovací schopnosti kalu měřením CST lze v širokém rozsahu využívat nejen v oblasti problematiky zpracování kalů (výběr typů a dávek flokulantů), ale často i ve výzkumné činnosti [12].

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující stanovení CST je kvalita použitého filtračního papíru. Aby se dosáhlo dobré reprodukovatelnosti měření, musí mít použitý papír dostatečnou sací sílu a musí být homogenní. To znamená, že jeho tloušťka musí být rovnoměrná, aby filtrační čelo bylo ostré a kruhového tvaru. Tyto požadavky nejlépe splňuje ze zahraničních papírů chromatografický papír Whatman 17 (s nímž pracuje přístroj firmy Triton Electronics).

Dalším faktorem je množství a druh pipetovaného vzorku. Pro suspenze, které se snadno odvodňují, se všeobecně používá zásobní nádobka o průměru 10 mm a množství vzorku 2 až 5 ml. Dostatečné množství vzorku je důležité se zřetelem k celkovému objemu pórů filtračního papíru. Přitom tlak způsobený výškou sloupce suspenze v zásobní nádobce je zanedbatelný proti tlaku kapilárního sání.

Pro vyloučení možných chyb stanovení, zejména chyb způsobených horší kvalitou použitého filtračního papíru, se doporučuje provádět paralelně 2 až 3 měření se stejným vzorkem [13].

1.6.1 CST technologie

Čas kapilárního sání je užíván od roku 1970 jako rychlá a spolehlivá metoda pro charakterizování odvodnění a upravitelnosti kalu. Je to filtrovatelnost kalu, co hlavně řídí výtěžek z různých druhů odvodňovacích zařízení jako: suché lože, tlakový pás, vakuové filtry, filtrační lisy a odstředivky.

Tlak kapilárního sání vytvářen filtračním papírem je užíván k odstranění vody z kalu. Poměr ve kterém voda prostoupí filtrační papír se mění, závisí na stavu kalu a filtrovatelnosti koláče utvořeného na filtračním papíře. CST je obdrženo ze dvou

elektrod umístěných ve standardní vzdálenosti od nádoby. Čas získaný z vodního čela mezi těmito elektrodami určí CST.

Síla vytvářená kapilárním sáním je větší než hydrostatický zdroj v nálevce, pokus je nezávislý na množství kalu, tak dlouho jak stačí ke generování CST.

Typ 304M CST

Model 304M CST je náhrada modelu 165 CST. Elektronika byla vylepšena a mechanický pult nahrazen LCD. Jednotka byla navržena a testována, aby souhlasila s Evropskými a USA EMC standardy . Hlavní vstup nabízí nastavení jak na Evropské tak USA standardy. Tato jednotka je nyní hlavním (základním) laboratorním vybavením na měření CST.

Specifikace : rozměry skříně : 22x16x7 centimetrů

Každá jednotka se skládá z :

CST měřidla

Soupravy plexisklového bloku a antikorozní ocelové nálevky

Krabice s 200 filtračními papíry

Obrázek viz příloha 1.

Typ 304B CST

Model 304B CST je náhrada za přenosný model 200 CST. Jednotka sdílí mnoho výhod, které se nacházely v modelu 200, obsahuje :

AC spínání CST hlavy pro zlepšení spolehlivosti a životnosti

Přes 100 hodin nepřetržitého využívání k dispozici díky PP3 9V bateriím

LCD displej

Slyšitelné udání začátku, zastavení a poruchových stavů

Jednotka a doplňky jsou dodávány v odolném plastovém obalu

Jednotka byla navržena a testována, aby souhlasila s Evropskými a USA EMC standardy .

Specifikace : rozměry skříně : 33 x 26 x 5,5 centimetrů / hmotnost 1,75 kg

Každá jednotka se skládá z :

CST měřidla

Soupravy plexisklového bloku a antikorozní ocelové nálevky

filtračních papírů pro okamžité použití

náhradní PP3 9V baterie

také k dispozici: Filtrační papír dodáván v krabicích po 200 kusech

Obrázek viz příloha 1.

Typ 319 CST

Popis: Triton typ 319 víceúčelový CST může být užíván s buď s 5 jednotlivými poloměry testovacích hlav nebo s jedním mnohonásobným testovacím poloměrem směřujícím k rychlému stanovení odporu filtrace.

Jednotlivé poloměry testující hlavy : V tomto provozním režimu je možné testovat různý počet dávkovaných množství ve stejnou dobu. Tak sníží čas celého testu nebo připustí provedení více jednotlivých testů.

V každém případě Multi - CST funguje na velmi podobném principu s typem 304B nebo typem 304M CST.

Obrázek viz příloha 1.

Typ P317

Popis: Model 317 je náhrada za typ 133/131. Testovací míchadlo/časoměřič odpovídá EC standardu a je doporučený Water Research Centre pro zhodnocování stability biologického kalu. Často používaný ve spojení s CST přístrojem, kal je předmět vysokorychlostního míchání simulujícího různé stupně vloženého smyku. Toto slouží k odhadu fyzikální upravených kalových vloček a určí stabilitu kalu pro různé typy odvodňovacích zařízení.

Specifikace : výška 33 cm, šířka 15cm, délka 23cm, hmotnost 8kg.

Motor vyřazující změny umožňuje souvislé míchání kalu.

Oddělitelná míchací lopatka dodává všestranné a snadné udržování v čistotě.

Otáčky mohou být vybrány od 1 po 1-99 otáček za sekundu.

Přichází kompletní se dvěma 25ml poháry.

Přepavní skříň specificky určený pro transport jednotky je také dostupná [14].

Obrázek viz příloha 1.

Zahušťovací i odvodňovací vlastnosti kalu lze zlepšit přidavkem vhodných polymerních flokulantů. Pokusy na poloprovozním zařízení jsou nákladné a náročné na čas, zvláště má-li se určit optimální dávka polymerního flokulantu. Po této stránce je výhodná metoda CST (Capillary Suction Time), založená na principu měření rychlosti kapilárního sání kapalné fáze ze vzorku do filtračního papíru. Výsledky měření se vyjadřují jako „čas kapilárního sání“. Výhodou je, že jedno měření trvá řádově jen minuty, přičemž potřebné množství vzorku je velmi malé (5-10 ml). Metoda CST v případě aplikace polymerních flokulantů umožní podstatně omezit rozsah měření přímo na zařízeních. Pro navrhování vlastního zařízení je ovšem rozhodující pokus na poloprovozním nebo modelovém zařízení [10].

1.6.2 Vlivy na CST

Odvodnitelnost ozonizovaného kalu stanovena pomocí CST a specifického odporu filtrace se zhoršily ozonovou dávkou [15].

Přítomnost mikrobiálních extracelulárních polymerů (ECP) je důležitá pro flokulaci kalu, ale ukázalo se, že ECP mohou mít také škodlivý účinek na odvodňování určitých typů kalů [16].

Hodnota CST je vlastně stanovením a , kdy tlakový spád potřebný k filtraci je nahrazen tlakem kapilárního sání filtračního papíru. Vyjdeme-li z rovnice filtračního odporu [17]:

$$a = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot t}{n \cdot X \cdot \Delta V^2} \quad (6)$$

kde	Dp	tlakový spád
	n	viskozita kapalné fáze
	X	hmotnost pevných částic
	V	objem kapaliny
	τ	čas

Vlastnosti vloček byly charakterizovány morfologickými parametry (distribucí velikosti, mírou frakcí a indexem vláken) , fyzikálními vlastnostmi (schopnost flokulace, plošný náboj, hydrofobní poměr a viskozita) a chemickými konstitucemi v kalu a extracelulárními polymerními složkami (EPS) , včetně separované polymerní bílkoviny, huminových složek, uhlovodíků a iontu Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . Odvodnitelnost byla definována na základě obsahu vázané vody a CST. Vázaná voda a CST korespondovaly k podobnému výsledku odvodnění aktivovaného kalu. Fyzikální parametry vločky byly nejdůležitějšími faktory jejichž výsledek ukazoval na schopnost aktivovaného kalu vázat vodu. Morfologické vlastnosti měly poměrně malý dopad na odvodnitelnost. Složky polymerních proteinů a uhlovodíky měly významně přispět ke zvětšení schopnosti vločky vázat vodu. Účinek huminových substancí na odvodnitelnost aktivovaného kalu byl bezvýznamný. CST měl dobré statistické korelace s polymerními konstitucemi v obou: kalu a extrahovaném EPS, a vázaná voda byla jediná která dobře souhlasila s individuálními polymery měřeními v kalu. Vysoká koncentrace Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} iontů byla významná pro zlepšení odvodnitelnosti [18] .

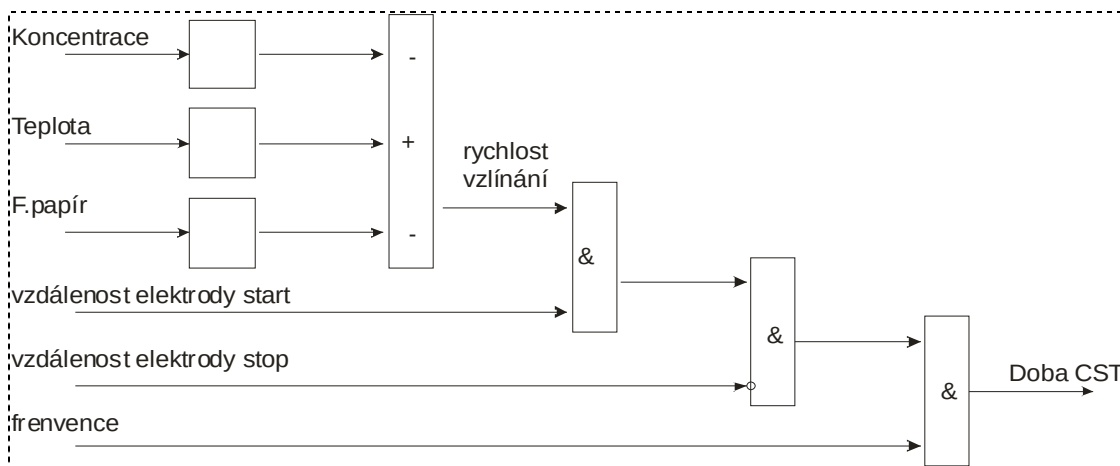
Byla určována strukturální stabilita a vlastnosti povrchu vloček aktivovaného kal se změnou teploty z 30 na 45 °C. Strukturální stabilita vloček byla odhadnutá závislostí vloček kalu na různých chemických látkách v suspenzi, a bylo měřeno změnou plošného náboje kalu před a po změně teploty. Hlavní závěry této práce jsou:

- (1) posunem teploty z 30 na 45 °C se kazí srážení ve vločky a fyzikálněchemické vlastnosti kalu, bylo to odhadnuto zvýšením záporného povrchového náboje vloček aktivovaného kalu.

- (2) obohacení kalu hořčíkem a vysoký čas zadržení kalu (SRT) 33 dnů způsobily tlumené zvýšení záporného plošného náboje kalu ve srovnání se zvýšením záporného plošného náboje kalu v nemanipulovaném reaktoru a ukázaly menší záporný náboj kalu. Ionty hořčíku se jeví jako neutralizátory skupin se záporným nábojem ve vločkách kalu a to podporuje myšlenku, že ionty hořčíku podporují bioflokulaci přes polymerické přemostění.
- (3) obohacení kalu hořčíkem a vyšší SRT 33 dnů podporoval strukturálně silnější vločky, bylo to ohodnoceno nižší disociační konstantou pod různými chemickými látkami. Nicméně, struktura více kompaktních a silnějších vloček získaná obohacením hořčíkem a SRT 33 dnů byli neúspěšné, protože kal deflokuloval při změně teploty z 30 na 45 °C. Především 33 denním -SRT se vločky staly slabší než Mg-obožené vločky po teplotním posunu.
- (4) dochází k uvolnění manganu a železa z kalu při teplotním posunu, toto chování zůstává nevysvětlené. Je požadovaný další výzkum, aby vyjasnil roli kovů při deflokulaci a původu vzrůstu záporného plošného náboje kalu vyplývající z posunu teploty z 30 na 45 °C [19].

