

**České vysoké učení technické v Praze**

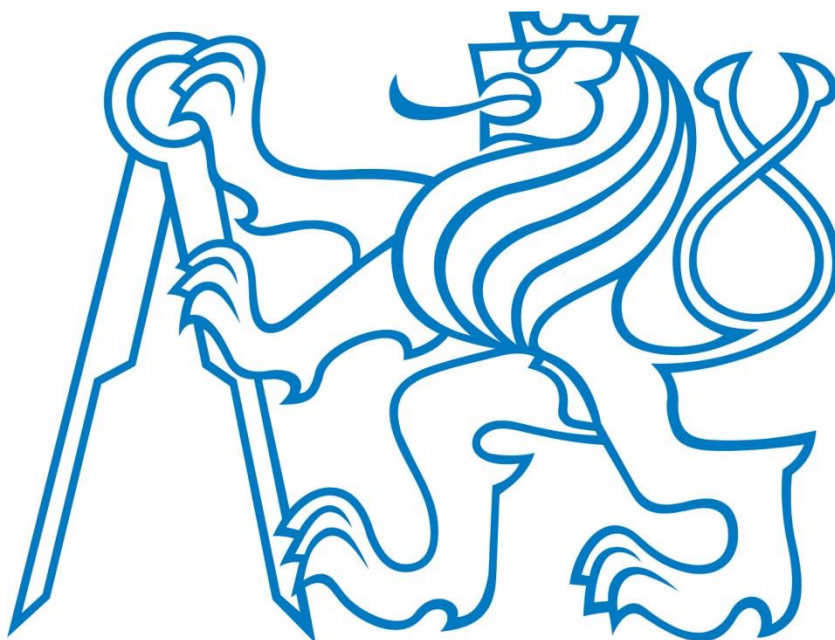
---

**Fakulta strojní**

12133 – Ústav strojírenské technologie

## Bakalářská práce

Likvidace odpadních vod z průmyslových procesů



Vysoká škola: ČVUT v Praze  
Ústav strojírenské technologie

Fakulta: strojní  
Akademický rok: 2014/2015

## **Zadání Bakalářské práce**

pro Jana Skupníka

Program: Teoretický základ ze strojního inženýrství

Název tématu: Likvidace odpadních vod z průmyslových procesů

### **Zásady pro vypracování:**

1. Rozbor problematiky čištění odpadních vod
2. Návrh technologie čištění vod z procesů elektrochemického pokovení
3. Technicko, ekonomické zhodnocení

## *Poděkování*

*Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jaroslavu Červenému za odbornou pomoc i péči při vypracování a vedení mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi panu Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při navrhování čistící stanice pro odpadní vody z galvanického průmyslu.*

## **Abstrakt**

Bakalářská práce popisuje druhy odpadních vod se zaměřením na vody z elektrochemických pokovovacích procesů. V práci jsou uvedeny způsoby čištění a je věnována pozornost moderním progresivním metodám. V praktické části této práce je uveden návrh odstavné čistící stanice.

## **Klíčová slova:**

Odpadní vody, neutralizace, povrchové úpravy

## **Abstract**

The bachelor's thesis describes types of wastewater with focus of wastewater from electrochemical galvanizing processes. In thesis are presented various ways of purification and it is taken great account of modern progressive methods. In practical part is located suggestion of end of pipe purification plant.

## **Key words:**

Wastewater, neutralization, metalizing processes

# Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod.....  | 10 |
| 2     | Odpadní vody.....  | 11 |
| 2.1   | Rozdělení odpadních vod.....                               | 12 |
| 2.1.1 | Splaškové odpadní vody.....                                | 12 |
| 2.1.2 | Srážkové odpadní vody.....                                 | 12 |
| 2.1.3 | Balastní odpadní vody.....                                 | 12 |
| 2.2   | Odpadní vody v průmyslu.....                               | 13 |
| 2.2.1 | Chemický průmysl.....                                      | 13 |
| 2.2.2 | Energetický průmysl.....                                   | 13 |
| 2.2.3 | Potravinářský průmysl.....                                 | 14 |
| 2.2.4 | Papírnický průmysl.....                                    | 15 |
| 2.2.5 | Ražinérie.....   | 15 |
| 2.2.6 | Koksovny.....  | 15 |
| 2.2.7 | Strojní průmysl.....                                       | 16 |
| 2.2.8 | Zemědělství.....   | 16 |
| 2.3   | Odpadní vody z galvanoven rozdělené podle koncentrace..... | 17 |
| 2.3.1 | Koncentrované odpadní vody.....                            | 17 |
| 2.3.2 | Polokoncentráty.....                                       | 17 |
| 2.3.3 | Oplachové odpadní vody.....                                | 17 |
| 2.4   | Složení odpadních vod z procesů povrchových úprav.....     | 19 |
| 2.4.1 | Alkalické a kyselé odpadní vody.....                       | 19 |
| 2.4.2 | Fluorové odpadní vody.....                                 | 19 |
| 2.4.3 | Kyanidové odpadní vody.....                                | 19 |
| 2.4.4 | Chromové odpadní vody.....                                 | 19 |
| 2.4.5 | Odpadní vody s obsahem dusitanů.....                       | 19 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.4.6 | Odpadní vody s obsahem olejů a tuků.....           | 20 |
| 2.4.7 | Mechanicky znečištěné odpadní vody.....            | 20 |
| 2.4.8 | Odpadní vody z povlakování drahými kovy .....      | 20 |
| 3     | Metody čištění odpadních vod .....                 | 20 |
| 3.1   | Filtrace .....                                     | 20 |
| 3.1.1 | Filtrace zrnitým materiálem .....                  | 21 |
| 3.1.2 | Filtrace pomocí filtrační přepážky .....           | 22 |
| 3.1.3 | Pásové filtry.....                                 | 24 |
| 3.1.4 | Náplavová filtrace .....                           | 24 |
| 3.1.5 | Rukávový filtr.....                                | 25 |
| 3.1.6 | Svíčkový filtr.....                                | 25 |
| 3.1.7 | Reverzní osmóza .....                              | 26 |
| 3.2   | Flotace.....                                       | 27 |
| 3.2.1 | Tlaková flotace .....                              | 28 |
| 3.2.2 | Elektroflotace .....                               | 28 |
| 3.3   | Skimmer.....                                       | 30 |
| 3.4   | Usazovák.....                                      | 30 |
| 3.4.1 | Gravitační usazovák .....                          | 30 |
| 3.4.2 | Lamelový usazovák.....                             | 31 |
| 3.4.3 | Hydrocyklón.....                                   | 31 |
| 3.5   | Neutralizace .....                                 | 32 |
| 3.5.1 | Vypouštěním odpadních vod do vodního toku.....     | 32 |
| 3.5.2 | Smísením kyselých a zásaditých odpadních vod ..... | 32 |
| 3.5.3 | Dodáním dalších chemikálií.....                    | 33 |
| 3.6   | Srážení.....                                       | 35 |
| 3.7   | Chemická oxidace a redukce .....                   | 36 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4     | Příklady likvidace odpadních vod z galvanovny.....               | 36 |
| 4.1   | Odpadní vody z moření.....                                       | 37 |
| 4.2   | Získávání původních surovin z oplachů .....                      | 39 |
| 4.3   | Chromové odpadní vody.....                                       | 41 |
| 4.4   | Likvidace Kyanidových odpadních vod .....                        | 43 |
| 5     | Systémy čištění odpadních vod .....                              | 45 |
| 5.1   | Odstavný způsob čištění .....                                    | 45 |
| 5.2   | Průtočný způsob čištění .....                                    | 46 |
| 5.3   | Přerušovaný způsob čištění.....                                  | 47 |
| 5.4   | Přímý způsob čištění .....                                       | 47 |
| 6     | Návrh technologie čištění při daných bilančních podmínkách ..... | 48 |
| 6.1   | Zinkování .....  | 48 |
| 6.2   | Niklování.....   | 49 |
| 6.3   | Celková produkce odpadních vod.....                              | 50 |
| 6.4   | Přípravky z galvanizačních procesů.....                          | 51 |
| 6.4.1 | Pragokor Zn 25 K .....   | 51 |
| 6.4.2 | Pragolod 68 S .....  | 51 |
| 6.4.3 | Pragopal Zn 310 .....  | 51 |
| 6.4.4 | Pragopal Ni 1051 .....   | 51 |
| 6.4.5 | Simple green crystal .....                                       | 52 |
| 6.4.6 | Simple green extreme aviation .....                              | 52 |
| 6.5   | Návrh schématu odstavné čistící stanice.....                     | 53 |
| 6.6   | Použité součásti.....  | 55 |
| 6.6.1 | Skimmer - Oil Grabber® Model 8 .....                             | 55 |
| 6.6.2 | Hladinoměř ultrazvukový MQU 99-C .....                           | 55 |
| 6.6.3 | Plovákový hladinoměř TMN300 TB INOX.....                         | 56 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 6.6.4  | Membránový elektrický ventil vodní MVPE 4040.02 .....  | 56 |
| 6.6.5  | Membránové čerpadlo Duodos 20 PP .....                 | 57 |
| 6.6.6  | Samonasávací čerpadlo EBARA JEXM 80 .....              | 57 |
| 6.6.7  | Regulátor DULCOMETER® diaLog DACa .....                | 58 |
| 6.6.8  | Sonda pH SPH-1-S 1,5m .....                            | 58 |
| 6.6.9  | Vertikální míchadlo VRP3051S70 .....                   | 59 |
| 6.6.10 | Vertikální míchadlo VRG00211S75 .....                  | 59 |
| 6.6.11 | Nádoba na kal – typ 5001 .....                         | 60 |
| 6.6.12 | Komorový kalolis K400 .....                            | 60 |
| 6.6.13 | Lamelový usazovák typ LB 1 .....                       | 61 |
| 6.6.14 | Ozonizátor OZVa7 .....                                 | 61 |
| 6.6.15 | Potrubní systém .....                                  | 61 |
| 6.6.16 | Elektroflotátor EC-5000 .....                          | 62 |
| 6.6.17 | Jednotka reverzní osmózy ecoPRO100 .....               | 62 |
| 6.6.18 | Havarijní nádoba .....                                 | 62 |
| 6.7    | Provoz čistící stanice .....                           | 63 |
| 6.7.1  | Provoz čistící stanice .....                           | 63 |
| 6.7.2  | Pracovní postup odstavné čistící stanice .....         | 64 |
| 6.7.3  | Havárie .....  | 68 |
| 6.7.4  | Povinnosti při havárii .....                           | 68 |
| 7      | Ekonomická charakteristika .....                       | 69 |
| 7.1.1  | Rozpočet na dopravu .....                              | 70 |
| 7.1.2  | Rozpočet na montáž čistící stanice .....               | 70 |
| 7.1.3  | Rozpočet na elektrické ovládání čistící stanice .....  | 70 |
| 7.1.4  | Rozpočet na stavební úpravy, nátěry a sanaci .....     | 70 |
| 7.1.5  | Rozpočet na vypracování projektu čistící stanice ..... | 71 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.1.6 | Rozpočet na nákup činidel a jejich nádob .....    | 71 |
| 7.1.7 | Celkové náklady na odstavnou čisticí stanici..... | 71 |
| 8     | Závěr.....  | 72 |
| 9     | Seznam použitých symbolů a znaků .....            | 73 |
| 10    | Citovaná literatura .....                         | 77 |

# 1 Úvod

S rozvojem lidské společnosti roste množství vyprodukovaných odpadních vod. Produkuje se takové množství a obsahuje takové sloučeniny či prvky, se kterými by si příroda sama již nedokázala za pomoci pouze svých samočisticích vlastností, aniž by na tom výrazně neutrpěla. Právě proto se lidstvo musí snažit jak o efektivnější využívání vody, tak i o účinnější metody čištění.

Příroda na určitém místě je charakteristická podmínkami, které na ni panují a změnami, jež ji přetvářejí. Pokud jsou určité změny příliš razantní a překročí určitou hranici, tak dojde k razantnímu přetvoření, které má dopad v konečném důsledku i na člověka. V případě vypouštěných odpadních vod situace může vypadat tak, že vypouštěná závadná sloučenina putuje do řeky, kde se dostává do těla vodních organismů. Ty jsou loveny ptáky, kteří je stráví a roznesou do okolí, jako jsou rybníky. V nich jsou následně loveny ryby obsahující závadné látky, které se jako pokrm dostanou do lidského těla.

Abychom byli co nejmenší zátěží pro přírodu, jejíž jsme také součástí, měli bychom se řídit hierarchií odpadů vyznačenou na obr. 1.



Obr. 1 – Hierarchie odpadů

Aby nevznikalo příliš velké množství odpadů a odpadních vod je potřeba nejprve se zamyslet nad tím, zda používat například agresivní technologii výroby vůči životnímu prostředí. Dále pak by se zákazník měl zamyslet, zda podporovat strategii výroby produktů s horší dobou životnosti, které mají za následek častější obměňování produktů, což je dobré pro ekonomiku, avšak pro životní prostředí nikoliv (jedná se o obtížně rozložitelné produkty).

Pozitivní zprávou je, že stav životního prostředí se v České republice zlepšuje z důvodu zpřísnování norem, vývoje nových čistírenských technologií a vědeckých experimentů v oblasti ekologie.

## 2 Odpadní vody

Obecná definice uvádí odpadní vodu jako vodu, u které byly její vlastnosti pozměněny lidskou činností, Navíc se zde řadí vody z atmosférických srážek. Jejich složení se uvádí jako 19,3 % domovních, 71,9 % průmyslových a zbylé procenta jako ostatní. [1]

Historie odpadních vod sahá až do starověku, kde likvidace splašků byla na vysoké úrovni. S příchodem středověku nastal úpadek v úrovni jejich likvidace a to především ve střední Evropě, kde se vypouštěly do povrchových stok, což mělo za následek vznik spousty epidemií. Teprve až v 18. století započala výstavba kanalizace, která vyřešila spoustu problémů.

Když se přesuneme do přítomnosti a porovnáme nynější odpadní vody z domácností s těmi dřívějšími, uvidíme spoustu odlišností. Dříve odpadní vody, jaké máme nyní, naši předci ani neměli. Jako toaleta sloužil suchý záchod, jehož obsah byl využíván jako hnojivo a voda z mytí nádobí a osobní hygieny se využívala na podlévání zahrady. Rovněž i podoba průmyslu v dobách minulých značně odlišovala od té dnešní.

Se zvyšováním lidské úrovně začalo být potřeba profesionálního a vědeckého řešení likvidace odpadních vod. Ve velké míře se na tom podílel průmysl, kde vznikalo velké množství odpadů s velkým množstvím rozpuštěných solí, toxických látek, pevných částic, rozpouštědel atd. V případě lidských obydlí se na tom podílely vody, které se vyznačovaly vysokým naředěním, jejich nejčastější původ je ve sprchování a splachovacích záchodech. [2] [21] [11]

## **2.1 Rozdělení odpadních vod**

### **2.1.1 Splaškové odpadní vody**

Jedná se vody z domácností, restaurací, nemocnic, škol, průmyslu (v případě sociálních zařízení) a jiných kulturních zařízení. Nejčastěji vznikají při udržování osobní hygieny, užívání toalety, přípravě jídel, mytí podlahy, praní apod. Tyto vody mají charakteristické vlastnosti jako je charakteristický zápach, bíložlutá zbarvení a pH je mírně zásadité. Dále mívají 40 % neorganického a 60 % organického znečištění. Průměrné množství vyprodukovaných splaškových vod na den a osobu činí 150 litrů. [1][12]

Poměrně zásadním problémem v dnešní době, je obsah léčiv v odpadních vodách, které nejsou čištěny až na hloubkovou úroveň. Jejich množství není již zanedbatelné a má prokazatelný vliv na vodní organismy. Příkladem může být snižování populace ryb v důsledku působení antikoncepčních přípravků ve vodním toku, která má negativní vliv na plodnost rybích samic. [13]

### **2.1.2 Srážkové odpadní vody**

Jedná se o dešťovou vodu, která stéká po povrchu, jako jsou ulice, střechy, trávníky, pole atd. Obsahují spoustu anorganických, organických a nerozpustných látek. Složení těchto vod závisí na plynech i částicích nacházejících se v atmosféře, dále pak na frekvenci, délce srážek a sanitárním stavu daného místa, kde srážky padají. Nejvíce těžkostí přináší dešťová voda spadlá na území měst a silnic, jejíž složení může být obohaceno o ropné látky. [14][3]

### **2.1.3 Balastní odpadní vody**

Obecná definice je uvádí jako nežádoucí přítok, který vtéká do stokové sítě. Může jít o nárazové situace (zvýšení hladiny spodních vod, voda z havárie vodovodu atd.) nebo o situace statické (vnik vody způsobený netěsností stokové sítě). Přítomnost balastních vod není žádoucí, jelikož ředí a ochlazuje odpadní vody, což má negativní vliv na proces čištění. Preventivně se proti vzniku balastních vod provádí při budování kanalizační sítě normované zkoušky těsností a teprve poté jsou kanalizační úseky zasypány. [14][3]

## 2.2 Odpadní vody v průmyslu

### 2.2.1 Chemický průmysl

Tento druh průmyslu se překrývá i s ostatními průmysly a má velké množství druhů odpadních vod často s proměnlivým složením. Odpadní vody z chemického průmyslu jsou jedny z nejsložitěji čistitelných vod. Výrobní chemického průmyslu lze rozdělit podle vyráběných produktů na anorganické a organické.

Ve výrobnách anorganických látek vznikají odpadní vody s obsahem nerozpustných látek, kyselin, rozpuštěných anorganických solí s vysokými koncentracemi, kovy (Ba, Hg, Zn, Pb, Cu) a rozpuštěné látky jako amoniak, chlór či hydrazin.

Ve výrobnách organických látek se vytváří odpadní vody, v nichž se nachází jak anorganické tak i organické látky s obsahem kovů, solí a kyselin. Tyto znečišťující látky pocházejí z procesů oddělování a čištění chemikálií, dále z chlazení či omývání aparatur.

Konkrétním příkladem zdroje odpadních vod je kyselina sírová, která je nejvíce vyráběným produktem chemického průmyslu. Největší množství odpadních vod při její výrobě pochází z procesu chlazení. Dále jsou to i vody z čištění výrobního zařízení a prostor. Velkou mírou je množství odpadních vod ovlivňováno kvalitou utěsnění aparatury, stupněm uzavření oběhu, popřípadě zda se chlazení provádí vzduchem. [3][7][4]

### 2.2.2 Energetický průmysl

V elektrárnách a teplárnách vznikají 2 typy odpadních vod. Do první se patří vody z přímé produkce, kam se řadí vody z chlazení, hospodaření s palivy, hydraulického odstraňování a přepravě popela (přpravou popela se myslí jeho skrápění, aby se nerozprášil následkem větru při přepravě). V druhé skupině se nachází upravované vody, kde se nachází vody z čištění filtrů, regenerace iontů (kationty a anionty), chemického čištění kotlů a odsolování oběhů i filtrů.

Každý z těchto procesů vytváří odpadní vody s odlišnými parametry, vyjmenovány jsou tedy nejčastější:

- Vody z chladicího oběhu se vyznačují celkově malým znečištěním, avšak vyššími teplotními hodnotami.
- Vody z odstraňování popela jsou znečištěny především nerozpustnými látkami, chloridy, sírany a mají zásadité pH.

- Vody z čištění filtrů především obsahují nerozpustnou složkou a pH má mírně zásaditou hodnotu.
- Voda z regenerací kationtů je má ze všech skupin největší znečištění sírany a vyznačuje se vysokou kyselostí.
- Voda z regenerace aniontů má vysoké hodnoty síranů a chloridů, pH je vysoce zásadité.

