

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

**ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD VE SKLÁŘSKÉM
PRŮMYSLU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

KAROLÍNA VOLNÁ

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Volná** Jméno: **Karolína** Osobní číslo: **473573**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Čištění odpadní vody ve sklářském průmyslu

Název bakalářské práce anglicky:

Waste water treatment in glass industry

Pokyny pro vypracování:

- 1) Na základě dostupných dat a podkladů analyzujte postup čištění brusných odpadních vod ve sklářském průmyslu.
- 2) Popište hlavní operace používané při čištění tohoto typu odpadních vod.
- 3) Na základě dostupných dat vytvořte model linky na čištění tohoto typu odpadních vod.
- 4) Proveďte základní bilanční hmotové výpočty pomocí vytvořeného modelu linky pro definované provozní stavy.

Seznam doporučené literatury:

Podle doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **13.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

Jméno

a Příjmení

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Radku Šulcovi, Ph.D., za trpělivost, cenné rady a vstřícnost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Stanislavě Staré, Ph.D., panu Ing. Petru Kotkovi a ostatním zaměstnancům firmy Preciosa, a.s., závod 03, za možnost psát bakalářskou práci v jejich podniku. Děkuji za ochotu, čas a odborné rady, které mi věnovali.

Anotační list

Jméno autora: Karolína

Příjmení autora: Volná

Název práce česky: Čištění odpadních vod ve sklářském průmyslu

Název práce anglicky:

Rozsah práce: počet stran: 66
počet obrázků: 5
počet tabulek: 65
počet příloh: 0

Akademický rok: 2020/2021

Jazyk práce: český

Ústav: Ústav procesní a zpracovatelské techniky

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Energetika a procesní technika

Vedoucí práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Anotace česky:

Cílem této práce bylo na základě poskytnutých dat z firmy Preciosa sestavit model linky na čištění vod vzniklých po broušení a leštění skla, a pro celou linku sestavit výpočtový bilanční model. Pomocí programu Excel byl vytvořen výpočetní soubor, který na základě vložených vstupních dat provádí bilanční výpočet linky.

Anotace anglicky:

The aims of this bachelor thesis were: to design a model of a treatment line for the treatment of waste water formed during glass grinding and polishing, and to compile a computational balance model for the treatment line based on the data provided by the Preciosa company. A calculation model was created using MS Excel, which performs a balance calculation of the waste water treatment line based on the entered input data.

Klíčová slova: průmyslové odpadní vody, čištění odpadních vod, sklářský průmysl, broušení skla

Klíčová slova anglicky: industrial waste water, waste water treatment, glass industry, glass grinding

Obsah

Seznam použitých zkratk	1
Úvod	2
Představení firmy a výrobní program	3
Opracování skleněných polotovarů	5
Vybrané skleněné výrobky - terminologie	5
Broušení	5
Leštění	7
Teoretická část	8
1. Odpadní vody	8
1.1 Úvod a dělení	8
2. Odpadní vody ve sklářském průmyslu	9
2.1 Legislativa	9
2.2 Jakost odpadních vod	10
2.3 Fyzikálně chemický popis odpadních vod vznikajících na brusírnách	11
2.3.1 Odpadní vody z brusíren	11
2.3.2 Odpadní vody po leštění skla	13
2.4 Princip čistění brusných vod	13
2.5 Princip čistění vod po leštění skla	16
2.6 Strojní zařízení ČOV Dukla	17
2.6.1 Přívod brusných vod	17
2.6.2 Flokulační nádrž	19
2.6.3 Čiřič DUKLA	19
2.6.4 Dvouvrstvé filtry DF 2000	20
2.6.5 Jímka vyčištěné vody	21
2.6.6 Dávkování biocidů	22
2.6.7 Kalové hospodářství	22
2.7 Strojní zařízení ČOV2 BIO	24
2.7.1 Biologická část	25
2.7.2 Chemická část	25
2.8 Jakost vyčištěných vod	25
2.8.1 Jakost na výstupu z ČOV	25
2.8.2 Jakost na výstupu z ČOV2 BIO	26
Praktická část	27
3. Provozní soubor: Brusné vody	28

3.1	Vstupní data	28
3.2	Lapol	29
3.3	Flokulační nádrž.....	31
3.3.1	Dávkování chemikálií.....	31
3.4	Čiřič.....	34
3.5	Pískové filtry	37
3.6	Betonová jímka.....	39
3.7	ČOV2.....	41
3.8	Recirkulovaná voda	43
4.	Provozní soubor: Čištění vod po leštění.....	47
4.1	Vstupní data	47
4.2	Neutralizace	48
5.	Provozní soubor: Zpracování kalů	50
5.1	Kaly z brusírny	50
5.2	Kalolis	55
6.	Porovnání hodnot z modelu s reálnými daty	57
6.1	Výstupní voda z čiřiče.....	57
6.2	Výstupní voda z ČOV2	58
6.3	Vratná voda.....	59
	Závěr	60
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek.....	64

Seznam použitých zkratk

ATS	automatická tlaková stanice
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
Ca(OH) ₂	hydroxid vápenatý
ČOV	čistírna odpadních vod
ČOV2 BIO	čistírna odpadních vod 2 – biologická
F	fluor
Fe ₂ (SO ₄) ₃	síran železitý
H ₂ SO ₄	kyselina sírová
HF	kyselina fluorovodíková
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku chromanovou metodou
NEL	nepolární extrahovatelné látky
NL	nerozpuštěné látky
Pb	olovo
RC	recirkulovaná (zde voda)
RL	rozpuštěné látky
RL _s	rozpuštěné látky stanovené sušením
RL _ž	rozpuštěné látky stanovené žiháním

Úvod

V souvislosti se současnou změnou klimatu se téma nakládání s vodou dostává stále více do popředí. Stejně jako je voda neoddelitelnou součástí běžného lidského života, je i neoddelitelnou součástí průmyslu. Jedním z odvětví, kde má voda významnou roli, je sklářský průmysl.

Tato práce se zabývá vznikem a čištěním odpadních vod, vzniklých po broušení a leštění skla ve firmě Preciosa, a.s., závod 03. Přestože voda po těchto operacích (nebo obecně voda ve sklářském průmyslu) nevykazuje například proti strojírenství tak vysoké míry znečištění, je důležité se věnovat čištění i těchto vod. Brusné vody patří do skupiny chladících vod. Jejich úprava je realizována tak, aby co největší množství mohlo být znovu využito – voda se v rámci závodu recirkuluje. Čištěním je nutné zajistit, aby parametry vody nepříznivě neovlivňovaly jak brusné nástroje, tak broušené polotovary.

Ve firmě Preciosa je čištění odpadních vod po broušení a leštění skla realizováno v podnikové čistírně odpadních vod (ČOV). V první fázi je voda upravována procesy chemického čiření (neutralizace, koagulace, flokulace) a filtrací v budově ČOV. Aby bylo zamezeno zvýšené solnosti vyčištěných vod, růstu teploty a chemické spotřeby kyslíku (CHSK), je přibližně 30 % odvedeno do biologické čistírny (ČOV2 BIO), kde jsou vody upravovány biologicky a chemicky. Poté jsou vypouštěny do místního potoku. Odvedené množství je nahrazeno filtrovanou vodou z místního rybníku, která je přidána a smíšena se zbývajícím množství vyčiřené vody (cca 70 %). Tato tzv. vratná voda se vrací zpět na stroje. Nejprve je však z hygienických důvodů upravena přidáním biocidů. [6]

První část práce je věnována představení firmy Preciosa a způsobům výroby sortimentu v závodě 03. V teoretické části je popsán vznik a složení brusných a leštících odpadních vod. Teoretické poznatky získané z literatury jsou zde aplikovány na konkrétní příklady z prostředí ČOV a ČOV2 BIO firmy Preciosa. Dále je zde popsán celý proces čištění odpadních vod a také používané strojní zařízení. Praktická část je věnována návrhu výpočtového modelu linky ČOV pro úpravu brusných a leštících odpadních vod na základě poskytnutých dat.

Představení firmy a výrobní program

PRECIOSA, a.s. je severočeská společnost působící na poli sklářského průmyslu. Známa je především výrobou komponent skleněné bižuterie a lustrových ověsů.

Historie českého skla sahá až do středověku. Rozmach a světovou proslulost získává v 17. století, kdy se začalo tavit a následně brousit čiré sklo – křišťál. Celé odvětví je od počátku spjato s příhraničními horskými oblastmi – od Krušných hor přes Krkonoše a Jizerské hory až po Šumavu. PRECIOSA navazuje na tradici výroby a zpracování skla na Jablonecku, Liberecku a Turnovsku. Vznikla v důsledku změny politických a ekonomických poměrů po komunistickém převratu v roce 1948, jako PRECIOSA n. p., sloučením přibližně 25 podniků. Za dobu svého působení si na trhu vydobyla pozici nejvýznamnějšího českého výrobce skla. Výrobky jsou vyváženy do 148 zemí světa. [7, 8, 9]

PRECIOSA

Obr. 1 – Logo společnosti [9]

Produkce je rozčleněna do několika závodů, sídlících v Jablonci nad Nisou, Liberci, Desné, Turnově, Zásadě a Kamenickém Šenově. Portfolio výroby je široké, zahrnuje výrobu broušených křišťálových perel a šperkařských kamenů, broušené komponenty ze syntetického křišťálu (kubický zirkon, nanogems, syntetický korund), mačkané perle, lustrové ověsy, ale také výrobu sklářských tyčí a laboratorního skla. [9]

Celosvětovou proslulost si PRECIOSA získala produkcí broušených bižuterních kamínek, perel a lustrů tvořených broušenými lustrovými ověsy. Bižuterní kamínky se používají nejen na šperky, ale také k dekoraci oděvů či obuvi. Od roku 2005 se Preciosa zabývá výrobou skleněných zátek Vinolok. Původní patent byl odkoupen od německé firmy CSI. Tyto zátky je možné použít k uzavírání lahví na víno, lihoviny, vodu i olej. [8, 10]



Obr. 2 – Skleněná zátka Vinolok [10]

Roku 1999 byl na trh uveden broušený kámen z kubického zirkonu, který svými vlastnostmi dokonale imituje přírodní diamant – dosahuje tvrdosti 9 (přírodní diamant dosahuje tvrdosti 10). PRECIOSA má na kontě také prvenství, a to v podobě nejmenšího broušeného kamene na světě. Jedná se o kámen o velikosti 0,5 mm z kubického zirkonu, na kterém je vybroušeno 33 facet. [8, 10, 11]



Obr. 3 – Ukázka vyráběných křišťálových komponent [11]

Opracování skleněných polotovarů

Pro dosažení požadovaného tvaru skleněného polotovaru je nezbytné výrobek brousit a dále leštit. Právě tyto dva způsoby úpravy se využívají Preciose a.s., závodu 03. Uvedenými způsoby se upravuje většina produktů – křišťálové kameny zvané šatony, perle, šperkové syntetické komponenty, lustrové ověsy. Vysvětlení označení skleněných výrobků je uvedeno v následující podkapitole.

Vybrané skleněné výrobky - terminologie

Šatony jsou skleněné kameny s vybroušenými ploškami, tzv. facetami. Tvarem i vlastnostmi připomínají přírodní diamant. Na jejich spodní vrstvu lze nanést tzv. simili vrstvu – tzv. zrcátko, a tím zvýšit třpytivost. [8]

Lustrové ověsy jsou lisované a broušené kameny, do kterých je během lisování (zde označovaného jako mačkání) vypíchnut otvor pro navlečení. Dalším možným zhotovením ověsů je sekání z rokajových trubiček. [14]

Další populární bižuterní komponenty se nazývají **perle**. Charakteristickou je pro ně dírka uprostřed (vzniklá vypíchnutím speciální jehlou během výroby). Rozměry se pohybují od 1 do 20 mm. Zhotovují se řadou postupů, například mačkáním na mačkacích strojích, foukáním do kovových forem, slinováním skelných prášků nebo nad plynovým hořákem vinutím na tombakový drát. Následným broušením a leštěním (případně dalším povrchovým zušlechtěním) vznikají další druhy – cínovky, ohňovky, voskované perle. V praxi výroba probíhá tak, že je zhotovena základní surovina – mačkané perle, a ty jsou dle požadavku na výsledný výrobek zpracovány. [16, 17]

Za nejdrobnější, tvarově rozmanitý bižuterní sortiment se považují tzv. **perličky** (lidově označované jako šmelc). Vznikají sekáním skleněných trubiček – rokajlu. Povrch je možné zušlechtit nebo ponechat v syrové podobě. V nabídce Preciosy lze najít rokajlové perličky s vybroušenými ploškami, které zajišťují vysoký lesk. [15, 17]

Broušení

Broušením se rozumí mechanické opracování skla za přítomnosti volného nebo vázaného brusiva a brusné kapaliny (vody) přivedené k povrchu brusného kotouče. Třením brusiva o povrch skla vznikají trhlinky, které způsobí vylomení částic broušeného polotovaru. Povrch broušených výrobků má matný vzhled, proto je dále zpracováván leštěním. [4]

V dřívějších dobách se k broušení používal křemenný písek, pískovec, smírek nebo přírodní korund. Dnes dominují syntetické materiály – karbid křemíku (SiC, karborundum), tavený korund, syntetický diamant. [1, 4]

Jednou z možností je **broušení vázaným brusivem**, tady brusnými kotouči. Ty jsou tvořeny volným brusivem a pojivem – umělým nebo minerálním. Kotouč je zhotoven z pískovce, polyuretanu, diamantu nebo elektritu. Kvalita povrchu závisí na mechanických vlastnostech brusiva – pevnosti, křehkosti, tlaku, velikosti zrna (větší zrno má vyšší účinnost, ale způsobuje hlubší rýhy), rychlosti. Mezi kotouč a broušený výrobek je přivedena kapalina. Během broušení se zrna vylamují, což způsobuje otupení. Poté je nutné nástroj přeastřit – diamantovým hrotem nebo karborundovým nástrojem. Přeastřením se rozumí vylámání celých zrn. [1, 4, 18]

Méně častým způsobem broušení je **broušení volným brusivem**. V tomto případě se používá litinový kotouč. Do prostoru mezi kotouč a broušený výrobek je přivedena brusná suspenze – voda s rozptýleným brusivem, obvykle s křemenným pískem. [4]

Úkolem chladicí kapaliny je ochlazovat nástroj, odplavovat odbroušené částice a čistit brus. Na rozdíl od broušení ve strojírenství brusné vody téměř nikdy neobsahují oleje, důvodem je materiál brusných kotoučů. [4]

