

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



Ústav strojírenské technologie

**Voda pro strojírenské technologie se zaměřením na  
povrchové úpravy**

Bakalářská práce

2021

Autor: Vojtěch Houska

Studijní obor: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Houska** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **476512**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Voda pro strojírenské technologie se zaměřením na povrchové úpravy**

Název bakalářské práce anglicky:

**Water for engineering technologies with a focus on surface treatment**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor sledované problematiky
- 2) Problematika odpadních vod v povrchových úpravách
- 3) Problematika oplachů v povrchových úpravách
- 4) Diskuze výsledků

Seznam doporučené literatury:

- 1) FRANČE, P., Voda, limitující faktor udržitelného rozvoje. In: Občasník Povrcháři. 2020,(1), pp. 10-12. ISSN 1802-9833.
- 2) KOVANDA, P., Destilát jako oplachová voda a jak ho získat? In: Občasník Povrcháři. 2018,(4), pp. 10-14. ISSN 1802-9833.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc., ústav strojírenské technologie FS**

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

**Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou vody v povrchových úpravách. Ukazuje, jaké jsou hlavní zdroje odpadních vod v procesech povrchových úprav. Také říká, jak pracovat se znečištěnou odpadní vodou, jak ji čistit a opětovně využívat tak, aby nedocházelo k jejímu plýtvání a zároveň ke znečišťování okolního prostředí. V experimentální části je tato práce zaměřena na problematiku oplachových vod, a na ověření Kuschnerova vzorce.

## **Klíčová slova**

Voda, oplachy, povrchové úpravy, Kuschnerův vzorec

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the problematics of water in surface treatment. It shows the main sources of wastewater in surface treatment processes. It also tells you how to work with polluted wastewater, how to clean and reuse it so that it is not wasted and polluted the surrounding world. In the experimental part, this work is focused on the problematics of rinsing water, and on the verification of Kuschner's formula.

## **Keywords**

Water, rinses, surface treatments, Kuschner's formula

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Voda pro strojírenské technologie se zaměřením na povrchové úpravy“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Viktora Kreibicha, CSc. a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, dne 4.8.2021

..... podpis

## **Poděkování**

Tímto bych velice rád poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a panu Ing. Pavlovi Frančemu, za jejich přístup, ochotu, cenné rady a vstřícné jednání při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval všem lidem, kteří mě podporovali během celého studia, především pak svým rodičům a ostatním členům mé rodiny.

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Voda</b> .....	<b>9</b>
1.1 Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR.....	9
1.1.1 Odběry vody.....	9
1.1.1.1 Odběr povrchových vod .....	9
1.1.1.2 Odběr podzemní vody.....	10
1.1.2 Vypouštění odpadních vod .....	11
1.2 Ústavní ochrana vody .....	12
<b>2 Odpadní vody</b> .....	<b>13</b>
2.1 Rozdělení odpadních vod.....	14
2.1.1 Rozdělení dle koncentrace .....	14
2.1.2 Rozdělení dle složení .....	15
<b>3 Odpadní vody z povrchových úprav</b> .....	<b>16</b>
3.1 Odmašťování kovů.....	16
3.2 Moření kovů .....	17
3.3 Galvanické úpravy.....	18
<b>4 Oplachy</b> .....	<b>19</b>
4.1 Náhrada technologií náročných na spotřebu vody.....	19
4.2 Hmotově uzavřené okruhy v procesech oplachů .....	20
4.2.1 Iontoměniče.....	20
4.2.2 Membránové procesy.....	21
4.3 Odparky v procesech čištění odpadních vod.....	23
4.3.1 Funkce odparek.....	24
4.3.2 Typy odparek .....	24
4.4 Vícetupňové oplachy .....	25
4.4.1 Vícetupňový oplach – úsporný .....	26
4.4.2 Sprchový oplach.....	27
4.4.3 Průtočný oplach protiproudý .....	27
4.4.4 Retenční oplach.....	28
<b>5 Požadavky na čištění odpadních vod</b> .....	<b>29</b>
5.1 Hodnoty pH.....	30
<b>6 Předpoklady a prostředky pro předcházení znečištění vod při povrchových úpravách</b> .....	<b>31</b>
6.1 Organizační opatření.....	31
6.2 Technická opatření.....	31