Odlišným případem jsou vody z jaderné elektrárny. Výše vyjmenované odpadní vody dostávají se do styku s uhlím nebo popelem oproti jaderné elektrárně odpadají a na místo toho vznikají vody s vyšší radioaktivitou. V České republice se používají reaktory typu VVER, které mají tři okruhy. Primární a sekundární jsou uzavřené a teprve až terciální (chladicí) je otevřený. Voda z terciálního okruhu získává nejmenší množství radiace oproti prvním dvěma okruhům a před odtokem z elektrárny je naředěna. [3][4][16][15]

### **2.2.3 Potravinářský průmysl**

#### **2.2.3.1 Cukrovary**

Odpadní vody z cukrovarů vznikají při čištění cukrové řepy, chlazení, kondenzaci, čištění výrobní plochy a promývání přístrojů výroby. Na produkci cukru z cukrové řepy se používá vápenné mléko, díky čemuž voda při promývání získává zásaditý pH charakter. Vzniklé odpadní vody mají mimo jiné mechanické a organické znečištění, které je zde typické zvýšenými hodnotami BSK<sub>5</sub>, CKSK<sub>Cr</sub>, N<sub>celk</sub>, P<sub>celk</sub>, ionty NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. [4]

#### **2.2.3.2 Mlékárny**

Odpadní vody z mléčného průmyslu vznikají především z mytí soustavy trubek, které jsou několikrát denně propláchnuty proudem roztoku hydroxidu sodného, kyseliny dusičné, desinfekce a čisté vody. Jsou tak odstraněny anorganické usazeniny, bílkoviny a tuky. Vznikají pak vody charakteristické zvýšeným množstvím BSK<sub>5</sub>, CKSK<sub>Cr</sub>, N<sub>celk</sub>, P<sub>celk</sub>, sraženin, tuků, bílkovin a proměnlivým pH faktorem. [3]

#### **2.2.3.3 Masokombináty**

Zdrojem odpadních vod jsou exkrementy a moč vznikající při přechovávání zvířat před porážkou, dále pak při porážce i zpracování, kde vznikají omývací vody znečištěné krví, obsahem vnitřností, štětín či peří. Rovněž chladírny i kotelny v masokombinátu jsou zdrojem znečištěných vod. [3]

#### **2.2.3.4 Podniky zpracující ryby**

Odpadní vody zde vznikají při rozmrazování a mytí ryb, opracovávání masa, konečného zpracovávání, čímž je myšleno solení, marinování aj. Oproti masokombinátu se především liší ve vyšším množství chloridů. [3]

#### **2.2.3.5 Pivovary**

Vznik odpadních vod je zde podmíněn výrobními procesy, kde největší mírou se na tom podílí vody z mytí celkové soustavy pivovaru, které tvoří až 75 % celkové spotřeby vody. [3]

#### **2.2.3.6 Výroby tvrdého alkoholu**

Tvrdý alkohol se vyrábí především z brambor, méně pak z ovoce, bylin, ořechu atd. Odpadní vody pak vznikají při mytí těchto surovin a chlazení (pokud není zajištěno chlazení vzduchem). [3]

### **2.2.4 Papírnický průmysl**

Zdroji pro výrobu celulózové hmoty je dřevo, hadrovina či odpadový papír. Jsou dvě metody výroby. První metoda, kde se využívá hydrogensířičitan (nejčastěji vápenatý), ve kterém je surovina rozpouštěna. Tato metoda je typická zvýšeným množstvím obsahu  $CHSK_{Cr}$ , fosforečnanů a  $N_{celk}$  v odpadních vodách. Druhá metoda využívá pro výrobu síranu, sulfanu sodného a hydroxidu. Jde o starší metodu, která je méně šetrná k životnímu prostředí. [3]

### **2.2.5 Rafinérie**

Odpadní vody z rafinérií se dělí do několika skupin dle míry znečištění. Poměrně málo znečištěné vody pocházejí z chlazení a kondenzace. Do další skupiny patří vody výroby, které jsou silně znečištěny katalyzátory, ropou, jejími meziprodukty a produkty. Spadají sem i dešťové vody z území výroby. Do poslední nejznečištěnější skupiny patří vody z procesu elektrorafinace. [3]

### **2.2.6 Koksovny**

Při koksování vznikají odpadní vody při těchto operacích: přímé chlazení rozžhaveného koksu, koksového plynu, převádění sirovodíku na kyselinu sírovou, kondenzace benzolu aj. Tyto operace pak zapříčiňují znečištění o obsahu síranů, sířičitanů, thiosíranů, chloridů, olejů, fenolů, kyanatanů, thiokyanatanů, dehtu a amonných solí. [3] [16]

## **2.2.7 Strojní průmysl**

### **2.2.7.1 Slévárny**

Zdroji slévárenských odpadních vod jsou především procesy čištění forem, při nichž je vodou odstraňován písek, hlína, pojiva, rostlinné oleje, uhlík či kov z povrchu formy. Vodou se čistí i plyny vyvíjené při odlévání. Odpadní vody ze sléváren jsou typické zvýšenou teplotou, silně alkalickým pH a mechanickými nečistotami. [3]

### **2.2.7.2 Hutě**

Při hutních procesech vznikají znečištěné vody z hašení strusky, chlazení vysokých pecí, ze kterých vody odtékají poměrně zasolené. Mokrým čištěním vysokopecních plynů vznikají vody znečištěné popelem, sírany, fenoly, kyanidy a čpavkem. [3]

### **2.2.7.3 Válcovny**

Odpadní vody z válcoven pochází z chlazení mazacích olejů při tváření výkovku, dále pak z chlazení válcovacích tratí, atd. Tyto vody obsahují mechanické znečištění okujemi a znečištění maznými oleji. [3]

### **2.2.7.4 Procesy povrchových úprav**

Odpadní vody se zde velmi liší ve složení dle zvoleného procesu povrchové úpravy. Nejvíce toxické látky tvoří zde kyanidy a o něco méně jedovaté látky jsou chromany, dusitany, aj. Vystupují zde i mechanicky znečištěné vody například z procesů omílání a vody s obsahem olejů z procesů odmašťování. [3]

## **2.2.8 Zemědělství**

V závislosti na typu zemědělství se liší i odpadní vody. Jako hodně nebezpečná pro vodní prostředí je považována kejda. Její problém spočívá v obsahu, kde se nachází až tisíce krát více neorganických a organických látek oproti splaškovým vodám. Dalšími problémovými látkami jsou pesticidy, o něco méně pak fosforečnany a dusičnany.

Tyto vody se pak likvidují v místní ČOV. Ovšem v případě průsaku, nedbalosti či z jiného důvodu se dostanou například do stojatých vod, tak důsledky mohou být závažné. Fosforečnany a dusičnany způsobují nadměrný růst vodních řas, které se rychle množí a umírají. Velké množství uhynulých řas poté padá na dno, kde probíhá proces jejich rozkladu, což je proces velmi náročný na kyslík, který následně chybí rybám, po čemž následuje jejich úhyn. Mimoto velké množství vodních řas způsobuje zhoršení samočisticích



schopností vody. Rovněž i kejda ve velkém množství je schopna ve stojaté vodě způsobit zhoršení samočisticích schopností. U některých pesticidů je problém v jejich toxických, mutagenních či tetratogenních vlastnostech. V přírodě se často rozkládají pomalu a rozložený produkt může být toxičtější než pesticid samotný. [20] [42] [43]

## **2.3 Odpadní vody z galvanoven rozdělené podle koncentrace**

### **2.3.1 Koncentrované odpadní vody**

Obsah odpadních látek se zde přibližně pohybuje nad  $20 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Zdrojem jsou vody z kompletního vypouštění chemických, galvanických lázní, úsporných oplachů, měničů iontů, a také lázní na stahování vadných povlaků. [7]

### **2.3.2 Polokoncentráty**

Obsah odpadních látek se zde přibližně pohybuje v rozmezí  $0,5\text{-}20 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Řadí se zde vyčerpané dekapovací lázně, pasivační roztoky, v určitých případech i řádně udržované úsporné oplachy, první oplachy z několikastupňových lázní, vody z vymývání ionexů po regeneraci apod. [7]

### **2.3.3 Oplachové odpadní vody**

Oplachové vody tvoří hlavní část odpadních vod z procesů povrchových úprav kovů. Na jejich čistotě značně závisí kvalita povrchu kovů. Zanedbáním čistoty oplachových vod mohou vznikat skvrny, póry atd. Důležitými parametry oplachových lázní je objem, čistota vody, rychlost průtoku (kromě neprůtočných oplachů), počet oplachových lázní atd. Tyto vyjmenované parametry ovlivňují kvalitu, prostorovou, časovou i finanční náročnost. [15][17]

#### **2.3.3.1 Neprůtočné oplachové lázně**

V sérii oplachových lázní bývají zařazeny jako první, což ztlačuje znečištění ostatních oplachů a jsou tedy brány jako úsporné oplachy.

Po dosažení maximálního limitu znečištění se buď vypustí anebo dosytí na úroveň elektrolytu v lázni, do které se následně přidávají, čímž se nahradí vnesené nebo odpařené množství. [17]

### **2.3.3.2 Kaskádové oplachové lázně**

Tvoří ve většině případů soustavu tří a více za sebou jdoucích oplachů. V první oplachové lázni by koncentrace neměla přesáhnout 40 % a u poslední 5 % koncentrace pokovovací lázně.

Výhoda tohoto oplachu spočívá v tom, že s každou následující oplachovou lázní je nižší koncentrace elektrolytu i viskozity. Nevýhodou je časová a prostorová náročnost kaskádového oplachu. [17]

### **2.3.3.3 Protiproudé oplachové lázně**

Do lázně proudí stálý přítok čisté vody, což zajišťuje, že se nezvyšuje koncentrace tak, jak tomu je u neprůtočného oplachu. Přítok je ideálně veden tak, aby koncentrace byla ve všech místech lázně stejná. Odtok by měl být umístěn dole, jelikož znečištěná voda má zde větší hustotu a klesá tak ke dnu. Nejčastěji se v provozech vyskytuje tento druh oplachu ve dvou stupních. [17]

### **2.3.3.4 Sprchové oplachy**

Mívají mnohem menší spotřebu vody než ostatní druhy oplachů. Nacházejí především využití při oplachu vysoce viskózních elektrolytů, ale naopak nejsou vhodné pro dutá tělesa. Sprchový oplach může být zahrnut ke kaskádovému oplachu, kde znatelně sníží spotřebu vody. [17]

## 2.4 Složení odpadních vod z procesů povrchových úprav

### 2.4.1 Alkalické a kyselé odpadní vody

- Alkalické odpadní vody vznikají hlavně při odmašťování a logicky tím pádem bývají znečištěny o vosky, tuky, mechanické nečistoty aj.
- Kyselé odpadní vody vznikají při moření, dekapírování zinkování, niklování atd.

Při vzniku jak alkalických tak i kyselých vod v rámci podniku je vhodné je společně mísit (pokud není nějaké omezení, např.: kyselina a kyanidy), díky čemuž nemusí zapotřebí dodávat tolik neutralizačního činidla, což má také výhodu snížení množství solí. [5]

### 2.4.2 Fluorové odpadní vody

Jedná o odpadní vody, které obsahují kyselinu fluorovodíkovou, kterou se leptá povrch kovů. Kyselina fluorovodíková vytváří fluoridy, které mají ve většině případů velmi vysokou rozpustnost a je potřeba je čistit odděleně od ostatních vod. [7]

### 2.4.3 Kyanidové odpadní vody

Jde o vody se zásaditým charakterem, jsou velmi toxické a na jejich likvidaci je potřeba brát obzvlášť zřetel. Vznikají při procesech zinkování, mědění, zlcení, stříbření a kyanidovém odmašťování. Tyto vody je potřeba likvidovat odděleně od kyselin, jelikož jejich smísením může vzniknout jedovatý kyanovodík, který je za normálních podmínek plynné skupenství. Je ovšem možno likvidovat tyto vody s vodami alkalickými. [7]

### 2.4.4 Chromové odpadní vody

Tyto vody vznikají především při procesech chromování a chromátování, kde se využívá dichromanu draselného, kyseliny chromové či oxidu chromového. Největším problémem těchto vod je obsah šestimocného chrómu, který má toxické účinky a je považován za potenciální karcinogen. V dnešní době je snaha o jeho snižování a nahrazování trojmocným chrómem, který má o dva řády nižší toxicitu. [3][12]

### 2.4.5 Odpadní vody s obsahem dusitanů

Dusitany se používají při popouštění, brunýrování a odmašťování. Likvidace se provádí především na méně toxické dusičnany nebo na dusík v elementární formě. [6]

#### 2.4.6 Odpadní vody s obsahem olejů a tuků

Tyto vody vznikají při odmašťování v odmašťovacích lázních. Jejich množství je ve většině případů tak malé, že se odstraní díky samočisticím účinkům vody anebo smísením s alkalickými roztoky, které na sebe navážou oleje či tuky a následně při neutralizaci vzniknou jednoduše odstranitelné kaly. Pokud jsou hodnoty znečištění větší lze využít na odstranění olejů a tuků z povrchu hladiny odpadní vody zařízení známé jako skimmer. [7]

#### 2.4.7 Mechanicky znečištěné odpadní vody

Nejčastěji tyto vody pochází z procesu omílání. Je zde potřeba nejprve odstranit mechanické nečistoty a teprve poté může nastoupit cesta chemické likvidace odpadních látek této vody. [7]

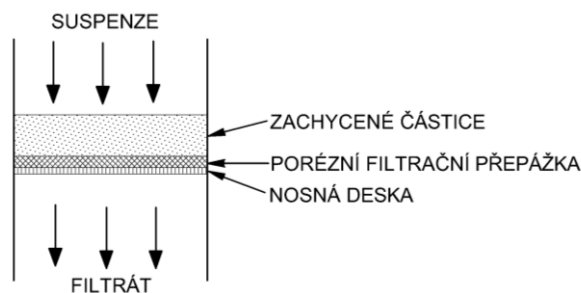
#### 2.4.8 Odpadní vody z povlakování drahými kovy

Jedná se o odpadní vody z povlakování stříbrem, zlatem, rhodiem či jinými drahými kovy. Vzhledem k jejich vysoké ceně, je snaha jich získat zpět z odpadních vod co nejvyšší možné množství. Tyto vody je nutné likvidovat odděleně od ostatních. [7]

### 3 Metody čištění odpadních vod

#### 3.1 Filtrace

Filtrace (obr. 2) je využívána v případě požadavku, kdy je potřeba nízká koncentrace nerozpuštěné látky ve vodě. Především bývá využívána před čistícími procesy, u kterých by zvýšené množství pevných látek mělo negativní vliv na jejich funkci. Jedná se o membránové separační procesy, adsorpci a úpravu vody ionexy. Dále se také využívá po koagulaci, kde je zapotřebí odstranit zbylé vločky. Filtrace se dělí na dvě skupiny podle toho, čím filtrát protéká, a to buď zrnitým materiálem anebo filtrační přepážkou. [9]



Obr. 2 – Schéma filtrace

### **3.1.1 Filtrace zrnitým materiálem**

Používá se především pro nerozpuštěné látky, které mají ve vodě nízkou koncentraci. Voda s obsahem pevných látek se vpouští vrstvou zrnitého materiálu, nejčastěji křemičitými písky, kde zrna ve filtru jsou seřazeny s posloupností od nejhrubších po nejjemnější (1-4 mm). Tento způsob kombinuje několik funkcí dohromady, kam patří cezení, adsorpce a působení elektrostatických sil.

Filtrace se provádí i za pomoci látky, jejíž hustota je menší než hustota vody. Jedná se o částice pěnového polystyrenu, jehož hustota je  $20-70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Z důvodu těchto vlastností má filtr jiné schéma oproti ostatním běžným. Funguje tak, že znečištěná voda se vpouští dolní částí filtru, prochází přes polystyrenové částice, které ji filtrují, projde přes síto zabraňující únik polystyrenových částic a poté vody přetéká přes žlaby v horní části filtru, kde se nachází odtok. Velkou předností této metody je nízká hmotnost zařízení, jednodušší praní filtračního materiálu a možnost využití pro velký rozsah zatížení.

Další možností filtrace i jiných než pevných částic. Provádí se filtrace ropných látek za pomoci perlitu (VAPEX HB), keramzitu, koksu atd. Za použití aktivního uhlí lze navíc provádět adsorpci. Navíc lze filtrací odstraňovat za pomoci ionexů i rozpuštěné látky ve vodě.

Filtraci zrnitým materiálem dělíme na dva způsoby, a to buď za použití atmosférického tlaku anebo za použití vyššího tlaku. [9]

#### **3.1.1.1 Beztlaká filtrace**

Probíhá za atmosférického tlaku. Bývá také nazývána jako otevřený rychlofiltr. Funguje na principu vodního sloupce, kde sílu pro filtraci vytváří hydrostatický tlak vody. Vyznačuje se nízkou filtrační rychlostí a z tohoto důvodu se používá velká filtrační plocha, zajišťující filtraci velkých objemů. Tento systém filtrace bývá nejčastěji zařazen jako poslední stupeň čištění vody. [9]

#### **3.1.1.2 Tlaková filtrace**

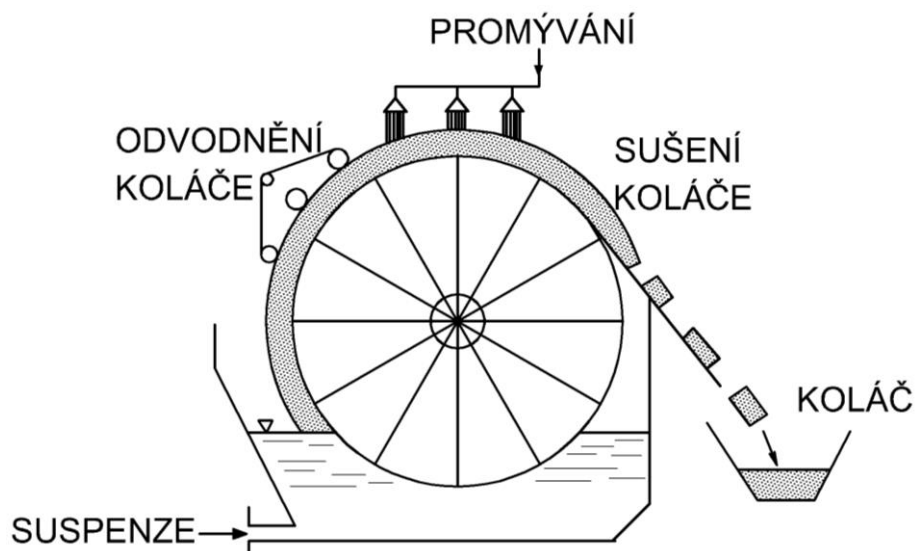
Jde o častěji využívaný typ. Provádí se v uzavřené nádobě, hnací sílu pro filtraci zde vytváří zvýšený tlak (maximálně 0,6 MPa). Rychlost filtrace je vyšší oproti předchozí variantě ( $10 - 20 \text{ m}\cdot\text{hod}^{-1}$ ). Další výhodou oproti minulé je v menších rozměrech filtrační nádoby (průměr 600-3200 mm). [9]

### 3.1.2 Filtrace pomocí filtrační přepážky

Tato metoda se volí pro koncentrované suspenze a kaly. Pevné částice jsou zachycovány filtrační přepážkou a vzniká tzv. filtrační koláč. V ideální situaci je vznikající filtrační koláč naprosto porézní a nebrání tak filtraci dalších vrstev. Platí pravidlo, že s narůstajícími vrstvami roste účinnost filtrace stejně jako u předešlých metod. Rostoucí vrstvy koláče mají ovšem za následek zvýšení odporu, který může překročit hnací sílu a to pak zastaví filtrační proces. Zvýšení odporu lze řešit přidáním látek, které se snáze filtrují (náplavová filtrace) anebo lépe odstraněním filtračního koláče. Velkou předností této metody je výtěžek nerozpustných látek s vysokým obsahem sušiny, kterou lze jakkoli využít či zlikvidovat. [9]

#### 3.1.2.1 Vakuové bubnové filtry

Jsou bubny pokryté filtrační plachátkou a konají otáčivý pohyb v odpadní vodě, v níž jsou částečně ponořeny. Buben je podélně rozdělen na sekce. Do spodních sekcí je tlakovým rozdělovačem vyvíjen podtlak, který odvádí vzduch, filtrát a promývací vodu. Do horních sekcí je přiváděn natlakovaný vzduch, jenž vysušuje a odfukuje kalový koláč, který je ještě odstraňován stěrkou z plachátky. Frekvence otáčení se pohybuje v rozmezí 0,1-3 ot. $\cdot$ min<sup>-1</sup>. Tloušťka koláče závisí na filtrovatelnosti odpadní vody a nachází se mezi 5-40 mm. Schématické znázornění se nachází na obr. 3. [9] [33]



Obr. 3 - Schéma funkce vakuového bubnového filtru [8]

### **3.1.2.2 Rámový kalolis**

Je složen u rámu, přes které jsou přetaženy filtrační plachátky a rýhovaných desek. Odpadní vody s obsahem nerozpuštěných látek se natlakované vpouští kanálem v kalolisu, dále proudí přes plachétku, na níž se filtrují, a poté rýhami na desce stéká přefiltrovaná voda do níže umístěných sběrných kanálků.