Bižuterie je hromadně broušena na rovinných nebo válcových brusech. Základní pohyb kotoučů obou strojů je kolem jejich os. Brusné kotouče však konají ještě další pohyb, u válcového brusy je to pohyb vratný ve směru osy, u rovinného brusy je to pohyb výstředníkový. Důležitý nástroj při broušení představuje broušící aparát. V základním tělese jsou našroubovány tzv. tmelky. Uspořádání tmelek v aparátu umožňuje otáčení o úhel jednotlivých facet. Obsluha aparát nejprve založí do natmelovacího zařízení. Zde je na tmelky nanesen tmel – směs kalafuny a šelaku. Na takto připravené tmelky se přilepí neopracované skleněné polotovary. Poté je aparát ručně založen do brusy. Aparát se natáčí proti brusy a tím dochází k broušení plošek. Pro zbroušení obou stran polotovaru se po prvním broušení výrobek přetmelí na jiný brusný aparát, a tím je umožněno zbrousit i druhou stranu. [1, 4]

Pro broušení šatonů a lustrových ověsů je jediným vhodným brusem brus rovinný. Stroje tohoto typu obsahují tzv. talíř – zařízení, do kterého se vkládají brusné aparáty (možnost vložit až 8 aparátů). U nových strojů díky automatizaci odpadá výše popsaná manipulace s brusným aparátem i procesy tmelení. [4]

Leštění

Po broušení má povrch výrobku matný charakter. Na řadu přichází operace pro zvýšení lesku – leštění. Existují 3 způsoby leštění – mechanické, chemické a tepelné. Leštiva jsou jemné abrazivní materiály, přírodního (pískové kaly, pemza) nebo syntetického původu (lešticí čern nebo červeň). Rozlišuje se volné leštivo, vázané lešticí hmoty a lešticí kotouče. Skleněná bižuterie využívá zejména lešticí hmoty. Stroje pro leštění bižuterie se nazývají leštičky [4, 17]

Mechanický způsob leštění vyžaduje použití měkkých kotoučů (dřevěných, plstěných, korkových), vody a leštiva. [4] **Chemické leštění** je rychlý proces chemického zušlechťení, kterým se dosáhne vysoké lesku a vyhlazení nerovností. Skleněné výrobky se střídavě namáčejí do lázně s kyselinou fluorovodíkovou a kyselinou sírovou a do čisté vody. Dochází k reakci lázně a povrchu výrobku. Chemické leštění je používáno v případech, kdy není možné leštit mechanicky. [4, 18]

Mechanické leštění má podobný průběh jako výše popsané broušení. Z tohoto důvodu je možné strojní zařízení pro broušení i leštění seskupit do „broušící sestavy.“ Vzniklý výrobní ostrov obsahuje také zařízení pro tmelení, přetmelování a zařízení na odstranění tmelu a vyžaduje obsluhu několika pracovníky. Toto uspořádání je však možné pouze u válcových brusů. [4]

Pro dosažení optimálního vzhledu se po broušení a leštění ulpělý tmel odstraní působením vysokých teplot, výrobek je očištěn v roztoku zředěné kyseliny chlorovodíkové a na závěr je čištěn pomocí ultrazvuku. [4]

Bižuterní kameny mají na svém povrchu charakteristické plošky nebo tabulky. Tyto povrchy vyžadují speciální úpravu – ploškování. Proces je realizován na ploškovací soustavě. Ta obsahuje rovinný broušící stroj, ploškovací lešticí stroj a zařízení pro tmelení a odtmelení. Ploškování je tedy výraz označující povrchovou úpravu šatonů a lustrových ověsů. Zahrnuje obě výše popsané metody – broušení a leštění.

Teoretická část

V této části jsou prezentovány teoretické poznatky z oblasti čištění odpadních vod. Nejprve je objasněn vznik odpadních vod a jejich složení. Dále je popsáno složení a požadavky na jakost odpadních vod ve sklářském průmyslu. Podstatná část je věnována brusným vodám vzniklých ve firmě Preciosa. Rozebrán je jak jejich vznik a složení, tak i princip čištění a strojní zařízení ČOV.

1. Odpadní vody

1.1 Úvod a dělení

Za odpadní vody jsou považovány veškeré vody, u kterých došlo jejich použitím ke změně teploty nebo složení, případně se takto označují vody, které by po vypuštění mohly ohrozit okolní povrchové a podzemní vodní zdroje. [12]

Odpadní vody lze rozdělit do tří skupin: vody splaškové, městské a vody průmyslové [12]. Jiné dělení nabízí publikace [20]. Dle původu odpadní vodu člení na vodu splaškovou, průmyslovou, srážkovou a balastní. Tato práce se bude držet prvního způsobu dělení.

Splaškové odpadní vody mají původ v domácnostech, školách, ubytovacích zařízeních. [12, 19]

Průmyslové odpadní vody v sobě zahrnují veškeré znečištěné vody z celého závodu. Tvoří je [5] :

- Vody znečištěné zaměstnanci, odpadní vody ze závodního stravování.
- Srážkové vody. Jedná se o vody dopadající na povrch areálu. Jejich kvalita je měřena, neboť odvádění těchto vod je zpoplatněno. Charakter znečištění závisí na znečištění areálu.
- Chladicí odpadní vody. Znečištění není příliš vysoké, proto je možné tyto vody užívat opakovaně.
- Technologické odpadní vody. Nejvíce znečištěná skupina průmyslových vod. Přímo se účastní technologických procesů, tomu odpovídá i obsah znečišťujících látek. Do této skupiny patří i vody určené k dopravě surovin a napájecí vody.

Mezi splaškovými a průmyslovými vodami stojí **odpadní vody městské**. Tvořeny jsou jak splašky, tak vodou odtékající z průmyslových závodů. Znečištění závisí na velikosti města, resp. množství obytných domů, a na koncentraci průmyslových objektů. [12]

Vody, které vznikají po broušení a leštění skla, se řadí do skupiny průmyslových odpadních vod, do podskupiny vod chladicích.

2. Odpadní vody ve sklářském průmyslu

2.1 Legislativa

Z důvodu možného ohrožení vodních toků vypuštěním odpadních vod je nutné tyto vody čistit. Proces čištění je regulován vodohospodářským nařízením. To udává množství vypouštěné vody a stanovuje limity znečišťujících látek. Samotné vodohospodářské nařízení má základ v nařízení vlády, v současné době je platné Nařízení č. 401/2015 Sb. Nařízení definuje 2 oblasti limitů, a to:

- emisní limity
- imisní limity

Emisní limity určují nejvyšší přípustné koncentrace látek obsažených ve vypouštěné vodě. Jsou definovány jak pro městské odpadní vody, tak pro všechna průmyslová odvětví a jsou závazné. Imisní limity se týkají vodního recipientu (toku). Koncentrace udané těmito limity by po vypuštění odpadní vody do vodního zdroje neměly být překročeny. Na rozdíl od emisních limitů však nejsou závazné [12, 20]. Limity pro sklářský průmysl dle současného Nařízení 401/2015 Sb. uvádí tab. 1.

Tab. 1 – Emisní standardy: přípustné hodnoty začištění pro odpadní vody vypouštěné z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví ([19], tabulka vlastní)

Výroba skla a skleněných výrobků		
Ukazatel	Jednotka	Přípustné hodnoty „p“
CHSK _{Cr}	[mg/l]	150 (130)
NL	[mg/l]	40
Fluoridy	[mg/l]	16 (6)
N-NH ₄ ⁺	[mg/l]	8
Sírany	[mg/l]	1000
Arsen	[mg/l]	1,5
Olovo	[mg/l]	1
Baryum	[mg/l]	5
Antimon	[mg/l]	0,5
Zinek	[mg/l]	0,5
Měď	[mg/l]	0,3
Chrom	[mg/l]	0,3
Kadmium	[mg/l]	0,05
Cín	[mg/l]	0,5
Nikl	[mg/l]	0,5
Bor	[mg/l]	3

2.2 Jakost odpadních vod

Sklářský průmysl se obecně nepotýká s vysokým znečištěním odpadních vod. Voda zde plní funkci především chladicí a čistící, tomu odpovídají i obsažené znečišťující látky. [21] Největší zastoupení v odpadních vodách mají nerozpuštěné látky usaditelné (NL), biochemická spotřeba kyslíku BSK₅, chemická spotřeba kyslíku CHSK_{Cr}, tuky a oleje. Znečištění přináší také vysoké hodnoty pH. Z těžkých kovů vody obsahují olovo. Dále mohou obsahovat amoniak (NH₃), fosfor, fluor či fenol. [22]

Problém s obsahem olova v dnešní době již není tak výrazný jako v minulosti, sklárny přestoupily na používání bezolovnatých skel. V případě Preciosy se jedná o přechod na používání bezolovnatého křišťálu.

Před vypuštěním do kanalizace / vodního zdroje je nutné všechny nežádoucí částice a látky odstranit – vodu je nutné podrobit procesu čištění. Nejčastěji užívané metody čištění odpadních vod ve sklářském průmyslu uvádí tab. 2.

Tab. 2 – Přehled nejčastěji užívaných metod čištění odpadních vod ve sklářském průmyslu ([21], tabulka vlastní)

Technologie úpravy	
Fyzikální nebo chemická	zachycování síty
	stírání
	usazování
	odstředování
	filtrace
	neutralizace
	aerace
	srážení
Biologická	koagulace a flokulace
	aktivovaný kal
	biofiltrace

Zkratky popisující znečištění odpadních vod i metody úpravy vod budou vysvětleny v následujících kapitolách.

2.3 Fyzikálně chemický popis odpadních vod vznikajících na brusírnách

2.3.1 Odpadní vody z brusíren

Po broušení obsahuje brusná voda úlomky skla s obsahem těžkých kovů (pokud je broušeno olovnaté sklo), úlomky nástrojů, volný hydroxid sodný NaOH a olej ze strojů. Z důvodu přísných limitů kvality vody vypouštěné ze závodu se během celého procesu čištění sledují tzv. emisní hodnoty znečištění odpadních vod. [6]

Parametry přitékající vody jsou měřeny na vstupu do ČOV. Jejich souhrn a přibližné hodnoty dle provozního řádu [6] uvádí tab. 3.

Tab. 3 - Přibližné hodnoty přítoku a parametrů brusných vod na vstupu do ČOV ([6], tabulka vlastní)

Přítok	ranní směna Q_r	[m ³ /hod]	40 - 120
	odpolední + noční směna Q_{on}	[m ³ /hod]	20 - 80
	víkendy Q_v	[m ³ /hod]	0 - 80
Parametry	pH	-	10 – 12
	NL	[mg/l]	300 – 800
	RL	[mg/l]	300 – 1000
	CHSK _{Cr}	[mg/l]	100 – 250
	BSK ₅	[mg/l]	30 – 130
	NEL	[mg/l]	0,1 – 2
	Pb	[mg/l]	40 – 130
	Ba	[mg/l]	2 - 10

Pro přesnost je nutné uvést význam zkratk uvedených parametrů:

Parametr **pH** je užíván k hodnocení kyselosti vody. Jeho hodnota vyjadřuje tzv. vodíkový exponent, záporně vzatý logaritmus koncentrace (aktivity) vodíkových iontů – čím vyšší je koncentrace vodíkových iontů, tím nižší je pH a voda je tzv. kyselejší. Samotné pH nabývá při teplotě 25°C hodnot od 0 do 14. Sledování pH je důležité, pokud je vyčištěná voda z ČOV vypouštěná do vodních toků nebo veřejné kanalizace. Hodnoty pro vypouštění stanovuje legislativa v rozmezí 6,0 – 8,5 (9,0) [5, 12, 18]. V případě podniku Preciosa je voda z ČOV2 BIO vypouštěna do recipientu Dubského potoka. Dle pH jsou rovněž řízeny procesy chemického čištění.

Za nerozpuštěné látky **NL** jsou označovány pevné látky, které se z vody odstraňují filtrací nebo odstředěním. Mohou být organické nebo anorganické (další rozdělení přináší tab. 4 níže). Měření množství NL má pro čištění odpadních vod velký význam. Maximální

množství nerozpuštěných látek vypouštěných do kanalizace je dáno kanalizačním řádem. Množství NL také slouží k hodnocení účinnosti ČOV. [12]

Rozpuštěné látky **RL** se od nerozpuštěných liší střední velikostí pórů filtru, který byl při jejich stanovení použit. Udávají množství látek, které prošly danými filtry. Pro odpadní vody se užívají filtry o střední velikosti 0,8 – 0,3 μm . [12] Preciosa ve svých měřeních rozlišuje 2 druhy RL, a to RL_s – RL sušené a RL_z – RL žíhané. Indexy u zkratk označují zpracování vzorků při určování množství látek. RL_s určují množství kovů ve vodě, RL_z množství anorganických solí. [12]

Tab. 4 - Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách ([13], tabulka vlastní)

Znečišťující látky			
Rozpuštěné	organické anorganické	biologicky rozložitelné biologicky nerozložitelné	
Nerozpuštěné	organické anorganické	biologicky rozložitelné biologicky nerozložitelné usaditelné neusaditelné	koloidní plovoucí

CHSK, nebo-li chemická spotřeba kyslíku, označuje, jaké množství oxidačního činidla je třeba k oxidaci množství organických látek přítomných v odpadní vodě. CHSK popisuje znečištění odpadních vod organickými látkami, které se rozkládají biologicky nebo jsou nerozložitelné. [5, 12] CHSK_{Cr} označuje použití chromanu jako oxidačního činidla.

Dalším vyjádřením koncentrace organických látek je biochemická spotřeba kyslíku **BSK**, nejčastěji BSK_5 . Zahrnuje pouze látky biologicky rozložitelné (lipidy, sacharidy, proteiny,...). Tento ekvivalent odpovídá množství kyslíku potřebnému k biologickému čištění OV. [5, 12]

Nepolární extrahovatelné látky **NEL** označují uhlovodíky, nejčastěji ropného původu. Nejčastěji se jedná o uhlovodíky C_{10} – C_{40} . Tyto látky představují ekologické riziko. [5, 12]

2.3.2 Odpadní vody po leštění skla

Přítok vod z leštění skla je poměrně nízký, což je dáno provozem leptárny pouze v ranní směně. Průměrně přiteče 0,729 m³/hod leštících vod. Tyto vody mají kyselý charakter. Podrobnější složení uvádí tab. 5.