<b>7 Experimentální část – Problematika oplachových vod a ověření Kuschnerova vzorce.....</b>	<b>33</b>
7.1 Změny pH v oplachové lázni .....	33
7.1.1 Specifikace vzorku – plech .....	33
7.1.2 Specifikace vzorku – součást .....	34
7.1.3 Specifikace dalších pomůcek a přístrojů .....	35
7.2 Postup měření.....	37
7.3 Měření pH v kyselém prostředí.....	38
7.3.1 Plech – první stupeň oplachu .....	39
7.3.2 Plech – druhý stupeň oplachu .....	40
7.3.3 Součást – první stupeň oplachu .....	41
7.3.4 Součást – druhý stupeň oplachu .....	42
7.4 Měření pH v alkalickém prostředí .....	43
7.4.1 Plech – první stupeň oplachu .....	44
7.4.2 Plech – druhý stupeň oplachu .....	45
7.4.3 Součást – první stupeň oplachu .....	46
7.4.4 Součást – druhý stupeň oplachu .....	47
7.5 Výsledky první části – problematika oplachových vod .....	48
7.5.1 Velikost výnosu.....	48
7.5.2 Porovnání plech – součást v kyselém prostředí .....	48
7.5.3 Porovnání plech – součást v alkalickém prostředí .....	49
7.5.4 Porovnání kyselého a alkalického prostředí.....	51
7.5.5 Parametry ovlivňující oplach.....	52
7.6 Ověření Kuschnerova vzorce .....	52
7.6.1 Ověření Kuschnerova vzorce pro jednostupňový oplach .....	53
7.6.2 Ověření Kuschnerova vzorce pro dvoustupňový oplach .....	54
<b>8 Závěr .....</b>	<b>57</b>

## Úvod

Voda je velmi důležitou součástí prakticky ve všech odvětvích průmyslu. Oblast strojírenství není výjimkou. Se stoupající cenou vody je však potřeba předejít jejímu plýtvání a vodu co nejlépe využívat. Nejvíce problematickou oblastí v procesech povrchových úprav jsou operace oplachů, které jsou největším zdrojem odpadních vod. Proto je důležité zaměřit se především na tuto oblast, a upravit práci s vodou tak, aby byla využita v maximální možné míře. S tím souvisí i změna dané výrobní technologie, která by v určitých výrobních procesech měla omezit plýtvání vodou. Všechny tyto kroky však představují většinou velkou počáteční finanční investici, která by se ale měla, s ohledem na růst ceny vody, do budoucna dozajista vrátit.

### Hlavní cíle práce

- 1) Definování důležitosti vody v průmyslu se zaměřením na povrchové úpravy
- 2) Uvedení hlavních zdrojů odpadních vod v procesech povrchových úprav
- 3) Zhodnocení, jak zacházet se znečištěnou vodou, tak aby nedocházelo k jejímu plýtvání a voda mohla být znovu využita
- 4) Experimentální ověření problematiky oplachových vod a ověření Kuschnerova vzorce



## **1 Voda**

Voda je nedílnou součástí naší planety, zabírá až 2/3 povrchu Země. Je obsažena ve všech živých organismech, bez ní by zde nemohl existovat život. Voda se využívá ve všech odvětvích lidské činnosti – tedy i v průmyslu a jeho jednotlivých výrobních technologiích.

### **1.1 Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR**

Pro představu, kolik vody je potřeba při technologiích povrchových úprav, je třeba si ukázat celkové porovnání odběru vody a jejího vypouštění (odpadních vod).