Výhodou tohoto zařízení je velká filtrační plocha v poměru na malý pracovní prostor. Nevýhodou je diskontinuální fungování a u neautomatizované varianty tohoto zařízení i pracnost při čištění. Tyto nevýhody lze však vyřešit zařazením rámových kalolisů vedle sebe anebo zařazením nádrže před toto zařízení. Problémy s čištěním má snadně vyřešena zautomatizovaná verze, která na operaci nepotřebuje obsluhu. Vyobrazení tohoto zařízení se nalézá na obr. 4. [9]



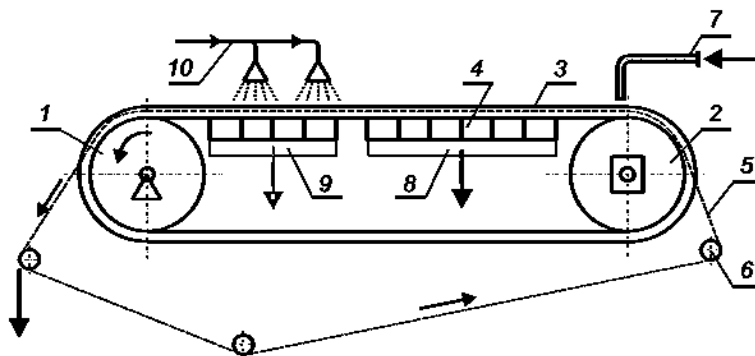
Obr. 4 – Rámový kalolis [25]

### **3.1.2.3 Komorový kalolis**

Oproti rámovému kalolisu se liší absencí rámu, dále každá deska má zaveden vlastní odtok, který ústí do společného odtokového kanálu. V dnešní době se jde o častěji využívanou variantu. [22]

### 3.1.3 Pásové filtry

Znečištěná voda nerozpustnými látkami je unášena pohybující se plachátkou, voda jí částečně protéká a u některých typů je ještě zbytek odvodněn lisováním mezi válci. Vzniklý kal se odstraňuje z pásu stěrkou a provádí se jeho dodatečné dočištění postřikem natlakovanou vodou. Schéma fungování se nalézá na obr. 5. [22]



Obr. 5 – Schéma pásového filtru: 1 – buben, 2 – buben, 3 - gumový pás, 4 – kanálky, 5 - filtrační plachétka, 6 – válec, 7 - přívod suspenze, 8 - odtok filtrátu, 9 - odtok kalu, 10 – postřik [22]

### 3.1.4 Náplavová filtrace

Využívá se pro suspenze, které mají tak velký filtrační odpor, že nelze využít jinou metodu filtrace než tuto. Spočívá v přidávání náplavového materiálu na podkladovou vrstvu z pletiva z drátu či syntetických vláken a umožní tak odstranění vody. Náplavový materiál je postupně přidáván se zvyšující se výškou kalu, aby nedošlo ke ztrátě vlastností náplavové filtrace. Náplavový materiál může být z perlitu, azbestu, dřevěných pilin, buničiny, rozsvivkové zeminy, dále v případě potřeby odfiltrování rozpustných látek se používají ionex a pro odstranění ropných látek či emulzí jsou využívány preparované hlinky. Náplavové filtry se dělí na vakuové, které jsou určeny pro suspenze s nízkou koncentrací a tlakové určené pro vysokou koncentrací. [9]



### 3.1.5 Rukávový filtr

Je filtru (obr. 6) vynikající svou nízkou cenou, jednoduchostí filtračního zařízení a vysokou efektivitou filtrace (nad 98 %). Vyrábí se s účinností filtrace od 1 do 1200 mikronů v závislosti na materiálu a hrubosti. Rukávový filtr může být do určitého stupně i přečišťován.



Obr. 6 – Rukávový filtr [26]

### 3.1.6 Svíčkový filtr

Tento filtr (obr. 7) se oproti rukávovému filtru odlišuje především vyztužením. Svíčkové filtrační zařízení se rozděluje na jednosvíčkové nebo vícesvíčkové. Vyrábí se s rozsahem filtrace 0,2-100 mikronu a dosahuje efektivitu filtrace až 99,98 %. V určitých případech může být svíčkový filtr ze stejného filtračního materiálu jako rukávový.

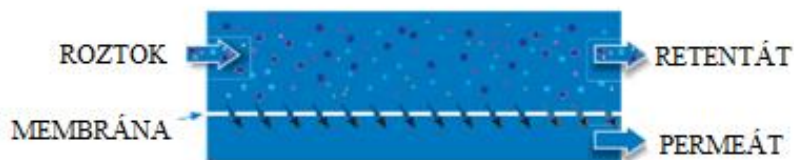


Obr. 7 – Svíčkový filtr [26]

### 3.1.7 Reverzní osmóza

Je metoda membránové filtrace, při níž membránou za podpory tlaku vyššího než osmotický se propouští pouze rozpouštědlo (běžně voda) z nízkomolekulárního roztoku. Před membránou úbytek rozpouštědla způsobuje zvýšení koncentrace soli. Vznikají tedy dvě složky, čistá voda prošlá membránou nazývaná permeát a zahuštěný roztok nazývaný retentát, jehož koncentrace byla navýšena o soli z původního objemu permeátu.

Tato filtrační metoda našla velké uplatnění při odsolování mořské vody. V průmyslu se využívá na filtraci a zahušťování, viz obr. 8. Velkou výhodou je při správně navolených parametrech nízká spotřeba energie, jelikož roztok neprochází fázovou přeměnou, tak jak je tomu například u destilace. [10]



Obr. 8 – Znázornění filtrace membránou

## 3.2 Flotace

Je způsob čištění odpadních vod s obsahem nerozpustných látek, u kterých je hustota blízká hustotě vody. Použití jiných metod bylo neúčinné či velmi pomalé, jako například u sedimentace.

Flotace se provádí přiváděním vzduchu tzv. jemnobublínkové aerace do vody s obsahem nerozpustných látek. Na částice nerozpustných látek se nachytají mikrobublínky, čímž se sníží hustota pod hodnotu hustoty vody a částice díky tomu plavou na hladině.

Bublínky můžeme dodávat probubláváním tzv. mechanickou flotací. Vznikají pak bublínky, jejichž průměr se pohybuje kolem 1 mm. Tento průměr je však potřeba ještě zmenšit, aby flotační komplexy měly dostatečnou stabilitu. To lze zajistit přidáním pěnotvorných látek, tzv. tenzidů anebo ultrazvukovým tříštěním bublinek. [9]

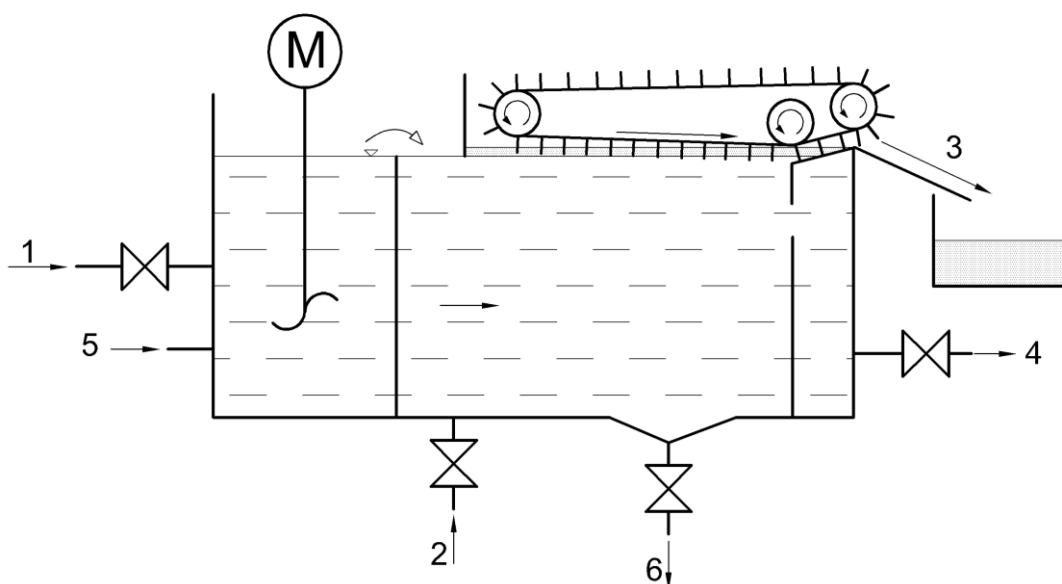
Další způsoby spočívají ve změně podmínek, díky nimž se bublínky vytváří přímo ve vodě. Těmito způsoby jsou:

- **biologická flotace:** spočívá ve vytváření dusíku za pomoci denitrifikace a je využívána v biologických čistírnách na zahušťování přebytečného aktivovaného kalu.
- **chemická flotace:** přidáním určitých chemikálií se chemickou reakcí vytváří plyn
- **vakuová flotace:** provádí se snížením tlaku pod 100 kPa ve flotační jednotce
- **tlaková flotace:** probíhá za pomoci expanze vody nasycené vzduchem, která je natlakována nad 100 kPa
- **elektroflotace:** elektrolýzou vody je vytvářen vodík a kyslík, který nadlehčuje flotační pěnu.

### 3.2.1 Tlaková flotace

U tlakové flotace je všechna nebo část odpadní vody nasycena vzduchem a natlakovaná na 300-600 kPa. Vhání se poté do flotační nádrže, kde vzduch obsažený ve vodě začne expandovat a vytvoří se bublinky o průměru cca 0,1 mm.

Nejpoužívanější systém tlakové flotace probíhá tak, že část vody po flotaci se žene odklonem zpět, kde se natlakovává a sytí vzduchem. Poté se přivádí do přítoku znečištěné vody. Ve flotační komoře vznikají komplexy, které vyplavou na hladinu, stírací zařízení setře z hladiny tyto nečistoty do odpěňovací komory, kde se následně rozkládají. Výhoda stavby toho zařízení je především možnost rychlé změny provozních parametrů a zamezení ucpávání expanzních trysek. Vyobrazení funkce flotace je znázorněno na obr. 9. [9] [22]

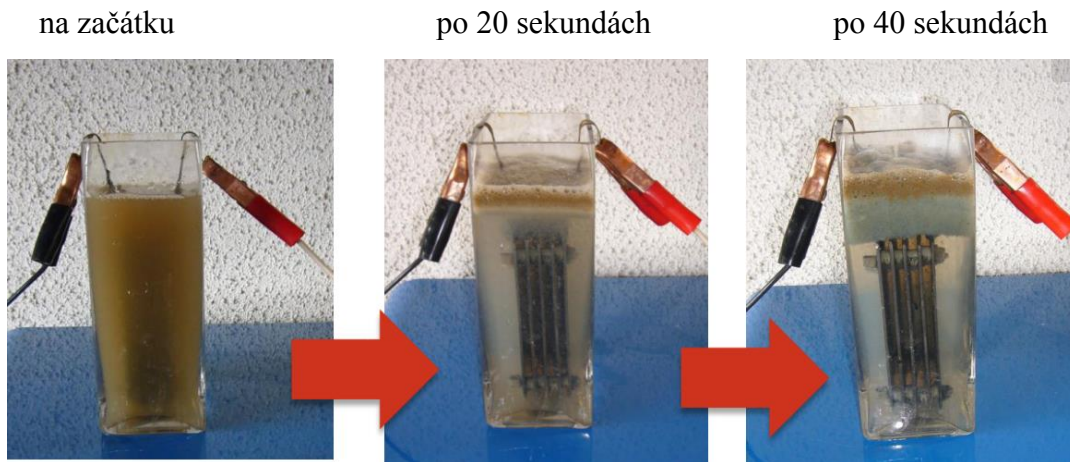


Obr. 9 – Schéma fungování flotátoru: 1 – znečištěná voda, 2 – flokulant, 3 – vyflotovaná voda, 4 – filtrát, 5 – natlakovaný vzduch, 6 – odvod usazenin [22]

### 3.2.2 Elektroflotace

Tato metoda elektrolyticky rozkládá vodu na kyslík a vodík. Při dobře voleném rozmístění elektrod není zapotřebí míchání, které způsobuje rozbíjení flotačních komplexů. Snažíme se tedy elektrody umístit u dna nádrže tak, aby bublinky byly v celém objemu nádrže. Účinnost elektroflotace závisí na několika parametrech, kde čím menší velikost bublinek, tím lepe pro flotaci, což je ovlivněno tvarem elektrod. V ideálním případě by elektrody měly být síťové. Dalším parametrem ovlivňujícím účinnost je proudová hustota, která ovlivňuje množství bublinek, tj. obsah plynu ve vodě. Obsah plynu by neměl

překročit 0,1 %, čemuž odpovídá proudová hustota 200-260 A·m<sup>-2</sup>. Nad tuto hodnotu dochází k rozbíjení vloček a turbulentnímu proudění. Účinnost této metody je pozorovatelná i vizuálně, viz obr. 10. [9]



Obr. č. 10 -Ukázka průběhu elektroflotace [23]

Elektroflotace se provádí 2 způsoby:

- a) **Pomocí rozpustné elektrody:** Zařízení s rozpustnými elektrodami má několik sekcí. V první sekci jsou umístěny elektrody z hliníku nebo oceli. Při jejich rozpouštění elektrolýzou vznikají hydroxidy, které následně slouží jako koagulant. V druhé sekci se nachází grafitová deska tvořící anodu a nad ní mřížková katoda. To umožňuje výrobu velmi jemných bublinek. Třetí sekce je podobná druhé s tím rozdílem, že anod je několik a jsou svisle orientovány. Díky tomu je zajištěn velký styk s odpadní vodou. Nevýhoda této metody tkví ve vytváření plynů, jež jsou výbušné v širokém poměru smísení.
- b) **Pomocí nerozpustné elektrody:** Tento moderní typ má výrazně menší spotřebu elektrické energie, cca 0,1 kWh na 1 m<sup>3</sup> vody. Tím, že elektrody jsou nerozpustné je potřeba dodávat koagulant. Anoda se obvykle skládá z titanu, občas bývá potažena paladiem z důvodu snížení přepětí. Katoda je z nerezové oceli. Obrovská výhoda této metody se nachází v zamezení mísení vodíku a kyslíku díky diafragmě oddělující prostor katody a anody. [9]

### 3.3 Skimmer

Slouží k odstraňování velkých množství olejů a tuků plavajících na vodní hladině. Toto zařízení je velice jednoduché a má malé rozměry. Na obr. 11 se nachází nejpoužívanější typ konstrukce. Páska zde obíhá mezi dvěma válečky a částečně je ponořena do vody, kde se lehčí složka plavající na hladině přichycuje na pásku, která ji vynese do sběrné nádoby. [30]



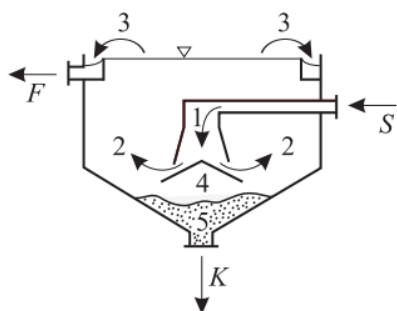
Obr. 11 – Skimmer [30]

### 3.4 Usazovák

Je zařízení na zahuštění suspenze, které využívá rozdílných hustot daných složek. Usazovány jsou buď kontinuální, jež zpracovávají velké průtoky anebo diskontinuální, které zpracovávají velké množství suspenze s malým obsahem částic. Nejčastějším typem při čištění odpadních vod z procesů galvanizace je gravitační usazovák, lamelový usazovák a hydrocyklón. [18]

#### 3.4.1 Gravitační usazovák

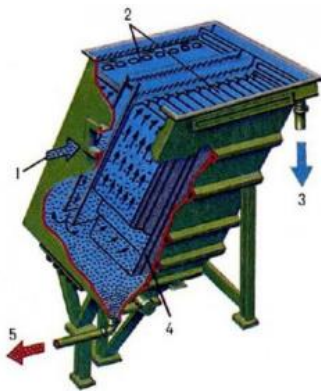
Jedná se o kontinuální druh usazováku a často jej najdeme v městských čistírnách odpadních vod. Jeho schéma je vyobrazeno na obr. 12. Funguje tak, že odpadní voda proudí průtokem (1) a naráží na odrazovou hranu (4) chránící kal proti rozvíření. Voda (2) se pak postupně dělí na čistý filtrát vytékající přepadem (3) a zahuštěný kal (5). [18]



Obr. 12 – Schéma gravitačního usazováku [18]

### 3.4.2 Lamelový usazovák

Lamely zde plní funkci postupného oddělování koncentrovanější složky. Lamelový usazovák funguje na principu vzestupného nebo sestupného proudu vody. Princip se vzestupným proudem vody pracuje podobně, jako výše uvedený gravitační usazovák, kde ve spodní části se koncentruje zahuštěný kal. Naopak systém se sestupným proudem slouží k odstranění tuků a olejů. Zde emulze protéká sestupným lamelovým blokem a následně přes hladinový přepad. Po uklidnění toku se lehčí složka vyloučí na hladině a je odebírána přepadem do sběrné jímky. Na obr. 13 lze vidět průřez lamelovým usazovákem. [29]



Obr. 13 – Lamelový usazovák: 1 – přítok; 2 — komory pro čiření kapaliny; 3 – odtok kapaliny zbavené usazeniny; 4 – lamela; 5 — kal [32]

### 3.4.3 Hydrocyklón

Je separační metoda využívající rozdílné hustoty složek. Funguje tak, že znečištěná tekutina vtéká tangenciálním vstupem, kde dochází k rotaci, která následovně utvoří vír směřující k dýze nacházející se ve spodní části. Rotace vytváří odstředivý efekt a tím pádem těžší částice jsou tlačeny po obvodu kónického kužele do dýzy. Na lehké částice působí menší odstředivá síla, tudíž se koncentrují v ose kónického kužele a odtékají horní částí hydrocyklónu, viz obr. 14. [25]



Obr. 14 – Hydrocyklón: 1 – přítok, 2 – odtok těžších částic/nečistot, 3 – odtok čistých lehčích částic, 4 - dýza [27]

## 3.5 Neutralizace

Při mnoha průmyslových činnostech vznikají vody s různou hodnotou pH, pro procesy povrchových úprav vznikají především kyselé odpadní vody. Před vypouštěním do kanalizace je nejprve potřeba neutralizace na dosažení povolených limitních hodnot. U neutralizace je nutné dbát na to, že kyseliny i zásady jsou různě silné, čímž není myšlena koncentrace. Například kyselina boritá je slabá kyselina, naopak kyselina sírová je silná kyselina. Což znamená, že při neutralizaci přidáváním slabé kyseliny bude pH ze zásadité hodnoty klesat pomalu, avšak přidáváním stejného množství silné kyseliny bude proces neutralizace probíhat rychle. Tím pádem na neutralizaci zásady bude zapotřebí většího množství slabé kyseliny než silné. To stejné platí opačně i o zásadách. Sílu zásaditých a kyselých látek udává disociační konstanta. [9]

### 3.5.1 Vypouštěním odpadních vod do vodního toku

Mírně kyselé vody jsou neutralizovány mírně zásaditými hydrogenuhličitaný nacházejícími se ve vodním toku. Tato metoda je použitelná pouze pro malé množství mírně kyselých vod a vypouštět lze jen dle povolených hodnot příslušného kanalizačního řádu, do kterého podnik spadá (viz příloha – Bilance odp. vod.) [9]

### 3.5.2 Smísením kyselých a zásaditých odpadních vod

Podnik produkující nejen kyselé vody, ale i vody s obsahem hydroxidů kovů (např.: hydroxid železitý) má tu výhodu, že jej může využít k neutralizaci kyselých vod z moření, kde se nejčastěji nachází kyselina sírová či chlorovodíková. Zbytek kyselosti se poté zneutralizuje hydroxidem vápenatým. Existují i případy, kde se neutralizuje pouze hydroxidem kovu, ale jedná se o velmi ojedinělé řešení. Je to z toho důvodu, že by stechiometrické množství kyseliny a zásady muselo být stejné, což u odpadních vod lze těžko zaručit. [3]

Nejdůležitějším aspektem této metody je, zda smísením zásaditých a kyselých vod nevzniká toxická látka. Například okyselením kyanidů vzniká kyanovodík anebo opačně neutralizací amonných solí zásadou se vytváří čpavek. [9]



### 3.5.3 Dodáním dalších chemikálií

#### 3.5.3.1 Neutralizace filtrací

Jedná se o konstrukčně i provozně jednoduchou variantu, kterou není potřeba regulovat ani kontrolovat dávkování. Jako filtrační materiál bývá používán pálený dolomit, magnezit nebo vápenec. Neutralizace filtrací se především používá, pokud při neutralizaci vznikají soli o vysoké rozpustnosti anebo méně pro neutralizaci roztoků s malou koncentrací kyselin, kde při zneutralizování vznikají soli s malou rozpustností. Platí, že čím větší rozpustnost vzniklé soli, tím větší zrna lze použít na neutralizaci filtrací, avšak maximální hrance pro velikost zrn je 40 mm.