Tab. 5 – Přítok a přibližné parametry leštících vod na vstupu do ČOV ([6], tabulka vlastní)

Přítok	ranní směna Q _r	[m ³ /den]	15 - 20
Parametry	pH	-	0 - 3
	F ⁻	[mg/l]	200 - 1000
	Pb ²⁺	[mg/l]	3 - 10
	(SO ₄) ²⁻	[mg/l]	1000 - 3000

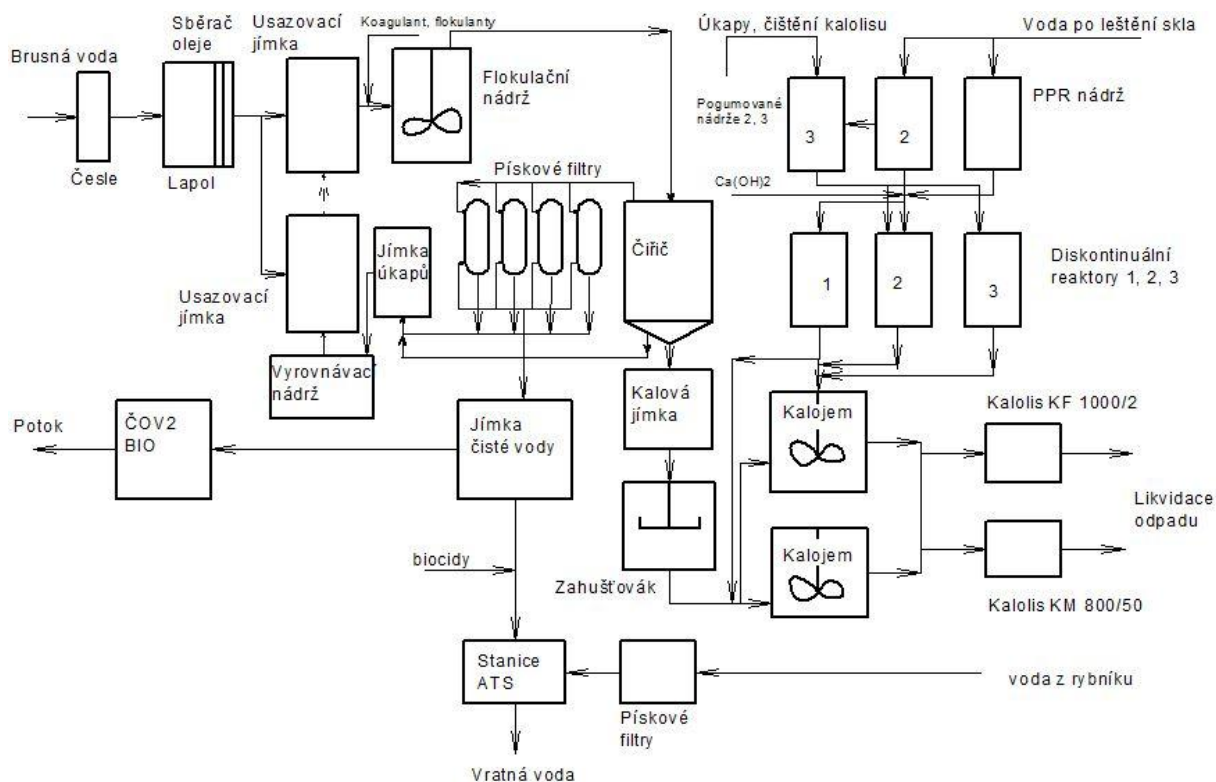
2.4 Princip čištění brusných vod

Hlavním cílem čištění je především nízká spotřeba vody, minimalizace odpadů, regenerace a opětovné využití vody. [2] Nejdůležitějšími procesy čištění v Preciose jsou koagulace a flokulace – tedy prvky chemického čištění.

Čištění lze dle [22] rozdělit na 5 fází:

- předčištění
- primární čištění
- sekundární čištění
- terciální čištění
- nakládání s kaly

Schéma ČOV v podniku Preciosa uvádí obr. 4.



Obr. 4 – Schéma čištění OV v podniku Preciosa

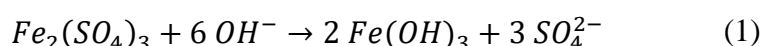
V rámci předčištění je voda kanalizací přivedena na česle, kde se odstraní největší částice – hadry, rozměrné nerozpuštěné nečistoty. Poté je přivedena do lapolu. Zde dochází k usazení hrubých nečistot a zároveň je hladinovým sběračem oleje odstraněn olej. Voda z lapolu vtéká do 2 usazovacích jímek. Jímky zastávají dvojí funkci. Jednak slouží jako sedimentační jímky, ale také pracují jako vyrovnávací nádrže. Dochází zde k prvnímu odkalení – sedimentovaný kal je shrabán a odčerpán kalovými čerpadly do kalolisů.

Usazování (sedimentace) je založeno na vlastnosti NL v klidném prostředí v gravitačním poli klesat nebo stoupat v závislosti na rozdílu hustot NL a vody. [24] Rychlost usazování popisuje, jak rychle částice klesá ke dnu. Velikost rychlosti je ovlivňována hustotou, objemem a tvarem částice. Usazovací nádrže předpokládají rychlost větší než desetiny až jednotky m/h. [5] Dle vzájemného působení částic je rozlišováno několik typů sedimentace – prostá, rušená a zahušťování suspenzí. Usazování je využíváno v usazovacích nádržích, kde se pevné látky oddělují od kapaliny. Jak napovídá název, zahušťování suspenzí se děje v zahušťovacích nádržích. [23]

Z usazovacích jímek je voda čerpána do flokulační nádrže v budově ČOV, a čištění tím přechází do primární fáze. Flokulační nádrž také bývá označována jako flokulační reaktor.

Přitékající voda z brusíren má pH na hodnotě 9 – 10,5. Před vstupem vody do nádrže je přímo do potrubí dávkován 42% roztok síranu železitého $Fe_2(SO_4)_3$. Roztok síranu způsobí snížení pH na hodnotu pod 8. Poté je přičerpána druhá dávka síranu, která pH znovu upraví na hodnotu 7,0 – 7,5. Dále je přičerpána disperze kationaktivního flokulantu NALCOLYTE a disperze anionaktivního flokulantu SUPERFLOC A110. Všechny zmíněné chemikálie jsou čerpány ze stanice ENVITES.

Chemickou reakci probíhající v podtrubí po nadávkování chemie lze popsat rovnicí (1):



Obsah nádrže je míchán, čímž se dosáhne homogenizace a dojde k nastartování růstu vloček - koagulaci. Přes přepad se voda dostává do čířiče. [6]

Čířič je reaktor, ve kterém se oddělují suspendované látky od kapaliny pomocí **číření**. Číření je souhrnný název pro koagulaci (a flokulaci), sedimentaci. Během číření dochází k odstranění koloidních / jemně suspendovaných částic tím, že jsou drobné částičky převedeny na částice větší, které lze z vody snadno odstranit sedimentací nebo pomocí filtrace. Růst vloček je nastartován přidáním koagulantu a promícháním. Úkolem koagulantu je destabilizovat koloidní částice. Často používanými koagulanty jsou soli železa nebo hliníku, síran železitý, síran železnatý nebo síran hlinitý. Následně se destabilizované koloidní částice začnou shlukovat do tzv. vloček, které se postupně zvětšují. Tento proces je označován jako **flokulace**. Částice dále rostou až na velikost makrovloček, a poté sedimentují na dně čířiče. Tvorbu vloček ve fázi flokulace lze zvýšit přidáním dalších činitelů - flokulantů ke stávajícím koagulantům. [3, 5, 23]

Vyčiřená voda se vede na pískové filtry. Filtrace je zajištěna 4 tlakovými nádobami, se zrnitým materiálem uvnitř. Slouží k dočištění vody od zbylých NL. Filtry zachycují částice o velikosti cca 0,02 mm. Voda je přivedena do horní části a protéká filtračním ložem. [5, 6, 23]

Filtrace je proces, kterým se účinně odstraňují NL. Z tohoto důvodu může v procesu čištění odpadních vod stát jak na úplném konci jako dočišťovací operace, tak na samém začátku, v rámci předčištění. Dále je využívána pro dočištění biologicky čištěných vod, případně pro záchyt vloček po koagulaci. Podstatou filtrace je průchod vody přes filtrační přepážku nebo zrnitý materiál a záchyt odstraňovaných částic na povrchu přepážky nebo uvnitř filtračního lože. Je určena pro odloučení částic, které jsou menší, než rozměr pórů na

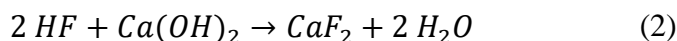
přepážce nebo v loži. Při filtraci nedochází k chemické reakci. Princip filtrace využívají i výše zmíněné česle. [5, 23]

Filtrovaná voda se shromažďuje ve dvoukomorové jímce čisté vody. Zde se voda rozdělí na dvě nestejně části. Přibližně 30 % vody se odebírá a dočišťuje v biologické čistírně ČOV2 BIO. Tímto způsobem se kontroluje maximální obsah solí v okruhu. Pouze přibližně 70 % vody bude vráceno zpět do brusírny. Před tím je však upravována přidáním biocidů a následně prochází filtrační stanicí, kde je k vyčištěné vodě přičerpána vyčištěná voda z vodního zdroje (rybník). Dávkovanými biocidy jsou: chlornan sodný, kyselina peroctová a peroxid vodíku. Zbýlých 30 % se dočišťuje v biologické čistírně ČOV2 BIO. Část vody z jímky je čerpána k pískovým filtrům a je použita jako prací voda. Po praní se tato voda opět vrací do čířiče.

Kalové hospodářství má za úkol shromažďovat, zpracovávat a likvidovat kaly vzniklé v procesu čištění. Prvními kaly jsou kaly z usazovacích jímek, které jsou čerpány do kalolisů v budově ČOV. Další kaly se hromadí v dolní části čířiče. Z této části jsou kaly čerpány do kalové jímky. Z kalové jímky jsou čerpány do zahušťovací nádrže. Poté přechází do kalojemů, kde jsou smíchány s kaly vzniklými po leštění skla, ale to pouze v případě ranní směny. V ostatních případech je do kalojemů dávkován roztok hydroxidu vápenatého (vápenné mléko) $\text{Ca}(\text{OH})_2$, který zlepšuje lisovatelnou kalů. Čerpadla pak obsah obou kalojemů čerpají do kalolisů. Konečným produktem jsou vylisované kaly ve formě desek, které odváží a likviduje speciální firma.

2.5 Princip čištění vod po leštění skla

Čištění vod po leštění skla začíná v budově ČOV ve 2 propojených nádržích – v PPR nádrži a nádrži pogumované. Z nádrží je voda čerpána do míchaných reaktorů. Zde je k obsahu přičerpán roztok 15 – 20% hydroxidu vápenatého (vápenného mléka) $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Účelem přidání vápenného mléka je jednak neutralizace kyselin a následně zvýšení pH na pH 10 pro vysrážení ve formě nerozpustných solí. Proces neutralizace lze popsat rovnicemi (2) a (3):



Neutralizací je nutné upravit odpadní vody s nevyhovující hodnotou pH, která neumožňuje vypuštění těchto vod. Charakter vod může být jak silně alkalický (vysoké pH),

tak kyselý (nízké pH). [23] Způsobů neutralizace existuje více. V oblasti kyselých průmyslových vod se nejčastěji používá neutralizace přídavkem činidla, které je vmícháno do vody – oxidem vápenatým, hydroxidem vápenatým nebo sodou. Dalším způsobem je neutralizace pomocí vápence nebo dolomitu. V tomto případě jsou kyselé vody protékány vrstvou mletého materiálu, který má neutralizační schopnost. [5, 23]

Obsluha ČOV musí celý proces přivedení vápenného mléka hlídat pH elektrodou. Při překročení pH 11,5 dochází k opětovnému uvolňování fluoridů, což je nežádoucí stav. Reaktory jsou míchány přibližně 0,5 hod, poté je vzniklý kal odveden do kalojemů. Jak již bylo napsáno dříve, v kalojemech dochází ke smíchání jak kalů po broušení skla, tak i po leštění. Kaly po leštění obsahují vzniklý síran vápenatý. Během ranních směn jsou jím upravovány také brusné kaly. Tato úprava má za cíl rovněž zlepšit lisovatelnost kalů.

2.6 Strojní zařízení ČOV Dukla

2.6.1 Přívod brusných vod

Od strojů je voda svedena kameninovou nebo vyvločkovanou kanalizací k prvnímu prvku čištění – **česlím**.

Jedná se o předčišťující zařízení - zde se odstraňují nejhrubší plovoucí nečistoty, které by mohly narušit procesy dalšího čištění [22]. Nečistoty jsou zachycovány na ocelových prutech – česlicích, umístěných vedle sebe s určitou vzdáleností (průlinou) [23]. Existuje několik druhů česlí. Dle velikosti průlin jsou rozlišovány hrubé a jemné česle. Dle pohybu česlic jsou rozlišovány pohyblivé česle – stupňové, bubnové, samočisticí. Česle bez pohybu česlic se nazývají bubnová. Nečistoty jsou buď stírány ručně, strojně nebo jsou vynášeny automaticky. [5] V případě Preciosy jsou instalovány česle s automatickým stíráním. V letních měsících je pás česlí zapínán v pravidelných intervalech, v zimě je spuštěn nepřetržitě a je ohříván. [6]

Po hrubém předčištění na česlích putuje brusná voda do nádrže zachycující olej – tzv. **lapolu**. Zde dochází k odlučování tuků – ke hladině stoupají látky s hustotou nižší než voda. Jsou zde však odstraněny i sedimentující hrubší částice. Z těchto důvodů je lapol nazýván gravitačním separátorem. Má podobu kontinuálně protékané nádrže s klidnou hladinou. Částice usazované na dně je nutné pravidelně odsávat a likvidovat. [5, 6]

Tab. 6 – Parametry lapolu ([6], tabulka vlastní)

Parametry - LAPOL		
Objem V	[m ³]	37
Plocha S	[m ²]	24

Nečistoty vyplavené na hladinu jsou sbírány **hladinovým sběračem oleje BIMBO**. Základ tohoto zařízení je tvořen pohyblivým pásem, který z hladiny sbírá nashromážděný olej. Následně olej prochází koalescenčním filtrem. Materiál filtru je tvořen vlákny PP a PE (FIBROIL). Účelem filtru je pomocí koalescence zvětšit velikosti kapének oleje natolik, aby se kapénky mohly dále odstranit gravitačním odloučením. Odloučený olej je zachycován ve sběrné nádobě, malé množství vody, které bylo rovněž sebráno, je navraceno zpět do lapolu. Sběrač je instalován pro záchyt velkého množství minerálního oleje, který by mohl uniknout z brusíren. [5, 6, 20]

Tab. 7 – Parametry sběrače oleje Bimbo ([6], tabulka vlastní)

Parametry – sběrač oleje BIMBO		
Výkon P	[kW]	0,25
Průtok Q _s	[m ³ /hod]	0,6

Po odstranění ropných látek je voda přivedena do 2 **usazovacích jímek**. Při běžném provozu je používána pouze jedna jímka, nicméně existuje také možnost jímky provozovat propojeně. Jsou konstruovány jako zemní nádrže. Vyplňují funkci vyrovnávacích nebo odkalovacích jímek. Zde tedy dochází k prvnímu odkalení – sedimentovaný kal je odstraněn shrabovákou kalu (shrabování se provádí 1krát týdně) a odčerpán kalovými čerpadly do kalolisů. [6]

Až k usazovacím jímkám probíhal sběr odpadní vody pomocí gravitace, dále jsou použita pouze čerpadla tlaková. Z usazovacích jímek je voda čerpána do flokulační nádrže, která je již v budově ČOV.