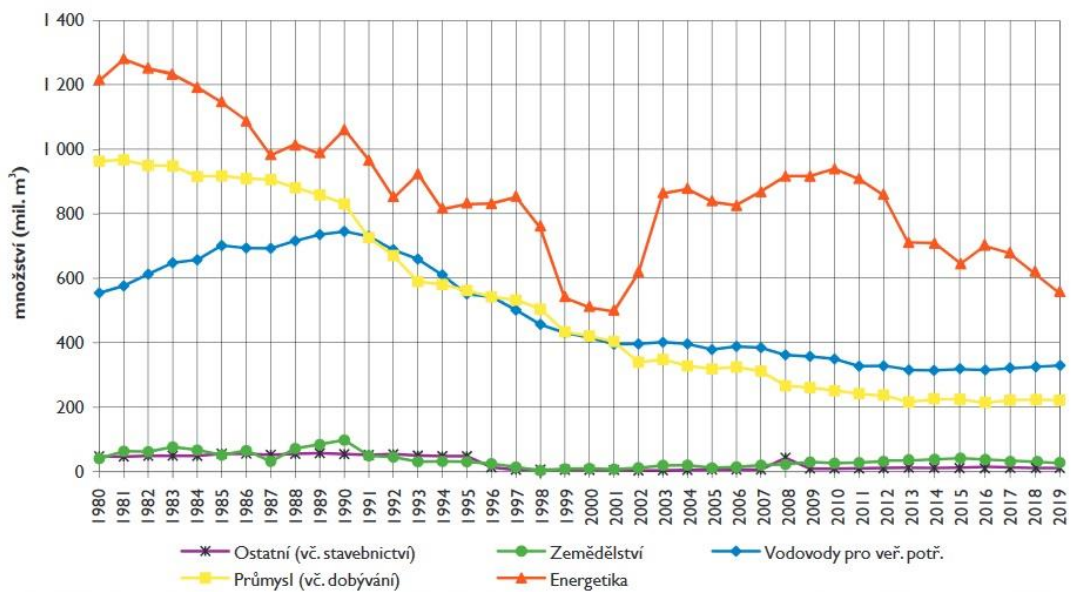
Ministerstvo zemědělství společně s ministerstvem životního prostředí každoročně eviduje a vydává zprávu o stavu vodního hospodářství České republiky – tato zpráva je známá jako „Modrá zpráva“. Jsou v ní uvedeny všechny důležité informace o vodě vyskytující se na území České republiky, jako jsou bilance (např. srážkové, odtokové, teplotní), hydrologické extrémy, jakost vod (povrchových i podzemních), zdroje znečištění (bodové, plošné, havarijní), také je zde uvedena správa vodních toků, nakládání s vodami (odběry, vypouštění) a další. Do této statistiky jsou evidovány pouze odběry vod a vypouštění vod odpadních a důlních, které přesahují hodnotu 6 000 m<sup>3</sup> za rok, respektive 500 m<sup>3</sup> za měsíc. Zpráva je vypracována na základě jednotlivých správců povodí [1].

#### **1.1.1 Odběry vody**

Odběr vody lze rozdělit do dvou skupin – odběr povrchové a odběr podzemní vody.

##### **1.1.1.1 Odběr povrchových vod**

V roce 2019 dosáhl odběr povrchové vody v České republice svého minima od roku 1980. V tomto roce bylo z povrchových vod odebráno celkem 1 147 mil. m<sup>3</sup> [5].

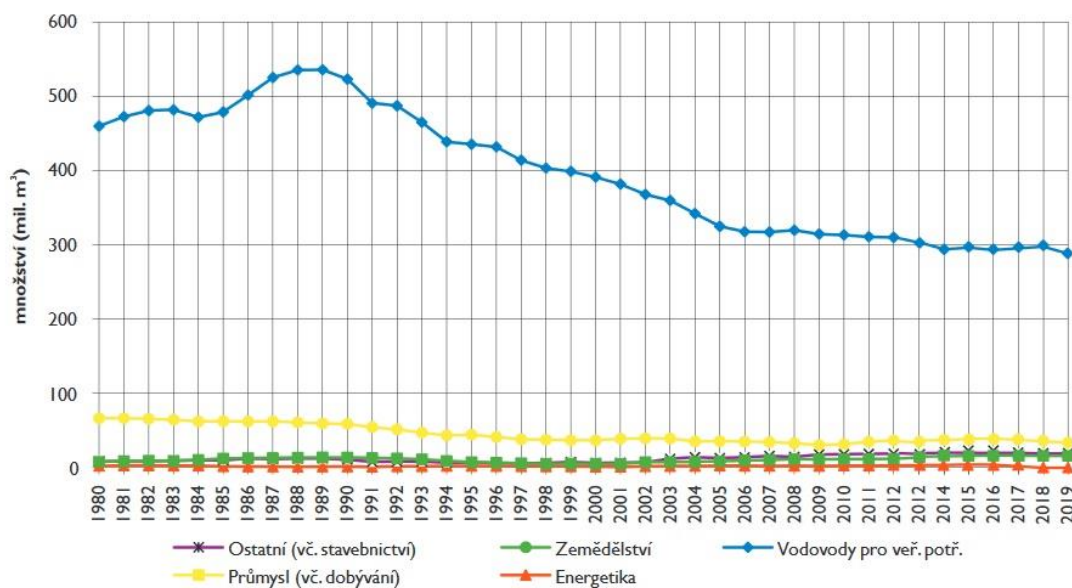


Graf 1. Odběr povrchových vod v ČR dle odvětví [5]