Vznik nerozpustných látek/sraženin na zrnech, který přináší jisté komplikace při tomto procesu, se řeší tzv. fluidní kolonou. Ta spočívá v přivádění vody zespoda a filtrační náplň se nachází v neustálém vznosu. Zrna pak konají neustálý pohyb a omílají se o sebe, čímž je odstraňován nerozpustný povrch tvořící se na povrchu zrn. Odstraněná nerozpustná složka je poté odplavena protékající vodou.

Nevýhoda neutralizace filtrací spočívá v nízké dosažitelnosti pH (4-5) způsobené rozpuštěným oxidem uhličitým z neutralizační reakce a rychlým průtokem. [9]

#### 3.5.3.2 Neutralizace dávkováním činidel

Tuto metodu lze všeobecně využít a může být prováděna kontinuálně i diskontinuálně. Neutralizační zařízení se obvykle skládá z vyrovnávací nádrže, kam přitéká voda a promíchává se z důvodu zabránění prudkým výkyvům koncentrace v neutralizační nádrži. Z vyrovnávací nádrže teče přes regulační ventil do neutralizační nádrže, do které se dávkuje kyselina nebo hydroxid, jež posune pH na požadovanou hodnotu. Pro správné fungování tohoto zařízení je nezbytné dostatečné promíchávání neutralizačního činidla, aby měření pH zachytilo každou změnu a nedošlo tak ke špatnému dávkování. [9]

Na neutralizaci **kyselých vod** se jako neutralizační činidlo obvykle využívá dolomit, vápenec, soda, oxid vápenatý, hydroxid sodný, draselný či vápenatý. Nejvyužívanější ze všech činidel je však hydroxid vápenatý (vápenné mléko) a to pro svou nízkou cenu, jednoduchost automatizace se snadným dosažením optimálního pH pro vysrážení. Velká výhoda se nachází v zatěžkavacím účinku vzniklého síranu vápenatého (po neutralizaci kyseliny sírové s malou koncentrací), který zlepšuje sedimentaci kalu.

Na neutralizaci **zásaditých vod** se obvykle používá kyselých odpadních vod, kterých bývá více. Při neutralizaci činnidly se v dnešní době s oblibou používají kouřové plyny a v případě jejich absence kyselina sírová nebo chlorovodíková. Neutralizace kouřovými plyny je nejprogresivnější metodou přinášející spoustu výhod, mezi něž patří zachycení tuhých spalin ve vodě, adsorpce některých složek odpadních vod na tuhou fázi, ekonomičnost a odsíření spalin na 5-10 % původní hodnoty. [3]

### **Neutralizace rozpustným činidlem**

Použitím rozpustných neutralizačních činidel probíhá neutralizace téměř okamžitě, takže stanovit reakční dobu by bylo zbytečné. Při použití nejčastěji využívaného hydroxidu vápenatého vznikají smísením s mnoha kyselinami nerozpustné látky, u kterých je však potřeba stanovit dobu vyloučení z roztoku a rychlost usazování.

Neutralizaci hydroxidem vápenatým lze však provádět do určité koncentrace kyseliny, například u kyseliny sírové je to 5 %. Nad tuto hranici by vznikalo příliš velké množství kalu, které by způsobovalo komplikace v provozu neutralizačního zařízení. Pro koncentrace vyšší se používá hydroxid sodný nebo draselný, který nepodléhá srážení.

Hydroxid sodný a draselný bývá využíván při zautomatizované neutralizaci s okamžitým měřením pH. Výhody těchto hydroxidů se nachází ve vysoké rozpustnosti a jednoduchosti neutralizační stanice díky absenci vzniku sraženin. Nevýhodou je vyšší cena, horší dostupnost, možnost předávkování a zvýšení koncentrace solí. [9]

### **Neutralizace nerozpustným činidlem:**

Jde o méně využívanou metodu. Oproti předešlé metodě se liší tím, že není potřeba dávkovat určité množství pro neutralizaci, ovšem reakce zde není okamžitá a je zapotřebí stanovit reakční dobu neutralizace. Nerozpustnými činidly je dolomit nebo vápenec. Tato nerozpustná látka se musí nadrtit na požadovanou hrubost, která závisí na tom, zda výsledná sůl po neutralizaci je rozpustná či nikoliv. Pokud se jedná o rozpustnou látku, může být hrubost velká, v opačném případě musí být malá z důvodu ulpívání nerozpustné složky, která by bránila dalšímu zreagování. Vzhledem k nízké rychlosti neutralizace nerozpustnými činidly se tato metoda řadí do prvního stupně dvoustupňové neutralizace. V druhém stupni se pH sníží automatizovaným dávkováním rozpustného činidla. [9]

### 3.6 Srážení

Jde o proces, kde dodáním činidla do odpadní vody vzniká kal, který lze jednoduše přefiltrovat. Tímto můžeme snížit obsah rozpuštěných anorganických solí anebo v určitých případech srážení spojit s neutralizací. V tabulce č.1 jsou uvedeny příklady látek s nízkou rozpustností, které se při srážení snažíme získat.

| sloučenina                                      | rozpustnost [g·l <sup>-1</sup> ] |
|---|----------------------------------|
| Al(OH) <sub>3</sub>                             | 0,0001                           |
| CaF <sub>2</sub>                                | 0,016                            |
| CaSO <sub>4</sub>                               | 1,928                            |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 0,025                            |
| Fe(OH) <sub>2</sub>                             | 0,007                            |
| Fe(OH) <sub>3</sub>                             | 0,0001                           |
| Cu(OH) <sub>2</sub>                             | 3·10 <sup>-6</sup>               |
| Mg(OH) <sub>2</sub>                             | 0,009                            |
| Zn(OH) <sub>2</sub>                             | 0,004                            |

Tabulka č. 1 – Rozpustnost málo rozpustných látek

To v praxi znamená, že když máme například kyselinu fluorovodíkovou, tak na srážení použijeme činidlo vápenné mléko a následovně vznikne fluorid vápenatý s velmi nízkou rozpustností. Reakce proběhne následovně, dle rovnice 3.1:



Pro nejmenší hodnotu rozpustnosti by měl být mírný přebytek vlastních iontů (tzn. iontů, ze kterých se skládá sraženina) a teplota by měla být nízké úrovni. Rozpustnost ovlivňuje hodnota pH. V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty pH pro optimální srážlivost daných kationtů kovů v roztoku hydroxidu sodného.

| iont kovu        | pH  |
|------------------|-----|
| Fe <sup>3+</sup> | 3,5 |
| Al <sup>3+</sup> | 4,8 |
| Cu <sup>2+</sup> | 8,5 |
| Zn <sup>2+</sup> | 8,3 |
| Cr <sup>3+</sup> | 6,5 |

Tabulka č. 2 - Ideální pH pro co nejlepší výsledky srážení

Rozpustnost sraženiny je ovlivněna teplotou a přítomností cizích i vlastních iontů obsažených v roztoku. Zvýšení teploty znamená zvýšení rozpustnosti, což je v tomto případě

negativní jev, takže se snažíme, aby teplota nebyla příliš vysoká. Zvýšením koncentrace vlastních iontů se dosahuje snížení rozpustnosti sraženiny, a proto používáme srážedlo v mírném přebytku. Příliš velký přebytek by hrál negativní roli, jelikož v určitých případech může zvýšit rozpustnost z důvodu tvorby hydroxokomplexů zinku a hliníku, a také chlorkomplexů stříbra a mědi.

Technický postup srážení se provádí nadávkováním srážecího činidla do odpadní vody a promícháváním. V případě potřeby se dopraví hodnota optimálního pH. Míchání se provádí mechanicky nebo pneumaticky, díky čemuž dochází k shlukování mikrovloček, ze kterých vznikají čím dál větší, z čehož se vytvoří dobře sedimentující celky. Sraženina je oddělována v podélné usazovací nádrži a vyčištěná voda odtéká přepadem. [9] [3][7]

### 3.7 Chemická oxidace a redukce

Čištěním určitých odpadních vod redukuje či oxidujeme určité chemické sloučeniny, abychom snížili toxicitu např. u chromanů, umožnili srážení nebo dosáhli vyloučení prvku v čisté podobě. Při oxidaci iont nebo atom ztrácí elektron (oxidační číslo se snižuje) a redukcí elektron naopak přibývá.

Následující reakce znázorňuje získávání čisté mědi z elektrolytu. Měď získává elektrony, je tedy redukována a oproti tomu železo elektrony ztrácí, což znamená, že je oxidováno. [9]



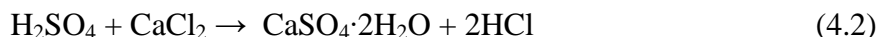
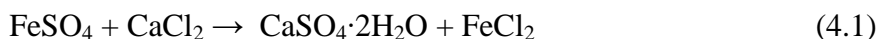
## 4 Příklady likvidace odpadních vod z galvanovny

Galvanické pokovení určitým kovem může být v určitých případech prováděno odlišnými roztoky tj. kyanidovými a nekyanidovými lázněmi. Tudíž nelze zodpovědět, že například při zinkování je potřeba zvolit jasně daný postup, v prvním případě se zjišťuje složení a teprve poté se k tomu volí daná technologie likvidace.

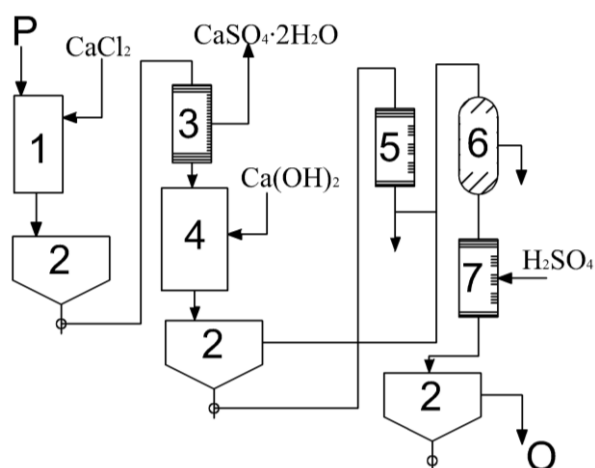
Vzhledem k množství druhů a způsobů likvidace odpadních vod jsou zde vyjmenovány jedny z nejčastějších či nejprogresivnějších.

## 4.1 Odpadní vody z moření

Dřívější metoda regenerace mořících lázní vedla na získávání síranu železnatého, avšak z důvodu poklesu jeho obchodní hodnoty byl vytvořen novější způsob vedoucí na získávání oxidů železa a síranů jiných kovů. Tato probíhá tak, že do využití vody z moření se přidává chlorid vápenatý a nastává reakce:

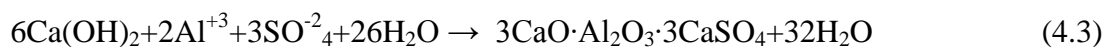


Vzniklý síran vápenatý se neutralizuje hydroxidem vápenatým. Vzniká pak hydroxid železnatý, který se dále oxiduje, filtruje a suší, vzniká pak magnetit, jenž nachází uplatnění při výrobě oceli. Zbylý filtrát obsahující kyselinu a chlorid vápenatý se zhušťuje ve výparce a je navrácen zpět do mořící lázně. Celý tento proces probíhá dle schématu na obr. 15.



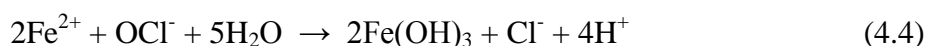
Obr. 15 – Schéma regenerace mořící lázně: P - přítok, O - odtok, 1 – reakční nádrž, 2 – usazovák, 3 – kalolis, 4 – neutralizační nádrž, 5 – filtr, 6 – výparce, 7 – odstraňování  $\text{CaCl}_2$

Ekonomicky výhodným řešením je spojení neutralizace síranů za pomoci vápenného mléka s výrobou ettringitu, který lze následně prodávat. Je ceněný při výrobě papíru jako plnivo nebo se používá při výrobě určitých druhů cementu. Rovnice výroby ettringitu probíhá v přítomnosti dusičnanu hlinitého a vypadá takto:



Do skupiny vod znečištěných mořícími procesy spadají i oplachové vody po moření, které vyžadují pouze neutralizaci. Nejlepším řešením je míchání těchto kyselých vod, kterých je obvykle více, s hydroxidy kovů vznikajícími ve stejném nebo okolním podniku a zbytek kyselosti doneutralizovat například hydroxidem vápenatým.

Neutralizaci mořících odpadních vod lze provést je výhodné spojit s oxidací železa. Oxidovat můžeme chlornanem, kdy proběhne reakce:



Oxidaci lze provádět peroxidem vodíku nebo kyslíkem ze vzduchu, avšak to má za následek pomalý průběh reakce. Při velmi pomalé reakci se může dokonce stát, že nezoxidované železo, může způsobit snížení pH a v konečném důsledku rozpuštění již vytvořených hydroxidů kovů.

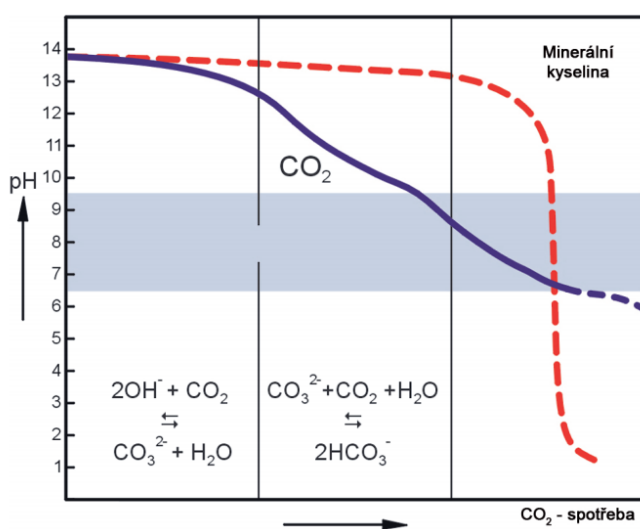
Následovně při srážení kovů je nezbytné kontrolovat a řídit pH, které má velký vliv na účinnost tohoto procesu, což je znázorněno v následující tabulce č. 3.

| <b>iont kovu</b> | <b>pH pro počátek srážení</b> | <b>pH při plném srážení</b> |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| $\text{Fe}^{2+}$ | 7,5                           | 9,7                         |
| $\text{Fe}^{3+}$ | 2,3                           | 4,1                         |
| $\text{Zn}^{2+}$ | 6,4                           | 8                           |
| $\text{Cr}^{3+}$ | 4,9                           | 6,8                         |
| $\text{Ni}^{2+}$ | 7,7                           | 9,5                         |
| $\text{Al}^{3+}$ | 4                             | 5,2                         |

Tabulka č. 3 – Znázornění srážení pro pH

Vliv na účinnost čištění má mimo procesů srážení i proces oddělování vodní složky od hydroxidu daného kovu. Rychlost samotné sedimentace vzniklé sraženiny je malá a z toho důvodu se dopomáhá sedimentaci koagulací za pomoci solí železa.

Neutralizaci zásaditých odpadních vod lze nejjednodušeji provést mísením s kyselými odpadními vodami. Pokud tento způsob není možný, tak nejlepším řešením je neutralizace oxidem uhličitým. V horších a častých případech jsou doposud používány minerální kyseliny jako kyselina sírová, chlorovodíková nebo dusičná. Výhoda neutralizace za pomoci oxidu uhličitého vůči minerálním kyselinám spočívá v parametrech: menší zasolení vod, nehrozí překyselení, menší citlivost přídavku neutralizačního činidla (viz obr. 16), lepší bezpečnost práce a uvádí se i větší ekonomická výhodnost. Těto čistící metody v tuzemsku využívá například společnost ArcelorMittal a.s, největší výrobce oceli v České republice. [3]

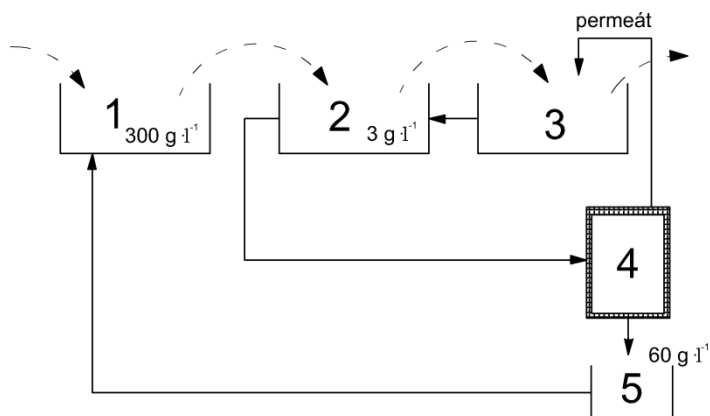


Obr. 16 – Křivka neutralizace minerálních kyselin oxidem uhličitým [24]

## 4.2 Získávání původních surovin z oplachů

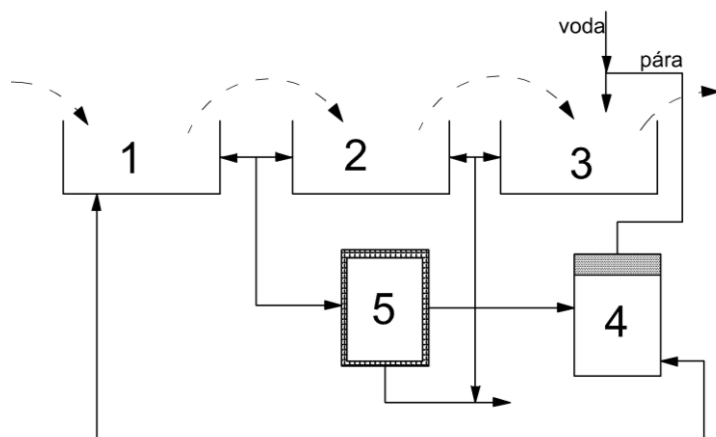
Čištění odpadních vod se provádí i na přímé získávání kovu. Například ve firmě Machine Manufacturing Co. se používá jako surovina mosaz a čištěním odpadních vod se získává měď. Odpadní vody jsou zahušťovány ionexy na hustotu  $25 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , a poté následuje elektrolýza. Katody jsou z elektrolytické mědi s počáteční hmotností 7,7 kg. Měď se na ně postupně vrství dokud nedosáhnou hmotnosti 68 kg, kdy jsou vyměněny za nové. Koncentrace mědi ve vodě dosahuje ještě  $0,7 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , takže následuje neutralizace, při které se tato hodnota dále sníží. [5][3]

Na čištění a získávání niklu z oplachových vod vypracovala firma My-Tec v Norimberku jednostupňvý systém založený na reverzní osmóze. Schéma tohoto zařízení je vyobrazeno na obr. 17. Čárkované šipky na něm vyznačují, kudy těleso putuje, tzn. nejprve do mořící vany, poté do první oplachové lázně a následně do druhé. Na čištění se využívá reverzní osmóza, do které putuje voda z první oplachové nádrže, a poté z následně teče 5 % původního objemu s koncentrací 6 % obsahu solí, která se vrací do mořící vany. Permeát z reverzní osmózy tvoří 95 % původního objemu a putuje do druhé oplachové lázně. [3]



Obr. 17 – Schéma čištění vod pomocí reverzní osmózy: 1 – vana, 2 – první oplachová nádrž, 3 – druhá oplachová nádrž, 4 – reverzní osmóza, 5 – nádrž

Dalším docela častým řešením je způsob čištění uvedený na obr. 18. Zde se zahušťuje na ionexech, ze kterých roztok putuje do výpary, z ní vychází ještě více zahuštěný roztok a pára. Zahuštěný roztok se použije k doplnění mořící vany, pára se mísí s čistou vodou, čímž skondenzuje a požívá se do druhé oplachové nádrže.