2.6.2 Flokulační nádrž

Flokulační nádrž také bývá označována jako flokulační reaktor. Jedná se o stojatou válcovou nádobu. Před vstupem do nádrže je přímo do potrubí dávkován roztok síranu železitého, disperze flokulantu Nalco a disperze flokulantu SUPERFLOC. Dávkování síranu železitého je řízeno pomocí pH metru, který je umístěn v přívodním potrubí. Na vstupu do nádrže je také sledována teplota vody odporovým teploměrem a je měřen průtok. Smísení dávkovaných činidel s brusnou vodou je realizováno míchadlem MVA. Rozmícháním je nastartován mechanismus růstu vloček. Takto upravená voda je odváděna do čířiče. [6]

Tab. 8 – Parametry flokulační nádrže s míchadlem MVA ([6], tabulka vlastní)

Parametry – flokulační nádrž		
Objem V	[m ³]	6,3
Průměr D	[mm]	2000
Míchadlo MVA		
Výkon P	[kW]	2,2
Otáčky n	[ot/min]	60 - 70

2.6.3 Čířič DUKLA

Čířič má tvar válcové nádoby s kuželovým dnem. Vylvločované látky jsou zde odvedeny ke dnu a následně jsou hnány do horní části čířiče, kde vytvářejí tzv. kalový mrak.

Voda z flokulační nádrže je přivedena do odvzdušňovací nádoby v horní části čířiče. Po průchodu je svedena do ústí kuželové části čířiče a je rozdělena do dvou vstupních trysek. Trysky zajišťují proudění vody ve směru vzhůru. Voda tak postupně prochází zónou mísení (dolní část čířiče), flokulační zónou (střední část) až do horní části čířiče (zóna vznášeného kalového lože). Část této vody je odvedena do boční komory, kde dochází k zahuštění kalu. Plnění komory (rychlost proudění) je řízeno pomocí ručního hradítka, kterým se nastavuje výška hladiny v čířiči a v boční komoře. Kal z boční komory putuje do kalové jímky, voda je vedena do sběrného žlabu v horní části čířiče. Voda, která není odvedena do boční komory, proudí stěrní částí čířiče do sběrného žlabu přímo. Vyčiřená voda je ze žlabu odváděna na pískové filtry. Těžké částice se hromadí u dna a klesají do kalové jímky. [6]

Parametry čířiče Dukla a podrobnosti o odkalování uvádí tab. 9.

Tab. 9 – Parametry čířiče DUKLA a jeho odkalování ([6], tabulka vlastní)

Parametry – čířič DUKLA		
Průtok $Q_{\text{č}}$	[m ³ /hod]	40 - 115
Průměr DN	[mm]	7000
Odkalení – po 12 hodinách		
Doba odkalu boční komory t_b	[s]	25 - 60
Doba odkalu hlavní komory t_h	[s]	25 - 60
Odkalené množství V_{od}	[m ³]	20 - 25

2.6.4 Dvouvrstvé filtry DF 2000

Dočištění brusné vody probíhá na dvouvrstvých filtrech. Filtrační zařízení tvoří 4 tlakové stojaté nádoby s filtračními vrstvami uvnitř. Slouží k záchytu tuhých částic o velikosti 0,02 mm. Voda z čířiče je přiváděna do horní části filtru a postupně protéká vrstvami až ke dnu. [6]

Filtrační lože je umístěno na tryskovém mezidnu a je složeno ze dvou vrstev. Horní vrstvu tvoří černouhelný filtrační materiál FU 1. Má nižší hustotu a zachycuje hrubší částice. Dolní jemnější vrstva má vyšší hustotou a slouží tedy pro záchyt jemnějších částic. Zde je použit křemičitý písek (ČSN 72 1209). Podrobnější informace jsou uvedeny v tab. 10.

Tab. 10 – Parametry filtrů DF 2000 a filtračního lože ([6], tabulka vlastní)

Parametry – filtry DF 2000 – 4x		
Objem V	[m ³]	9,16
Filtrační rychlost v_f	[m/hod]	10 - 11
Filtrační lože		
Křemičitý písek (ČSN 72 1209) - FP2		
Velikost částic	[mm]	1 – 1,6
Hmotnost	[kg]	3 517
Výška vrstvy	[mm]	700
Černouhelný filtrační materiál - FU 1		
Velikost částic	[mm]	1,7 – 3
Hmotnost	[kg]	1005
Výška vrstvy	[mm]	400

Regenerace filtračních vrstev je zajišťována proplachem prací vody a vzduchem. Obě média jsou přivedena do spodní části filtru a odváděna vrchní částí. K praní filtrů dochází buď v případě úplného zanesení, tj. pokud tlaková ztráta náplně dosáhne 30 – 100 kPa nebo po vložení nové náplně. Perou se všechny 4 filtry současně. Čerpání prací vody je zajištěno čerpadlem META 31 125-NHD-250-LC. Používá se voda zachycená v jímce čisté vody. Problémem filtrace je zarůstání filtrů slizem. Způsobuje zalepení zrn, ovlivnění teploty a zvýšení tlakových ztrát. Z toho důvodu je do prací vody přičerpáván chlornan sodný.

Tab. 11 – Parametry pracího čerpadla META 31 ([6], tabulka vlastní)

Parametry – čerpadlo prací vody META 31		
Objemový průtok Q	[m ³ /hod]	128,9
Výkon P	[kW]	15
Objem vody na 1 praní	[m ³]	10

2.6.5 Jímka vyčištěné vody

Filtrovaná voda se shromažďuje ve dvoukomorové jímce o objemu 120 m³. Zde se voda rozdělí. Přibližně 70 % vody putuje zpět do brusírny, zbylá část je dočišťována na ČOV2 BIO. Toto rozdělení zajišťuje automatická tlaková stanice (ATS) Hydrovar.

Úkolem ATS Hydrovar je udržovat pravidelné zásobování brusíren vratnou (recirkulovanou, RC) vodou a zároveň udržovat konstantní tlak na výtlačku stanice. Rozdílné výškové umístění brusírny a ČOV způsobuje rozdílné tlaky v potrubí brusírny i ČOV. Tlak v potrubí brusíren je o 2 bary nižší než v ČOV, a dále ho snižuje také tlaková ztráta způsobená průtokem vody. Stanice Hydrovar je nastavována na hodnotu 6 až 6,4 baru.

Kvůli zamezení vysoké solnosti recirkulované vody (RC) je 30 % vody odebíráno a čerpáno do ČOV2 BIO. K RC vodě je nutné toto odpuštěné množství opět doplnit. Zdrojem je voda z rybníku na Hlubockém potoce. Tato voda je čištěna pískovými filtry v ATS Delfin a následně je přivedena do ATS Hydrovar, kde je smíchána s RC vodou. V ATS Hydrovar je rovněž upravována teplota vody z rybníku, aby RC voda měla 17 – 25 °C. Teplotní výkyvy by měly za následek zhoršenou kvalitu broušených výrobků.

2.6.6 Dávkování biocidů

U vody, která putuje zpět do brusíren, je nutné zajistit hygienickou nezávadnost. Proto je RC voda upravována přidáním biocidů. V Preciose jsou používány 3 druhy: chlornan sodný, kyselina peroctová a peroxid vodíku. Nejčastěji je dávkován chlornan sodný. Příprava roztoku probíhá v odměrné nádrži. Dávkování všech látek je zajištěno dávkovacími čerpadly. Následující tab. 12 shrnuje používané biocidy.

Tab. 12 – Přehled používaných biocidů ([6], tabulka vlastní)

Biocidy		
Chlornan sodný		
koncentrace	[%]	15
koncentrát : DEMI voda		1 : 2
výsledná koncentrace	[%]	4
dávkování	[l / m ³]	0,013 - 0,0211
doba dávkování 4x denně	[hod]	1,25
Kyselina peroctová		
koncentrace [%]	[%]	36
doba dávkování 1x denně	[s]	60
Peroxid vodíku		
koncentrace	[%]	60
koncentrát : voda		1 : 1
výsledná koncentrace	[%]	30
doba dávkování 4x denně	[hod]	2

2.6.7 Kalové hospodářství

Odpadním produktem čištění jsou kaly – koncentrované vodní suspenze tvořené vodou a usazenými pevnými látkami - sušinou. [23] Proces jejich zpracování lze rozdělit na zahuštění a odvodnění. Cílem zahuštění je snížení objemu kalové suspenze. Provádí se v zahušťovák – míchané válcové nádobě s kuželovým dnem. Proces zahušťování lze urychlit přidáním flokulantů – vápenného mléka. Dalším odstraněním vody kal získá tuhou konzistenci. Tento děj se nazývá odvodnění a provádí se na kalolisech. [3, 5]

Ve firmě Preciosa jsou v rámci kalového hospodářství využívána tato zařízení: kalová jímka pod čiričem DUKLA, zahušťovák kalů, 2 kalojemy k zachytu brusných a leštících kalů, 2 kalolisy + plnicí čerpadlo ABEL a kontejnery na vylisovaný kal.

Po vypuštění z čiriče brusné kaly obsahují zhruba 1 – 5 % sušiny. K prvnímu zvýšení obsahu sušiny dochází v zahušťováku. Na výstupu z něj je obsah zvýšen na hodnotu 10 %. Další zvyšování podílu sušiny zajišťují kalolisy.

Komorový kalolis KF 1000/2 odvodňuje přivedený kal tlačáním suspenze proti plachetkám. Základ kalolisu tvoří desky s komorami. Tlakem je kal vylisován do tuhých desek s obsahem sušiny 45 – 60 %. Tyto kalové desky jsou likvidovány jako nebezpečný odpad. Kal je přiváděn čerpadly ABEL z kalojemů. Kalolis pracuje v poloautomatickém režimu. Parametry kalolisu uvádí tab. 13.

Tab. 13 – Parametry kalolisu KF 1000/2 ([6], tabulka vlastní)

Komorový kalolis KF 1000/2		
Obsah sušiny vstup	[%]	3,0 - 10,0
Obsah sušiny výstup	[%]	45 - 60
Počet desek		36
Počet komor		35
Rozměr desek	[mm]	1000 x 1000
Tloušťka koláče	[mm]	22
Objem komory	[m ³]	0,0165
Celkový objem komor	[m ³]	0,57751
Celková filtrační plocha	[m ²]	53
Dovolený prac. tlak	[MPa]	1,5
Doba sušení t _s	[min]	1,0 - 15,0
Celková hmotnost kalu	[kg]	920
Objem kalu na 1 lis	[m ³]	12

Membránový kalolis KM 800/50 je druhým používaným kalolisem. Je tvořen komorovými a membránovými deskami. Po naplnění je kal tlačěn membránami na komorové desky. Z tohoto důvodu výsledná sušina dosahuje vyšších hodnot než u KF 1000/2 a vylisované desky není nutné sušit (na rozdíl od kalolisu KF 1000/2). Parametry jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 – Parametry kalolisu KM 800/50

Membránový kalolis KM 800/50 ENVITES		
Obsah sušiny vstup	[%]	3,0 - 10,0
Obsah sušiny výstup	[%]	45 - 60
Počet desek		45
Komorové desky		21
Membránové desky		22
Koncové desky		2
Rozměr desek	[mm]	800 x 800
Tloušťka ze strany komorové d.	[mm]	20
Tloušťka ze strany membránové d.	[mm]	40
Celkový objem komor	[m ³]	0,583
Celková filtrační plocha	[m ²]	41,36
Dovolený prac.tlak	[MPa]	0,4
Celková hmotnost kalu	[kg]	620
Objem kalu na 1 lis	[m ³]	8

2.7 Strojní zařízení ČOV2 BIO

Do ČOV2 BIO přicházejí vody předčištěné v ČOV z důvodu zamezení vysoké solnosti v RC vodě. Jsou zde odstraňovány zbytky CHSK a Pb.

Způsob čištění vod v ČOV2 BIO lze rozdělit na dvě části – na část biologickou a část chemickou. V biologické části čištění zajišťují biologické kolony naplněné plastovým nosičem. Na těchto nosičích se vytváří biologická hmota. Spolu s vodou je odváděna do chemické části, kde je upravována čiřením. Stejně jako v případě ČOV jsou i zde vzniklé kaly lisovány. Parametry vstupní vody uvádí tab. 15.