Z grafu 1 lze vyčíst, že největším odběratelem povrchových vod je dlouhodobě odvětví energetiky. Druhým největším odběratelem jsou vodovody pro veřejné potřeby. Průmysl, který oproti roku 2018 zaznamenal snížení odběru vody o 2,3 %, je s 219 mil. m<sup>3</sup> odebírané vody na třetím místě. Ostatní odběratelé odebírají menší objemy. Můžeme zde také vidět, že z dlouhodobého hlediska odběr vody klesá, avšak v posledních letech se projevuje mírná stagnace [5].

### 1.1.1.2 Odběr podzemní vody

Stejně jako tomu bylo u odběru povrchové vody, i zde se v roce 2019 odebralo nejméně vody od začátku evidence. Z podzemních vod bylo odebráno 359 mil. m<sup>3</sup> [5].

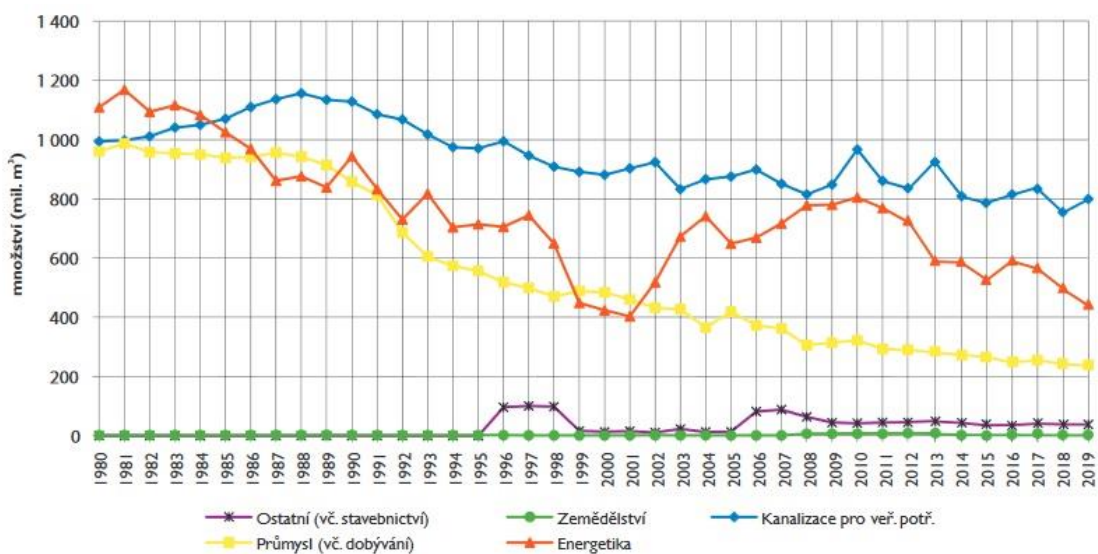


Graf 2. Odběr podzemních vod v ČR dle odvětví [5]

Z grafu 2 vyplývá, že většina vod je odebírána pro vodovody pro veřejné potřeby. A to konkrétně 290 mil. m<sup>3</sup>, což odpovídá 80,8 % celkového odběru. Ostatní odvětví odebírají menší podíly – průmysl např. odebírá pouze 35 mil. m<sup>3</sup> vody [5].

### 1.1.2 Vypouštění odpadních vod

V ohledu na to, že rok 2019 byl co se celkového odběru vody týká podprůměrný, stejný trend vykazuje i vypouštění odpadních vod. Celkové množství vypuštěné odpadní vody bylo dle Modré zprávy stanoveno na 1 522 mil. m<sup>3</sup> vody [5].



Graf 3. Vypouštění odpadních vod v ČR dle odvětví [5]

V grafu 3 lze vidět hodnoty pro vypouštění odpadní vody v jednotlivých odvětvích. Množství vypuštěné odpadní vody v průmyslu bylo za loňský rok 242 mil. m<sup>3</sup>, což ho řadí na 3 místo. Oproti předchozímu roku se jedná o pokles o 1,8 % [5].