Obr. 19 – Schéma čističky oplachových vod pomocí ionexů a výpary: 1 – mořící vana, 2 – první oplachová nádrž, 3 – druhá oplachová nádrž, 4 – výparka, 5 – měnič iontů

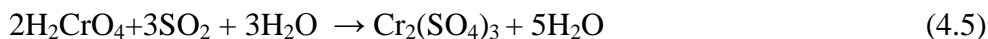


### 4.3 Chromové odpadní vody

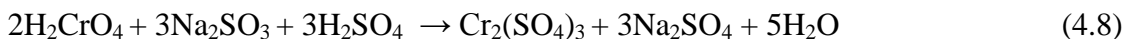
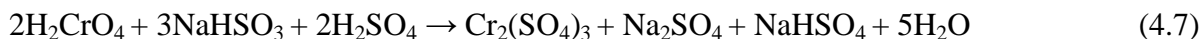
V dnešní době se projevuje snaha o omezení používání šestimocného chromu a nahrazení ho trojmocným chromem. Tam, kde se šestimocný chrom používá, je při likvidaci jej převést na trojmocný, čímž se sníží toxicita o dva řády.

Likvidace se většinou provádí ve dvou stupních, kdy v prvním v kyselém prostředí převedeme  $\text{Cr}^{+6}$  na  $\text{Cr}^{+3}$  a v druhém jej vysrážíme nejčastěji hydroxidem vápenatým, méně pak sodou nebo hydroxidem sodným. Redukce se provádí sírou s oxidačním číslem 4 a probíhá jedním z těchto způsobů:

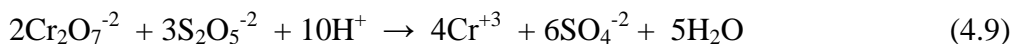
a) pomocí oxidu siřičitého či kyseliny sírové



b) pomocí hydrogensířičitanu sodného či sířičitanu sodného



c) pomocí disířičitanu

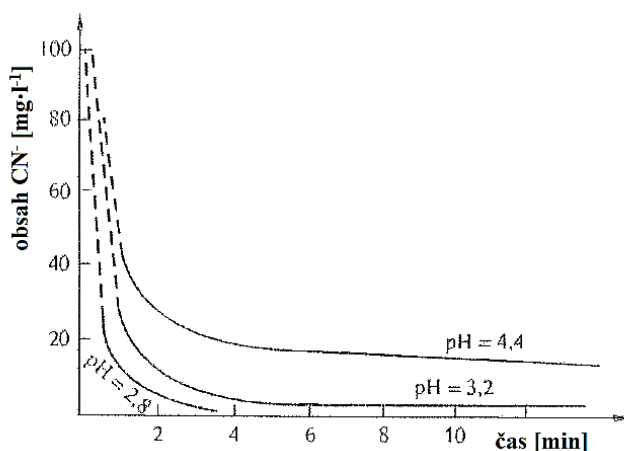


Z těchto redukčních látek je nejčastěji používán hydrogensířičitan sodný pro svou cenu, bezpečnou manipulaci a menší citlivost při dávkování.

Druhá fáze srážení pak probíhá takto:



Z obrázku č. 19 je patrné, že čím vyšší pH v první fázi tím rychlejší je jak průběh, tak i účinnost, avšak v druhé fázi to má za následek potřebné vyšší množství hydroxidu vápenatého a vznik většího množství sraženin.

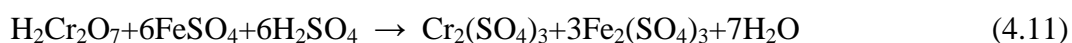


Obr. 19 – Grafické znázornění závislosti obsahu chromu na čase při daných hodnotách pH [3]

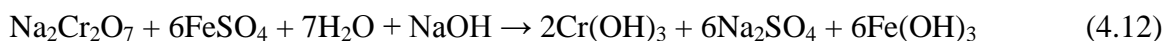
Dalším redukčním činidlem pro šestimocný chrom je železo s oxidačním číslem 2, nejčastěji se jedná o síran železnatý, jehož obrovská výhoda spočívá jak v ceně, tak i v dostupnosti, jelikož se jedná o produkt z moření. Navíc funguje bez závislosti na pH. Nevýhodou je však vznik většího množství sraženiny v druhé fázi likvidace. [7][6]

Reakce redukce  $\text{Cr}^{+6}$  probíhá následovně:

-v kyselém prostředí



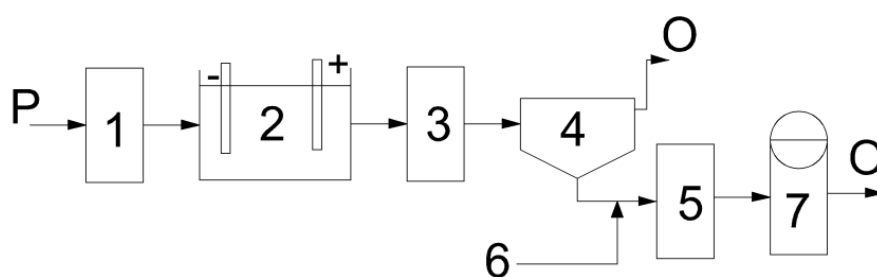
-v zásaditém prostředí



Likvidaci šestimocného chromu za pomoci síranu železnatého využívá například podnik „Iskra“ ve městě Kielce. Redukce se zde provádí při pH 2, čehož je dosaženo přidávkem kyselých odpadních vod.

Další metodou likvidace chromových odpadních vod je elektrolyza, která má tu výhodu, že spojuje jak redukci chromu, tak i srážení. Redukce probíhá na úkor železné anody, jež je rozpouštěna při elektrolyze. Na katodě se vytváří vodík, který má rovněž redukční charakter. Následně se vytváří hydroxidy způsobující zvýšení pH. [6]

Elektrolytického čištění chromových odpadních vod bylo využito například v podnicích Mitsubishi Petrochemical Corporation. Zařízení na obr. 20 se skládá z vany, v níž je umístěno 29 ocelových elektrod s floušťkou 10 mm a každá o povrchu 1 m<sup>2</sup>. Elektrolytické napětí je 5-15 V, proudová hustota 1-2 kA a čas trvání 30-60 minut, při čemž byla provedena celková redukce chrómu. Vzniklé hydroxidy železa a chrómu se následně odstraňují usazovákem, po čemž se smíchají s odpadními vodami z moření. Poté jsou provzdušněny, zahřáty na teplotu 40-80°C a vehnány do magnetického separátoru, z něhož odtéká voda obsahující dohromady železo a chróm s celkovým obsahem 50 µg·l<sup>-1</sup>, což splňuje limity s obrovskou rezervou.



Obr. 20 – Schéma elektrochemického čištění chrómu s magnetickým separátorem:  
 1 - nádrž, 2 - elektrolyzér, 3 - flokulátor (dodávání flokulantu), 4 - usazovák,  
 5 - nádrž se sraženinou, 6 - odpadní voda z moření, 7 - magnetický separátor

Jako netradiční způsoby likvidace Cr<sup>+6</sup> lze vyjmenovat použití listí, dřevěných pilin nebo třísek jako redukčního činidla. Existují i biologické cesty likvidace za pomoci bakterií „Bacterium Dechromanticus Romamenko“, které v bezkyslíkatém prostředí využívají dichroman jako zdroj kyslíku, čímž ho redukuje. [3]

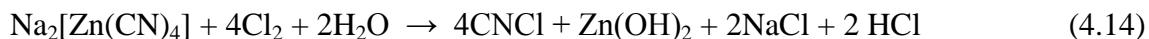
#### 4.4 Likvidace Kyanidových odpadních vod

Kyanidy jsou jedny z nejjedovatějších látek. V krvi s hemoglobinem tvoří silnou vazbu, a tak brání dýchání, což způsobuje udušení. Pro vodní organismy je toxická koncentrace již od 0,1 mg·l<sup>-1</sup>. Likvidace kyanidových odpadních vod se provádí oxidací v zásaditém prostředí vedoucí na výrobu buď kyanatanu nebo oxidu uhličitého s dusíkem. [3]

Kyanidy jsou nejčastěji likvidovány metodou oxidace chlórem v několika stupních. V prvním stupni znázorněném rovnicí níže je kyanid probubláván chlórem a vzniká chlorkyan, který má rovněž podobnou toxicitu jako kyanid.



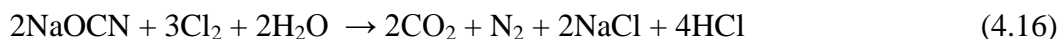
V případě komplexního kyanidu reakce probíhá takto:



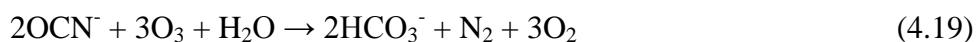
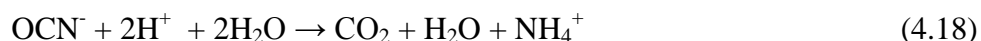
Jelikož chlorkyan je nestabilní, tak po několika desítkách minut se rozloží na stabilnější kyanatan, jehož toxicita je mnohem nižší



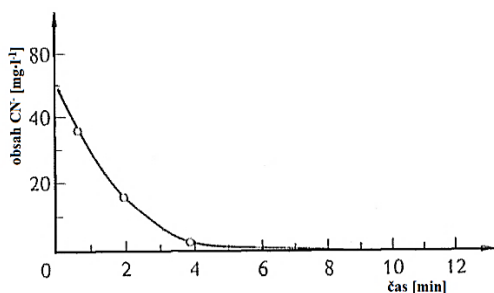
Kyanatan může dále podléhat oxidaci, přidá-li se větší množství chlóru a doba oxidace je prodloužena na cca hodinu. Tímto provedeme rozklad na poměrně netoxické látky jako chlorid sodný, dusík, oxid uhličitý a kyselina chlorovodíková, avšak nevýhodu přináší zvýšené zasolení vod:



Problém se zasolením vod vylepšila metoda oxidace ozonem. Velkou výhodou této metody je možnost výroby ozonu přímo na místě a není tak zapotřebí převážet a manipulovat s jedovatým plynem jako je chlór. Čištění kyanidových vod ozónem vede ke vzniku zcela neškodných látek jako je dusík, kyslík a hydrogenuhličitán. [3][6]



Reakci navíc lze uspíšit za využití měděného katalyzátoru. Rychlost průběhu reakce pak bude odpovídat následujícímu grafu na obr. 21. Spotřeba elektrické energie na výrobu ozónu k likvidaci 1 kg kyanidu se uvádí 96 kWh.



Obr. 21 – rozklad  $\text{K}_3[\text{Cu}(\text{CN})_4]$  za použití ozónu [3]

Další méně používanou metodou na čištění kyanidových odpadních vod je elektrolytická metoda. Oxidace probíhá dvoustupňově na anodě v alkalickém prostředí dle následujících rovnic:

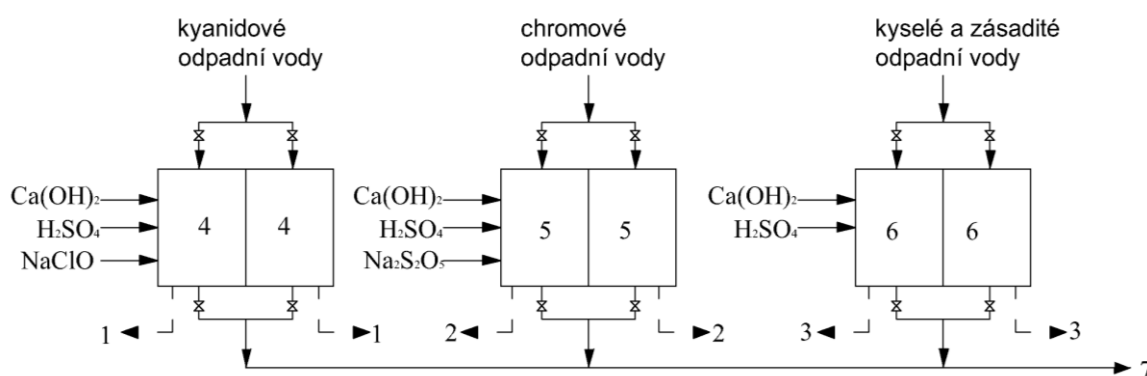


Lze vidět, že v druhé fázi (vzorec 4.21) vznikají naprosto neškodné sloučeniny, kterými jsou dusík, oxid uhličitý a voda. Navíc je navíc patrné, že nedochází k zasolování vody. [3]

## 5 Systémy čištění odpadních vod

### 5.1 Odstavný způsob čištění

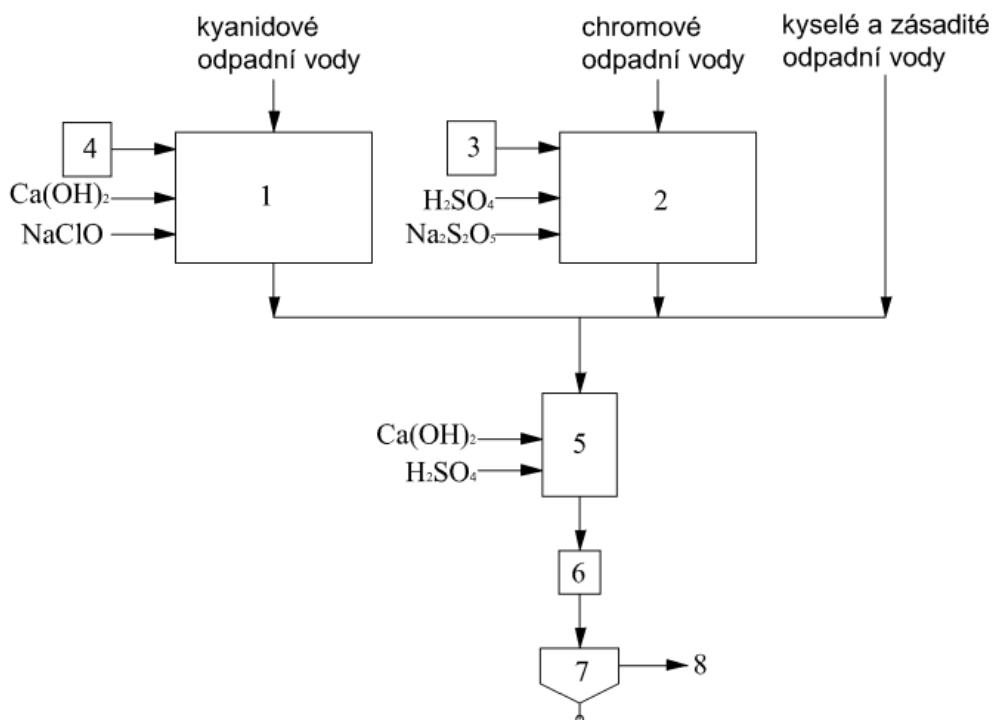
Při odstavném způsobu čištění se zpravidla navrhuje nejméně dvě reakční jímky pro každý druh odpadních vod. Plnění jímek je kontrolováno a po naplnění jedné se začne s plněním sousední. Tyto nádrže musí mít dostatečnou rezervu, aby proces v případě potřeby mohl být zopakován. Při zvýšené koncentraci znečištění se zvýší dávkování, případně proces čištění je prodloužen. Schéma fungování odstavné čistírny zobrazuje obr. 22 (použitá činidla mohou být i jiná než na obrázku). [5]



Obr. 22 – Schéma odstavného čištění odpadních vod: 1 – usazeniny z čištění kyanidových vod, 2 - usazeniny z čištění chromových vod, 3 - usazeniny z čištění kyselých a zásaditých vod, 4 – reakční nádrž kyanidových odp. vod, 5 - reakční nádrž chromových odp. vod, 6 - reakční nádrž kyselých a zásaditých odp. vod, 7 – odtok do kanalizace

## 5.2 Průtočný způsob čištění

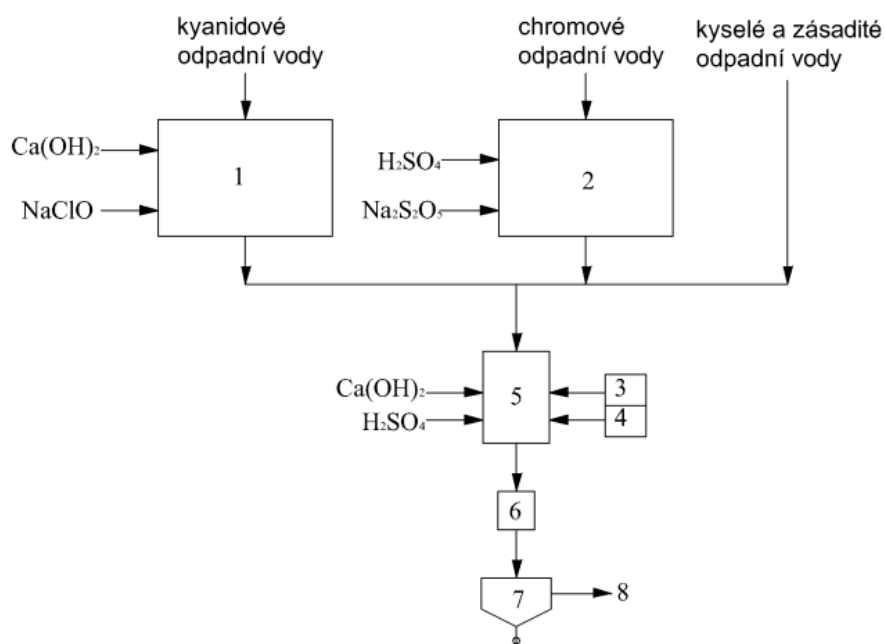
Jedná se o kontinuální proces, viz obr. 23, při němž jsou neustále dodávána činidla do odpadní vody, která čistící stanicí nepřerušovaně přitéká a odtéká. Jde o nejčastější způsob čištění a vyniká nejmenší náročností na prostor vzhledem k výkonu. Pro co nejlepší výsledky čištění je vhodné, aby koncentrace látek v přiváděných odpadních vodách příliš nekolísala, a také aby tento čistící způsob byl zautomatizován. [5]



Obr. 23 – Schéma průtočného systému likvidace odpadních vod: 1 - reakční nádrž kyanidových odp. vod, 2 - reakční nádrž chromových odp. vod, 3 – nádrž s kyselými odpadními vodami, 4 – nádrž se zásaditými odpadními vodami, 5 – nádoba míchání kyselých a zásaditých vod, 6 – reakční nádrž, 7- usazovák, 8- odtok do kanalizace

### 5.3 Přerušovaný způsob čištění

Přerušovaný způsob čištění je kombinací průtočného a odstavného způsobu čištění, viz obr. 24. Kombinuje zároveň výhody obou těchto metod. Přerušovaný systém může využívat pouze jednu reakční nádrž pro každý druh odpadních vod. Po proběhnutí čistícího procesu v reakčních nádržích se voda smísí a je následně zneutralizována ve společné neutralizační nádobě. Tato metoda již vyžaduje automatizaci. [3]



Obr. 24 – Schéma přerušovaného čištění odpadních vod: 1 - reakční nádrž kyanidových odp. vod, 2 - reakční nádrž chromových odp. vod, 3 – nádrž s kyselými odpadními vodami, 4 – nádrž se zásaditými odpadními vodami, 5 – nádoba míchání kyselých a zásaditých vod, 6 – reakční nádrž, 7- usazovák, 8- odtok do kanalizace

### 5.4 Přímý způsob čištění

Přímý způsob čištění je způsob, při němž jsou znečištěné vody likvidovány přímo u zdroje znečištění, tzn. v galvanické dílně. Před oplachové vany jsou zařazeny vany s roztoky zneškodňovacích činidel, kterými se likvidují toxické látky ve zbytku elektrolytu vneseném z lázní, a tím pádem se toxické látky nepřenášejí oplachových van. [5]