1.7 Analýza stávajícího měřicího zařízení a cíle práce

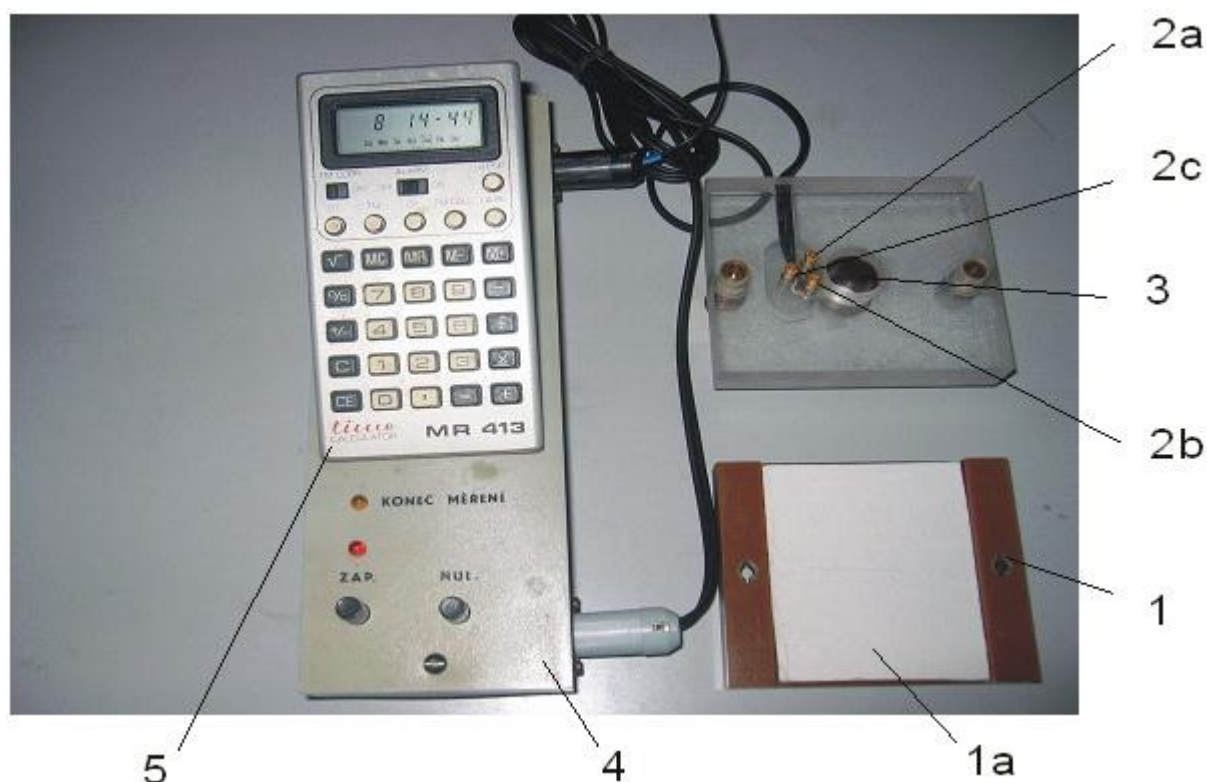
Výsledek měření CST je ovlivněn: sušinou kalu, teplotou, vlastnostmi filtračního papíru (hustotou pórů, homogenitou), konstrukcí elektrod, především rozměry vzdálenosti elektrod startu a zastavení měření a velikosti frekvence pro měření času (1000 Hz pro rozlišení 0,001 s apod.). Schéma řetězce je na obr. 6.



Obr. 6: Blokové schéma měření CST

Stávající zařízení je na obr. 5. Sestává se ze tří částí :

- a) měřicí cely : označení 1 je podložka, 1a filtrační papír, 2 a,b,c jsou elektrody a 3 je nálevka
- b) tranzistorového spínacího zařízení : označení 4
- c) elektronických stopek : označení 5



Obr. 5 : Přístroj pro měření CST

1.7.1 Nejistoty měření CST

Velikost naměřené hodnoty CST je kromě specifickým filtračním odporem ovlivněna ještě řadou dalších faktorů (druhem použitého filtračního papíru, teplotou, množstvím vzorku, koncentrací flokulantu a dalších látek apod.). Jejich vliv je třeba eliminovat standardizací podmínek měření.

Ve výše uvedeném popisu teorii metody a zařízení CST se vyskytují tyto aspekty nejistot:

- u rovnice (4) jsou konstanty B a C závislé na parametrech filtračního papíru a také na konstrukci měřicí části a jeho elektrod
- přesnost spínací elektronické části
- hodnota vzorkovací frekvence elektronických stopek
- teplota vzorku a následně viskozita.

Nejistoty typu A jsou vlivy např. parametrů filtračního papíru – u_{A1} , koncentrace sušiny – u_{A2} , koncentrace flokulantu – u_{A3} , teploty vzorku a následně viskozita – u_{A4} . Tyto nejistoty budou stanoveny měřením a následným statistickým vyhodnocením.

Nejistoty typu B jsou vlivy, pro které hodnoty jejich nejistot určíme z hodnot výrobců nebo výpočtem elektronických zapojení. Jsou to nejistoty dané: konstrukcí měřicí části a jeho elektrod – u_{B1} , přesností spínací elektronické části – u_{B2} , vzorkovací frekvencí elektronických stopek – u_{B3} .

Celková výsledná nejistota měření CST je určena rovnicí:

$$u_{CST} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Ai}^2 + \sum_{i=1}^m u_{Bi}^2} \quad (7)$$

1.7.2 Návrh konstrukce měření CST vyšší generace

Základní požadavek rekonstrukce stávajícího zařízení je, že se jednak odstraní příčiny nejistot v měření, jednak se využije moderních mikroelektronických prvků. Tato technika pomůže využít matematických metod při vyhodnocování a zajistí možnost moderní komunikace.

1.7.3 Cíle práce

V této diplomové práci bude měřen vliv koncentrace kalu, teploty, flokulantů, a druhu papíru na CST. V průběhu měření došlo k návrhu další možné varianty a tou byl vliv vlhkosti papíru na CST. Cílem práce je zjistit na aerobním a anaerobním kalu tyto závislosti a otestovat také chod přístroje po opravě. Případně budou tyto výsledky použity k inovaci stávajícího zařízení a pracovního postupu.

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použité chemikálie

2.1.1 Organické flokulanty : Praestol 650 BC, Praestol 853 BC, Superfloc 100 A

Organické flokulanty typu Praestol vyrábí firma Stockhausen, Krefeld, SNR. Jedná se o kopolymery akrylamidu a kationaktivního derivátu kyseliny akrylové. Flokulanty se označují trojmístným číslem. První číslo vyjadřuje relativní molekulovou hmotnost, poslední dvojčíslí pak kationaktivitu. Z toho vyplývá, že Praestol 853 BC má vyšší molekulovou hmotnost i vyšší kationaktivitu než Praestol 650 BC.

Superfloc 100 A je výrobkem britské firmy Cyan Amide a na náš trh je dodáván Chemickými závody Sokolov. Označení „A“ znamená, že se jedná o anionaktivní typ.

2.1.2 Biologický materiál : Aerobní a anaerobní kal

Vzorky kalů byly získávány z biologické čistírny odpadních vod v Malenovicích. Aerobní kal byl dovážen jednou týdně. Nejprve proběhla dekantace a potom byla stanovena sušina. Kal byl udržován v provzdušňovaných děličkách.

2.1.3 Ostatní chemikálie

KCl a $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dodává firma Chemapol Česká Republika, tlumivé roztoky pH 4 a pH 8 dodává Hamilton Bonaduz AG Švýcarsko.

2.2 Použité přístroje

2.2.1 CST metr

Přístroj pro měření CST se skládá ze tří částí:

- a) měřící cely
- b) tranzistorového spínacího zařízení
- c) elektronických stopek

Měřicí cela je zhotovena z tlustostěnného polymethylmetakrylátu a má dva díly, mezi něž se vkládá filtrační papír (nejpoužívanější je filtrační papír Whatman 17, který svými vlastnostmi nejlépe vyhovuje stanovení CST). V horním dílu je kruhová zásobní nádobka a stabilně upevněné měřicí pozlacené kontakty. Spodní díl slouží jako základna a nosič filtračního papíru. Oba díly se spojují upevňovacími šrouby. Z měřicí cely jsou vyvedeny kontakty. Spínací zařízení tvoří dva stabilní obvody, jeden obvod je zapojen jako spínací, druhý jako rozpínací v obvodu elektronických stopek. Elektronické stopky se skládají z kalkulátoru upevněného na desce s dvěma kontrolkami a dvěma vypínači.

2.2.2 Vodivostní cela

Přístroj se skládá z termostatu, temperované cely postavené na elektromagnetické míchačce a zvonkové elektrody připojené na konduktometr.

2.2.3 Ostatní

Analytické váhy R 108 D (Sartorius GmbH, SRN)

CST metr a stopky typu MR 413 (Jihlava, ČR)

Elektroda zvonková (Elektronické detektory, spol. s r. o. Turnov, Česká Republika)

Elektroda na měření pH (Elektronické detektory, spol. s r. o. Turnov, Česká Republika)

Míchačka MM2A (Laboratorní přístroje Praha, ČR)

Míchačka MR 1000 Heildolph (SRN)

Konduktometr OK- 102/1 (Radelkis, Maďarsko)

pH metr OP 208 (Radelkis, Maďarsko)

Sušárna (Chirana, ČR)

Termostat U2C (MLW, Německo)

Termostat C 10 (MLW, Německo)

Běžné laboratorní pomůcky a vybavení

2.3 Pracovní metodiky a jejich vyhodnocení

2.3.1 Stanovení CST

Mezi díly měřicí cely vložíme filtrační papír. Zkoumaný vzorek suspenze se pipetuje do zásobní nádoby. Vlivem kapilárního sání je filtrát ze vzorku odsáván, což se projeví postupujícím filtračním čelem. V okamžiku, kdy se čelo kapaliny dotkne spínacích kontaktů A a B, vodivě se spojí, čímž dojde ke spuštění stopek. Čelo kapaliny postupuje dále po filtračním papíru a jakmile dosáhne kontaktu C, stopky se zastaví. Vynulováním přístroje a výměnou filtračního papíru je přístroj připraven k dalšímu měření.

Tímto postupem dostaneme hodnotu CST_m a dále vyhodnocujeme podle vzorců. Vlastní hodnota CST_m se skládá ze dvou složek :

$$CST_m = CST_f + CST_r \quad (s) \quad (8)$$

Kde : CST_fje konstantní složka, znamenající čas průchodu samotného filtrátu (kapalná fáze) bez odporu kalového koláče (s)

CST_rje proměnná složka vyjadřující závislost změny CST za přítomnosti kalového koláče (pevná fáze) (s)

Specifickou hodnotu CST_s pak získáme s ohledem na sušinu X dle vztahu (9) :

$$CST_s = \frac{CST_r}{X} \quad (s \cdot l)/g \quad (9)$$

CST je závislý na sušině kalu, a to lze vyjádřit tzv. koncentračním faktorem (10) .

$$KF = \frac{(CST)_1 - (CST)_2}{(CST)_1} \cdot \frac{X_1}{X_1 - X_2} \cdot 100\% \quad (10)$$

Index 1 platí pro původní vzorek kalové suspenze, index 2 pak pro původní vzorek ředěný filtrátem. Výhodné je použití hodnoty KF50, která se vztahuje k suspenzi ředěné na polovinu.

Pro stanovení CST při různých teplotách byl pro temperaci měřící cely použit upravený termostat s nádobou.

2.3.2 Stanovení vodivosti

Stanovení: Nejprve je nutné stanovit odporovou konstantu vodivostní nádoby. K tomuto stanovení se využívá 0,01 mol/l roztok KCl. Vodivostní nádoba se několikrát propláchne měřeným roztokem KCl a poté se jím naplní. Roztok se nechá vytemperovat na požadovanou teplotu. Následně do něj ponoříme elektrodu a odečteme hodnotu vodivosti G_S . V tabulkách si vyhledáme měrnou vodivost κ standardního roztoku KCl při dané teplotě a vypočítáme konstantu vodivostní nádoby c_R .

$$c_R = \frac{k}{G_S} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (11)$$

Při určování vodivosti kalu κ vycházíme z naměřené hodnoty kalu $G_{\text{naměřená}}$ a vypočtené hodnoty odporové konstanty vodivostní nádoby při dané teplotě:

$$\kappa = c_R \cdot G_{\text{naměřená}} \quad (\text{mS/m}) \quad (12)$$

2.3.3 Stanovení pH

Po nakalibrování pH-metru, s využitím dvou tlumivých roztoku s hodnotou pH nižší a vyšší než je pH měřeného vzorku, byla za stálého míchání stanovena hodnota pH daného vzorku.

2.3.4 Stanovení sušiny kalu

Předem zvážený papírek m_1 (červená páska) upevníme do Büchnerovy nálevky. Napipetujeme 5 nebo 10 ml kalu a odsajeme kapalnou fází. Provedeme třikrát. Papírky sušíme v sušárně na 105 °C do konstantní hmotnosti. Poté papírky zvážíme, získáme údaj m_2 , a z rozdílu hmotností vypočteme hmotnost sušiny. Hodnoty pak způměrujeme.

Pro 10 ml:

$$X = (m_2 - m_1) \cdot 100 \quad (\text{g/l}) \quad (13)$$

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

Tato diplomová práce obsahuje analýzu měřicí metody CST. Měření probíhalo s aerobním a anaerobním kalem dodaným čistírnou odpadních vod v Malenovicích.

U všech měření byla stanovována pouze počáteční sušina kalu. Ostatní hodnoty sušin, které jsou uvedeny v tabulkách, jsou pouze vypočteny z daného ředění. Ředění bylo prováděno filtrátem použitého kalu. Filtrace bylo prováděna přes filtrační papír Filtrak. Pro filtrát je uvedena hodnota sušiny 0, pro snadnější výpočty zanedbáváme rozpuštěné látky. Dávkováno bylo 5 ml do nálevky o průměru 18 mm.