Z průmyslu představují povrchové úpravy jen velmi malou část objemu vypuštěné vody – a to jen přibližně 0,02 %. Technologie povrchových úprav pracují s nebezpečnými látkami, a proto i přes celkově velmi malé množství vypuštěných vod se těmto vodám věnuje velká pozornost. V provozech povrchových úprav je tedy velmi důležité co nejvíce omezit vypouštění znečištěných vod, zvolením vhodných technických řešení vodního hospodářství. Je též vhodné usilovat o postupnou modernizaci čistíren odpadních vod a dbát všech legislativních, organizačních i technických opatření – tato problematika je podrobněji rozebrána v dalších kapitolách [1].

Ať už se zajímáme o jakoukoli technologii povrchových úprav, je velmi pravděpodobné, že i tento obor je potenciálním zdrojem znečišťování životního prostředí – a to látkami jak v plynném, kapalném, tak i tuhém stavu [1].

Plynné skupenství – s tím se setkáváme především v galvanovnách, ve kterých vznikají škodlivé aerosoly. Zde dochází ke vzniku plynů při chemických a elektrochemických reakcích, a také ve formě rozkladných produktů jako jsou například nitrozní plyny při moření v kyselině dusičné nebo chlorovodík při moření v kyselině chlorovodíkové [1].

Kapalné skupenství – zde se setkáváme s koncentráty, které vznikají při různých operacích. Největším zdrojem jsou vody oplachové, vody z vyčerpaných galvanických nebo chemických lázní [1].

Tuhé skupenství – tuhé odpadní produkty pochází především z mechanických úprav a kalů, které vznikají při zneškodňování odpadních vod srážením v neutralizačních, respektive čistících stanicích [1].

## **1.2 Ústavní ochrana vody**

V roce 2020 byl na vládě podán návrh ústavního zákona o ochraně vody a vodních zdrojů. Tento návrh by stanovil právo lidí na pitnou vodu, a to jak za sociálně, tak i ekonomicky přijatelných podmínek. Dále by prohlásil ochranu vodních zdrojů za veřejný zájem a zakázal by jakýkoli prodej státní, obecní nebo krajské infrastruktury, která zásobuje obyvatele pitnou vodou, do soukromých rukou. Není obvyklé, aby vodu vlastnila soukromá zahraniční firma, tak jak tomu je v řadě krajů v ČR. Navrhovaná změna konkrétně říká, že voda i ostatní přírodní zdroje a jiné přírodní bohatství by mělo být vlastnictvím České republiky. Ta by měla zajistit šetrné využívání těchto zdrojů a zvelebovat toto bohatství ve prospěch svých občanů. Tento předložený návrh také hovoří o tom, že důležitým prvkem je výstavba vodních děl a související vodohospodářské infrastruktury pro zásobování obyvatel. V návrhu je uvedeno, že stavbu by mohl mít na starost výhradně stát, kraje a obce. Ústavní zákon by měl vést k tomu, že tyto projekty budou prioritní. Návrh také vymezuje zajištění dostatku pitné vody pro zásobování obyvatelstva jako jednoznačnou prioritu veřejného zájmu, což doposud v právním řádu nebylo obsaženo [16, 20, 21].

Kabinet podle podkladů předloze vytkl několik bodů. Hlavní bod, který byl návrhu vytknut, byl, že nepojednává o dešťové vodě a jejím zadržování v krajině. Závěrem jednání byla také vyřčena otázka, zda je pro ochranu vody nutný zákon nejvyšší právní síly. Vláda tento návrh na změnu nezamítla, ale ani se neshodla na jeho zavedení. Celkové stanovisko tohoto návrhu je tedy prozatím neutrální. [16, 21]

## 2 Odpadní vody

Dle zákona č. 254/2001 Sb. jsou odpadní vody definovány tímto způsobem.

Vody, které se používají v průmyslových, zemědělských, zdravotnických, obytných a dalších stavbách, zařízeních či dopravních prostředcích jsou brány za odpadní, pokud mají po jejich použití změněnou jakost (složení nebo teplota). Stejně tak se za odpadní vody berou ty, které odtékají z těchto staveb či zařízeních a mohou ohrozit jakost vod podzemních či povrchových. Dále do této kategorie spadají vody průsakové ze skládek odpadů, vody z odkališť (zde je uvedena výjimka, pro vody, které daná organizace zpětně využívá pro svou potřebu), a také vody, které odtékají do důlních vod [3].