## 6 Návrh technologie čištění při daných bilančních podmínkách

Bilančními podmínkami jsou myšleny podmínky, při nichž vznikají odpadní vody, pro které se vypracovává návrh ČOV. V tomto případě zinkovací a niklovací galvanická linka využívá celou řadu chemických látek, u kterých je potřeba zaznamenat jejich množství, složení, frekvenci jejich výměny aj. Z těchto údajů se vypracuje bilance, jež následovně slouží k dimenzování a volbě technologie čistírny těchto odpadních vod. spotřeba oplachové vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ ]

### 6.1 Zinkování

| proces: kyanidové zinkování |                        |                                 |  | počet pracovních dnů: 150      |                              |                   |  |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------|-------------------|--|
| č. op.                      | název operace          | obsah lázně                     | max. konc. [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] | teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ] | objem lázně [ $\text{m}^3$ ] | poč. výměn za rok | spotřeba oplachové vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ ] |
| 1                           | elektrolytické odmašť. | Pragolod 68 S                   | 100  | 60                             | 0,2                          | 36                | 0  |
| 2                           | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 3                           | dočištění              | Simple green<br>Extrem Aviation | 10   | TM                             | 0,1                          | 72                | 0  |
| 4                           | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 5                           | dočištění              | Simple green<br>Crystal         | 10   | TM                             | 0,1                          | 72                | 0  |
| 6                           | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 7                           | dekapování             | konc. HCl                       | 150  | TM                             | 0,2                          | 36                | 0  |
| 8                           | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 9                           | galvanické zinkování   | Pragokal Zn 310                 | 240  | TM                             | 1,4                          | 2                 | 0  |
| 10                          | ekonomický oplach      | provozní voda                   |  | TM                             | 0,1                          |                   | 0,1  |
| 11                          | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 12                          | vyjasnění              | konc. $\text{HNO}_3$            | 40   | TM                             | 0,1                          | 18                | 0  |
| 13                          | dvoustupňový oplach    | provozní voda                   |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |
| 14                          | chromátování           | Pragokal Zn 25 K                | 4  | TM                             | 0,1                          | 9                 | 0  |
| 15                          | dvoustupňový oplach    | demi voda                       |  | TM                             | 0,2                          |                   | 0,2  |

Tabulka č. 4 – Bilance odpadních vod z procesu kyanidového zinkování



| Bilance vziklých odpadních vod z procesu kyanidového zinkování |                          |                              |                   |                    |
|--|--------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| číslo oper.  | název operace            | obsah lázně                  | obsah koncentráту | obsah oplachů      |
| 1  | elektrolytické odmaštění | Pragolod 68 S                | NEL, hydroxidy    |                    |
| 2  | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | NEL, hydroxidy     |
| 3  | dočištění                | Simple green Extrem Aviation | NEL, tenzidy      |                    |
| 4  | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | tenzidy            |
| 5  | dočištění                | Simple green Crystal         | NEL, hydroxidy    |                    |
| 6  | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | tenzidy, hydroxidy |
| 7  | dekapování               | konc. HCl                    | kyseliny          |                    |
| 8  | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | kyseliny           |
| 9  | galvanické zinkování     | Pragagal Zn 310              | kyanidy           |                    |
| 10   | ekonomický oplach        | provozní voda                |                   | kyanidy            |
| 11   | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | kyanidy            |
| 12   | vyjasnění                | konc. HNO <sub>3</sub>       | kyseliny          |                    |
| 13   | dvoustupňový oplach      | provozní voda                |                   | kyseliny           |
| 14   | chromátování             | Pragokor Zn 25 K             |                   |                    |
| 15   | dvoustupňový oplach      | demi voda                    |                   |                    |

Tabulka č. 5 – Bilance obsahu odpadních vod z procesu kyanidového zinkování

## 6.2 Niklování

| proces: niklování |                                |                              |                                  | počet pracovních dnů: 150 |                               |                   |  |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|--|
| číslo oper.       | název operace                  | obsah lázně                  | max. konc. [kg·m <sup>-3</sup> ] | teplota [°C]              | objem lázně [m <sup>3</sup> ] | poč. výměn za rok | spotřeba oplachové vody [m <sup>3</sup> ·den <sup>-1</sup> ] |
| 1                 | elektrolytické odmašť.         | Pragolod 68 S                | 100                              | 60                        | 0,2                           | 36                | 0  |
| 2                 | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,2                           |                   | 0,2  |
| 3                 | dočištění                      | Simple green Extrem Aviation | 10                               | TM                        | 0,1                           | 72                | 0  |
| 4                 | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,2                           |                   | 0,2  |
| 5                 | dočištění                      | Simple green Crystal         | 10                               | TM                        | 0,1                           | 72                | 0  |
| 6                 | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,2                           |                   | 0,2  |
| 7                 | dekapování                     | konc. HCl                    | 150                              | TM                        | 0,2                           | 36                | 0  |
| 8                 | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,2                           |                   | 0,2  |
| 9                 | galvanické niklování           | Pragagal Ni 1051             | 240                              | 95                        | 0,4                           | 3                 | 0  |
| 10                | ekonomický dvoustupňový oplach | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,2                           |                   | 0  |
| 11                | oplach                         | provozní voda                |                                  | TM                        | 0,1                           |                   | 0,1  |

Tabulka č. 6 – Bilance odpadních vod z procesu niklování

| Bilance vziklých odpadních vod z procesu niklování |                                |                              |                   |                    |
|--|--------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| číslo oper.  | název operace                  | obsah lázně                  | obsah koncentrátu | obsah oplachů      |
| 1  | elektrolytické odmašťování     | Pragolod 68 S                | NEL, hydroxidy    |                    |
| 2  | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                   | NEL, hydroxidy     |
| 3  | dočištění                      | Simple green Extrem Aviation | NEL, tenzidy      |                    |
| 4  | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                   | tenzidy            |
| 5  | dočištění                      | Simple green Crystal         | NEL, hydroxidy    |                    |
| 6  | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                   | tenzidy, hydroxidy |
| 7  | dekapování                     | konc. HCl                    | kyseliny          |                    |
| 8  | dvoustupňový oplach            | provozní voda                |                   | kyseliny           |
| 9  | galvanické niklování           | Pragagal Ni 1051             | kyseliny          |                    |
| 10   | ekonomický dvoustupňový oplach | provozní voda                |                   | kyseliny           |
| 11   | oplach                         | provozní voda                |                   | kyseliny           |

Tabulka č. 7 – Bilance obsahu odpadních vod z procesu niklování

### 6.3 Celková produkce odpadních vod

| oplachové odpadní vody                                | zinkování [ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ] | niklování [ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ] |
|---|--|--|
| odpadní vody z operací 1 až 4 (odmašťování a čištění) | 60   | 60   |
| kyselé odp. vody                                      | 60   | 45   |
| alkalické odp. vody                                   | 60   | 60   |
| kyanidové odp. vody                                   | 30   | 0  |

Tabulka č. 8 – Bilance celkových oplachových odpadních vod

| koncentrované odpadní vody                            | zinkování [ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ] | niklování [ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ] |
|---|--|--|
| odpadní vody z operací 1 až 4 (odmašťování a čištění) | 14,4   | 14,4   |
| kyselé odp. vody                                      | 9  | 8,4  |
| alkalické odp. vody                                   | 14,4   | 14,4   |
| kyanidové odp. vody                                   | 2,8  | 0  |

Tabulka č. 9 – Bilance celkových koncentrovaných odpadních vod

## 6.4 Přípravky z galvanizačních procesů

### 6.4.1 Pragokor Zn 25 K

Kapalný koncentrát pro přípravu chromátovací lázně bez obsahu  $\text{Cr}^{+6}$ . Přípravek je vhodný pro pasivaci povlaků vyloučených ze slabě kyselých, alkalických nekyanidových i kyanidových zinkovacích lázní. Na povrchu se vytváří lesklá namodralá vrstva zvyšující korozní odolnost zinkového povlaku. Chromátovací lázeň pracuje v širokém rozmezí expoziční doby, takže je vhodný pro pasivaci v pokovovacích automatických linkách i v provozech s ruční obsluhou. Složení přípravku zajišťuje vyšší odolnost chromátovací lázně vůči znečištění ionty železa. Ve srovnání s chromátovacími lázněmi na bázi  $\text{Cr}^{+6}$  má tato lázeň několikanásobně vyšší životnost. [28]

### 6.4.2 Pragolod 68 S

Středně alkalický vysoce účinný přípravek pro ponorové a ultrazvukové odmašťování oceli, litiny, hliníku a jeho slitin, mědi a jejích slitin. Vyšší obsah účinných dobře biologicky odbouratelných tenzidů. Zaručuje dobrý odmašťovací účinek při teplotách od 55 °C. [28]

### 6.4.3 Pragogal Zn 310

Kyanidová zinkovací lázeň Pragogal Zn 310 je přednostně určena pro závěsové pokovení, lze ji provozovat bez leskutvorných přísad při vylučování matných nebo pololesklých zinkových povlaků. Výhodou tohoto procesu je spolehlivý, ekonomický provoz spojený s vysokou kvalitou vyloučeného zinkového povlaku. [28]

### 6.4.4 Pragogal Ni 1051

Niklovací lázeň Pragogal Ni 1051 vylučuje vysoce lesklé, zobrazivé niklové povlaky s výbornou vyrovnávací schopností již při malých tloušťkách povlaku. Povlaky niklu jsou vysoce tažné a snadno chromovatelné. Lázeň má zároveň dobrou hloubkovou účinnost a výbornou krycí schopnost. Vyznačuje se odolností proti znečištění ionty těžkých kovů, zejména zinku a mědi. Je univerzálně použitelná pro různý poměr složení základních niklovacích solí, síranu a chloridu nikelnatého a také vhodná jak pro závěsový tak i hromadný způsob pokovení, míchání lázně vzduchem či pohybem katodové tyče. [28]

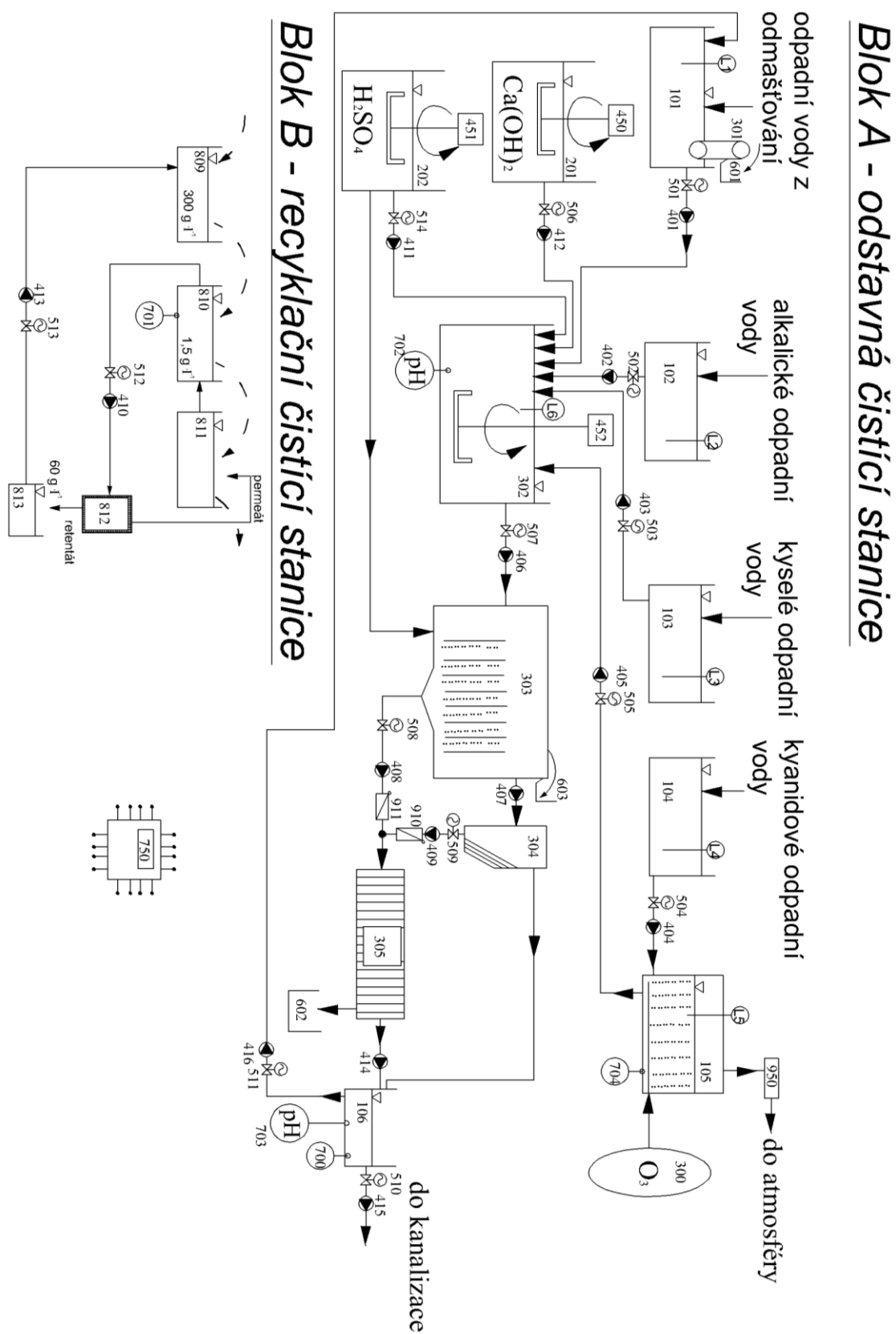
#### **6.4.5 Simple green crystal**

Vysoce univerzální výrobek použitelný k vyřešení složitých technologických spojených s čištěním všech druhů povrchů Simple green crystal je nehořlavá, neabrazivní, bezoplachová kapalina. Tato vysoce koncentrovaná směs je ředitelná studenou vodou až do poměru 1:200. Po zředění optimálně odmašťuje při běžné dílenské teplotě 18 – 22°C. [31]

#### **6.4.6 Simple green extreme aviation**

Průmyslový, vysoce účinný, vodou ředitelný, čistící a odmašťovací přípravek určený ke všeobecnému čištění a odmašťování vysoce znečištěných povrchů, vyžadující splnění nejvyšších bezpečnostních kritérií vydaných firmou BOEING D6-17487P a výrobcem leteckých motorů Pratt & Whitney PWA 36604 Revision C. Simple green aviation je nehořlavá, nepěnicí, neabrazivní a bezoplachová kapalina. Tato vysoce koncentrovaná směs je ředitelná studenou vodou až do poměru 1:200. Po zředění optimálně odmašťuje při běžné dílenské teplotě, je vysoce aktivní v teplotním rozmezí 10 – 80°C. [31]

## 6.5 Návrh schématu odstavné čistící stanice



Obr. 25 – Blokové schéma čistící stanice

| Pozice    | Název součásti                      | Parametr /označení   |
|-----------|-------------------------------------|----------------------|
| 101       | Sběrná nádrž odp. vod z odmašťování | 1 200l               |
| 102       | Sběrná nádrž alkalických odp. v.    | 1 200 l              |
| 103       | Sběrná nádrž kyselých odp. v.       | 1 200 l              |
| 104       | Sběrná nádrž kyanidových odp. v.    | 1 500 l              |
| 105       | Reakční ozonizační nádoba           | 600 l                |
| 106       | Kontrolní nádrž                     | 1 000 l              |
| 201       | Nádrž s hydroxidem vápenatým        | 280 l                |
| 202       | Nádrž s kyselinou sírovou           | 280 l                |
| 300       | Ozonizátor                          | OZVa7                |
| 301       | Skimmer                             | Oil Grabber® Model 8 |
| 302       | Nádrž upravy pH                     | 4 200 l              |
| 303       | Elektroflotátor                     | EC-5000              |
| 304       | Lamelový usazovák                   | LB1                  |
| 305       | Kalolis                             | K400                 |
| 401 - 413 | Membránové čerpadlo                 | Duodos 20 PP         |
| 414 - 416 | Samonasávací čerpadlo               | EBARA JEXM 80        |
| 450 - 451 | Vertikální míchadlo                 | VRP3051S70           |
| 452       | Vertikální míchadlo                 | VRG00211S75          |
| 501 - 514 | Elektronický ventil kapaliny        | MVPE 4040.02         |
| 601 - 603 | Nádoba na kal                       | typ 500l             |
| 700 - 701 | Vodivostní sonda                    | ICT 2                |
| 702-703   | pH sonda                            | SPH-1-S              |
| 704       | Měřicí sonda kyanidové detoxifikace | RHEP - Au - SE       |
| 750       | Regulátor                           | diaLog DACa          |
| 809       | Galvanická niklovací lázeň          | 1 500 l              |
| 810       | 1. ekonomický oplach                | 250 l                |
| 811       | 2. ekonomický oplach                | 250 l                |
| 812       | Jednotka reverzní osmózy            | ecoPRO100            |
| 813       | Zásobní nádoba pro niklovací lázně  | 250 l                |
| L1 - L4   | Ultrazvukový hladinoměr             | MQU 99-C             |
| L5 - L6   | Plovákový hladinoměr                | TMN300 TB INOX       |
| 910 - 911 | Zpětná klapka                       | ZK3                  |
| 950       | Filtr ozónu                         | Deozon               |

Tabulka 10 – Čistící stanice – legenda

## 6.6 Použité součásti

### 6.6.1 Skimmer - Oil Grabber® Model 8



Obr. 26 – Skimmer Oil Grabber® Model 8

Toto zařízení viz obr. 26, kontinuálně odstraňuje oleje a tuky z hladiny nádrže. Spodní část se umísťuje do vody tak, aby i při poklesu hladiny docházelo ke styku pásu skimmeru s vodní hladinou. Zároveň horní část musí být nad vodní hladinou. [30]

### 6.6.2 Hladinoměr ultrazvukový MQU 99-C



Obr. 27 – Hladinoměr MQU 99-C

Ultrazvukový hladinoměr MQU 99-C (obr. 27) má velkou chemickou odolnost a navíc životnost zvyšuje fakt, že nepřichází do přímého styku s kapalinou. Přizpůsobí se jakékoli montážní situaci. [34]

### 6.6.3 Plovákový hladinoměr TMN300 TB INOX



Obr. 28 - Plovákový hladinoměr TMN300 TB INOX

Plovákový hladinoměr na obr. 28 má smáčené části vyrobeny z nerez oceli a je určen pro průběžné měření výšky hladiny kapalin s měřicím dosahem do 2,5 m. Měřicí krok tohoto hladinoměru je 10 mm. [37]

### 6.6.4 Membránový elektrický ventil vodní MVPE 4040.02



Obr. 29 – Dvoucestný elektromagnetický ventil MVPE

Tento dvoucestný elektromagnetický ventil řady MVPE na obr. 29 má jmenovitou světlost DN = 40. Maximální předepsaný tlak kapaliny je 1 MPa a na teplotu se klade požadavek, aby byla v rozmezí 2-60°C. [39]



### 6.6.5 Membránové čerpadlo Duodos 20 PP



Obr. 30 – Membránové čerpadlo Duodos 20 PP

Jedná se o membránové čerpadlo (obr. 30) vyrobené z polypropylénu, které je poháněno natlakovaným vzduchem max. 0,7 MPa. Maximální přípustná velikost nečistot 4 mm. Sací schopnost je až do 8,2 m. Průtok při 3 000 l·h<sup>-1</sup> při rozdílu mezi tlakem poháněcího vzduchu a tlakem kapaliny ve výtlačku 0,2 MPa. [35]

### 6.6.6 Samonasávací čerpadlo EBARA JEXM 80



Obr. 31 - Samonasávací čerpadlo EBARA JEXM 80

Samonasávací čerpadlo EBARA JEXM 80 na obr. 31 je vyrobeno z nerez oceli a je poháněno elektromotorem na 230 V s výkonem 0,6 kW. Maximální sací výška je 8 m. Průtok lze nastavit v rozmezí 0,3 až 4,2 m<sup>3</sup>·hod<sup>-1</sup>. [38]