Tab. 15 – Parametry vstupní vody ČOV2 BIO ([6], tabulka vlastní)

Přítok	Q	[m ³ /hod]	max 50
Parametry	pH	-	6,5 – 8,0
	CHSK _{Cr}	[mg/l]	max 250
	Pb ²⁺	[mg/l]	max 1
	NL	[mg/l]	max 60

2.7.1 Biologická část

Základ tvoří **biologické kolony** – kruhové nádrže s aeračním systémem na dně – dmychadly. Do kolony se zhruba do 60 % objemu přisype inertní plastový nosič. Nosič začne vlivem vhněného vzduchu cirkulovat. Následně se na nosičích začne tvořit vrstva biomasy. Voda odtéká spolu s uvolněným biologickým kalem do chemické části čističky, plastový nosič je zachycen sítí. [6]

2.7.2 Chemická část

V chemické části se část vody načerpá do míchaného reaktoru se síranem železitým, část do reaktoru s hydroxidem sodným. Opět dojde k vyvločkování. Obě tekutiny jsou přečerpány do společné nádrže a dále putují do čířicích reaktorů. Olovo se váže na železitý kal a spolu s biologickým kalem sedimentuje. Oddělený kal je lisován na kalolisu, vyčištěná voda se přefiltruje a vypustí do potoka. [6]

2.8 Jakost vyčištěných vod

Jakost vody je zjišťována pomocí odběru vzorků a jejich následných rozborů. U ČOV se jakost výstupní vody hodnotí především z vody vystupující z čířiče, v ČOV2 BIO jsou sledovány parametry vod vystupujících z chemické části.

2.8.1 Jakost na výstupu z ČOV

V případě brusných vod je největší pozornost věnována sledování koncentrace NL, nicméně sledovány jsou i další parametry – CHSK, RL a Cl⁻. Rovněž je pravidelně měřeno pH vody. U kyselých vod po neutralizaci jsou sledovány zejména F⁻. U kalů je sledován obsah sušiny. Podrobnější rozbor provádí specializovaná firma. Dle provozního řádu [6] by mělo být dosaženo hodnot v tab. 16.

Tab. 16 – Parametry výstupních vod z ČOV ([6], tabulka vlastní)

Parametry	pH	-	6,5 – 8,5
	F ⁻	[mg/l]	do 1
	NL	[mg/l]	do 15
	vodivost	[μS/cm]	do 2500

2.8.2 Jakost na výstupu z ČOV2 BIO

Z důvodu vypouštění vody z ČOV2 BIO do Dubského potoka podléhá kvalita výstupní vody z ČOV2 BIO a její množství rozhodnutí Vodoprávního úřadu. Dle [21] se jedná o hodnoty uvedené v tab. 17.

Tab. 17 – Parametry výstupních vod z ČOV2 dle rozhodnutí Vodoprávního úřadu ([6], tabulka vlastní)

		„p“ [mg/l]	„m“ [mg/l]	tun/rok
Parametry	pH	6,5 – 8,5	-	-
	CHSK _{Cr}	90	110	30
	NL	10	20	3
	C ₁₀ – C ₄₀	0,2	0,4	0,05
	F	3	4	0,5
	Ba	1,0	1,5	0,3
	Pb	0,030	0,050	0,01
	As	0,02	0,03	0,01

3. Provozní soubor: Brusné vody

Charakter brusných vod je popsán v předchozí kapitole. Linka zpracovávající brusné vody je tvořena z lapolu, flokulační nádrže, čičiče, pískových filtrů, jímky čisté vody a biologické čistírny OV. Část vody je po vyčištění pískovými filtry odčerpána k biologickému dočištění v ČOV2. O toto množství vody musí být navýšen objem vyčištěných vod, které se vrací zpět do brusírny. Zdrojem dočerpávané vody je rybník. Vratná voda je smíchána s vodou z rybníku a je upravena chlornanem sodným. Proudů jsou číslovány od 1 do 21.

3.1 Vstupní data

Na vstupu jsou definovány vstupující proudy – odpadní vody z brusíren (tab. 18) a dočerpávaná voda z rybníku (tab. 19). Vkládány jsou hodnoty koncentrací znečišťujících látek v mg/l a průtoky obou vod v m³/hod (šedivě označené buňky). Hodnoty označené červeně jsou nastavené předpokládané hodnoty.

Tab. 18 – Definice parametrů vstupní brusné OV

Přítok OV		1
Parametr	c_i^{mv}	m_i
	[mg/l]	(kg/h)
CHSKcr	135	6,75
BSK5	56	2,8
NL	622	31,1
RLs	664	33,2
RLž	587	29,35
Pb ²⁺	1,2	0,06
Cl	20	1,000
NEL	2,8	0,140
(SO ₄) ⁻²	266	13,3
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0
NALCO 7132	0	0
XPA1	0	0
H ₂ O	xxx	50 000
Průtok Q	[m ³ /hod]	50
pH	(-)	9,3

Tab. 19 – Definice parametrů čerpané vody z rybníku

Přítok VODY z RYBNÍKU		17
Parametr	c_i^{mv}	m_i
	[mg/l]	(kg/h)
CHSKcr	9	0,1449
BSK5	4	0,0644
NL	1,4	0,02254
RLs	206	3,3166
RLž	157	2,5277
Pb	0,01	0,000161
Cl	3	0,048
NEL	0	0,000
(SO ₄) ⁻²	17	0,2737
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0
NALCO 7132	0	0
XPA1	0	0
H ₂ O	xxx	16 100
Průtok Q	[m ³ /hod]	16,1
pH	(-)	7,8

Pomocí známého průtoku a zadané koncentrace obsažených látek jsou v obou tabulkách vypočteny hmotnostní toky jednotlivých složek pomocí vztahu (4):

$$m_i = \frac{c_i^{mv}}{1000} * Q \quad (4)$$

kde m_i je hmotnostní tok znečišťující složky v kg/h, c_i^{mv} je koncentrace znečišťující složky v mg/l a Q je průtok OV v m³/h.

3.2 Lapol

V nádrži lapolu dochází k odloučení NEL (především olejů) s předpokládanou účinností 100 %. Odloučené látky přecházejí do kalu. Bilance lapolu je uvedena v tab. 20.

Sloupec změna popisuje změnu hmotnostního toku znečišťující složky, která proběhne po vykonání daného čistícího procesu s určitou předpokládanou účinností. Vyjádřeno pomocí vzorce (5):

$$\Delta_{m_i} = \frac{\eta_i}{100} * m_i \quad (5)$$

kde η_i značí předpokládanou účinnost odstranění dané znečišťující složky v % a m_i hmotnostní tok znečišťující složky na vstupu do zařízení. Hodnoty označené červeně jsou nastavené předpokládané hodnoty

Tab. 20 – Bilance lapolu

LAPOL		VSTUP			VÝSTUP			kal NEL
		Proud č.	OV nátok	ZMĚNA	Proud č.	OV z Lapolu	Proud č.	
			1			2		3
Parametr	η zařízení	cmv	m	Dm	cmv	m	cmv	m
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSKcr	0	135	6,75	0	135	6,75		0
BSK5	0	56	2,8	0	56	2,8		0
NL	0	622	31,1	0	622	31,1		0
RLs	0	664	33,2	0	664	33,2		0
RLž	0	587	29,35	0	587	29,35		0
Pb	0	1,2	0,06	0	1,2	0,06		0
Cl	0	20	1	0	20	1		0
NEL	100	2,8	0,14	-0,14	0	0		0,14
(SO4)-2	xxx	266	13,3	0	266	13,3		0
Fe2(SO4)3	xxx	0	0	0	0	0		0
NALCO 7132	xxx	0	0	0	0	0		0
SUPERFLOC	xxx	0	0	0	0	0		0
H2O	xxx	xxx	50 000	0	xxx	50 000	xxx	xxx
Průtok Q	xxx	[m3/hod]	50	0	xxx	50	xxx	xxx
pH	xxx	(-)	9,3	xxx	xxx	9,3	xxx	xxx

Hmotnostní tok výstupního proudu č. 2 je součtem změny toku Δ_{m_i} v kg/h a vstupujícího hmotnostního toku znečišťující složky m_{1i} v kg/h, tedy:

$$m_{2i} = \Delta_{m_i} + m_{1i} \quad (6)$$

Výstupní koncentrace znečišťující složky v proudu č. 2 c_i^{mv} v mg/l je určena jako podíl výstupního hmotnostního toku m_{2i} a průtoku Q :

$$c_{mv} = \frac{m_{2i} * 1000 * 1000}{Q * 1000} \quad (7)$$

Hmotnostní tok složek v usazovaném kalu v kg/h, proud 3, je pak rozdíl mezi hmotnostním tokem znečišťující složky ve vstupním proudu 1 m_{1i} v kg/h a tokem ve výstupním toku 2 m_{2i} :

$$m_{3i} = m_{1i} - m_{2i} \quad (8)$$

3.3 Flokulační nádrž

Flokulační nádrž má za úkol ze suspendovaných NL rozptýlených ve vodě vytvořit větší částice, které je možné odstraňovat sedimentací. Do nádrže jsou dávkovány chemikálie, které tento růst zajistí tzv. koagulanty a flokulanty. Po rozmíchání je nastartován růst částic. Ve flokulační nádrži tedy dochází pouze ke směšování.

3.3.1 Dávkování chemikálií

Dávkován je koagulant síran železitý a polyflokulanty NALCO a SUPERFLOC, respektive jejich roztoky. Jejich dávkování je řízeno dle koncentrace NL ve vstupní vodě. Roztok síranu železitého je dávkován přímo do nádrže. Polyflokulanty je nutné smísit s vodou a teprve poté dávkovat. Tab. 19 uvádí množství chemikálií na 1 m³ OV pro 622 mg NL v 1 m³ OV. V případě 42% síranu je toto množství 320 mg, v případě NALCO 7133 2,5 mg a v případě polyflokulantu SUPERFLOC 1,2 mg pro 622 mg NL v 1 m³ OV. Hodnota p označuje měrnou dávku, množství chemikálie na jednotku množství znečišťující látky (NL). Chemikálie jsou dávkovány ve formě roztoku o hmotnostní koncentraci c_r . Množství látky ve výsledném roztoku je vypočteno dle vztahu (9):

$$m_L = \frac{c_r}{100} * p \quad (9)$$

kde c_r označuje hmotnostní koncentraci složky roztoku v % a p je měrná dávka chemikálie, poměr dávky chemikálie a množství znečištění (NL) v OV ($\text{mg}_{\text{chem}}/\text{mg}_{\text{zneč}}$). Rozdíl mezi hodnotou p a m_L je měrné množství vody ($\text{mg}_V/\text{mg}_{\text{zneč}}$). Pomocí hodnot m_L a m_V jsou počítány toky aktivní chemikálie a vody v dávkovaných roztocích. Tab. 21 uvádí dávkování koagulantu a polyflokulantů.

Tab. 21 - Dávkování koagulantu a polyflokulantů

látka	dávka mg chem	OV mg zneč	p $\text{mg}_{\text{chem}}/\text{mg}_{\text{zneč}}$	c_r [%]	m_L mgL	m_V mgV
Fe ₂ (SO ₄) ₃	320	622	0,51447	42	0,216	0,298
NALCO 7132	2,5	622	0,00402	1	0,0040	0,398
SUPERFLOC	1,2	622	0,00193	0,1	0,0019	1,927

Nátok na vstupu do flokulační nádrže popisuje tab. 22.

Tab. 22 - Vstup do flokulační nádrže

FLOKULAČNÍ NÁDRŽ		VSTUP OV z Lapolu Proud č. 2	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	[%]	[mg/l]	[kg/h]
CHSK _{cr}	0	135	6,75
BSK ₅	0	56	2,8
NL	0	622	31,1
RLs	0	664	33,2
RLž	0	587	29,35
Pb ²⁺	0	1,2	0,06
Cl ⁻	0	20	1
NEL	0	0	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	266	13,3
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0	0
NALCO 7132	xxx	0	0
SUPERFLOC	xxx	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	50 000
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	50
pH	xxx	(-)	9,3

Tab. 23 uvádí přiváděné toky chemikálií, očíslované 4, 5, a 6. Hmotnostní toky aktivních chemikálií m_{xi} (kg/h) v prouděch 4,5, 6 ($x = 4, 5, 6$) jsou počítány dle vztahu (10):

$$m_{xi} = m_L * m_{2NL} \quad (10)$$

kde m_L je množství aktivní chemikálie (i) v dávkovaném roztoku (kg/h) a m_{2NL} je koncentrace NL ve vstupním proudě 2 (kg/h).

Množství vody je vypočteno obdobně, pouze místo množství aktivní látky v roztoku je počítáno s množstvím vody v roztoku m_V .

Průtoky dávkovaných chemikálií - roztoků jsou vypočítány z hmotnostního průtoku dané látky a vody podělené hustotou. Hustota 42% Fe₂SO₄ činí cca 1500 kg/m³. Hustoty polyflokulantů jsou odhadnuty na 1000 kg/m³. Použitý vztah (11):

$$Q = \frac{m_i + m_{H2O}}{\rho} \quad (11)$$

kde ρ je hustota roztoku v kg/m^3 , m_i hmotnostní tok aktivní chemikálie v proudu x v kg/h a m_{H_2O} je hmotnostní tok vody (kg/h) v proudu x.

Tab. 23 – Přiváděné chemikálie

FLOKULAČNÍ NÁDRŽ		42 % Fe2SO4		NALCO		SUPERFLOC	
		Proud č. 4		Proud č. 5		Proud č. 6	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	0	0	0	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	0	0	0	0
RLs	0	0	0	0	0	0	0
RLž	0	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0
NEL	0	0	0	0	0	0	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	630000	6,720	0	0	0	0
NALCO 7132	xxx	0	0	10000	0,125	0	0
XPA ₁	xxx	0	0	0	0	1000	0,060
H ₂ O	xxx	xxx	9,280	xxx	12	xxx	60
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	0,0107	[m ³ /hod]	0,013	[m ³ /hod]	0,060
pH	xxx	(-)		(-)		(-)	

Hodnoty znečišťujících látek ve výstupním proudu 7 – OV vytékající z flokulační nádrže jsou uvedeny v tab. 24. Průtok výstupního proudu je odhadnut jako součet vstupního průtoku a průtoků jednotlivých roztoků chemikálií.

Tab. 24 – Výstupní proud z flokulační nádrže.

FLOKULAČNÍ NÁDRŽ		Proud č. nádrž		ZMĚNA	VÝSTUP OV z FN 7	
Parametr	η zařízení (%)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)	Dm (kg/h)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)
CHSK _{cr}	0	134,8	6,75	0	134,8	6,75
BSK ₅	0	55,9	2,8	0	55,9	2,8
NL	0	621,0	31,1	0	621,0	31,1
RLs	0	662,9	33,2	0	662,9	33,2
RLž	0	586,0	29,35	0	586,0	29,35
Pb ²⁺	0	1,2	0,06	0	1,2	0,06
Cl ⁻	0	20,0	1	0	20,0	1
NEL	0	0	0	0	0	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	265,6	13,3	0	265,56	13,3
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	134,2	6,720	0	134,18	6,720
NALCO 7132	xxx	2,5	0,125	0	2,5	0,125
SUPERFLOC	xxx	1,2	0,060	0	1,2	0,060
H ₂ O	xxx	xxx	50 082	0	xxx	50 082
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	50,08	0	xxx	50,08
pH	xxx	(-)		xxx	xxx	

3.4 Čiřič

V čičiři dochází k chemické reakci síranu železitého dle rovnice (1). Mechanismus reakce a bilanci uvádí tab. 25. Při výpočtu předpokládám, že veškeré ionty Fe²⁺ přecházejí do kalu. Do kalu přechází pouze část síranových iontů. Zbytek iontů zůstává ve vodě odtékající z čičiře. Množství síranových iontů odcházejících v OV bylo odhadnuto podle podkladů.