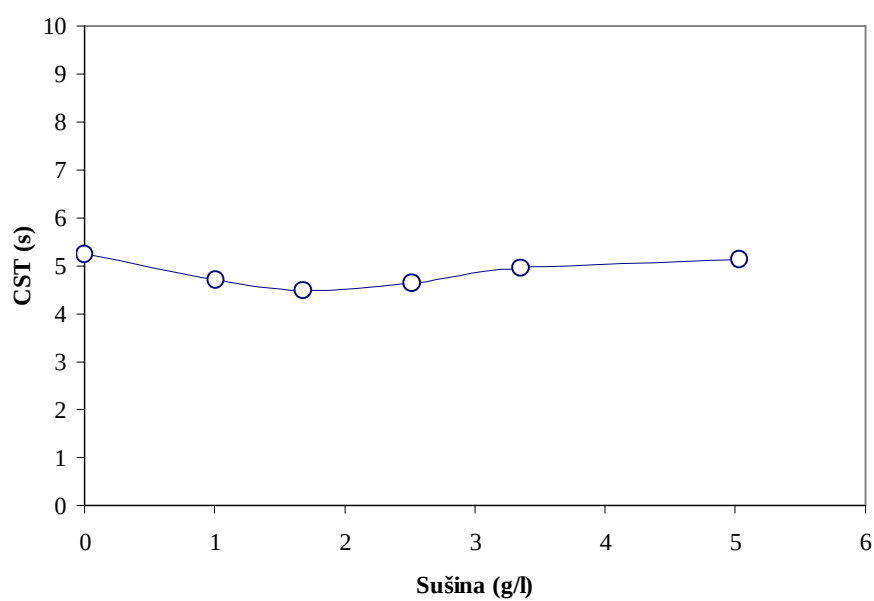
3.1 Stanovení času kapilárního sání

3.1.1 Měření vlivu stáří kalu na CST u aerobního kalu

Nejdříve bylo po dva dny provedeno měření CST s aerobním kalem o sušině 5 g/l. Byla také stanovena vodivost kalu. Přístroj byl v průběhu měření rozebrán a vyčištěn z důvodu zatékání kalu mezi desky měřící cely.

Tab. 1. Hodnoty CST aerobního kalu vzhledem k sušině kalu

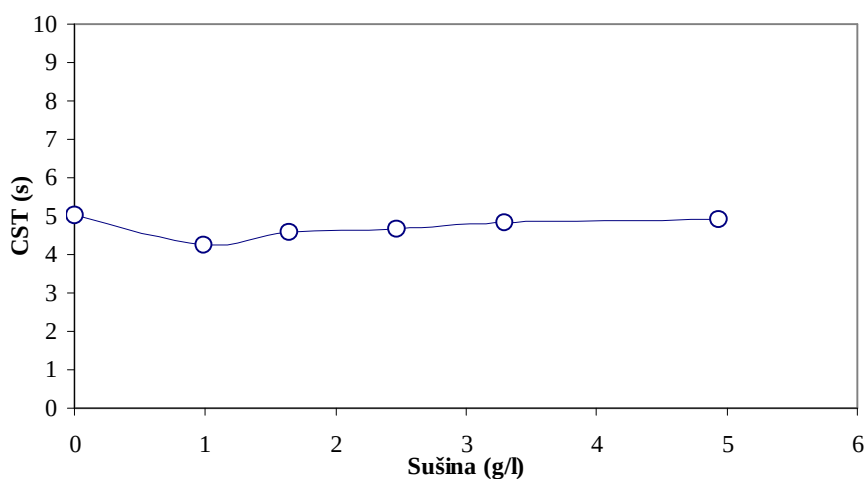
Sušina (g/l)	5,03	3,35	2,52	1,68	1,01	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	4,6	4,8	4,9	4,5	4,6	5,0
	5,5	5,2	4,5	4,5	4,4	5,6
	5,5	5,2	4,8	4,7	5,0	5,8
	5,2	4,9	4,8	3,9	4,9	5,0
	5,6	4,9	5,0	4,5	4,7	5,7
	4,6	5,4	4,6	4,5	5,2	5,2
	5,1	5,0	4,3	4,7	4,3	4,6
	4,8	5,3	4,2	4,3	5,2	5,2
	5,3	4,1	-	4,9	4,6	5,5
	5,2	4,7	-	4,5	4,2	4,9
CST (s)	5,14 ± 0,35	4,9 ± 0,36	4,64 ± 0,27	4,50 ± 0,25	4,71 ± 0,34	5,25 ± 0,37
G naměřená (mS)	0,83	0,70	0,75	0,80	0,75	0,75
	0,83	0,70	0,75	0,80	0,75	0,75
	0,83	0,70	0,75	0,80	0,75	0,75
κ (mS/m)	55,39	47,00	50,36	53,71	50,36	50,36



Obr. 7. Závislost CST na sušině aerobního kalu při 25°C

Tab. 2. Hodnoty CST aerobního kalu vzhledem k sušině kalu

Sušina (g/l)	4,94	3,29	2,47	1,65	0,99	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	4,6	4,6	5,0	4,6	4,5	4,5
	5,5	5,3	4,2	4,6	4,5	4,5
	5,5	4,9	4,5	4,7	4,0	5,5
	5,2	4,7	4,5	4,6	4,8	5,7
	5,6	5,2	5,1	4,2	3,7	4,8
	4,6	4,6	4,2	4,4	4,0	5,3
	5,1	5,3	4,9	4,7	3,9	4,8
	4,8	4,5	5,2	4,6	4,9	5,1
	5,3	4,5	4,4	4,6	3,7	4,9
	5,2	4,8	4,8	4,9	4,5	5,2
CST (s)	5,14 ± 0,39	4,84 ± 0,31	4,68 ± 0,35	4,59 ± 0,18	4,25 ± 0,42	5,03 ± 0,38
G naměřená (mS)	0,77	0,78	0,77	0,78	0,81	0,78
	0,77	0,78	0,77	0,81	0,82	0,79
	0,77	0,78	0,77	0,80	0,83	0,79
κ (mS/m)	51,70	52,37	51,70	53,71	55,05	53,04



Obr. 8. Závislost CST na sušině aerobního kalu při 25°C

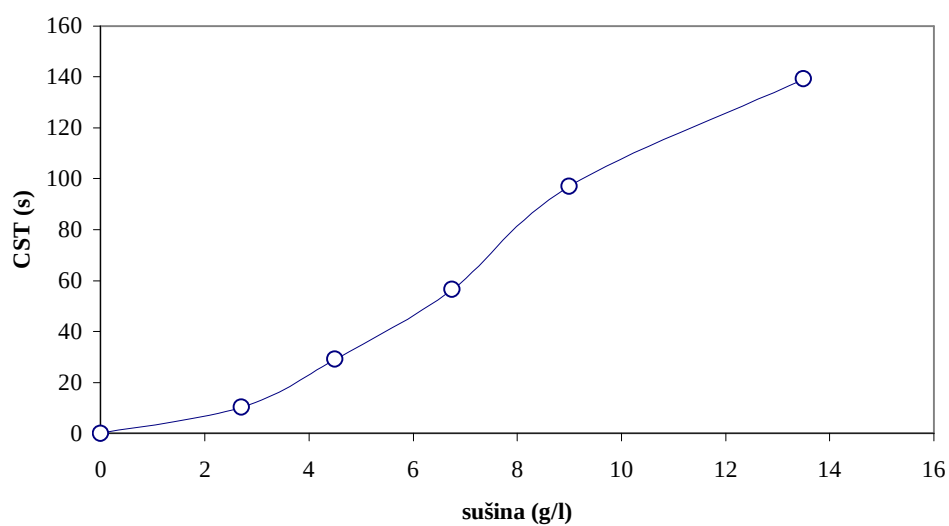
Z průměrných hodnot CST nebyla závislost CST na stáří kalu prokázána. Kal byl výborně odvodnitelný. Pro další měření bylo rozhodnuto kal zahustit na vyšší sušinu. Měření CST bylo prováděno pouze pětkrát, chyba měření se tím neovlivní.

3.1 2 Měření CST anaerobního kalu v závislosti na sušině kalu

Tento kal byl uchováván v uzavřené lahvi v chladicí místnosti o teplotě 4 °C a pro potřeby měření bylo vždy odebráno a naředěno určité množství, které již bylo na vzduchu.

Tab. 3. Hodnoty CST anaerobního kalu vzhledem k sušině kalu

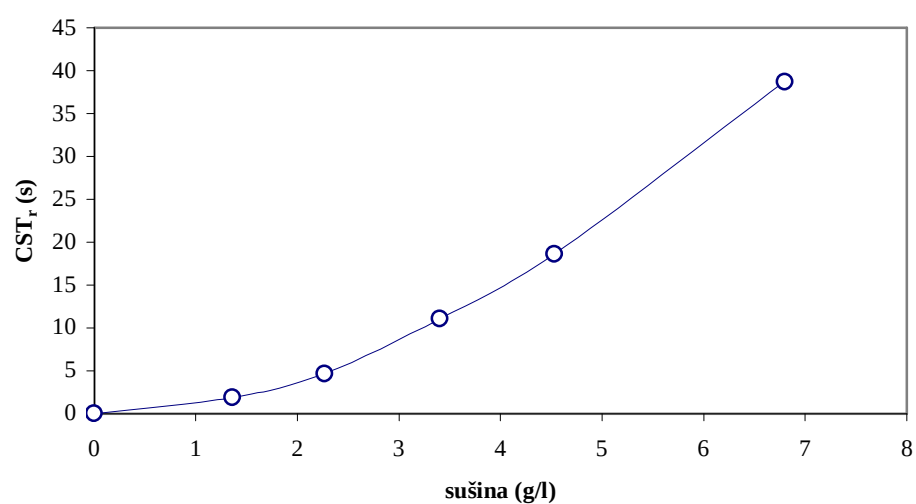
Sušina (g/l)	13,5	9	6,75	4,5	2,7	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	130,0	91,5	64,1	32,3	16,3	5,7
	127,5	103,0	63,9	32,4	16,0	5,4
	151,0	102,4	57,8	38,0	15,3	5,2
	149,5	113,7	59,4	34,5	15,5	5,6
	165,3	-	65,6	35,5	15,7	5,9
CST (s)	144,66 ± 14,14	102,65 ± 7,85	62,16 ± 3,01	34,54 ± 2,12	15,76 ± 0,36	5,56 ± 0,24
CST _r (s)	139,10	97,09	56,60	28,98	10,20	0,00



Obr. 9. Závislost CST na sušině anaerobního kalu

Tab. 4. Hodnoty CST anaerobního kalu vzhledem k sušině kalu

Sušina (g/l)	6,80	4,53	3,40	2,26	1,36	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	49,6	22,6	16,2	10,1	6,8	5,2
	41,5	22,2	16,1	9,3	6,6	5,5
	41,3	22,3	16,0	9,9	7,0	4,9
	40,8	27,3	16,4	9,3	7,5	4,8
	45,9	24,4	16,1	10,2	7,0	5,1
CST (s)	43,82 ± 3,42	23,76 ± 1,94	16,16 ± 0,14	9,76 ± 0,39	6,98 ± 0,30	5,10 ± 0,25

Obr. 10. Závislost CST_r na sušině anaerobního kalu

Byl měřen anaerobní kal o dvou sušinách, aby byla zjištěna vhodná sušina pro další měření a nedocházelo k příliš vysokým odchylkám. Hodnoty CST anaerobního kalu byly oproti aerobnímu kalu mnohonásobně vyšší, kal se, i při stejné sušině jako aerobní, odvodňoval špatně.

3.2 Stanovení vlivu teploty na CST

3.2.1 Měření CST aerobního kalu v závislosti na teplotě kalu

Kal byl za stálého míchání vytemperován na danou teplotu ve vodivostní cele. Bylo změřeno pH a vodivost a následně odebírány vzorky pro CST. Měřící cela CST metru byla taktéž temperována.