### 6.6.7 Regulátor DULCOMETER® diaLog DACa



Obr. 32 - Regulátor DULCOMETER® diaLog DACa

Více-parametrický regulátor znázorněný na obr. 32 má speciální funkce určené pro úpravu vody, zpracování měřených hodnot a na toto navazující úprava parametrů regulace. Nová platforma regulátorů společnosti ProMinent byla vyvinuta k měření a regulaci veličin. Na každý kanál lze napojit sondu zvolenou ze 14 možných měřených veličin. Regulátory diaLog DACa mohou pracovat s běžnými sondami s analogovými nebo digitálními výstupy a mohou řídit standardní akční členy regulační soustavy. [35]

### 6.6.8 Sonda pH SPH-1-S 1,5m



Obr. 33 – sonda pH SPH-1-S 1,5m

Sonda s elektronickým výstupem hodnot s rozsahem 0-14 pH. Přesnost sondy je  $\pm 0,02$  pH. Její znázornění se nachází na obr. 33.[36]

### 6.6.9 Vertikální míchadlo VRP3051S70



Obr. 34 - Vertikální míchadlo VRP3051S70

Vertikální míchadlo (obr. 34) slouží k míchání kapalin v otevřené nádrži. Průměr vrtule je 550 mm. Používá se 3 fázový asynchronní motor 380V, 50 Hz s příkonem 1,1 kW a otáčkami  $137 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . [40]

### 6.6.10 Vertikální míchadlo VRG00211S75



Obr. 35 - Vertikální míchadlo VRG00211S75

Vertikální míchadlo (obr. 35) slouží k míchání kapalin v otevřené nádrži. Průměr vrtule je 200 mm. Používá 3 fázový asynchronní motor 380 V, 50 Hz s příkonem 0,37 kW a otáčkami  $184 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . [40]

### 6.6.11 Nádoba na kal – typ 5001

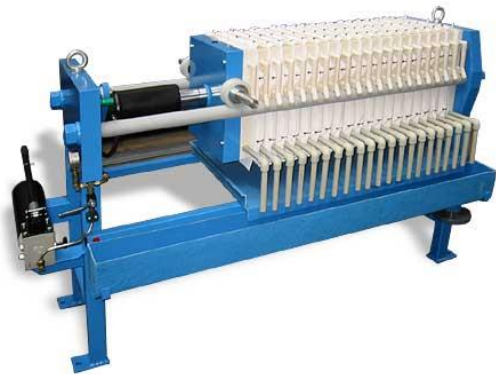
Plastový sud viz obr. 36, má objem 120 litrů a je vyroben z polyethylenu s odnímatelným víkem, které lze zaplombovat pákovým uzávěrem. Uzavírací kruh chrání proti korozi pozinková povrchová úprava. [41]



Obr. 36 – Sud typ 5001

### 6.6.12 Komorový kalolis K400

Rámový kalolis znázorněn na obr. 37. Toto provedení je dimenzováno pro menší průtoky a manuální odstraňování filtračního koláče. Oplývá nižšími pořizovacími náklady oproti automatizované verzi. Bližší informace se nalézají na tabulce č. 11. [32]



Obr. 37- Komorový kalolis [33]

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| velikost desek [mm]                | 400x400 |
| komorové provedení                 | K400    |
| membránové provedení               | KM400   |
| objem [litry]                      | 110-430 |
| filtrační plocha [m <sup>2</sup> ] | 10-40   |

Tabulka č. 11 – Parametry kalolisu K400

### 6.6.13 Lamelový usazovák typ LB 1

Lamelový usazovák LB1 na obr. 38 je vyroben z polypropylenu, kromě rámu i noh, které jsou z oceli třídy 11 ošřené antikoročním nátěrem. Je navržen pro průtok  $1,8-5,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Provozní teplota  $5-30^\circ\text{C}$ . [32]



Obr. 38 – Lamelový usazovák řady LB

### 6.6.14 Ozonizátor OZVa7

Ozonizátor OZVa7 viz obr. 39, má výkon výroby ozónu  $90 \text{ g} \cdot \text{hod}^{-1}$ . Příkon tohoto zařízení je 900 W. [35]



Obr. 39 – Ozonizátor OZVa7

### 6.6.15 Potrubní systém

Materiál potrubí byl zvolen pro svou chemickou odolnost a jednoduchost i ekonomičnost sestavování. Průměr potrubní je 40 mm.

| materiál     | označení | teplotní povolené rozpětí |
|--------------|----------|---------------------------|
| Polypropylen | PP-DWU   | 0-93°C                    |

Tabulka č. 12 - Parametry potrubního systému

### 6.6.16 Elektroflotátor EC-5000

Toto zařízení viz obr. 41 je schopno přečistit maximálně 5 m<sup>3</sup> za hodinu v závislosti na složení znečištěné vody. Je složeno ze tří za sebou řazených flotačních nádrží z polypropylenu, v nichž je umístěno v každé minimálně 30 rozpustných elektrod. Voda přes nádrže teče kaskádovým přepadem. Elektroflotátor EC-5000 je vybaven panelem, který je napojen na sondy měřící pH vstupní i výstupní vody, dále pomocí panelu lze měnit proud i napětí na elektrodách, a také řídit čerpadlo dávkující kyselinu pro neutralizaci odtokových zásaditých vod. Přístroj se připojuje na 3 fázový střídavý proud (380 V, 50 Hz) spotřeba elektrické energie je přibližně 4 kW. Výstup pro elektrody tvoří stejnosměrné napětí a lze nastavit v rozpětí 0-80 V, 0-50 A. Odpad tvořící pěnu je odváděn horním odtokem a usazenina nacházející se ve spodní části nádrží odtéká níže umístěným potrubím. [23]



Obr. 41 – znázornění elektroflotátoru typu EC

### 6.6.17 Jednotka reverzní osmózy ecoPRO100

Kompaktní jednotka ecoPRO100 slouží na odsolování vody. Tato jednotka je instalována na PP panelu a má jednu membránu. Průtok kapaliny při 15°C je 0,1 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> a příkon 0,37 kW.

### 6.6.18 Havarijní nádoba

Havarijní nádobou je myšlena podlaha místnosti, v níž se nachází blok A i B. Místnost má vydlážděnou podlahu a stěny ze snadno omyvatelné keramiky odolávající kyselinám i zásadám. Podlaha je opatřena třemi odvodními kanálky.

## 6.7 Provoz čistící stanice

### 6.7.1 Provoz čistící stanice

Pro provoz čistící stanice je určena předem zaškolená a jmenovitě kvalifikovaná obsluha v rozsahu podle projektu. Pro čistící stanici je nutné vypracovat provozní plán, jenž obsahuje:

- a) Technologii zneškodňování daných druhů odpadních vod a příslušné technologické parametry.
- b) Základní technické údaje o čistící stanici společně s půdorysem i technologickým schématem.
- c) Pokyny pro mimořádné situace.
- d) Zásady k zajištění bezpečnosti a ochraně zdraví při práci.
- e) Počet obsluhovatелů čistící stanice při jednotlivých směnách a pokyny pro obsluhu a údržbu jednotlivých zařízení čistící stanice.
- f) Dozor nad provozem čistící stanice.
- g) Obsluha je povinna vést si provozní deník, do kterého jsou zapisovány všechny okolnosti o provozu čistící stanice a provozní záznamy o průběhu zneškodnění odpadních vod.

Minimálně jednou za pět let je provozovatel povinen provést technicko-bezpečnostní prohlídku v tomto rozsahu:

- a) Posouzení efektivity zneškodňování odpadních vod dle výsledků rozboru
- b) Přezkoumání technického stavu jednotlivých částí čistící stanice
- c) Zajištění bezpečnosti provozu čistící stanice kvalifikovanou silou
- d) Hygiena a bezpečnost práce

O výsledcích je sepsán zápis obsahující případné požadavky na provozní, stavební a technologická opatření k eliminaci zjištěných vad. [44]

## 6.7.2 Pracovní postup odstavné čistící stanice

### 6.7.2.1 Blok A

- a) Znečištěné vody z procesů elektrochemického pokovení určené k přečištění a vypouštění do kanalizace putují do sběrných nádrží (101 až 104) a to podle složení těchto vod. Vody z odmašťovacích procesů jsou přiváděny do nádrže (101), alkalické odpadní vody do nádrže (102), kyselé odpadní vody do nádrže (103) a vody s obsahem kyanidů do nádrže (104). Všechny tyto výše vyjmenované nádoby jsou opatřeny ultrazvukovými hladinoměry (L1 až L4), pomocí kterých lze kontrolovat množství kapaliny a zajistit, aby nebyla překročena maximální výška hladiny 1,2 m pro nádobu (101) a 1,4 m pro nádoby (102 až 104). Sběrná nádrž odpadních vod z odmašťování (101) je vybavena skimmerem (301), jež stírá oleje i tuky z vodní hladiny a přenáší je do nádoby na kal (601). Tato operace odstraňování tuků i olejů z hladiny trvá 1 hodinu, při čemž je odstraněno 99 % těchto nečistot z hladiny. Nádrže (101 až 104) jsou připevněny k rámu, který je vyztužuje, čímž zabraňuje jejich průhybu. Všechny sondy mají výstup na regulátoru (750), rovněž čerpadla i ventily jsou na něj napojeny a ovládány. Výjimku tvoří 2 pH sondy a čerpadlo elektroflotátoru (303), jehož jsou součástí.
- b) Před procesy upravování pH hodnoty je zapotřebí si připravit činidla. V nádobě (202) s objemem 280 l je potřeba nadávkovat koncentrovanou kyselinu sírovou na koncentraci 35 %. Dále v nádobě (201) s objemem 280 l je potřeba připravit 10 % suspenzi hydroxidu vápenatého přidáváním hašeného vápna do vody. Při rozpouštění kyseliny sírové a hašeného vápna je nutné dbát na to, že se jedná o exotermní reakci a obě tyto látky se musí dodávat do vody, nikoli naopak, jelikož by mohlo dojít ke vzniku lokálního varu a daná zásaditá či kyselá látka by mohla vystříknout a způsobit poleptání částí těla obsluhy. Rovněž ze stejného důvodu by tyto chemikálie měly být dávkovány postupně, v žádném případě se nesmí vsypat či vylít najednou do vody. Před dávkováním do nádob (201 až 202) je nutné zapnout míchací zařízení (450 až 451) a mít míchání stále zapnuté minimálně až do doby 10 minut od posledního přídávku chemikálie. Tato doba zajistí dostatečné promíchání a zajištění konstantní koncentrace v celém objemu nádoby. Teprve po těchto 10 minutách lze míchání vypnout a použít těchto činidel na procesy upravování pH. Výška hladiny v nádobách (201 až 202) se musí nacházet v rozmezí



0,4 až 1,2 m, což odpovídá objemu 60 až 230 l, a to z důvodu vystříknutí či přetečení kapaliny přes horní okraj nádrže. V případě flokulantu je postup jednodušší a méně častý. Spočívá ve výměně železných opotřebovaných elektrod v elektroflotátoru (303), který nahlásí potřebu výměny. Elektroflotátor (303) má tři kaskádově umístěné nádržky, v nichž se nachází dohromady 30 elektrod. Ty se při výměně odšroubují, nahradí se novými a opět se zašroubují. Při výměně musí být elektroflotátor (303) vypuštěn.

- c) Odpadní vody s obsahem kyanidů nacházející se již v nádrži (104) jsou likvidovány následovně. Následovně je otevřen elektronický ventil (504) a spustí se membránové čerpadlo (404), voda s obsahem kyanidů je vpouštěna do uzavřené reakční ozonizační nádoby (105). Pomocí plovákového hladinoměru (L5) lze kontrolovat výšku hladiny, při čemž musí být pro ozonizaci v rozmezí výšky 0,2 až 1,2 m, což odpovídá objemu 50 až 300 l. Po napuštění ozonizační nádoby se uzavře ventil (504) a vypne čerpadlo (404). Následuje spuštění ozonizátoru (300), který dodává do nádoby (105) ozón, jenž oxiduje kyanidy na hydrogenuhličitanu a dusík a oxid uhličitý. Množství kyanidů je kontrolováno sondou (704). Vzniklé plyny z ozonizace kyanidů putují přes jednocestný filtr (950), který redukuje zbytkové nezreagované množství ozónu na kyslík. Do atmosféry je filtrem (950) propouštěn zcela nezávadný kyslík, dusík a oxid uhličitý.
- d) Již pročištěné kyanidové odpadní vody prošlé ozonizací a vody z odmašťování očištěné pomocí skimmeru mohou nyní společně s alkalickými a kyselými vodami postoupit dále k operaci zajištění optimálního pH pro flotaci. Následovně jsou spuštěna čerpadla (401, 402, 403, 405) a otevřeny elektronické kohouty (501, 502, 503, 505) odpadní vody do nádrže (302). Její hladinu lze kontrolovat plovákovým hladinoměrem (L6), při čemž se musí nacházet v rozmezí 1,1 až 1,4 m, což odpovídá objemu 3 000 až 3 900 l. Po naplnění nádrže (302) jsou uzavřeny elektronické ventily (501, 502, 503, 505) a vypnuty membránová čerpadla (401, 402, 403, 405). Následovně se zapne míchací zařízení (452) a dávkuje se činidla z nádob (201, 202) ventily (506, 514) a čerpadly (411, 412) tak, aby bylo dosaženo optimální hodnoty pH pro flotaci dle tabulky č. 3. Hodnotu pH měří sonda (702).
- e) Nyní po upravení pH hodnoty následuje elektroflotace. Otevře se ventil (507) a spustí membránové čerpadlo (406). Elektroflotátor (303) má jak vlastní vstupní i výstupní pH měřidla, dávkovací čerpadlo s ventilem pro neutralizaci odtékající zásadité vody okyselením a panel, na který jsou tato zařízení napojena. Na okyselení

se používá kyselina sírová z nádoby (202). Pomocí panelu je potřeba nastavit dávkování kyseliny tak, aby odtékající voda měla pH v rozmezí 6,5 až 8,5. Při spuštění elektroflotátoru musí být zajištěn odtok, tím pádem je potřeba zapnout čerpadla (407, 408, 409, 414) a ventil (508, 509). Během procesu elektroflotace vzniká vyflotovaná pěna, která je jímána do nádoby na kal (603).

- f) Na dně elektroflotátoru se tvoří kal obsahující vodu, který putuje přes ventil (508), čerpadlo (408) a zpětnou klapku (911) do kalolisu (305). Z elektroflotátoru odtéká hlavní odtok přečištěné obsahující již minimální množství usazeniny. Ten odtéká přes čerpadlo (407) do lamelového usazováku (304) rovněž odtéká přečištěná voda obsahující malé množství usazeniny. Z lamelového usazováku (304) odtéká přečištěná voda do kontrolní nádrže (106) a na dně lamelového usazováku se usazuje kal, který teče přes ventil (509), čerpadlo (409) a zpětnou klapku (910) do kalolisu (305), v němž je voda filtrována od usazenin a následovně odtéká čerpadlem (414) do kontrolní nádrže (106). V kalolisu (305) se průtokem znečištěné vody koncentruje na filtračních membránách kal, který je potřeba na konci každé čistírenské směny odstranit otevřením a pročištěním kalolisu. Tento je následovně shromažďován v nádobě na kal (602).
- g) Voda v kontrolní nádrži se kontroluje pH sondou (703), vodivostní sondou (700), která ukazuje solnost. Pokud jsou povolené hodnoty překročeny dle vodovodního řádu, viz příloha, tak je voda navracena zpět do čistírenského okruhu otevřením ventilu (511) a zapnutím čerpadla (416). Voda poté putuje do nádrže (101). V případě vyhovujících výsledků kvality vody ji lze vypouštět do kanalizace otevřením ventilu (510) a zapnutím čerpadla (415).

### 6.7.2.2 Blok B

- a) Blok B tvoří recyklační stanici části niklovací linky. Součásti, které tvoří nádoby (809, 810, 811) a vodivostní sonda (701) se nachází v provozní hale, kde je prováděna galvanizace. Naopak součásti jako jsou čerpadla (410,413), ventily (512,513), nádoba (813) a jednotka reverzní osmózy (812) jsou umístěny v místnosti společně s blokem A. Navíc oba bloky mají společný regulátor (750).
- b) Proces recyklace probíhá následovně. Vodivostní sonda (701) vyhodnocuje množství soli a při zjištění koncentrace nad  $1,5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  se otevře ventil (512) a spustí čerpadlo (410) roztok soli putuje do jednotky reverzní osmózy, která započne s oddělováním složek na permeát a retentát. Permeát proudí tlakem jednotky do nádrže druhého ekonomického oplachu (811) a retentát poháněn rovněž tlakem jednotky teče do zásobní nádoby (813). Celý tento proces trvá do doby, než koncentrace neklesne pod úroveň koncentrace  $1,4 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ .
- c) Roztoku v niklovací galvanické lázni (809) je vynášen do ekonomických oplachů a navíc dochází k odpařování vody, takže se roztok koncentruje a ubývá. Pro jeho doplnění a snížení koncentrace na předepsanou hodnotu  $300 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  se do něj vpouští retentát z nádrže (813) otevřením ventilu (513) a sepnutím čerpadla (513) do doby, kdy je snížena koncentrace na požadovanou hodnotu.
- d) Permeát proudí do nádrže druhého ekonomického oplachu (810), kde snižuje koncentraci obsažených solí a voda kaskádovým přepadem teče do nádrže prvního ekonomického oplachu (811), kde rovněž snižuje koncentraci.

### **6.7.3 Havárie**

Havárií je myšleno mimořádně závažné zhoršení jakosti povrchových nebo podzemních vod. Řadí se zde rovněž případy technických poruch a závad zařízení k zachycování, dopravě, skladování a odkládání ropných látek. [19]

### **6.7.4 Povinnosti při havárii**

Povinnosti jak se zachovat v případě havárie přesně stanovuje zákon o vodách č.254/2001 Sb. §41.

Ten, kdo je zodpovědný za vznik havárie (původce havárie), musí činit bezprostřední opatření k odstraňování příčin a následků havárie. Je povinen řídit se havarijním řádem, popřípadě pokyny vodoprávního úřadu a České inspekce životního prostředí.

Původce havárie nebo ten, kdo ji zjistí je povinen ji okamžitě ohlásit Hasičskému záchrannému sboru České republiky nebo jednotkám požární ochrany nebo Policii České republiky, popřípadě správci povodí.

Hasičský záchranný sbor České republiky, Policie České republiky a správce povodí mají za povinnost ohlásit tuto skutečnost příslušný vodoprávní úřad a Českou inspekci životního prostředí, která bude o havárii, ke které došlo v ochranných pásmech přírodních léčivých zdrojů a zdrojů přírodních minerálních vod, informovat též Ministerstvo zdravotnictví. Řízení zneškodňovacích prací náleží vodoprávnímu úřadu. V případě, že dojde k havárii mimořádného rozsahu, jež může způsobit ohrožení životů či zdraví lidí nebo zapříčinit značné škody na majetku, platí při zabraňování škodlivým následkům havárie přiměřené ustanovení o ochraně před povodněmi.

Osoby, které se zúčastnily zneškodňování havárie, jsou povinny poskytnout České inspekci životního prostředí potřebné údaje v případě, že si požádá o její poskytnutí.