Tab. 25 – Síran železitý – množství v kalu a ve vodě

Hmotnost sušiny v kalu: p _{suš} = 3 %					
Reakce	Fe ₂ (SO ₄) ₃ + 6OH ⁻ = 2Fe(OH) ₃ + 3SO ₄ ²⁻	zůstává v OV		přechází do kalu	
Složka		[%]	g/g Fe ₂ (SO ₄) ₃	[%]	g/g Fe ₂ (SO ₄) ₃
Fe ²⁺ ionty =	0,2793 g/g Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0,000	100	0,279
(SO ₄) ⁻² -ionty =	0,7207 g/g Fe ₂ (SO ₄) ₃	18	0,130	82	0,591

Dále jsou snižovány koncentrace CHSK_{cr}, Pb, NL, BSK₅ a RL. Během čičení je předpokládáno 100% odstranění chloridů. Výstupní průtok OV 8 je snížen o množství, které je odloučeno v kalu. Bilance čičiře je zobrazena v tab. 26 a 27, kde je uveden odcházející kal. Látky odcházející v kalu jsou prezentovány v položce kal-sušina.

Tab. 26 – Bilancování čističe

ČIŘIČ		VSTUP		ZMĚNA	VÝSTUP	
Parametr	η zařízení	Proud č. 7	7		Proud č. 8	OV z čističe 8
	(%)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)	Δm (kg/h)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)
CHSK _{cr}	70,00	135	6,75	-4,725	41,812	2,025
BSK ₅	95,00	56	2,8	-2,66	2,891	0,14
NL	99,68	622	31,1	-31,00	2,065	0,1000
RL _s	21,00	664	33,2	-6,972	541,552	26,228
RL _ž	21,00	587	29,35	-6,1635	478,751	23,1865
Pb ²⁺	98,33	1,2	0,06	-0,059	0,021	0,001
Cl ⁻	100,00	20	1	-1	0,000	0
NEL	0	0	0	0	0,000	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	266	13,3	0,872	292,616	14,17
Fe ₂ (SO ₄) ₃	100	134,40	6,720	-6,720	0,000	0,00
NALCO 7132	xxx	2,500	0,125		0,000	0
SUPERFLOC	xxx	1,200	0,060		0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	50082	0	xxx	48 431
kal-sušina		xxx	0	51,043	0,000	0
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	50,08	0	xxx	48,431
pH	xxx	xxx	7,5	xxx	xxx	7,2

Tab. 27 – Hmotnostní tok kalu z čířiče

ČÍŘIČ		Kal z čířiče	
		Proud č. 9	
Parametr	η zařízení	c^{mv}_i	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	70,00	0,000	0
BSK ₅	95,00	0,000	0
NL	99,68	0,000	0
RLs	21,00	0,000	0
RLž	21,00	0,000	0
Pb ²⁺	98,33	0,000	0
Cl ⁻	100,00	0,000	0
NEL	0	0,000	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	0,000	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	100	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0
SUPERFLOC	xxx	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	1 650
kal-sušina		30000	51,043
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	1,701
pH	xxx	xxx	xxx

3.5 Pískové filtry

Pískové filtry slouží k dočištění OV od zbylých NL a velmi malého množství CHSK_{Cr} . Účinnosti odstranění byly odhadnuty z podkladů. Na jedno praní je potřeba 10 m^3 prací vody. Intenzita praní je stanovena na 1 praní za 8 hodin. Za těchto podmínek je spotřebováno 1250 kg prací vody za hodinu. Bilance pískových filtrů je uvedena v tab. 28. Odstraněné NL jsou převedeny do sušiny v kalu. Množství vzniklého kalu (proud 11) uvádí tab. 29

Tab. 28 – Bilance pískových filtrů

PÍSKOVÉ FILTRY		VSTUP	Odtok z čiríče	ZMĚNA	VÝSTUP	Odtok z PF
		Proud č.	8		Proud č.	10
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	Δm_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK_{Cr}	5	41,812	2,025	-0,10125	39,721	1,92375
BSK_5	0	2,891	0,14	0	2,891	0,14
NL	61	2,065	0,1000	-0,061	0,805	0,0390
RLs	0	541,552	26,228	0	541,55	26,228
RLž	0	478,751	23,1865	0	478,75	23,1865
Pb^{2+}	0	0,021	0,001	0	0,02	0,001
Cl^-	0	0,000	0	0	0,00	0
NEL	0	0,000	0	0	0,00	0
$(\text{SO}_4)_2$	xxx	292,616	14,17	0	292,62	14,172
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	xxx	0,000	0	0	0,00	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0	0	0,00	0
SUPERFLOC	xxx	0,000	0	0	0,00	0
H_2O	xxx	xxx	48 431	0	xxx	48 431
kal-sušina		xxx	0	0,061	0,00	0
Průtok Q	xxx	[m^3/hod]	48,431	0	xxx	48,431
pH	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Tab. 29 – Množství kalů z PF

PÍSKOVÉ FILTRY			Kal z PF
Proud č.			11
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	5	0,000	0
BSK ₅	0	0,000	0
NL	61	0,000	0
RL _s	0	0,000	0
RL _ž	0	0,000	0
Pb	0	0,000	0
Cl	0	0,000	0
NEL	0	0,000	0
(SO ₄)-2	xxx	0,000	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0
SUPERFLOC	xxx	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	1 250
kal-sušina		48,800	0,061
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	1,250
pH	xxx	xxx	xxx

3.6 Betonová jímka

Vyčištěná voda z pískových filtrů je vedena do betonové jímky čisté vody. V tomto místě je voda rozdělována na vratnou vodu, která putuje zpět do provozu a na vodu putující na dočištění v ČOV2. Dělicí poměr činí 30 %. Tab. 30 uvádí bilanci až k výstupnímu proudu 13, který putuje do ČOV2. Tab. 31 uvádí množství a jakost recirkulované vody putující zpět do závodu.

Tab. 30 – Bilance betonové jímky – výstupní proud jdoucí na ČOV2

BETONOVÁ JÍMKA		VSTUP		DĚLIČ	VÝSTUP	
Parametr	η zařízení	Proud č.	Odtok z PF 12		Proud č.	Nátok na COV2 13
		c_i^{mv}	m_i	děl- poměr	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	(-)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	0	39,721	1,92375	0,3	39,721	0,577125
BSK ₅	0	2,891	0,14	0,3	2,891	0,042
NL	0	0,805	0,0390	0,30	0,805	0,0117
RLs	0	541,6	26,228	0,30	541,6	7,8684
RLž	0	478,8	23,1865	0,30	478,8	6,95595
Pb ²⁺	0	0,021	0,001	0,30	0,021	0,000
Cl ⁻	0	0,000	0	0,30	0,000	0
NEL	0	0,000	0	0,30	0,000	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	292,6	14,17	0,30	292,6	4,252
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0	0,30	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0	0,30	0,000	0
SUPERFLOC	xxx	0,000	0	0,30	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	48 431	0,30	xxx	14 529
kal-sušina		xxx	0	0,30	0,000	0
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	48,431	0,30	xxx	14,53
pH	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Tab. 31 – Výstupní proud RC vody

BETONOVÁ JÍMKA			Voda- recykl 14
Proud č. 14			
Parametr	η zařízení	c^{mv}_i	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	0	39,721	1,347
BSK ₅	0	2,891	0,098
NL	0	0,805	0,0273
RLs	0	541,6	18,3596
RLž	0	478,8	16,23055
Pb ²⁺	0	0,021	0,0007
Cl ⁻	0	0,000	0
NEL	0	0,000	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	292,6	9,920
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0
SUPERFLOC	xxx	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	33 902
kal-sušina		0,000	0
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	33,902
pH	xxx	xxx	xxx

3.7 ČOV2

ČOV2 slouží k odstranění zbylého Pb^{2+} a $CHSK_{Cr}$. Účinnosti odstranění byly odhadnuty z podkladů. Vyčištěná voda je poté vypouštěna do vodního toku. Bilanci vstupního a výstupního toku popisuje tab. 32. Tab. 33 uvádí množství vzniklého kalu po čištění na ČOV2.

Tab. 32 – bilance ČOV2

ČOV2		VSTUP		ZMĚNA	VÝSTUP		ODTOK- potok
Parametr	η zařízení	Proud č.	Nátok na ČOV2 13		Proud č.	15	
	(%)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)	Δm_i (kg/h)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)	
$CHSK_{Cr}$	77	39,721	0,577	-0,444	9,145	0,133	
BSK_5	95	2,891	0,042	-0,0399	0,145	0,0021	
NL	0	0,805	0,0117	0,000	0,806	0,0117	
RLs	0	541,552	7,8684	0	542,08	7,8684	
RLž	0	478,751	6,95595	0	479,22	6,95595	
Pb^{2+}	100	0,021	0,000	-0,0003	0,00	0	
Cl^-	0	0,000	0	0	0,00	0	
NEL	0	0,000	0	0	0,00	0	
$(SO_4)^{-2}$	xxx	292,616	4,25	0	292,90	4,252	
$Fe_2(SO_4)_3$	xxx	0,000	0	0	0,00	0	
NALCO 7132	xxx	0,000	0	0	0,00	0	
SUPERFLOC	xxx	0,000	0	0	0,00	0	
H_2O	xxx	xxx	14 529	0	xxx	14 515	
kal-sušina		xxx	0	0,436	0,00	0	
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	14,529	0	xxx	14,515	
pH	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	

Tab. 33 – Množství kalu vzniklého na ČOV2

ČOV2		Kal z ČOV2	
		Proud č. 16	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	77	0,000	0
BSK ₅	95	0,000	0
NL	0	0,000	0
RLs	0	0,000	0
RLž	0	0,000	0
Pb ²⁺	100	0,000	0
Cl ⁻	0	0,000	0
NEL	0	0,000	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	0,000	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0
XPA1	xxx	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	14,093
kal-sušina		30928	0,436
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	0,014
pH	xxx	xxx	xxx

3.8 Recirkulovaná voda

Vodu putující zpět do závodu je z důvodu odpuštění části vody na ČOV2 třeba doplnit vodou z vnějšího zdroje. Tímto zdrojem je rybník. Před smíšením s RC vodou je voda z rybníku filtrována. Podmínky filtrování jsou stejné jako u pískových filtrů v ČOV. Bilanci filtrace uvádí tab. 34 a 35. Tab. 35 uvádí množství kalů vzniklých po filtraci.

Tab. 34 – Bilance pískových filtrů – voda z rybníku

PÍSKOVÁ FILTRACE VODY z RYBNÍKA		VSTUP Voda z rybníka Proud č. 17		ZMĚNA	VÝSTUP Odtok z PF-R Proud č. 18	
Parametr	η zařízení (%)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)	Δm_i (kg/h)	c_i^{mv} [mg/l]	m_i (kg/h)
CHSK _{Cr}	47	9,000	0,1449	0,068103	1,586	0,076797
BSK ₅	47	4,000	0,0644	0,030268	0,705	0,034132
NL	100	1,400	0,0225	-0,023	0,000	0,0000
RLs	31	206	3,3166	1,028146	47,25	2,288454
RLž	34	157,000	2,5277	0,859418	34,45	1,668282
Pb ²⁺	50	0,010	0,0002	-8,05E-05	0,00	0,0000805
Cl ⁻	0	3,000	0,0483	0	1,00	0,0483
NEL	0	0,000	0,0000	0	0,00	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	17,000	0,2737	0	5,65	0,274
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0,0000	0	0,00	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0,0000	0	0,00	0
XPA1	xxx	0,000	0,0000	0	0,00	0
H ₂ O	xxx	xxx	16 100	0	xxx	16 100
kal-sušina		xxx	0	1,910	0,00	0
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	16,100	0	xxx	16,100
pH	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Tab. 35 – Voda z rybníku – množství kalů po filtraci

PÍSKOVÁ FILTRACE			Kal z PF-R
VODY z RYBNÍKA		Proud č.	19
Parametr	η zařízení	c^{mv}_i	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	47	0,000	0
BSK ₅	47	0,000	0
NL	100	0,000	0
RLs	31	0,000	0
RLž	34	0,000	0
Pb ²⁺	50	0,000	0
Cl ⁻	0	0,000	0
NEL	0	0,000	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	0,000	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,000	0
NALCO 7132	xxx	0,000	0
XPA1	xxx	0,000	0
H ₂ O	xxx	xxx	1 250
kal-sušina		1528	1,910
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	1,250
pH	xxx	xxx	xxx

Po této operaci je voda z betonové jímky (proud 14) smíšená s filtrovanou vodou z rybníku. Z hygienických důvodů je vratná voda upravena přidáním roztoku chlornanu sodného (proud 20). Dávkováno je 0,017 dm³ chlornanu na m³ vody. Koncentrace vstupních proudů uvádí tab. 36.

Tab. 36 – Směšování – vstupní proudy

SMĚŠOVACĚ-VRATKA		VSTUP VODA-RECYKL		Odtok z PF-R		NaClO	
		Proud č. 14		Proud č. 18		Proud č. 20	
Parametr	η zařízení	c _i ^{mv}	m _i	c _i ^{mv}	m _i	c _i ^{mv}	m _i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	39,721	1,347	1,586	0,076797	0	0
BSK ₅	0	2,891	0,098	0,705	0,034132	0	0
NL	0	0,805	0,0273	0,000	0,0000	0	0
RLs	0	541,6	18,3596	47,25	2,288454	0	0
RLž	0	478,8	16,23055	34,45	1,668282	0	0
Pb ²⁺	0	0,021	0,0007	0,00	0,0000805	0	0
Cl ⁻	0	0,000	0	1,00	0,0483	187500	0,108
NEL	0	0,000	0	0,00	0	0	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	292,6	9,920	5,65	0,274	0	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0
NALCO 7132	xxx	0,0	0,000	0,00	0	0	0
XPA1	xxx	0,0	0,000	0,00	0	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	33 902	xxx	16 100	xxx	0
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	33,902	[m ³ /hod]	16,1000	[m ³ /hod]	0,001
pH	xxx	(-)		(-)		(-)	

Složení výstupního proudu 21, který putuje zpět do závodu, je uvedeno v tab. 37.