Tab. 5. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 20 °C

Sušina (g/l)	9,65	6,43	4,83	3,22	1,93	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	10,5	7,9	6,2	6,5	5,1	4,8
	11,1	8,3	6,4	5,8	5,6	4,6
	10,6	7,6	5,9	6,3	5,6	4,6
	10,9	7,3	5,8	5,9	5,8	5,1
	11,1	7,3	6,3	5,8	5,0	4,5
CST (s)	10,82 ± 0,25	7,68 ± 0,38	6,12 ± 0,23	6,06 ± 0,29	5,42 ± 0,31	4,72 ± 0,21
CST _r (s)	6,12	2,92	1,40	1,34	0,70	0,00
G naměřená (mS)	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06
	1,04	1,06	1,06	1,07	1,07	1,06
	1,04	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07
κ (mS/m)	73,03	74,43	74,43	75,14	75,14	74,43
pH	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,5

Tab. 6. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 25 °C

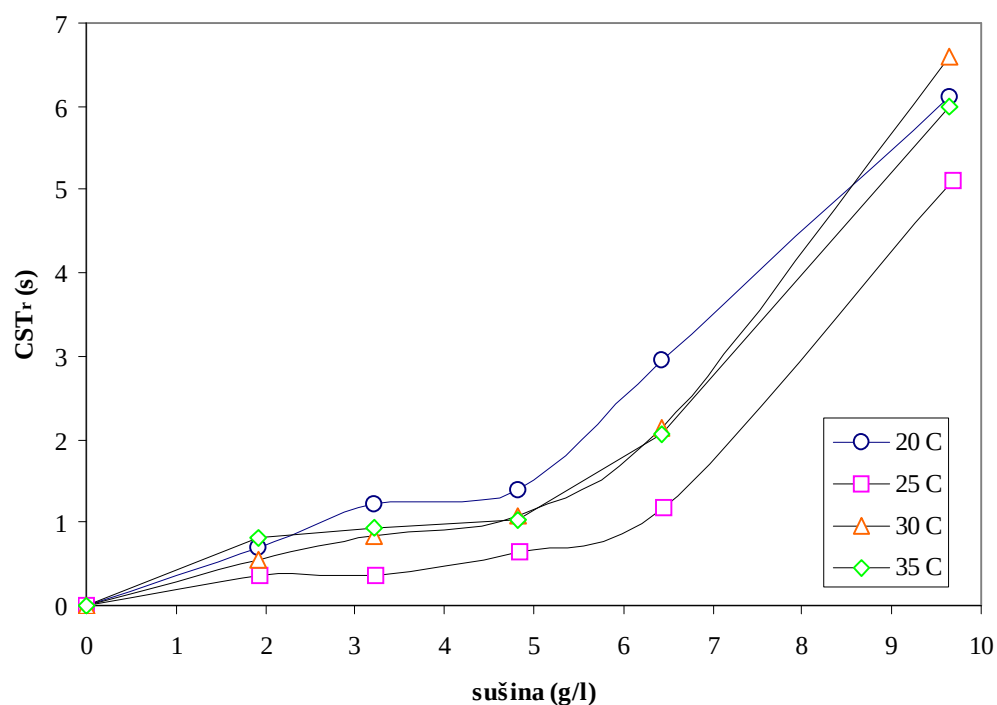
Sušina (g/l)	9,69	6,46	4,85	3,23	1,94	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	10,0	6,3	5,5	5,5	5,4	5,0
	10,4	5,9	5,7	5,0	4,9	5,0
	9,5	5,7	5,8	5,3	5,1	5,1
	10,4	6,4	5,4	5,0	5,5	5,1
	9,8	6,1	5,4	5,5	5,4	4,4
CST (s)	10,02 ± 0,35	6,08 ± 0,23	5,56 ± 0,16	5,26 ± 0,23	5,26 ± 0,23	4,92 ± 0,26
CST _r (s)	5,11	1,17	0,65	0,35	0,35	0,00
G naměřená (mS)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86
	0,86	0,85	0,85	0,86	0,85	0,86
	0,86	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86
κ (mS/m)	60,76	60,05	60,05	60,76	60,76	60,76
pH	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	7,3

Tab. 7. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 30 °C

Sušina (g/l)	9,65	6,43	4,83	3,22	1,93	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	10,0	6,2	4,6	4,2	4,3	3,3
	10,1	5,2	4,2	4,4	4,3	3,6
	10,8	5,3	4,8	4,5	4,3	3,8
	10,5	6,1	4,7	4,4	3,9	3,6
	10,7	5,9	5,1	4,7	3,9	3,7
CST (s)	10,42 ± 0,32	5,74 ± 0,41	4,68 ± 0,29	4,44 ± 0,16	4,14 ± 0,20	3,60 ± 0,17
CST _r (s)	6,82	2,14	1,08	0,84	0,54	0,00
G naměřená (mS)	0,66	0,66	0,66	0,67	0,66	0,68
	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67	0,70
	0,66	0,68	0,66	0,68	0,68	0,70
κ (mS/m)	46,14	46,84	46,14	47,07	46,84	48,47
pH	6,8	7,0	7,0	7,0	7,1	7,5

Tab. 8. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 35 °C

Sušina (g/l)	9,65	6,43	4,83	3,22	1,93	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	9,0	5,2	4,3	4,4	4,4	3,5
	9,2	5,9	4,5	4,6	4,4	3,8
	9,9	5,7	4,6	4,7	4,4	3,6
	10,2	6,0	4,6	4,5	4,4	3,3
	9,5	5,3	4,9	4,3	4,3	3,6
CST (s)	9,56 ± 0,44	5,62 ± 0,32	4,58 ± 0,19	4,50 ± 0,14	4,38 ± 0,04	3,56 ± 0,16
CST _r (s)	6,00	2,06	1,02	0,94	0,82	0,00
G naměřená (mS)	0,80	0,79	0,81	0,80	0,81	0,80
	0,82	0,80	0,82	0,81	0,81	0,80
	0,82	0,80	0,82	0,82	0,82	0,80
κ (mS/m)	57,14	55,97	57,38	56,90	57,14	56,20
pH	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	7,45

Obr.11. Graf porovnání závislostí CST_r aerobního kalu na teplotě

Jak je vidět na obrázku 11 hodnoty CST se při této sušině spolu se zvyšující se teplotou měnily jen pozvolna. Křivka CST při 25 °C vykazuje nejnížší hodnoty. Je to

způsobeno odečtem vysoké hodnoty CST filtrátu. U tohoto aerobního kalu byl prokázán malý vliv teploty na odvodnitelnost.

3.2.2 Měření CST anaerobního kalu v závislosti na teplotě kalu

Dále proběhlo totéž měření CST a anaerobním kalem. Zároveň s hodnotami CST byla měřena také vodivost a pH anaerobního kalu.

Tab. 9. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 20 °C

Sušina (g/l)	6,95	4,63	3,48	2,32	1,39	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	88,7	57,4	27,1	19,1	11,7	6,4
	87,7	55,5	30,4	18,6	10,8	5,7
	83,3	50,8	27,9	19,0	11,5	6,3
	98,3	43,9	30,7	18,4	11,3	6,1
	97,4	44,7	28,5	18,8	10,6	6,3
CST (s)	91,08 ± 5,83	50,46 ± 5,48	28,92 ± 1,41	18,78 ± 0,26	11,18 ± 0,42	6,16 ± 0,25
CST _r (s)	85,64	44,30	22,76	12,62	5,02	0,00
G nam. (mS)	6,10	5,90	5,90	5,90	5,80	5,70
κ (mS/m)	428,34	411,96	414,30	411,96	407,27	400,25
pH	8,5	8,4	8,4	8,5	8,6	8,7

Tab. 10. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 25 °C

Sušina (g/l)	7,21	4,81	3,61	2,40	1,44	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	65,2	29,9	20,9	11,2	7,2	6,1
	62,8	26,0	20,5	12,1	7,5	5,6
	57,7	28,1	20,2	12,9	7,1	5,7
	57,9	27,7	20,6	12,6	7,0	6,2
	61,5	28,3	20,2	10,7	7,5	6,4
CST (s)	61,02 ± 2,89	28,00 ± 1,25	20,48 ± 0,26	11,90 ± 0,83	7,26 ± 0,21	6,00 ± 0,30
CST _r (s)	55,02	22,48	14,48	5,09	1,26	0,00
G nam. (mS)	5,80	6,20	6,80	7,20	7,70	8,20
κ (mS/m)	370,62	396,18	434,52	460,08	492,03	523,98
pH	8,4	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

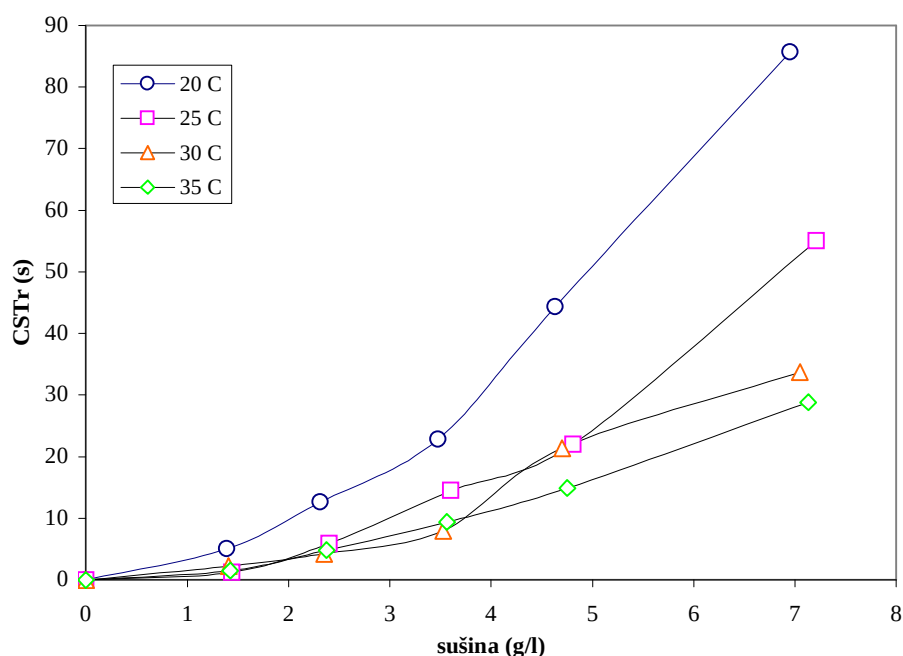
Tab. 11. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 30 °C

Sušina (g/l)	7,05	4,70	3,53 *	2,35	1,41	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	31,1	27,5	13,8	8,8	7,7	5,2
	45,5	24,8	11,2	9,4	7,4	4,7
	33,2	27,8	13,7	8,8	6,6	4,7
	47,5	23,2	16,9	9,1	7,4	4,5
	34,5	28,2	13,4	9,8	6,7	5,5
CST (s)	38,36 ± 6,76	26,30 ± 0,63	13,80 ± 1,82	9,18 ± 0,38	7,16 ± 0,43	4,92 ± 0,37
CST _r (s)	33,68	21,38	7,98	4,26	2,24	0,00
G nam. (mS)	5,02	5,02	5,02	4,98	4,98	4,98
κ (mS/m)	350,95	350,95	350,95	348,15	348,15	348,15
pH	8,3	8,3	8,3	8,4	8,6	8,6

* Při tomto měření přestala svítit kontrolka KONEC MĚŘENÍ a z tohoto důvodu bylo měření přerušeno. Po připájení upadlého kontaktu měření ještě téhož dne pokračovalo.

Tab. 12. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 35 °C

Sušina (g/l)	7,13	4,75	3,57	2,38	1,43	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	32,2	20,0	13,4	9,6	5,9	4,3
	32,2	20,6	13,7	9,0	6,4	4,3
	32,2	17,3	14,3	8,8	5,8	4,0
	35,3	17,6	14,5	9,7	5,7	4,6
	34,1	20,5	13,3	8,9	5,6	4,7
CST (s)	33,20 ± 1,28	19,20 ± 1,45	13,84 ± 0,48	9,20 ± 0,37	5,88 ± 0,28	4,38 ± 0,25
CST _r (s)	28,82	14,92	9,42	4,82	1,50	0,00
G nam. (mS)	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08
κ (mS/m)	356,90	356,90	356,90	356,90	356,90	356,90
pH	7,9	8,1	8,4	8,5	8,4	8,5



Obr.12. Závislost CST anaerobního kalu na teplotě

Hodnoty CST anaerobního kalu výrazně klesly již při teplotě 25°C. Z obrázku 12 vyplývá, že zvýšená teplota kalu má velký vliv na odvodnitelnost. Projevovalo se to snížením hodnot CST, protože čím kratší je doba spojení kontaktů, tím je suspenze lépe odvodnitelná.

3.3 Stanovení vlivu flokulantů na CST

Byl stanovován vliv flokulantů na aerobní a anaerobní kal. Dávka flokulantu byla vypočítána na kilogram sušiny kalu.