Ministerstvo životního prostředí stanoví vyhláškou způsob a rozsah hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků. [19]

## 7 Ekonomická charakteristika

Všechny ceny jsou uvedeny s DPH [Kč]

| Název                               | Parametr             | cena [Kč] | ks   | Celk.cena [Kč] |
|-------------------------------------|----------------------|-----------|------|----------------|
| Nádrž odp. vod z odmašťování        | 1200 l               | 6 474     | 1    | 6 474          |
| Sběrná nádrž alkalických odp. v.    | 1 200 l              | 6 474     | 1    | 6 474          |
| Sběrná nádrž kyselých odp. v.       | 1 200 l              | 6 474     | 1    | 6 474          |
| Sběrná nádrž kyanidových odp. v.    | 1 500 l              | 8092      | 1    | 8 092          |
| Reakční ozonizační nádoba           | 600 l                | 9425      | 1    | 9 425          |
| Kontrolní nádrž                     | 1 000 l              | 8 400     | 1    | 8400           |
| Nádrž s hydroxidem vápenatým        | 280 l                | 2 450     | 1    | 2 450          |
| Nádrž s kyselinou sírovou           | 280 l                | 2 450     | 1    | 2 450          |
| Ozonizátor                          | OZVa7                | 493 488   | 1    | 493 488        |
| Skimmer                             | Oil Grabber® Model 8 | 10 300    | 1    | 10 300         |
| Nádrž upravování pH                 | 4 200 l              | 20 230    | 1    | 20 230         |
| Elektroflotátor                     | EC-5000              | 1 026 000 | 1    | 1 026 000      |
| Lamelový usazovák                   | LB1                  | 160 000   | 1    | 160 000        |
| Kalolis                             | K400                 | 200 000   | 1    | 200 000        |
| Membránové čerpadlo                 | Duodos 20 PP         | 24 518    | 13   | 318 734        |
| Samonasávací čerpadlo               | EBARA JEXM 80        | 4552      | 3    | 13 656         |
| Vertikální míchadlo                 | VRG00211S75          | 34 104    | 2    | 68 208         |
| Vertikální míchadlo                 | VRP3051S70           | 54 936    | 1    | 54 936         |
| Elektronický ventil kapaliny        | MVPE 4040.02         | 3 801     | 14   | 53 214         |
| Nádoba na kal                       | typ 5001             | 630       | 3    | 1 890          |
| Vodivostní sonda                    | ICT 2                | 33 390    | 2    | 66 780         |
| pH sonda                            | SPH-1-S              | 3 199     | 1    | 3 199          |
| Měřicí sonda kyanidové detoxifikace | RHEP - Au - SE       | 3 964     | 1    | 3 964          |
| Regulátor                           | diaLog DACa          | 28 801    | 1    | 28 801         |
| Jednotka reverzní osmózy            | ecoPRO100            | 135 000   | 1    | 135 000        |
| Zásobní nádoba pro niklovací lázně  | 250 l                | 1 670     | 1    | 1 670          |
| Ultrazvukový hladinoměr             | MQU 99-C             | 4 000     | 3    | 12 000         |
| Plovákový hladinoměr                | TMN300 TB INOX       | 4 165     | 2    | 8 330          |
| Zpětná klapka                       | ZK3                  | 2130      | 2    | 4 260          |
| Filtr ozónu                         | Deozon               | 9420      | 1    | 9 420          |
| Rám pro nádrže                      | profil U             | 9 040     | 1    | 9 040          |
| PP trubky                           | PP - DWU             | 41        | 56 m | 2 296          |
| PP kolena 90°                       | PP - DWU             | 51        | 24   | 1 224          |
| Armatury                            | PP - DWU             | 89        | 18   | 1 602          |
| Příruby                             | PP - DWU             | 78        | 20   | 1 560          |
| Šrouby                              | Ocel                 | 7         | 165  | 1 139          |
| Matice                              | Ocel                 | 5         | 165  | 825            |
| Podložky                            | Ocel                 | 2         | 165  | 330            |

Celková cena na součásti čistící stanice [Kč]

2 762 335

Tabulka 13 – Náklady na součásti čistící stanice

### 7.1.1 Rozpočet na dopravu

Na dopravu jednotlivých komponentů čistící stanice bude najata mezinárodní dopravní společnost. Odstavná čistící stanice se bude nacházet v Praze 6. Komponenty budou dopravovány z města Rain v Německu, dále z Ostravy, Olomouce a Liberce. Celková cena přepravy se nachází v tabulce č. 14.

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Najetá vzdálenost v km   | 1840   |
| Cena Kč·km <sup>-1</sup> | 27     |
| Celková cena za přepravu | 49 680 |

Tabulka č. 14 – Náklady na přepravu komponentů čistící stanice

Celkové náklady za přepravu jsou **49 680 Kč**.

### 7.1.2 Rozpočet na montáž čistící stanice

Na montáži odstavné čistící stanice se budou podílet 3 pracovníci. Doba sestavování bude 21 pracovních dní při 8 hodinách za den. Normovaná hodinová sazba u každého pracovníka bude 190 Kč·hod<sup>-1</sup>. Náklady na montáž čistící stanice jsou rozepsány v tabulce č. 15.

| Druh pracovní činnosti    | Počet pracovníků | Cena práce |
|---------------------------|------------------|------------|
| Montáž potrubních rozvodů | 2                | 63 840     |
| Sestavování komponentů    | 1                | 31 920     |
| Celkem                    |                  | 95 760     |

Tabulka č. 15 – Náklady na montáž čistící stanice

Celkové náklady na montáž čistící stanice jsou **95 760 Kč**.

### 7.1.3 Rozpočet na elektrické ovládání čistící stanice

Externí firma provede rozvod elektrické ovládání procesu a rozvod elektrické energie, kde budou zahrnuty i bezpečnostní prvky. Celkové náklady na elektrické ovládání čistící stanice budou **115 000 Kč**.

### 7.1.4 Rozpočet na stavební úpravy, nátěry a sanaci

Na provedení stavebních úprav, nátěrů a sanaci bude najata externí firma. Ta má s prováděním těchto prací bohaté zkušenosti a dává navíc záruku 5 let. Celkové náklady těchto prací vychází na **67 000 Kč**.

### 7.1.5 Rozpočet na vypracování projektu čistící stanice

Čas potřebný k vypracování projektu čistící stanice projektantem je 190 hodin a normovaná hodinová sazba činí 500 Kč·hod<sup>-1</sup>. Celkové náklady jsou **95 000 Kč**.

### 7.1.6 Rozpočet na nákup činidel a jejich nádob

Budou nakoupena činidla a jejich nádoby postačující na 2 měsíce provozu čistící stanice. Celková cena těchto produktů je **48 000 Kč**.

### 7.1.7 Celkové náklady na odstavnou čistící stanici

|                                  | Cena [Kč]        |
|----------------------------------|------------------|
| Cena součástí                    | 2 762 335        |
| Doprava                          | 49 680           |
| Montáž                           | 95 760           |
| Elektronické ovládání            | 115 000          |
| Stavební úpravy, nátěry a sanace | 67 000           |
| Vypracování projektu             | 95 000           |
| Činidla a nádoby                 | 48000            |
| <b>Celková cena</b>              | <b>3 232 775</b> |

Tabulka č. 16

Výsledné celkové náklady na odstavnou čistící stanici činí 3 232 775 Kč. Cena již obsahuje sazbu DPH.

## 8 Závěr

V této vypracované bakalářské práci se pojednává o problematice odpadních vod, jejich druzích se zaměřením na odpadní vody z procesů galvanického pokovení. Dále jsou uvedeny příklady čistících metod se zdůrazněním na ty nejprogresivnější. V praktické části bakalářské práce byl vypracován návrh čištění odpadních vod z niklování a kyanidového zinkování.

Zvolené čistící technologie se ukázaly sice ekonomicky náročnější na pořízení, avšak přinášejí nesporné výhody nacházející se ve snížení obsahu solí v odpadních vodách, bezpečnosti práce a skladování. Konkrétně se jedná o technologie oxidace kyanidů ozónem a elektroflotace. Důvody proč volby právě těchto progresivních metod jsou krátce vysvětleny v bodech:

- Oxidace kyanidů ozónem nezpůsobuje zasolení vod oxidačními činidly a vznikají naprosto neškodné látky. Nevýhodou je však horší poměr pořizovací ceny ozonizátoru k rychlosti výroby ozonu.
- Elektroflotace rozpustnou elektrodou má výhodu v jednoduchosti, jelikož jako koagulant slouží rozpouštějící se elektrody, které jsou po určitém čase vyměněny. Tím pádem se ušetří na nádobě a dávkovacím zařízení koagulantu. Navíc elektrody jsou mnohem skladnější a není u nich potřeba nijak zvláštní manipulace oproti variantě dávkující koagulanty.

Cílem této práce bylo poukázat na možnost využití progresivnějších technologií a jejich aspektů. Pro blok B byl proveden návrh na čištění odpadních vod z niklovací lázně, která je drahá a tím pádem se recyklací sníží provozní náklady. Z bloku A odtékají odpadní vody do kanalizace, avšak s minimálním obsahem solí, na které byl brán ohled. Celková cena navržené čistící stanice vychází na 3 232 775 Kč.



## 9 Seznam použitých symbolů a znaků

| symbol      | popis  | jednotka               |
|-------------|--|------------------------|
| $BSK_5$     | biochemická spotřeba kyslíku                     | $[mg \cdot l^{-1}]$    |
| $c$         | koncentrace                                      | $[g \cdot l^{-1}]$     |
| $CKSK_{Cr}$ | chemická spotřeba kyslíku                        | $[mg \cdot l^{-1}]$    |
| $I$         | proud  | [A]                    |
| $L$         | vzdálenost                                       | [m]                    |
| $m$         | hmotnost   | [kg]                   |
| $n$         | otáčky   | $[ot \cdot min^{-1}]$  |
| $N_{celk}$  | celkový obsah dusíku                             | $[mg \cdot l^{-1}]$    |
| $P$         | výkon  | [W]                    |
| $p$         | procento   | [%]                    |
| $p$         | tlak   | [MPa]                  |
| $P_{celk}$  | celkový obsah fosforu                            | $[mg \cdot l^{-1}]$    |
| $pH$        | záporný dekadický logaritmus oxionových kationtů | [-]                    |
| $Q$         | průtok   | $[m^3 \cdot hod^{-1}]$ |
| $t$         | teplota  | [°C]                   |
| $U$         | napětí   | [V]                    |
| $V$         | objem  | $[m^3]$                |

## Chemické látky

---

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| $\text{Al}^{+3}$                          | trojmocný hliník                 |
| $\text{Al}(\text{OH})_3$                  | hydroxid hlinitý                 |
| Ba  | barium                           |
| $\text{CaF}_2$                            | fluorid vápenatý (kazivec)       |
| $\text{CaCl}_2$                           | chlorid vápenatý                 |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$                  | hydroxid vápenatý (hašené vápno) |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$              | fosforečnan vápenatý             |
| $\text{CaSO}_4$                           | síran vápenatý                   |
| $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | dihydrát síranu vápenatého       |
| $\text{Cl}^-$                             | chlorid                          |
| $\text{Cl}_2$                             | chlór                            |
| $\text{CN}^-$                             | kyanid                           |
| CNCl                                      | chlorkyan                        |
| $\text{CO}_2$                             | oxid uhličitý                    |
| $\text{Cr}^{+3}$                          | trojmocný chróm                  |
| $\text{Cr}^{+6}$                          | šestimocný chróm                 |
| $\text{Cr}(\text{OH})_3$                  | hydroxid chromový                |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$              | dichroman                        |
| $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$              | síran chromový                   |
| Cu  | měď                              |
| $\text{Cu}^{+2}$                          | dvoumocná měď                    |
| $\text{Cu}(\text{OH})_2$                  | hydroxid měďnatý                 |
| $e^-$                                     | elektron                         |
| Fe  | železo                           |
| $\text{Fe}^{+2}$                          | dvoumocné železo                 |

|                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| $\text{Fe}^{+3}$                     | trojmocné železo          |
| $\text{FeCl}_2$                      | chlorid železnatý         |
| $\text{Fe(OH)}_2$                    | hydroxid železnatý        |
| $\text{Fe(OH)}_3$                    | hydroxid železitý         |
| $\text{FeSO}_4$                      | síran železnatý           |
| $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$         | síran železitý            |
| $\text{H}^+$                         | aniont vodíku             |
| $\text{HCl}$                         | kyselina chlorovodíková   |
| $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$    | kyselina dichromová       |
| $\text{H}_2\text{CrO}_4$             | kyselina chromová         |
| $\text{HF}$                          | kyselina fluorovodíková   |
| $\text{Hg}$                          | rtuť                      |
| $\text{H}_2\text{O}$                 | voda                      |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$              | kyselina sírová           |
| $\text{K}_3[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ | tetrakyanoměďnan draselný |
| $\text{Mg(OH)}_3$                    | hydroxid hořečnatý        |
| $\text{N}_2$                         | dusík                     |
| $\text{Ni}^{+2}$                     | dvoumocný nikl            |
| $\text{NaCl}$                        | chlorid sodný             |
| $\text{NaCN}$                        | kyanid sodný              |
| $\text{NH}_4^+$                      | amonný kationt            |
| $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   | dichroman sodný           |
| $\text{NaHSO}_3$                     | hydrogensířičitan sodný   |
| $\text{NaHSO}_4$                     | hydrogensíran sodný       |
| $\text{NaOCN}$                       | kyanatan sodný            |
| $\text{NaOH}$                        | hydroxid vápenatý         |

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| $\text{Na}_2\text{SO}_3$              | siřičitan sodný          |
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$              | síran sodný              |
| $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$ | tetrakyanozinečnan sodný |
| $\text{HCO}_3^-$                      | hydrogenuhličitan        |
| $\text{NO}_3^-$                       | dusičnan                 |
| $\text{O}_2$                          | kyslík                   |
| $\text{O}_3$                          | ozón                     |
| $\text{OCl}^-$                        | chlornan                 |
| $\text{OCN}^-$                        | kyanatan                 |
| $\text{OH}^-$                         | hydroxid                 |
| $\text{Pb}$                           | olovo                    |
| $\text{SO}_4^{2-}$                    | síran                    |
| $\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$           | disiřičitan              |
| $\text{SO}_2$                         | oxid siřičitý            |
| $\text{Zn}$                           | zinek                    |
| $\text{Zn}(\text{OH})_2$              | hydroxid zinečnatý       |

Ostatní:

---

|          |   |
|----------|---|
| ČOV      | čistírna odpadních vod                  |
| TM       | teplota místnosti                       |
| VAPEX HB | přípravek pro filtraci ropných produktů |

## 10 Citovaná literatura

- [1] Mieczysław K. Błaszczyk, Oczyszczanie ścieków metodami konwencjonalnymi.: Mikroorganizmy w ochronie środowiska.: Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2007.
- [2] Zbigniew Heidrich, Andrzej Witkowski.: Urządzenia do oczyszczania ścieków: projektowanie, przykłady obliczeń.: :Seidel-Przywecki, Piaseczno, 2005
- [3] Bronisław Bartkiewicz.: Oczyszczanie ścieków przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
- [4] Stanisław Krzanowski, Andrzej Wałęga, Iwona Paśmionka.: Oczyszczanie ścieków z wybranych zakładów. KTIW, Kraków, 2008
- [5] Šolín V., Ptáček M.: Čištění odpadních vod z povrchové úpravy kovů.: SNTL, Praha, 1965
- [6] Ruml V. a Soukup M.: Likvidace toxických odpadů z kovoprůmyslu.: SNTL, Praha, 1984
- [7] Ptáček M.; Erlebach J.; Matějka Z.; Lischke P.: Čištění odpadních vod z galvanotechniky a povrchové úpravy kovů.: SNTL, Praha, 1981
- [8] Hovorka F.: Technologie chemických látek.: VŠCHT, Praha, 2005
- [9] Prof. Ing. Michal Dohanýos, Doc. Ing. Jan Koller.: Čištění odpadních vod.: VŠCHT, Praha, 2011
- [10] Hasal P., Schreiber I., Šnita D.: Chemické inženýrství I.: VŠCHT, Praha, 2007
- [11] Patwardhan A.D.: Industrial waste water treatment.: New Delhi, 2008
- [12] Gerych Pavel.: Výskyt chromu v životním prostředí.: UTB, Zlín, 2006
- [13] Vědecký článek: Kathryn E. Arnold , A. Ross Brown , Gerald T. Ankl.: Medicating the environment: assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems.: DOI: 10.1098/rstb.2013.0569
- [14] Němec Jan.: Způsoby předúpravy kalu k dalšímu použití.: VUTBR, Brno 2010
- [15] Vojtěch Singer.: Čištění odpadních vod z procesů ochrany proti korozi.: Brno, 2006
- [16] Machowska H.: Przemysł koksowniczy w aspekcie ochrony środowiska.: Proceedings of ECOpole., Vol. 5, 2011, Sv. No. 1, 269-274
- [17] Pollution prevention practices and wastewater treatment technologies.: Development document for the final effluent limitations guidelines and standards for the metal products and machinery point source category.:United States Environmental Protection Agency, Washington, 2003

- [18] Šnita D.: Chemické inženýrství I.: VŠCHT, Praha, 2006
- [19] Ing. Ladislav Pachta – Impea: Studijní text – Kurz pro obsluhovatele čistíren průmyslových odpadních vod.: Hradec Králové, březen 2006
- [20] Studijní materiál Polytechniky v Řešově [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www2.univ.rzeszow.pl/wbr/zeszyty/pl/index.html>
- [21] Internetový materiál - odpadní vody [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://old.vscht.cz/uchop/velebudice/voda/COV/zpusoby\\_likvidace\\_odpad\\_vod\\_vse.pdf](http://old.vscht.cz/uchop/velebudice/voda/COV/zpusoby_likvidace_odpad_vod_vse.pdf)
- [22] Studijní materiál Gdaňské polytechniky. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.pg.gda.pl/chem/pl/zamawiane/images/stories/filtry.pdf>
- [23] Stránky výrobce elektroflotátoru. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.novoflow.com/novoflow-Pr%C3%A4sentation%20Elektroflotation%20EN.pdf>
- [24] Časopis na téma neutralizace oxidem uhličitým. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin\\_2010/file/CHXX\\_3\\_cl3.pdf](http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHXX_3_cl3.pdf)
- [25] Stránky výrobce kalolisu. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.gnsolidscontrol.com/drilling/filter-press-in-mud-system/>
- [26] Stránky výrobce filtrů. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://filtertech.com.pl/technologie\\_i\\_produkty/filtry\\_workowe](http://filtertech.com.pl/technologie_i_produkty/filtry_workowe)
- [27] Stránky výrobce cyklónu [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.filterinvestsk.com/images/Cycloon.pdf>
- [28] Stránky výrobce chemikálií pro galvanizační lázně. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.pragochema.cz/>
- [29] Stránky výrobce kalolisu a lamelového usazováku. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://www.envites.cz/doc/prosp\\_lamelovy\\_usazovak.pdf](http://www.envites.cz/doc/prosp_lamelovy_usazovak.pdf)
- [30] Stránky výrobce Skimmer. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.abanaki.com/oil-belt-skimmer/oil-grabber-model8.html>
- [31] Stránky výrobce čistícího přípravku [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.simplegreen.cz/products/produkt-1/>
- [32] Stránky výrobce lamelového usazováku. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://wt-engin.cz/cs/zarizeni/odkalovaci-jimky-a-zahustovaci-nadrze-flokulatory/>

- [33] Výukové stránky VŠB. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/bara/postupy.html>
- [34] Stránky výrobce hladinoměru. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://www.elabrno.cz/mhu\\_99\\_C.htm](http://www.elabrno.cz/mhu_99_C.htm)
- [35] Stránky výrobce ozonizátoru, měřících sond aj. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.prominent.cz/>
- [36] Stránky výrobce pH sondy. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://www.bazeny3000.cz/product/uprava-vody/automaticke-davkovace/prislusenstvi/sonda-ph-sph-1-s-1\\_5m/694](http://www.bazeny3000.cz/product/uprava-vody/automaticke-davkovace/prislusenstvi/sonda-ph-sph-1-s-1_5m/694)
- [37] Stránky výrobce plovákového hladinoměru. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW [http://www.merecom.cz/produkt.php?product\\_id=19](http://www.merecom.cz/produkt.php?product_id=19)
- [38] Stránky výrobce samonasávacího čerpadla. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW <http://www.e-cerpadla.cz/samonasavaci-cerpadlo-ebara-jexm-230-p-383.html>
- [39] Stránky elektronických ventilů [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [http://www.peveko.cz/data/mvpe\\_4010.pdf](http://www.peveko.cz/data/mvpe_4010.pdf)
- [40] Stránky výrobce míchadel aj. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: [www.davkovacicerpadla.cz](http://www.davkovacicerpadla.cz)
- [41] Stránky výrobce nádob na kal. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.mevatec.cz>
- [42] Zdroje znečištění. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://levis.sggw.waw.pl/~ozw1/zintegrowgospwod/ZintergрованagospwodREW20/jakoscwod/3zaniecz/3.htm#top>
- [43] Jakost vod. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupný z WWW: <http://www.czystaokolica.wolsztyn.pl/wody.htm>
- [44] Česká státní norma ČSN 75 6505.: Zneškodňování odpadních vod z povrchových úprav kovů a plastů.: schválena 4.1. 1991