Tab. 37 – Směšování – výstupní proudy

SMĚŠOVACÍ- VRATKA		VRATKA- BRUSIRNA 21
Parametr	η zařízení	m_i
	(%)	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	1,423
BSK ₅	0	0,132
NL	0	0,0273
RLs	0	20,648
RLž	0	17,898832
Pb ²⁺	0	0,0007805
Cl ⁻	0	0,156
NEL	0	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	10,194
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0
NALCO 7132	xxx	0
XPA1	xxx	0
H ₂ O	xxx	50 002
Průtok Q	xxx	50,002
pH	xxx	

4. Provozní soubor: Čištění vod po leštění

Množství odpadních vod po leštění je oproti brusným vodám velmi malé. Vyznačují se však kyselým charakterem, obsahují velké množství síranových $(\text{SO}_4)^{2-}$ a fluoridových iontů F. Pro odstranění kyselin HF a H_2SO_4 je použit proces neutralizace pomocí vápenného mléka připraveného z vápenného hydrátu. V bilancích jsou jednotlivé proudy označeny čísly od 30 do 32.

V bilancích jsou jednotlivé proudy označeny čísly od 30 do 32.

4.1 Vstupní data

Podobně jako u brusných vod i zde na počátku stojí definice složení odpadních vod. Upravovatelné hodnoty jsou označeny šedou barvou. Předpokládaná hustota OV je opět 1000 kg/m^3 . Složení uvedené v tab. 38 vychází z poskytnutých podkladů. Hodnoty označené červeně jsou nastavené předpokládané hodnoty.

Tab. 38 – Definice vstupních leštících vod

Přítok OV		30
Parametr	c_i^{mv}	m_i
	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0
BSK ₅	0	0
NL	0	0
RLs	0	0
RLž	0	0
Pb ²⁺	1,2	0,00075
Cl ⁻	0	0,000
F ⁻	600	0,375
$(\text{SO}_4)^{2-}$	2000	1,25
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0
Ca(OH) ₂	0	0
CaSO ₄	0	0
CaF ₂	0	0
H ₂ O	xxx	625
Průtok Q	[m ³ /hod]	0,625
pH	(-)	2

4.2 Neutralizace

Neutralizace probíhá v neutralizačním reaktoru. Mechanismus neutralizace 15% vápenným mlékem připraveným z vápenného hydrátu je popsán rovnicemi (2) a (3) v kapitole 2. Při výpočtech byla uvažována hustota vápenné mléka 1176 kg/m^3 . Při výpočtu se předpokládá čistota vápenného hydrátu 97 %. Nečistoty z hydrátu jsou vedeny v položce kal-sušina. Účinnosti odstranění byly odhadnuty z podkladů. Toky vstupující do neutralizační nádrže uvádí tab. 39. Z neutralizačního reaktoru odtéká voda s obsahem látek uvedené v tab. 40.

Tab. 39 – Neutralizace kyselin – vstupní proudy

NEUTRALIZACE HF		VSTUP OV leptání Proud č. 30		VM-15 % Ca(OH) ₂ Proud č. 31		Proud č. nádrž	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	0	0	0	0
RLs	0	0	0	0	0	0	0
RLž	0	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	1,2	0,00075	0	0	1,175	0,00075
Cl ⁻	0	0	0,000	0	0	0	0
F ⁻	99	600	0,375	0	0	587,3	0,375
(SO ₄) ²⁻	85	2000	1,25	0	0	1958	1,25
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0	0	0	0	0	0
Ca(OH) ₂	xxx	0	0	171 176	2,315	3625	2,315
CaSO ₄	xxx	0	0	0	0	0	0
CaF ₂		0	0	0	0	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	625	xxx	13,52	xxx	639
kal - sušina	xxx	0	0,000	5 294	0,072	112	0,072
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	0,625	[m ³ /hod]	0,014	[m ³ /hod]	0,639
pH	xxx	(-)	2	(-)		(-)	

Tab. 40 – Neutralizace kyselin – výstupní proud

NEUTRALIZACE HF		VÝSTUP Odtok z NeuTr Proud č. 32	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSKcr	0	0,0	0
BSK ₅	0	0,0	0
NL	0	0,0	0
RLs	0	0,0	0
RLž	0	0,0	0
Pb ²⁺	0	1,2	0,00075
Cl ⁻	0	0,0	0
F ⁻	99	5,9	0,00375
(SO ₄) ²⁻	85	293,3	0,188
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0,0	0,000
Ca(OH) ₂	xxx	1206,9	0,772
CaSO ₄	xxx	2355,1	1,506
CaF ₂	xxx	1192,9	0,763
H ₂ O	xxx	xxx	639
kal - sušina	xxx	112,0	0,072
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	0,64
pH	xxx	xxx	

5. Provozní soubor: Zpracování kalů

Kaly v ČOV vznikají na několika místech. Jsou odváděny z čířiče (proud 9), z obou zařízení pískových filtrů (proudy 11 a 19) a z neutralizačního reaktoru po leštění (proud 32). Kalové hospodářství tvoří tato zařízení: kalojem 1 pro shromáždění kalů brusných vod, kalojem 2 pro záchyt kalů po leštění, kalojem 3 (mísení kalů z kalojemů 2 a 3) a kalolis. Ve schématu jsou tyto proudy označeny čísly od 40 do 43.

5.1 Kaly z brusírny

Souhrn vyprodukovaných kalů po broušení skla uvádí tab. 41. Tyto kaly jsou smíchány a parametry vzniklé směsi jsou uvedeny v tab. 42.

Tab. 41 – Kaly po brusírenských OV

KALY z OV-BRUSÍRNÝ		VSTUP		Kal z PF		Kal z PF-R	
		Proud č.	Kal z čířiče 9	Proud č.	11	Proud č.	19
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	0	0	0	0
RLs	0	0	0	0	0	0	0
RLž	0	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0
NEL	0	0	0	0	0	0	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0	0	0	0	0	0
NALCO 7132	xxx	0	0	0	0	0	0
SUPERFLOC	xxx	0	0	0	0	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	1 650	xxx	1 250	xxx	1 250
kal-sušina	xxx	xxx	51,043	48,800	0,061	1528	1,910
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	1,701	[m ³ /hod]	1,25	[m ³ /hod]	1,25
pH	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Tab. 42 – Výstupní kaly z brusíren

KALY z OV- BRUSÍRNY		VÝSTUP	
		Kal z OV-Br	
		Proud č. 40	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0
BSK ₅	0	0	0
NL	0	0	0
RLs	0	0	0
RLž	0	0	0
Pb ²⁺	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0
NEL	0	0	0
(SO ₄) ²⁻	xxx	0	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0	0	0
NALCO 7132	xxx	0	0
SUPERFLOC	xxx	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	4 150
kal-sušina	xxx	12618	53
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	4,201
pH	xxx	xxx	xxx

Kaly vzniklé čištěním brusných vod jsou shromažďovány v kalojemu 1. Z kalojemu jsou odváděny do kalolisu, kde dojde ke slisování kalů do desek. Z důvodu snadnějšího lisování jsou brusné kaly upravovány 15% vápenným mlékem. Základem vápenného mléka je vápenný hydrát Ca(OH)₂. Na přípravu 1 m³ vápenného mléka je potřeba 176,471 kg hydrátu. Při výpočtu se předpokládá čistota vápenného hydrátu 97 %. Nečistoty z hydrátu jsou vedeny v položce kal-sušina. Účinnosti odstranění byly odhadnuty z podkladů.

Vápenné mléko je dávkováno do kalojemu. Na 1 m³ kalu je dávkováno 0,118 m³ mléka. Bilance kalojemu 1 je uvedena v následující tab. 43.

Tab. 43 – Bilance kalojemu 1

KALOJEM1-KALY-BRUS		VSTUP		VM-15 %		VÝSTUP	
		Kal-OV-Br				Upravený kal-BR	
		Proud č. 40		Proud č. 41		Proud č. 42	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	0	0	0	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	0	0	0	0
RLs	0	0	0	0	0	0	0
RLž	0	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	0	0	0,000	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0
F ⁻	80	0	0	0,0	0	0	0
(SO ₄) ²⁻	82	0	0	0,0	0	0	0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0	0	0	0	0	0
Ca(OH) ₂	xxx	0	0	171176	84,610	18 019	84,610
CaSO ₄	xxx	0	0	0	0	0	0
CaF ₂		0	0	0	0	0	0
H ₂ O	xxx	xxx	4 150	xxx	494,29	xxx	4 645
kal - sušina	xxx	12618	53	5294	2,617	11 847	55,631
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	4,201	[m ³ /hod]	0,494	[m ³ /hod]	4,696
pH	xxx	(-)		(-)		(-)	

K zachycení kalů z neutralizačního reaktoru slouží kalojem 2. Složení těchto kalů uvádí tab. 44.

Tab. 44 – Kalojem 2

KALOJEM2-OV-LEPT		VSTUP Odtok z NeuTr	
		Proud č. 32	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0
BSK ₅	0	0	0
NL	0	0	0
RLs	0	0	0
RLž	0	0	0
Pb ²⁺	0	1,184	0,012
Cl ⁻	0	0	0
F ⁻	0	197,3	2
(SO ₄) ²⁻	0	47,2	0,4788
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0	0
Ca(OH) ₂	xxx	258	2,615
CaSO ₄	xxx	305	3,091
CaF ₂		1621	16,433
H ₂ O	xxx	xxx	10 137
kal - sušina	xxx	172	1,743
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	10,137
pH	xxx	(-)	

Upravené brusné i lešticí kaly jsou svedeny do kalojemu 3. Z tohoto zařízení je kal dávkován do kalolisu. Bilance kalojemu 3 je uvedena v tab. 45.

Tab. 45 – Bilance kalojemu 3

KALOJEM3		VSTUP		Upravený kal- BR		VÝSTUP	
		Odtok z NeuTr				Nátok na KL	
		Proud č. 32		Proud č. 42		Proud č. 43	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	0	0	0	0
RLs	0	0	0	0	0	0	0
RLž	0	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	1,184	0,012	0,000	0	0,809	0,012
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0
F ⁻	0	197,30	2	0,0	0	134,8	2
(SO ₄) ²⁻	0	47,23	0,4788	0,0	0	32,3	0,4788
Fe ₂ (SO ₄) ₃	xxx	0	0	0	0	0	0
Ca(OH) ₂	xxx	258,0	2,6	18019	84,61	5881	87,225
CaSO ₄	xxx	304,9	3,1	0	0	208	3,09
CaF ₂	xxx	1621,1	16,4	0	0	1108	16,43
H ₂ O	xxx	xxx	10 137	xxx	4 645	xxx	14 781
kal - sušina	xxx	171,99	1,743	11847	55,63	3868	57,374
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	10,137	[m ³ /hod]	4,696	[m ³ /hod]	14,832
pH	xxx	(-)		(-)		(-)	

5.2 Kalolis

Kalolis je zařízení sloužící k odvodnění přivedeného kalu a jeho slisování do desek. Výpočtem, na základě provedených bilancí, bylo zjištěno, že kaly na vstupu do kalolisu obsahují 1,098 hmotnostních % sušiny. Při výpočtu předpokládám, že veškeré nerozpustné soli ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaSO_4 , CaF_2), zbylé NL a kal-sušina přecházejí do kalu z kalolisu slisovaného v deskách. Ostatní složky se rozdělí mezi kal a kalolisovou vodu tak, aby po zahuštění a lisování obsahovaly slisované kaly 45 % sušiny. Bilanci kalolisu popisuje tab. 46 a 47. Tab. 46 uvádí množství slisovaných kalů a kalolisové vody vzniklých po odvodnění v kalolisu.

Tab. 46 – Kalolis – parametry vstupního toku

KALOLIS		VSTUP <small>Nátok na kalolis</small>		ZMĚNA
Parametr	η zařízení	Proud č. 43	c_i^{mv}	do kalu
	(%)		m_i	Δm_i
		[mg/l]	(kg/h)	(kg/h)
CHSK _{Cr}	0	0	0	0
BSK ₅	0	0	0	0
NL	100	0	0	0
RLs	1,357	0	0	0
RLž	1,357	0	0	0
Pb ²⁺	1,357	0,809	0,012	-0,0002
Cl ⁻	1,357	0	0	0
F	1,357	134,8	2	-0,027
(SO ₄) ²⁻	1,357	32,3	0,4788	-0,006
Fe ₂ (SO ₄) ₃	1,357	0	0	0,000
Ca(OH) ₂	100	5881	87,2	-87
CaSO ₄	100	208	3,1	-3,1
CaF ₂	100	1108	16,4	-16,4
H ₂ O	1,357	xxx	14 781	-200,56
kal - sušina	100	3868	57,4	-57,4
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	14,832	-0,201
pH	xxx	(-)		xxx

Tab. 47 – Kalolis – výstupní toky

KALOLIS		VÝSTUP Kal z kalolisu		Kalolisová voda	
		Proud č. 44		Proud č. 45	
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	c_i^{mv}	m_i
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	(kg/h)
CHSK _{cr}	0		0	0	0
BSK ₅	0		0	0	0
NL	100		0	0	0
RL _s	1,357		0	0	0
RL _ž	1,357		0	0	0
Pb ²⁺	1,357		0,0002	0,809	0,0118
Cl ⁻	1,357		0	0	0
F ⁻	1,357		0,027	134,8	1,973
(SO ₄) ²⁻	1,357		0,006	32,3	0,472
Fe ₂ (SO ₄) ₃	1,357		0	0	0
Ca(OH) ₂	100		87,2	0	0
CaSO ₄	100		3,1	0	0
CaF ₂	100		16,4	0	0
H ₂ O	1,357		201	xxx	14581
kal - sušina	100		57,4	0	0
Průtok Q	xxx			[m ³ /hod]	14,632
pH	xxx			(-)	

6. Porovnání hodnot z modelu s reálnými daty

Tato kapitola porovnává vypočítané koncentrace znečišťujících látek pomocí vytvořeného modelu s hodnotami naměřené ve firmě Preciosa.