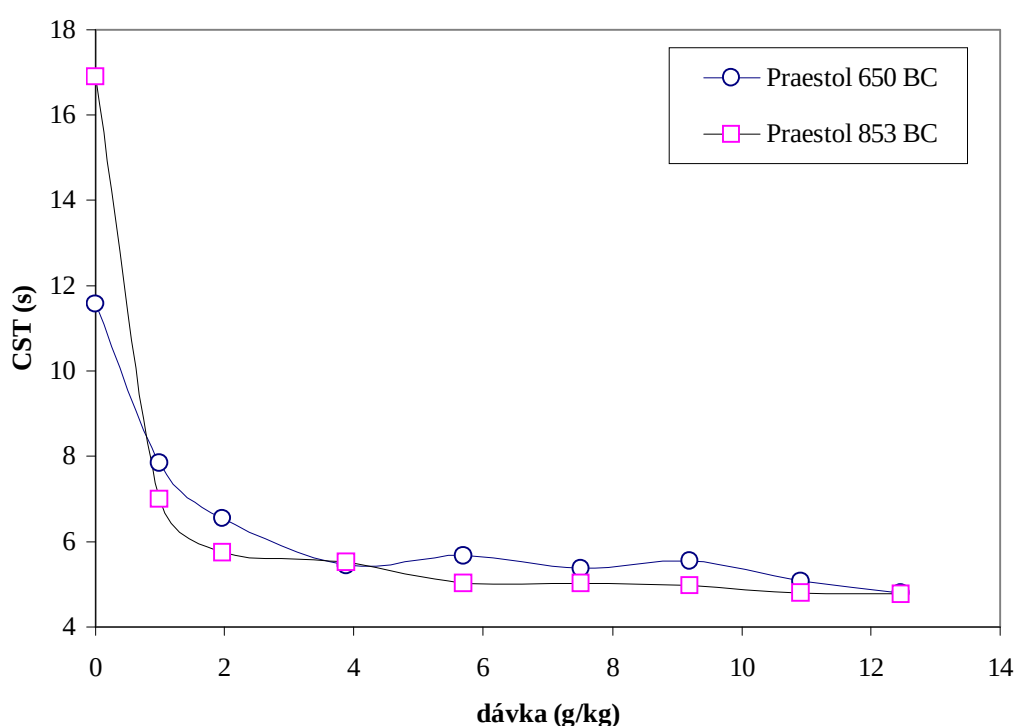
3.3.1 Měření CST aerobního kalu s flokulanty

Tab. 13. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 650 BC, kationaktivní typ

Dávka (g/kg)	0	0,99	1,96	3,88	5,70	7,52	9,20	10,92	12,46
CST _m (s)	11,4	7,7	7,0	5,8	5,7	5,0	5,5	4,8	4,6
	11,7	8,0	6,7	5,4	6,1	5,0	5,0	4,9	5,0
	11,9	7,7	6,6	5,7	5,5	5,5	5,8	5,4	4,9
	11,8	7,6	6,2	4,8	5,4	5,9	5,7	5,4	4,5
	11,1	8,2	6,2	5,5	5,7	5,5	5,8	4,9	5,0
CST (s)	11,58 ± 0,29	7,84 ± 0,22	6,54 ± 0,31	5,44 ± 0,35	5,68 ± 0,24	5,38 ± 0,34	5,56 ± 0,30	5,08 ± 0,26	4,80 ± 0,21

Tab. 14. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 853 BC, kationaktivní typ

Dávka (g/kg)	0	0,99	1,96	3,88	5,70	7,52	9,20	10,92	12,46
CST _m (s)	18,7	6,8	6,6	5,5	5,2	4,8	4,7	5,2	4,9
	16,6	7,1	5,3	5,8	4,7	5,5	4,9	4,4	4,6
	16,3	7,5	5,5	5,7	5,2	5,0	4,9	5,0	5,0
	16,8	6,8	5,6	5,3	5,1	4,8	5,0	4,6	4,5
	16,1	6,8	5,8	5,3	4,9	5,0	5,4	4,8	4,9
CST (s)	16,90 ± 0,93	7,00 ± 0,28	5,76 ± 0,45	5,52 ± 0,20	5,22 ± 0,19	5,02 ± 0,26	4,98 ± 0,23	4,80 ± 0,28	4,78 ± 0,16



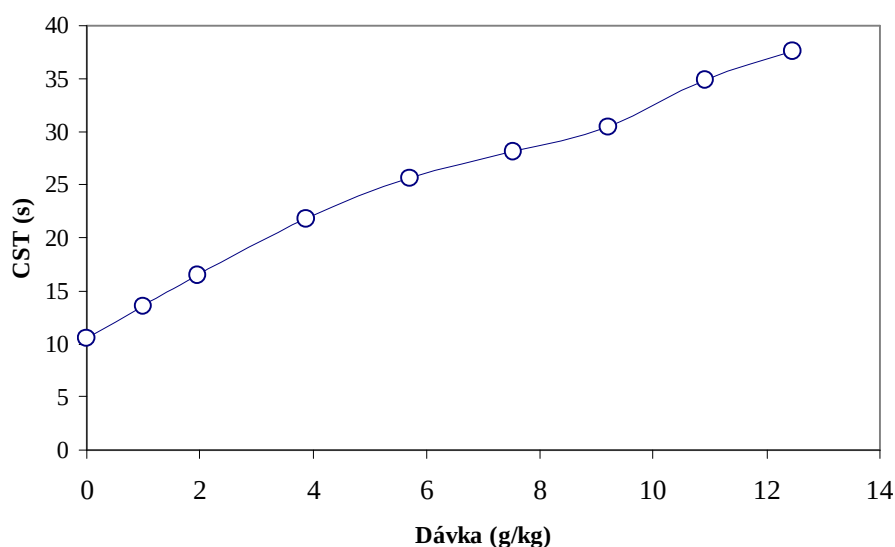
Obr. 13. Závislost CST aerobního kalu na dávkách flokulantů Praestol 650 BC a Praestol 853 BC

Oba tyto flokulanty se ukázaly jako výhodné při odvodňování aerobního kalu. Již při malých dávkách hodnoty CST klesaly. Optimální dávka pro Praestol 650 BC byla stanovena na 1,5 g/kg a pro Praestol 853 BC je to 1,2 g/kg.

Dále byl vyzkoušen flokulant anionaktivního typu.

Tab. 15. Hodnoty CST při použití flokulantu Superfloc A 100, anionaktivní typ

Dávka (g/kg)	0	0,99	1,96	3,88	5,70	7,52	9,20	10,92	12,46
CST _m (s)	10,6	14,9	16,3	23,4	25,4	27,5	30,6	34,4	37,0
	11,0	14,9	17,8	18,9	29,1	25,8	29,4	35,5	43,4
	10,5	14,8	16,3	20,3	21,2	28,3	28,1	34,3	37,7
	10,1	11,7	16,3	23,4	24,7	29,8	30,7	33,4	35,6
	10,7	11,7	15,9	23,1	27,9	29,5	33,5	37,0	34,1
CST (s)	10,58± 0,29	13,60± 1,55	16,52± 0,67	21,82± 1,87	25,66± 2,75	28,18± 1,45	30,46± 1,79	34,92± 1,24	37,56± 3,17



Obr 14. Závislost CST aerobního kalu na flokulantu Superfloc A 100, anionaktivní typ

Tento typ flokulantu se ukázal jako nevhodný. Na obrázku 14 je vidět, že CST se při každém přídatku zvyšoval.

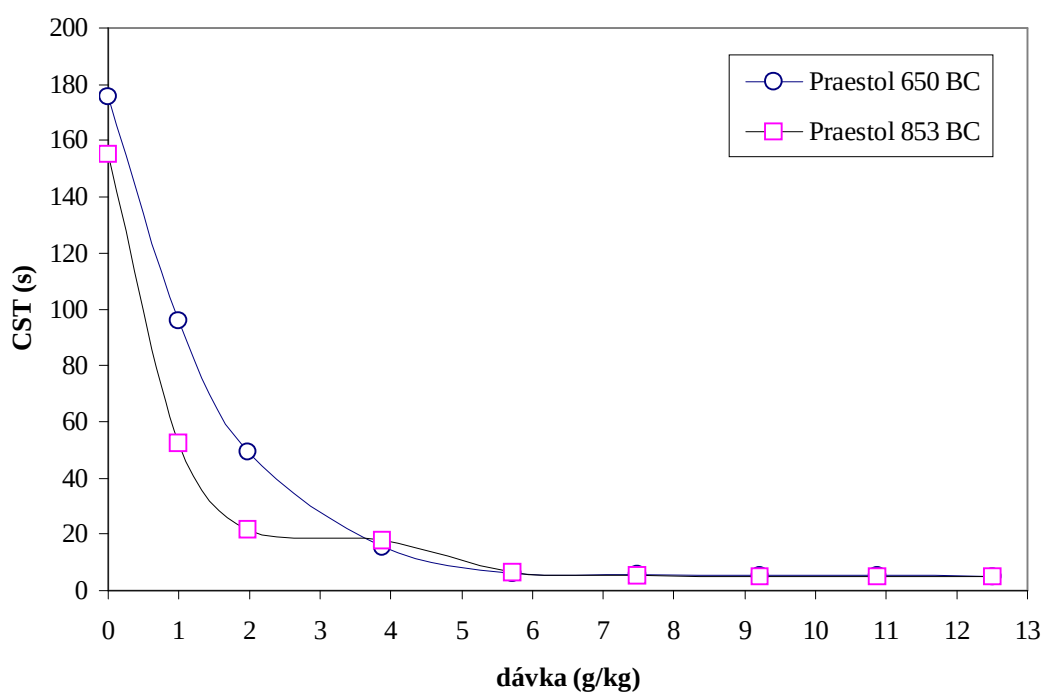
3.3.2 Měření CST anaerobního kalu s flokulanty

Tab. 16. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 650 BC, kationaktivní typ

dávka (g/kg)	0	0,99	1,97	3,87	5,71	7,48	9,21	10,88	12,50
CST _m (s)	170,0	89,3	46,6	15,8	6,1	5,2	4,7	4,8	4,5
	175,0	87,1	43,5	15,3	6,4	6,0	6,0	5,1	5,4
	184,0	105,4	53,9	16,3	6,3	5,4	5,4	5,2	5,1
	189,3	107,7	53,8	16,5	5,8	6,3	4,6	5,5	4,6
	160,5	91,0	48,2	14,6	6,6	6,4	5,5	5,2	5,4
CST(s)	175,76 ± 10,18	96,10 ± 8,65	49,20 ± 4,09	15,70 ± 0,69	6,42 ± 0,27	5,86 ± 0,48	5,24 ± 0,52	5,16 ± 0,23	5,00 ± 0,38

Tab. 17. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 853 BC, kationaktivní typ

dávka (g/kg)	0	0,99	1,97	3,87	5,71	7,48	9,21	10,88	12,50
CST _m (s)	151,3	51,4	23,1	18,3	6,4	4,9	4,8	4,8	4,9
	150,6	57,0	20,2	17,5	6,5	5,2	5,1	4,7	4,6
	154,7	55,1	20,1	18,4	6,7	5,2	4,8	4,9	4,7
	161,9	46,2	21,7	18,0	6,4	5,7	5,1	4,9	4,7
	158,2	52,7	23,5	17,3	6,6	5,2	5,4	5,1	5,3
CST (s)	155,34 ± 4,25	52,48 ± 3,69	21,72 ± 1,42	17,90 ± 0,43	6,52 ± 0,12	5,24 ± 0,26	5,04 ± 0,23	4,88 ± 0,13	4,84 ± 0,25



Obr. 15. Závislost CST anaerobního kalu na dávkách flokulantů Praestol 650 BC a Praestol 853 BC

Oba tyto flokulanty se ukázaly jako výhodné při odvodňování anaerobního kalu. Již při malých dávkách hodnoty CST klesaly. Optimální dávka pro Praestol 650 BC byla stanovena na 2,5 g/kg a pro Praestol 853 BC je to 1,5 g/kg.

3.4 Stanovení závislosti CST na druhu použitého papíru

Pro měření CST je nejvhodnější papír Whatman 17. Byl používán papír Filpap od firmy Filpap Vetřní. Pro zajištění homogenity byl kladen důraz na stříhání papíru Filpap ve stejném směru.

Firma P-lab dodává Whatman 17, který má vysokou absorpční kapacitu, tloušťku 0,92 mm a rychlost toku 190 mm/30 minut. Český výrobce papíru si analyzoval současně používaný papír Filpap jako FS-30 o hodnotě 320 g/m³. Současně používaný papír Filpap je velice porézní a má tloušťku 1,1 mm.

Pro další analýzu CST bylo rozhodnuto otestovat ještě jiný druh papíru. Byl testován papír VEB Freiburger Zellstoff und Papierfabrik u Weissenborn o hustotě 280 g/cm³ (Werk Spezial papierfabrik Niederslag). Tento papír měl tloušťku 0,5 mm.

3.4.1 Stanovení vlivu papíru na CST u aerobního kalu

Pro porovnání papíru Filpap a papíru z Weissenbornu byl jako první zvolen aerobní kal o sušině 6,57 g/l. Kal byl dobře odvodnitelný a vzhledem k vlastnostem papíru z Weissenborn byl dávkován 1 ml do nálevky o průměru 10 mm.

Tab. 18. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru z Weissenbornu a dávce 1 ml

Sušina	6,57	4,38	3,29	2,19	1,31	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	33,4	33,5	28,1	31,7	31,0	24,9
	34,8	34,8	27,5	31,3	31,2	26,9
	35,2	34,4	28,9	31,3	29,4	26,5
	32,6	34,5	28,3	31,3	30,8	26,1
	34,7	35,9	29,8	30,4	30,9	27,2
CST (s)	34,14 ± 0,98	34,62 ± 0,77	28,52 ± 0,78	31,20 ± 0,43	30,66 ± 0,64	26,32 ± 0,80

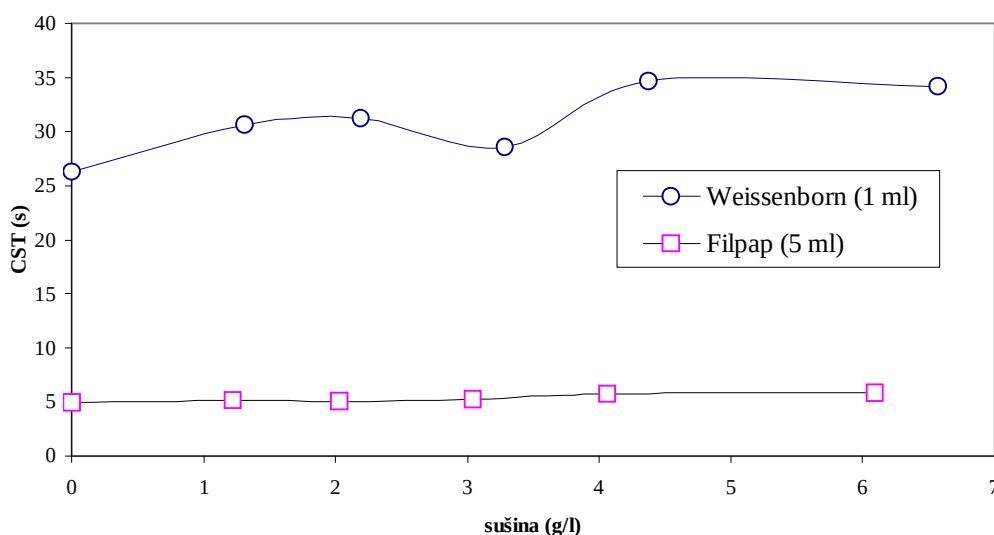
Při dávkování 1 ml na papír Filpap se nepodařilo CST naměřit, dávka kalu byla příliš malá a proto bylo dávkováno opět 5 ml.

Hned po započetí tohoto pokusu došlo k problémům se spínáním, kontakty nereagovaly na kal a ani kontrolka KONEC MĚŘENÍ se nerozsvěcovala. Byla vyzkoušena jiná zásuvka přívodu elektrické energie, ale ani to nepomohlo. Následně bylo zjištěno, že kontakt mezi spínací deskou a přívodem el. energie nefunguje. Druhého dne byl kontakt rozebrán a s tím, že nebyla zjištěna žádná závada, zase složen. Kupodivu pouze toto stačilo k opětovné správné funkci.

Tab. 19. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru Filpap o dávce 5 ml

Sušina (g/l)	6,09	4,06	3,05	2,03	1,22	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	6,3	6,0	5,2	5,4	5,2	5,0
	5,7	6,0	5,0	5,4	4,9	4,9
	5,6	5,7	5,9	5,1	5,3	5,2
	5,8	5,8	5,1	4,5	5,2	4,8
	5,9	5,3	5,2	5,0	5,1	4,7
CST (s)	5,86 ± 0,24	5,76 ± 0,26	5,28 ± 0,32	5,08 ± 0,33	5,14 ± 0,14	4,92 ± 0,17

Sušina se do druhého dne změnila, proto nelze hodnoty CST úplně přesně porovnat.



Obr. 16. Porovnání CST papíru Filpap a Weissenborn

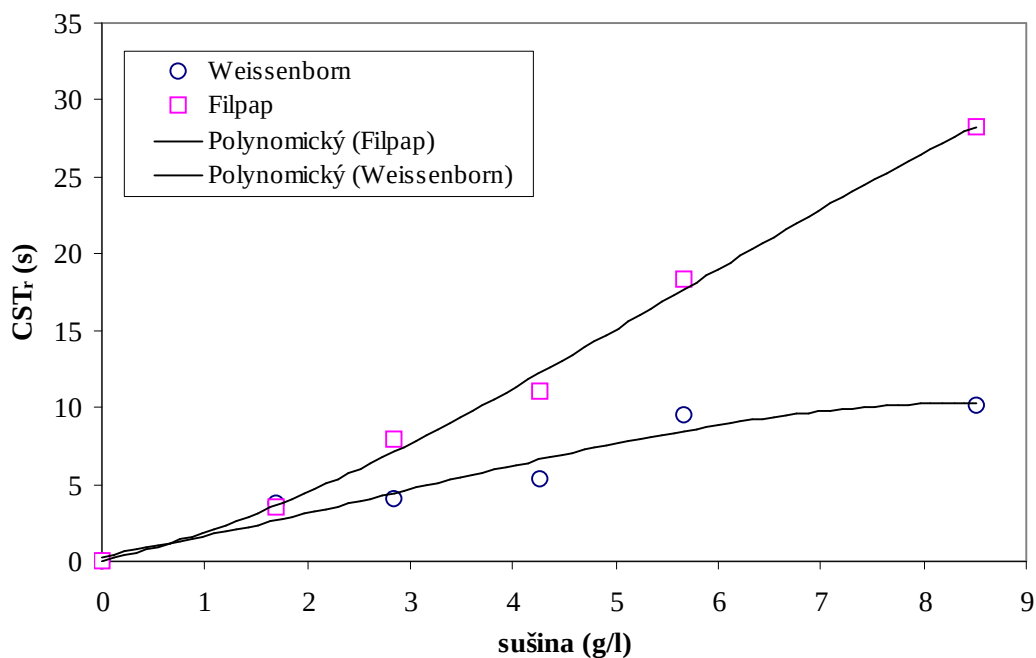
Následně už se podařilo porovnávat papíry při stejné sušině i dávce. Byl použit aerobní kal o sušině 8,51 g/l a dávkovány byly 2 ml do nálevky o průměru 10 mm.

Tab. 20. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru z Weissenbornu a dávce 2 ml

Sušina (g/l)	8,51	5,67	4,26	2,84	1,70	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m Weissenborn (s)	31,7	32,2	25,3	26,4	25,5	22,5
	32,3	33,1	27,7	25,4	25,2	21,6
	32,5	32,4	28,5	25,9	25,6	22,9
	29,9	28,7	27,5	26,2	25,4	20,0
	33,2	30,0	26,4	25,2	25,8	21,8
CST (s)	31,92 ± 1,12	31,28 ± 1,66	27,08 ± 1,11	25,82 ± 0,46	25,50 ± 0,20	21,76 ± 1,00
CST _r (s)	10,16	9,52	5,32	4,06	3,74	0,00

Tab. 21. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru Filpap a dávce 2 ml

Sušina (g/l)	8,51	5,67	4,26	2,84	1,70	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m Filpap (s)	38,3	25,8	20,2	16,1	11,3	8,3
	37,0	26,0	20,3	16,3	12,1	8,7
	38,1	27,1	18,2	16,4	11,5	8,3
	34,6	27,2	17,7	15,9	11,9	8,3
	34,6	27,1	20,1	16,5	12,2	7,9
CST (s)	36,52 ± 1,50	26,64 ± 0,61	19,30 ± 1,12	16,24 ± 0,22	11,80 ± 0,35	8,30 ± 0,25
CST _r (s)	28,22	18,34	11,00	7,94	3,50	0,00



Obr. 17. Porovnání CST_r při použití papíru Filpap a Weissenborn při dávce 2 ml

Z grafické závislosti na obrázku 17 nelze s jistotou určit, že CST při použití papíru Weissenborn koreluje s CST naměřeném na papíru Filpap.

3.4.2 Stanovení vlivu papíru na CST u anaerobního kalu

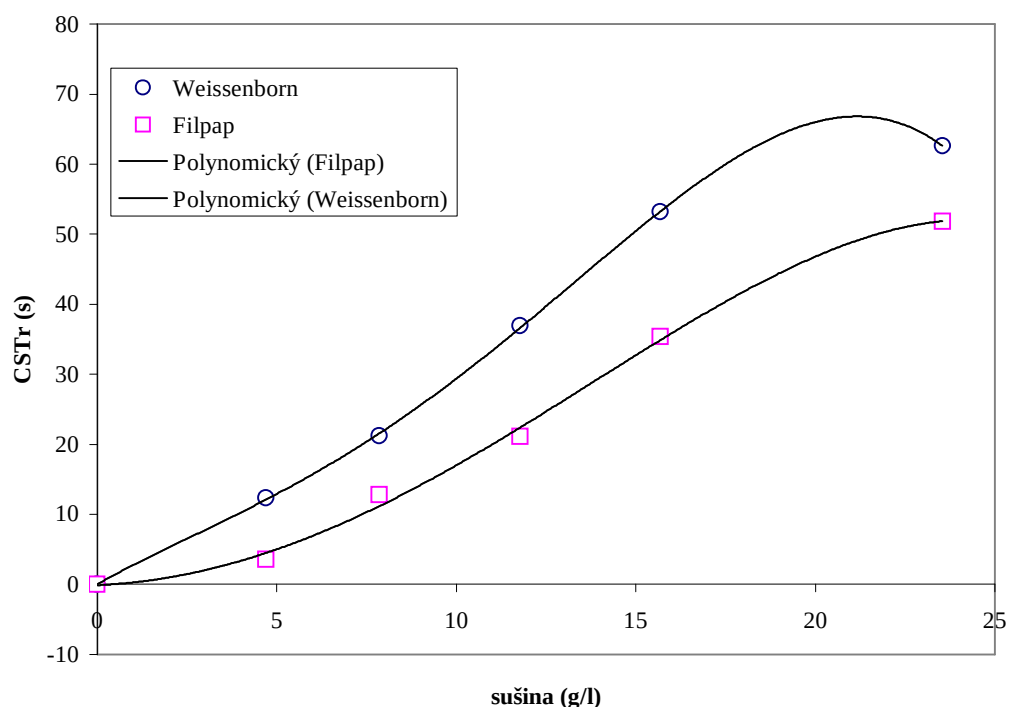
Dále bylo porovnávání papírů testováno na anaerobním kalu o sušině 23,54 g/l. Dávkovány byly 3 ml do nálevky o průměru 18 mm.

Tab. 22. Hodnoty CST anaerobního kalu při použití papíru Weissenborn a dávce 3 ml

Sušina (g/l)	23,54	15,69	11,77	7,85	4,71	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST_m Weissenborn (s)	71,9	64,1	45,8	28,0	18,9	6,0
	65,3	54,0	37,8	27,6	19,0	5,9
	69,5	54,1	45,0	26,4	18,4	6,7
	68,4	58,4	48,2	28,7	19,3	6,3
	69,9	67,3	39,5	27,1	17,9	7,0
CST (s)	$69,00 \pm 2,17$	$59,58 \pm 5,34$	$43,26 \pm 3,95$	$27,56 \pm 0,78$	$18,70 \pm 0,49$	$6,38 \pm 0,42$
CST_r (s)	62,62	53,20	36,88	21,18	12,32	0,00

Tab. 23. Hodnoty CST anaerobního kalu při použití papíru Filpap a dávce 3ml

Sušina (g/l)	23,54	15,69	11,77	7,85	4,71	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m Filpap (s)	55,6	37,5	26,5	20,5	8,6	6,2
	52,8	42,3	29,1	18,2	10,1	5,6
	58,3	41,9	25,1	18,5	9,9	5,7
	57,8	38,5	24,0	17,8	9,2	6,1
	64,2	46,2	30,1	18,6	9,6	5,9
CST (s)	57,74 ± 3,77	41,28 ± 3,09	26,96 ± 2,32	18,72 ± 0,93	9,48 ± 0,53	5,90 ± 0,23
CST _r (s)	51,84	34,38	21,06	12,82	3,58	0,00

Obr. 18. Porovnání CST_r anaerobního kalu při použití papíru Filpap a Weissenborn při dávce 3 ml

Dávka 3 ml bylo pro papír Weissenborn příliš. Při vyjímání papíru z měřící cely z něj odkapával filtrát. Přesto hodnoty CST při použití obou papírů dobře korelují, jak je vidět na obrázku 18.

3.5 Stanovení vlivu vlhkosti papíru Filpap na CST

Po dobu měření byl nastříhaný papír Filpap pro stanovení CST uchováván volně při laboratorní vlhkosti, která se měnila, proto bylo rozhodnuto zjistit vliv vlhkosti na měření CST. Pro toto měření byly nastříhané papíry vysušeny 2 hodiny na 105 °C. Část ponechána v exikátoru nad silikagelem a část v průběhu 20 hodin nad nasyceným roztokem skalice modré (vlhkost 98 %) v jiném exikátoru. Dále byly nastříhány papíry, které byly ponechány volně v laboratoři.