6.1 Výstupní voda z čířiče

Vypočítaná a reálná data porovnává tab. 48. Vypočítané hodnoty modelu linky leží v rozmezí skutečných hodnot. Provozní řád uvádí maximální koncentraci NL 15 mg/l. Modelovaná linka tento požadavek s hodnotou 2,065 mg/l NL splňuje. Model linky ČOV je tedy schopen modelovat proces čištění a vyčistit zadanou znečištěnou vodu s požadovanými parametry.

Tab. 48 – Porovnání vypočtených a reálných hodnot - ČIŘIČ

ČIŘIČ		VÝSTUP OV z čířiče Proud č. 8		Naměřené hodnoty		
Parametr	η zařízení	c_i^{mv}	m_i	\emptyset	$c_i^{mv} \text{ min}$	$c_i^{mv} \text{ max}$
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
CHSK _{Cr}	70,00	41,812	2,025	113	35	202
BSK ₅	95,00	2,891	0,14	53	0	76
NL	99,68	2,065	0,1000	4	< 2	9
RLs	21,00	541,552	26,228	869	451	1540
RLž	21,00	478,751	23,1865	762	390	1400
Pb ²⁺	98,33	0,021	0,001	0,01	< 0,01	0,13
Cl ⁻	100,00	0,000	0	26	0	34
NEL	0	0,000	0	0	0	0
(SO ₄) ⁻²	xxx	292,616	14,17	432	206	687
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	48,431			
pH	xxx	xxx	7,2	7,5	7,3	7,7

6.2 Výstupní voda z ČOV2

Při hodnocení jakosti vyčištěné vody vypouštěné do recipientu je nutné se řídit nařízením Vodoprávního úřadu, neboť voda z ČOV2 je vypouštěna do místního potoka. Tab. 49 uvádí přehled vypočítaných, naměřených a úřadem povolených hodnot. Vyznačené buňky ukazují, že výstupní koncentrace znečišťujících látek modelu linky ČOV2 splňuje podmínky pro vypuštění.

Tab. 49 – Porovnání vypočtených, naměřených a povolených hodnot – ČOV2

ČOV2		VÝSTUP	ODTOK-	Naměřené hodnoty			Dle rozhodnutí úřadu	
Parametr	η zařízení	Proud č. c^{mv}_i	potok m_i 14	\emptyset	c^{mv}_i min	c^{mv}_i max	"p"	"m"
	(%)	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
CHSK _{Cr}	77	9,145	0,133	12	< 10	26	90	110
BSK ₅	95	0,145	0,0021	0	0	< 5	0	0
NL	0	0,806	0,0117	2	< 2	3	10	20
RLs	0	542,08	7,8684	797	629	946	-	-
RLž	0	479,22	6,95595	757	593	907	593	907
Pb ²⁺	100	0,00	0	0	< 0,02	0,03	0,03	0,05
Cl	0	0,00	0	23	23	23	-	-
NEL	0	0,00	0	0	0	0	0,2	0,4
(SO ₄) ⁻²	xxx	292,90	4,252	462	340	568	-	-
Průtok Q	xxx	[m ³ /hod]	14,515	14,04			51,37	-
pH	xxx	xxx	xxx	7,7	7,6	8	6,0 - 9,0	-

6.3 Vratná voda

Do brusíren je vracena směs vyčištěné vody a vody z rybníku, upravená chlornanem sodným. V tab. 50 jsou uvedené vypočítané koncentrace znečišťujících látek a skutečné naměřené koncentrace. Vypočítané hodnoty leží na spodní hranici naměřených hodnot.

Tab. 50 – Porovnání vypočítaných a reálných hodnot – Vratná voda

VRATKA DO BR 21			Naměřené hodnoty		
Parametr	c_i^{mv}	m_i	Ø	c_i^{mv} min	c_i^{mv} max
	[mg/l]	(kg/h)	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
CHSK _{Cr}	28,467	1,423	75	28	132
BSK ₅	2,643	0,132	33	10	66
NL	0,546	0,0273	2	< 2	7
RLs	413	20,65	620	408	837
RLž	358	17,90	543	349	771
Pb ²⁺	0,016	0,00	0	< 0,01	0,05
Cl ⁻	3,127	0,16	22	14	31
NEL	0	0,00	0	0	0
(SO ₄) ⁻²	204	10,19	291	151	435
Průtok Q	[m ³ /hod]	50,002			
pH	(-)		7,6	7,3	7,2

Závěr

Tato práce se zabývá popisem vzniku a čištění odpadních vod po broušení a leštění skleněných polotovarů. Teoretická i praktická část jsou založeny na podkladech poskytnutých firmou Preciosa, a.s., závod 03, konkrétně jejich podnikovou čistírnou odpadních vod.

Teoretická část popisuje složení odpadních vod a strojní zařízení ČOV. Vody po broušení a leštění skla obecně nenesou velké známky znečištění. Hlavními parametry, které jsou v závodu 03 sledovány jsou CHSK_{Cr} , F, Pb^{2+} , $(\text{SO}_4)^2$, pH a vodivost. Vody vzniklé broušením jsou upravovány chemickým způsobem – čířením, a následně jsou dočišťovány filtrací pomocí pískových filtrů. Odpadní vody vzniklé leštěním jsou kvůli kyselému charakteru upravovány neutralizací přidáním vápenného mléka.

Praktická část se zabývá sestavením modelu linky pro čištění brusných a leštících vod, a pro celou linku sestavit výpočtový bilanční model. Pomocí programu Excel byl vytvořen výpočetní soubor, který na základě vložených vstupních dat provádí bilanční výpočet linky. Soubor je členěn do 3 částí, provozních souborů: 1) provozní soubor Čištění odpadních brusných vod, 2) provozní soubor Čištění odpadních vod z leštění, a 3) provozní soubor Zpracování kalů. Výchozím zdrojem pro návrh modelu byla měření jakosti odpadních vod v závodu 03. Návrh a bilancování bylo provedeno tak, aby jakost vody na výstupu z ČOV splňovala hodnoty dané provozním řádem firmy Preciosa a hodnoty koncentrací znečišťujících látek pohybovaly v mezích zjištěných měření v ČOV Preciosy, což potvrzují tab. 48, 49 a 50.

Zdroje

- [1] BELDA, Jaroslav. *Sklářské a keramické stroje*. sv. 1. 2. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1994. Učebnice vysokých škol.
- [2] HERLE, Jaromír. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 208 str. ISBN 80-03-00587-6.
- [3] HLAVÍNEK, Petr, ed. *Progresivní technologie čištění průmyslových odpadních vod: sborník přednášek*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, ©1998. 92 s. ISBN 80-86020-18-5.
- [4] HOTAŘ, Vlastimil, Vladimír KLEBSA a Ivo MATOUŠEK. *Technologie automatické výroby skla*. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-237-2.
- [5] MALÝ, Josef. *Čištění průmyslových odpadních vod*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 1996. viii, ix, 255 s. ISBN 80-86020-05-3.
- [6] *Provozní řád pro obsluhu čistírny odpadních vod DUKLA: Preciosa a.s., závod 03 Sklářská 1, Liberec*. Liberec, 2009.
- [7] Sklářství: Sklářství v Čechách. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Skl%C3%A1%C5%99stv%C3%AD>
- [8] *Naše historie* [online]. Jablonec nad Nisou: Preciosa, 2017 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.preciosa.com/cs/history>
- [9] *O nás* [online]. Jablonec nad Nisou: Preciosa, 2017 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.preciosa.com/cs/preciosa>
- [10] *Vinolok* [online]. Jablonec nad Nisou: Preciosa, 2017 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.preciosa.com/cs/division/vinolok>
- [11] *Crystals* [online]. Jablonec nad Nisou: Preciosa, 2017 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.preciosa.com/cs/division/crystals>
- [12] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0. DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER. *Čištění odpadních vod*. Vydání druhé (dotisk 2011). Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 80-7080-316-9.
- [13] *Výroba skleněných kamenů Železný Brod* [online]. [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: <https://www.blazekglassbeads.com/sklenene-kameny/>
- [14] *Rokajl* [online]. Desná: Preciosa Ornela, 2020 [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://www.preciosa-ornela.com/cs/rokajl>
- [15] IVANCOVÁ, Darina. *Bižuterní šperk* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-07-2]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/om4vk/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Lefteris JOANIDIS.
- [16] LADÝŘOVÁ, Libuše, Ludmila MAŠATOVÁ a . *Základy technologie skal a sklářských materiálů: Broušení skla* [online]. 3. díl. Karlovy Vary: Vzdělávání pro konkurenceschopnost, 2015 [cit. 2021-7-2]. ISBN CZ.1.07/1.1.00/44.0004. CZ.1.07/1.1.00/44.0004. Dostupné z: <https://supskv.cz/index.php/dokumenty/ucebnice-pro-sklare/>

- [17] 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. In: *Sbírka zákonů 2015*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2015, ročník 2015, částka 166, 401/2015.
- [18] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4.
- [19] *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BAT) ve sklářském průmyslu: Směrnice o průmyslových emisích 2010/75/EU* [online]. Španělsko: European IPPC Bureau, 2012 [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2017/1/BREF_Sklo_final.pdf
- [20] Wastewater characteristics. , Water Environment Federation. *Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal, WEF Manual of Practice No. FD-3* [online]. 3rd edition. WEF, 2008, s. 130 [cit. 2021-7-2]. ISBN 978-1-5231-3407-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012G22F9/industrial-wastewater/wastewater-characteristics>
- [21] *Provozní řád pro obsluhu čistírny odpadních vod DUKLA: Preciosa a.s., závod 03 Sklářská 1, Liberec*. Liberec, 2009.
- [22] NG, Wun Jern. *Industrial wastewater treatment*. London: Imperial College Press ;, c2006. ISBN 1-86094-664-X.
- [23] DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER. *Čištění odpadních vod*. Vydání druhé (dotisk 2011). Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 80-7080-316-9.
- [24] Gravity Separation. , Water Environment Federation. *Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal, WEF Manual of Practice No. FD-3* [online]. 3rd edition. WEF, 2008, s. 264-269 [cit. 2021-8-4]. ISBN 978-1-5231-3407-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012G2641/industrial-wastewater/grit-removal>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Logo společnosti [9].....	3
Obr. 2 – Skleněná zátka Vinolok [10]	3
Obr. 3 – Ukázka vyráběných křišťálových komponent [11]	4
Obr. 4 – Schéma čištění OV v podniku Preciosa	14
Obr. 5 – Schéma linky ČOV.....	27

Seznam tabulek

Tab. 1 – Emisní standarty: přípustné hodnoty začištění pro odpadní vody vypouštěné z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví ([19], tabulka vlastní)	9
Tab. 2 – Přehled nejčastěji užívaných metod čištění odpadních vod ve sklářském průmyslu ([21], tabulka vlastní)	10
Tab. 3 - Přibližné hodnoty přítoku a parametrů brusných vod na vstupu do ČOV ([6], tabulka vlastní)	11
Tab. 4 - Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách ([13], tabulka vlastní)	12
Tab. 5 – Přítok a přibližné parametry leštících vod na vstupu do ČOV ([6], tabulka vlastní)	13
Tab. 6 – Parametry lapolu ([6], tabulka vlastní).....	18
Tab. 7 – Parametry sběrače oleje Bimbo ([6], tabulka vlastní)	18
Tab. 8 – Parametry flokulační nádrže s míchadlem MVA ([6], tabulka vlastní)	19
Tab. 9 – Parametry čířiče DUKLA a jeho odkalování ([6], tabulka vlastní)	20
Tab. 10 – Parametry filtrů DF 2000 a filtračního lože ([6], tabulka vlastní)	20
Tab. 11 – Parametry pracího čerpadla META 31 ([6], tabulka vlastní).....	21
Tab. 12 – Přehled používaných biocidů ([6], tabulka vlastní)	22
Tab. 13 – Parametry kalolisu KF 1000/2 ([6], tabulka vlastní).....	23
Tab. 14 – Parametry kalolisu KM 800/50	24
Tab. 15 – Parametry vstupní vody ČOV2 BIO ([6], tabulka vlastní).....	24
Tab. 16 – Parametry výstupních vody z ČOV ([6], tabulka vlastní).....	25
Tab. 17 – Parametry výstupních vod z ČOV2 dle rozhodnutí Vodoprávního úřadu ([6], tabulka vlastní)	26
Tab. 18 – Definice parametrů vstupní brusné OV.....	28
Tab. 19 – Definice parametrů čerpané vody z rybníku	29
Tab. 20 – Bilance lapolu	30
Tab. 21 - Dávkování koagulantu a polyflokulantů.....	31
Tab. 22 - Vstup do flokulační nádrže	32
Tab. 23 – Přiváděné chemikálie	33
Tab. 24 – Výstupní proud z flokulační nádrže	34
Tab. 25 – Síran železitý – množství v kalu a ve vodě	34
Tab. 26 – Bilancování čířiče	35
Tab. 27 – Hmotnostní tok kalu z čířiče	36
Tab. 28 – Bilance pískových filtrů	37
Tab. 29 – Množství kalů z PF	38
Tab. 30 – Bilance betonové jímky – výstupní proud jdoucí na ČOV2	39
Tab. 31 – Výstupní proud RC vody	40
Tab. 32 – bilance ČOV2.....	41
Tab. 33 – Množství kalu vzniklého na ČOV2.....	42
Tab. 34 – Bilance pískových filtrů – voda z rybníku	43
Tab. 35 – Voda z rybníku – množství kalů po filtraci.....	44
Tab. 36 – Směšování – vstupní proudy	45
Tab. 37 – Směšování – výstupní proudy	46
Tab. 38 – Definice vstupních leštících vod	47
Tab. 39 – Neutralizace kyselin – vstupní proudy.....	48
Tab. 40 – Neutralizace kyselin – výstupní proud.....	49
Tab. 41 – Kaly po brusírenských OV.....	50
Tab. 42 – Výstupní kaly z brusíren	51
Tab. 43 – Bilance kalojemu 1.....	52

Tab. 44 – Kalojem 2.....	53
Tab. 45 – Bilance kalojemu 3.....	54
Tab. 46 – Kalolis – parametry vstupního toku	55
Tab. 47 – Kalolis – výstupní toky	56
Tab. 48 – Porovnání vypočtených a reálných hodnot - ČIŘIČ	57
Tab. 49 – Porovnání vypočtených, naměřených a povolených hodnot – ČOV2	58
Tab. 50 – Porovnání vypočtených a reálných hodnot – Vratná voda.....	59