3.5.1 Stanovení vlivu vlhkosti papíru Filpap na měření CST u aerobního kalu

Tab. 24. Hodnoty CST aerobního kalu pro papír s laboratorní vlhkostí

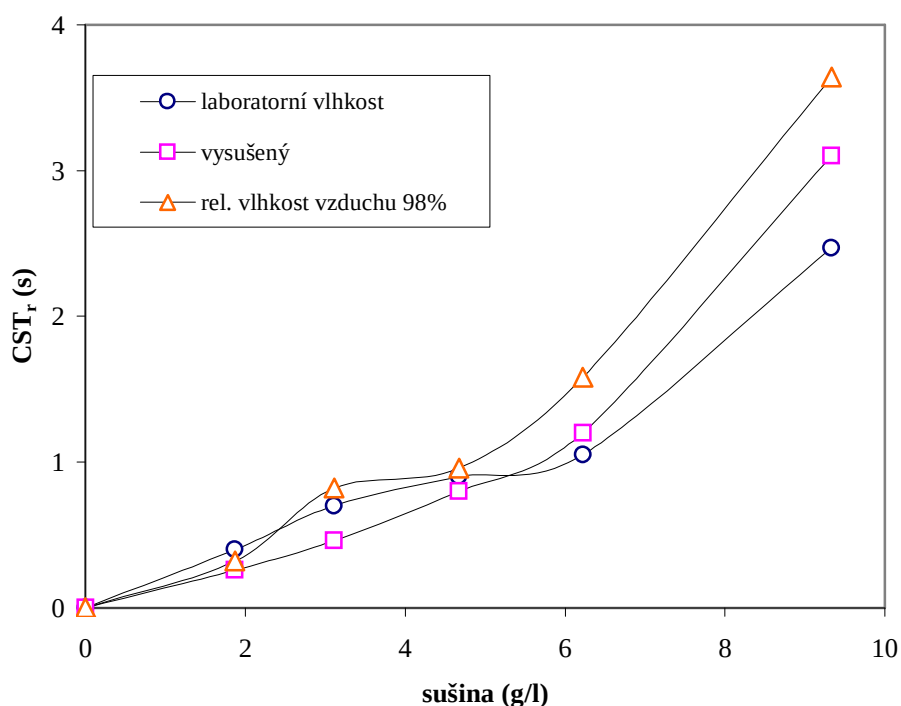
Sušina (g/l)	9,33	6,22	4,67	3,11	1,87	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	7,5	6,3	6,2	6,3	6,1	5,1
	7,6	6,9	5,6	6,2	5,6	5,5
	7,4	5,7	6,0	5,7	5,7	5,3
	8,0	6,3	6,9	5,6	5,8	5,2
	7,9	5,8	6,2	6,1	5,2	5,3
CST (s)	7,68 ± 0,23	6,20 ± 0,43	6,18 ± 0,42	5,98 ± 0,28	5,68 ± 0,29	5,28 ± 0,13
CST _r (s)	2,47	1,05	0,90	0,70	0,40	0,00

Tab. 25. Hodnoty CST aerobního kalu pro vysušený papír

Sušina(g/l)	9,33	6,22	4,67	3,11	1,87	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	7,0	5,5	5,5	5,2	4,1	4,5
	7,8	5,5	5,0	4,8	5,5	4,2
	7,3	5,9	5,5	5,1	4,5	4,5
	8,0	6,1	5,3	4,8	4,9	4,4
	8,0	5,6	5,3	5,0	4,9	5,0
CST (s)	7,62 ± 0,40	5,72 ± 0,24	5,32 ± 0,18	4,98 ± 0,16	4,78 ± 0,47	4,52 ± 0,26
CST _r (s)	3,10	1,20	0,80	0,46	0,26	0,00

Tab. 26. Hodnoty CST aerobního kalu pro papír uložený nad nasyceným roztokem skalice modré

Sušina (g/l)	9,33	6,22	4,67	3,11	1,87	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	8,4	5,8	5,6	5,7	5,0	5,1
	8,6	6,0	5,6	5,0	4,7	4,3
	7,7	6,6	5,7	6,0	5,2	4,8
	8,5	6,1	5,6	5,8	4,6	4,4
	7,8	6,2	5,1	5,0	4,9	4,2
CST (s)	8,20 ± 0,37	6,14 ± 0,27	5,52 ± 0,21	5,50 ± 0,42	5,88 ± 0,21	4,46 ± 0,34



Obr. 19. Závislost CST_r aerobního kalu na vlhkosti papíru

Vlhký papír vykazoval nejvyšší hodnoty CST. Křivka vysušeného papíru má nejpřirozenější průběh, protíná jí křivka CST měřená s papírem při laboratorní vlhkosti. Pro další měření CST by bylo vhodné papír Filpap vysušit pro přesnější měření.

3.5.2 Stanovení vlivu vlhkosti papíru Filpap na měření CST u anaerobního kalu

Tab. 27. Hodnoty CST anaerobního kalu pro papír s laboratorní vlhkostí

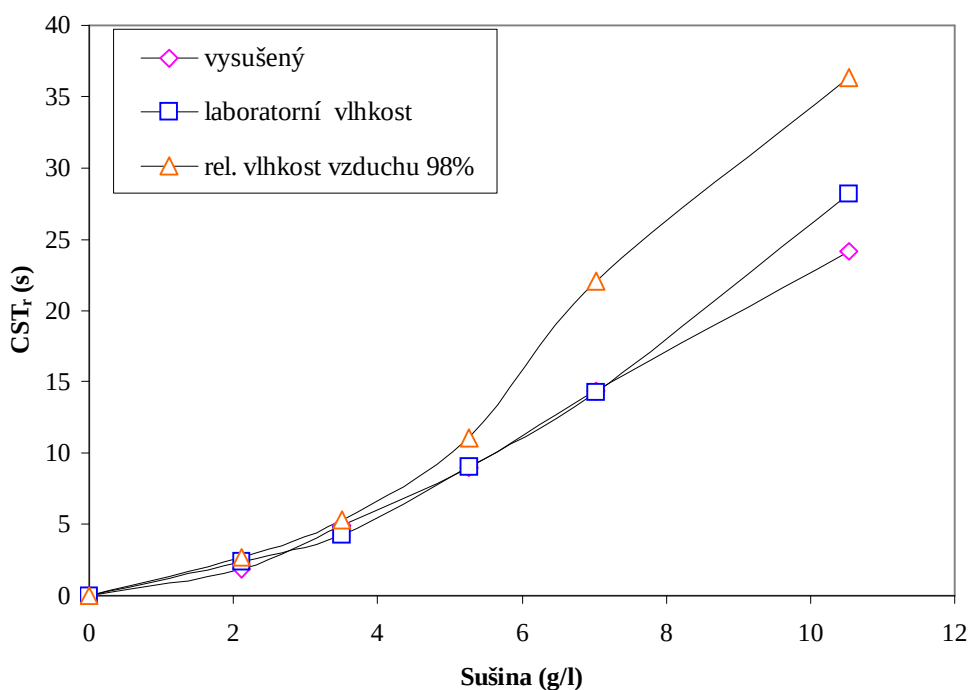
Sušina (g/l)	10,54	7,03	5,27	3,51	2,11	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	25,2	16,3	15,1	9,1	7,3	4,7
	31,7	19,1	14,8	8,9	6,4	4,6
	28,8	21,5	12,8	9,0	6,6	5,0
	27,1	18,7	13,5	8,4	7,0	5,1
	32,2	20,4	12,8	9,2	6,3	4,9
CST (s)	29,00 ± 2,76	19,20 ± 1,75	18,80 ± 0,98	8,92 ± 0,28	6,72 ± 0,38	7,86 ± 0,19
CST _r (s)	24,14	14,34	8,94	4,96	1,86	0,00

Tab. 28. Hodnoty CST anaerobního kalu pro vysušený papír

Sušina (g/l)	10,54	7,03	5,27	3,51	2,11	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	31,5	16,8	13,7	9,3	7,8	5,7
	33,4	18,8	15,9	9,8	7,8	4,9
	36,5	20,5	13,2	9,1	6,9	5,2
	34,9	19,5	14,1	9,5	7,8	5,4
	30,8	22,2	14,7	9,8	7,8	5,1
CST (s)	33,42 ± 2,11	19,56 ± 1,79	14,32 ± 0,93	9,50 ± 0,28	7,62 ± 0,36	5,26 ± 0,27
CST _r (s)	28,16	14,33	9,06	4,24	2,36	0,00

Tab. 29. Hodnoty CST anaerobního kalu pro papír uložený nad nasyceným roztokem skalice modré

Sušina (g/l)	10,54	7,03	5,27	3,51	2,11	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	44,6	25,4	16,4	10,5	7,4	5,4
	40,1	24,8	17,6	11,1	8,9	5,7
	38,8	28,0	16,8	10,9	8,9	5,1
	46,5	30,8	16,5	10,7	8,1	5,5
	38,8	28,4	15,5	10,8	7,5	5,6
CST (s)	41,76 ± 7,19	27,48 ± 2,17	16,56 ± 0,63	10,80 ± 0,20	8,16 ± 0,65	5,46 ± 0,21
CST _r (s)	36,30	22,02	11,10	5,34	2,70	0,00



Obr. 20. Závislost CST_r anaerobního kalu na vlhkosti papíru

Z grafu vyplývá, že CST papíru s největší vlhkostí vykazuje nejvyšší hodnoty, CST papíru a laboratorní vlhkostí vykazuje mírně vyšší hodnoty, než CST vysušeného papíru. Pro další měření CST by bylo vhodné papír Filpap vysušit pro přesnější měření.

3.6 Analýza měření na stávajícím zařízení

Zařízení se skládá z měřicí cely, tranzistorového spínacího zařízení a elektronických stopek. V průběhu měření byla práce se stopkami náročná, protože docházelo k těmto závadám:

- vždy na počátku měření, pro první jednu až dvě hodnoty vůbec nesešnuly stopky
- mnohokrát se rozsvítila kontrolka KONEC MĚŘENÍ a stopky běžely dál
- spínač NUL většinou pak stopky zastavil, ale na vynulování bylo použito tlačítko TM CORR
- nebo opačně stopky se po zastavení ihned přepnuly na počáteční polohu s datumem, takže nebylo možno hodnotu odečíst
- časy v průběhu měření jednoho vzorku se hodně lišily (viz odchylka)

Pro lepší pochopení situace je zde uvedena tabulka jednoho z posledních měření s hodnotami označenými:

* = spínač ZAP se sám od sebe vypnul při vynulování

šedě = stopky nespínají, hodnoty byla naměřeny externími stopkami

tučné = hodnota hned po zastavení stopek zmizela, nutno sledovat displej

podtržené = po probliknutí času a rozsvícení kontrolky KONEC MĚŘENÍ běží stopky dál

Tab. 30. Demonstrace stavu měření na anaerobním kalu

Sušina (g/l)	10,54	7,03	5,27	3,51	2,11	0
Ředění	kal	2:1	1:1	1:2	1:4	filtrát
CST _m (s)	44,6	25,4	16,4	10,5	7,4	5,4
	40,1*	<u>24,8</u>	17,6	11,1	8,9	5,7
	38,8	28,0	<u>16,8</u>	<u>10,9</u>	8,9	5,1
	46,5	30,8	16,5	<u>10,7</u>	8,1	5,5
	38,8	28,4	15,5	10,8	7,5	<u>5,6</u>
CST (s)	41,76 ± 3,19	27,48 ± 2,17	16,56 ± 0,63	10,80 ± 0,20	8,16 ± 0,65	5,46 ± 0,21
Odchylka (%)	7,63	7,91	4,09	1,85	7,96	3,77

Z tabulky 30. je vidět, že během měření anaerobního kalu o sušině kalu 7,03 g/l bylo z pěti měření jen jediné bez problémů. Dvakrát hodnota hned po zastavení stopek zmizela, jednou nedošlo k sepnutí stopek a jednou byla hodnota odečtena indikací kontrolky KONEC MĚŘENÍ. Z toho vyplývá, že přístroj vyžaduje trvalou pozornost. Jinak nelze spoléhat na odečtené hodnoty a je potřeba měření opakovat.

ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce je analýza měřicí metody CST. Tato metoda je užívána jako rychlá a spolehlivá pro charakterizování odvodnění a upravitelnosti kalu.

Pokusy byly prováděny jak s aerobním, tak i anaerobním kalem. U všech měření byla stanovována pouze počáteční sušina kalu. Ostatní hodnoty sušin, které jsou uvedeny v diplomové práci, jsou pouze vypočteny z daného ředění. Ředění bylo prováděno filtrátem použitého kalu. Anaerobní kal byl uchováván v uzavřené lahvi v chladicí místnosti o teplotě 4 °C a pro potřeby měření bylo vždy odebráno a naředěno určité množství, které již bylo na vzduchu.

Vliv stáří kalu na měření CST u aerobního kalu o sušině 5,03 g/l a 4,94 g/l v úzké časové periodě nebyl prokázán. Kal měl nízkou sušinu a byl dobře odvodnitelný. Byl stanovován vliv sušiny na CST. U anaerobního kalu o sušině 13,5 g/l a 6,80 g/l hodnoty CST se snižující se sušinou klesaly. Čím měl kal nižší sušinu, tím byl lépe odvodnitelný. Také hodnoty odchylek měření se snižovaly s nižší sušinou kalu.

Dále byl stanovován vliv teploty na CST. Kal byl za stálého míchání vytemperován na danou teplotu ve vodivostní cele. Bylo změřeno pH a vodivost a následně odebírány vzorky pro CST. Měřicí cela CST metru byla taktéž temperována. Měření probíhalo při teplotách 20, 25, 30 a 35 °C. U aerobního kalu byl prokázán malý vliv teploty na odvodnitelnost. Hodnoty CST anaerobního kalu výrazně klesly už při teplotě 25°C. Zvýšená teplota měla u anaerobního kalu velký vliv na odvodnitelnost. Hodnoty CST klesly při teplotě 25°C o 33 % a při teplotě 30°C až o 64%.

Měřením vodivosti kalů nebylo dostatečně jasně prokázáno, že vodivost spolu se zvyšující se teplotou roste. Nejvyšší pH u aerobního kalu vykazoval filtrát (pH vyšší než 7), hustý kal měl pH nižší než 7. U anaerobního kalu byly naměřeny hodnoty pH vyšší než 8 a s ředěním se zvyšovaly.

Přídavky kationaktivních flokulantů měly výrazný vliv jak na aerobní, tak na anaerobní kal. Flokulanty Praestol 650 BC a Praestol 853 BC snižovaly hodnoty CST již při malých přídavicích. U aerobního kalu byla stanovena optimální dávka pro Praestol 650 BC na 1,5 g/kg sušiny a pro Praestol 853 BC 1,2 g/kg sušiny. U anaerobního

kalu byla stanovena optimální dávka pro Praestol 650 BC na 2,5 g/kg sušiny a pro Praestol 853 BC 1,5 g/kg sušiny.

Měření bylo prováděno s použitím papíru Filpap. Byl vyzkoušen papír Weissenborn a porovnáván s papírem Filpap. U anaerobního kalu korelovaly naměřené závislosti CST obou papírů.

Byl také ověřován vliv vlhkosti prostředí na filtrační papír a tím i na hodnoty CST. Jak při měření s aerobním, tak i s anaerobním kalem byly hodnoty CST vlhkého papíru nejvyšší. Pro měření CST by bylo vhodné papír předem vysušit.

Měření probíhalo na CST metru a stopkách typu MR 413, které jsou zastaralé a byly již opravovány. Při měřeních docházelo k různým závadám, které byly průběžně uváděny v této práci. Přesto naměřené hodnoty odpovídaly očekávaným předpokladům, nicméně je zapotřebí tyto závady odstranit, protože při trvalém používání tohoto přístroje docházelo k výrazným odchylkám při měření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] M. SEDLÁČEK A KOL. *Metody rozboru kalů a pevných odpadů*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1978. bez ISBN.
- [2] J. KUPEC. *Zpracování odpadních vod a čistírenských kalů*. 1 vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati, 2002. 123 s. ISBN 80-7318-058-8. s. 111, 117.
- [3] J. CHUDOBA. *Odpadní vody a jejich čištění*. 1vy. Praha, 1991.121 s. ISBN 80-85122-09-X. s. 112.
- [4] D. PETRŮ, J. NECHVÁTAL. *Zpracování kalů*. 1 vyd. Praha: SNTL, 1968. 329 s. bez ISBN . s. 27, 29, 73.
- [5] J. VOSTRČIL, F. JURAČKA. *Organické flokulanty*. Brno: ČVTS – Dům techniky Brno, 1973. 165 s. bez ISBN. s. 9, 10,11, 49.
- [6] P. PITTER, J. CHUDOBA, F. TUČEK, J. ERLEBACH. *Návody ke cvičením z technologie vody*. 2 přepracované vydání. Praha: SNTL, 1972. 232 s. bez ISBN. s. 44.
- [7] V.C. BEHN : J.Sanit.Engng. Div. Amer. SOC.civ.Engrs 83, SA 5, 1 (1957)
- [8] R.I. DIC , B.B. EWING : J.Sanit.Engng.Div.Amer.Soc.civ.Engrs 93, SA 4.9 (1967).
- [9] H.S. COE, G.H. CLEVENGER : Trans.Amer.Inst.min.Engnrs 55, 356 (1916).
- [10] F. TUČEK, Z. KONÍČEK. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 2, 511 (1974).
- [11] F. TUČEK, M. DOHÁNYOS. *Zahušřování a odvodňování kalů.*, 1 vyd. Praha: VŠCHT, 1997. 168 s. ISBN 80-7080-272-3. kapitola 12.
- [12] J. HOFFMANN, I. ŘEZNÍČKOVÁ, J. RŮŽIČKA. *Technologická cvičení z ochrany prostředí*. část I , Zlín : Univerzita Tomáše Bati, 1999. 69 s. ISBN 80-214-1505-3.
- [13] P. PITTER A KOL. *Laboratorní metody v technologii vody*. 1. vydání. Praha : SNTL, 1983. 304 s. ISBN 80-214-1505-3. s. 58.
- [14] Triton Electronics [online]. [cit.7.10.2004]. Dostupné na WWW:
<<http://www.ssc.com.tw/Triton/start/start.htm>>

- [15] J.C. LIU, CH. LEE, J.Y. LAI, K.C. WANG, Y.C. HSU, B.V. CHANG. Extracellular polymers of ozonized waste activated sludge. *Water science and technology* [online]. 2001. [cit. 2004-11-25]. Dostupné na WWW: <<http://isi17.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>
ISSN: 0273-1223
- [16] JI. HOUGHTON, J. QUARMBY, T. STEPHENSON. Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer. *National library of medicine* [online]. 2001[cit 13.10.2004]. Dostupný z internetu: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=11548008&dopt=Abstract> ISSN: 0273-1223
- [17] Dr. C. VISVANATHAN : *Asian Institute of Technology* [online]. 1998 [cit. 13.10.2004]. Dostupné na WWW: <http://www.courses.ait.ac.th/ED08.13/chapter_83f.htm>
- [18] BO JIN , BRITT-MARIE WILÉN, PAUL LANT. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge, *Chemical Engineering Journal 1998* [online]. 2004. str. 115–126. [cit. 2005-01-15]. Dostupné na WWW: <<http://isi17.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>
ISSN: 1385-8947
- [19] Morgan-Sagastume F, Allen. Physicochemical properties and stability of activated sludge flocs under temperature upshifts from 30 to 45 °C . *Journal of colloid and interface science* 281 (1)[online]. 2005. [cit. 2005-05-15]. str. 136-145. Dostupné na WWW: <<http://isi17.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame> >
ISSN: 0021-9797

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK:

Zkratka	Celý název	Jednotky
BSK ₅	Pětidenní biochemická spotřeba kyslíku	g/l
CST	Capillary Suction Time	s
ECP	Extracelulární polymery	
EPS	Extracelulární polymerní složky	
LCD display	Liquid crystal display	
NL	Nerozpustné látky	g/l
SRT	Sludge Retention Time	den
VŠCHT Praha	Vysoká škola chemicko-technologická	
VÚV TGM Praha	Výzkumný ústav vod T. G. Masaryka	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 : Tvar zahušťovací křivky.....	14
Obr.2 : Zahušťovací křivka	16
Obr.3 : Obvyklý průběh křivky hustoty hmotnostního toku částic	17
Obr.4 : Měřicí cela pro stanovení CST.....	18
Obr.5 : Přístroj pro měření CST.....	26
Obr.6 : Blokové schéma měření CST.....	26
Obr.7 : Závislost CST na sušině aerobního kalu při 25°C.....	35
Obr.8 : Závislost CST na sušině aerobního kalu při 25°C	36
Obr.9 : Závislost CST na sušině anaerobního kalu	37
Obr.10 : Závislost CST _r na sušině anaerobního kalu	37
Obr.11 : Graf porovnání závislostí CST _r aerobního kalu na teplotě.....	40
Obr.12 : Závislost CST anaerobního kalu na teplotě.....	43
Obr.13 : Závislost CST aerobního kalu na dávkách flokulantů Praestol 650 BC a Praestol 853 BC.....	44
Obr.14 : Závislost CST aerobního kalu na flokulantu Superfloc A 100, anionaktivní typ	45
Obr.15 : Závislost CST anaerobního kalu na dávkách flokulantů Praestol 650 BC a Praestol 853 BC.....	46
Obr.16 : Porovnání CST papíru Filpap a Weissenborn	48
Obr.17 : Porovnání CST _r při použití papíru Filpap a Weissenborn při dávce 2 ml	50
Obr.18 : Porovnání CST _r anaerobního kalu při použití papíru Filpap a Weissenborn při dávce 3 ml	51
Obr.19 : Závislost CST _r na vlhkosti papíru.....	53
Obr.20 : Závislost CST _r na vlhkosti papíru.....	55

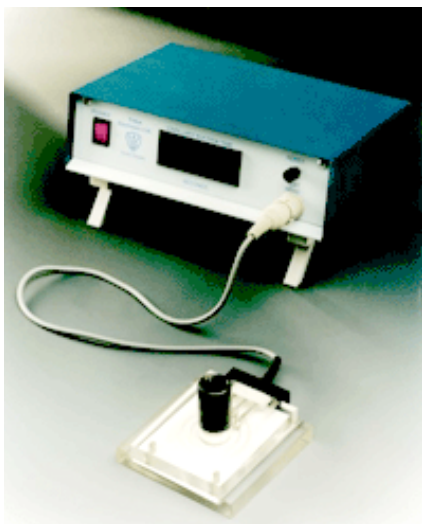
SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty CST aerobního kalu vzhledem k sušině kalu.....	34
Tab. 2. Hodnoty CST aerobního kalu vzhledem k sušině kalu	35
Tab. 3. Hodnoty CST anaerobního kalu vzhledem k sušině kalu.....	36
Tab. 4. Hodnoty CST anaerobního kalu vzhledem k sušině kalu.....	37
Tab. 5. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 20 °C.....	38
Tab. 6. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 25 °C.....	39
Tab. 7. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 30 °C.....	39
Tab. 8. Hodnoty CST aerobního kalu při teplotě 35 °C.....	40
Tab. 9. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 20 °C.....	41
Tab. 10. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 25 °C.....	41
Tab. 11. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 30 °C.....	42
Tab. 12. Hodnoty CST anaerobního kalu při teplotě 35 °C.....	42
Tab. 13. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 650 BC, kationaktivní typ.....	43
Tab. 14. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 853 BC, kationaktivní typ.....	44
Tab. 15. Hodnoty CST při použití flokulantu Superfloc A 100, anionaktivní typ.....	45
Tab. 16. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 650 BC, kationaktivní typ.....	45
Tab. 17. Hodnoty CST při použití flokulantu Praestol 853 BC, kationaktivní typ.....	46
Tab. 18. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru z Weissenbornu a dávce 1ml.....	47
Tab. 19. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru Filpap o dávce 5 ml.....	48
Tab. 20. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru z Weissenbornu a dávce 2 ml.....	49
Tab. 21. Hodnoty CST aerobního kalu při použití papíru Filpap a dávce 2 ml.....	49
Tab. 22. Hodnoty CST anaerobního kalu při použití papíru Weissenborn a dávce 3 ml..	50
Tab. 23. Hodnoty CST anaerobního kalu při použití papíru Filpap a dávce 3ml.....	51
Tab. 24. Hodnoty CST aerobního kalu pro papír s laboratorní vlhkostí	52
Tab. 25. Hodnoty CST aerobního kalu pro vysušený papír.....	52
Tab. 26. Hodnoty CST aerobního kalu pro papír uložený nad nasyceným roztokem skalice modré	53
Tab. 27. Hodnoty CST anaerobního kalu pro papír s laboratorní vlhkostí	54
Tab. 28. Hodnoty CST anaerobního kalu pro vysušený papír	54

29. Hodnoty CST anaerobního kalu pro papír uložený nad nasyceným roztokem skalice modré	54
Tab. 30. Demonstrace stavu měření na anaerobním kalu	56

Příloha I :

Typ 304M CST



Typ 304B CST



Typ 319 CST



Typ P 317



EVIDENČNÍ LIST MAGISTERSKÉ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Místo uložení práce: Ústřední knihovna UTB ve Zlíně	
Autor práce:	MUCHOVÁ Markéta
Název práce	
česky:	Analýza měřicí metody CST
anglicky:	Analysis of CST measuring method
Vedoucí práce: Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.	
Vysoká škola (název a adresa):	
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Mostní 5139, 760 01 Zlín	
Fakulta technologická, nám. T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín	
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí	
Rok obhájení práce: 2005	
Počet stran, obrázků, tabulek: 65, 20, 30	
Předmětová hesla:	
česky:	CST, kal, odvodnitelnost, teplota , flokulant
anglicky:	CST, sludge, dewaterability, temperature, flocculant
Souhrn	
česky:	
Byla měřena odvodnitelnost aerobního a anaerobního kalu metodou CST za použití papíru Filpap. Byl stanovován vliv sušiny kalu na CST a optimální dávka flokulantu Praestol 650 BC a Praestol 853 BC. Dále byl měřen vliv teploty kalu na jeho odvodnitelnost. Bylo vyzkoušeno použití jiného druhu papíru a také byl testován vliv vlhkosti papíru na měření CST.	
anglicky:	
The dewaterability of aerobic and anaerobic sludge was tested using CST method and filtrate paper Filpap. The effect of solids of sludge on CST values was tested and the optimal batch of flocculants Praestol 650 BC and Praestol 853 BC was also specified in this work. Further measurement was the effect of temperature on the dewaterability of the sludge. Using of different type of the filter paper and the effect of humidity of filter paper on the CST measurement was tested.	