Podle zákona se za odpadní vody nepovažují ty, které vznikly v drenážních systémech odvodňovaných zemědělských pozemků, chladicí vody, které se používají na plavidlech či pro vodní turbíny, u nichž došlo pouze ke zvýšení teploty, a také nepoužité minerální vody [3].

Co se týká vod srážkových, ty nejsou brány jako vody odpadní. Ani srážkové vody, z pozemních komunikací nejsou odpadními vodami, pokud však je znečištění těchto vod možnými závadnými látkami řešeno určitými technickými opatřeními, které splňují podmínky stanovené vyhláškou [3].

## **2.1 Rozdělení odpadních vod**

Odpadní vody vzniklé různými způsoby lze rozdělit dle mnoha měřítek. S ohledem na povrchové úpravy je nejvhodnější rozdělení ze dvou hledisek.

Prvním hlediskem je rozdělení dle koncentrace závadných látek, druhým je rozdělení dle složení odpadních vod se zaměřením na obsah nebezpečných látek.

Rozdělení odpadních vod je důležité, především pro volbu způsobu jejich čištění a správný provoz čistících stanic, protože jen tak lze zajistit co nejúčinnější technologii čištění, které musí zajistit bezpečné zneškodnění vzniklých odpadních vod, které přitékají do stanice, a to v souladu s platnými normami [1,2].

### **2.1.1 Rozdělení dle koncentrace**

Toto rozdělení bere ohled na množství obsažených látek – tedy na jejich koncentraci, která se udává v gramech na litr vody. Patří sem vody koncentrované, polokoncentrované a málo koncentrované (oplachové) [2].

Koncentrované odpadní vody – jsou vody jejichž obsah závadných látek je větší než 20 gramů v jednom litru. Takto koncentrované vody vznikají nejčastěji při vypouštění galvanických a chemických lázní – tedy v období kdy se vyměňuje jejich obsah. Lázně jsou třeba vyměnit zhruba jedenkrát až dvakrát za rok a vyžaduje předem dohodnutý časový plán (kvůli čistící stanici). Další operací, při kterých vznikají koncentrované vody, jsou fosfátování či chromátování. Tyto lázně se vyměňují dle používání, ale obecně platí, že jejich výměna probíhá častěji než u lázní galvanických a chemických [2].

Polokoncentrované odpadní vody – obsah závadných látek v takto označených vodách se pohybuje až u hodnot 10 gramů v jednom litru. Mezi takto vzniklé vody patří lázně, které byly vytvořeny při operacích jako je například dekapování či pasivaci. Mohou sem patřit i vody z úsporných oplachů [2].

Málo koncentrované (oplachové) vody – sem patří takové vody, které mají obsah závadných látek do 0,5 gramu v jednom litru vody. Tyto odpadní vody absolutně převažují – vzhledem k jejich množství bývají hlavním kritériem při dimenzování stanic pro zneškodňování závadných látek [2].

### 2.1.2 Rozdělení dle složení

Uvedené rozdělení dle složení je pouze orientační. V praxi je potřeba vždy nahlížet na každý konkrétní případ zvlášť. Toto rozdělení a určení odpadních vod patří k jedním ze základních předpokladů pro to, aby byla daná skupina odpadních vod řádně vyčištěna, za použití vhodné a pokud možno optimální technologie.

Odpadní vody s obsahem kyanidu – jsou alkalické vody přitékající po kyanidových pokovovacích procesech (zinkování, mědění, kadmiování, stříbření a zlacení). Čištění těchto vod probíhá po přísném oddělení od vod kyselých [2].

Odpadní vody s obsahem chromu – vody obsahují šestimocný chrom, který vzniká zejména při tvrdém chromování. Chrom v této podobě se však bohužel při běžných neutralizačních procesech nevysráží – z tohoto důvodu je nutno šestimocný chrom nejdříve redukovat na chrom trojmocný. Redukuje se za použití redukčních činidel, a to v kyselém prostředí. Z důvodu, aby se neplývalo činidly, probíhá čištění těchto vod odděleně [2].

Odpadní vody kyselé a alkalické – u jejich čištění se využívá právě vod opačného charakteru. Tedy jejich společným odvodem. Zde dojde k mísení čímž samovolně nastane proces neutralizace – z povrchových úprav je obvykle odváděno mnohem větší množství vod kyselých, proto se do těchto smíšených vod přidávají alkalická činidla, aby došlo k upravení hodnoty pH na hodnotu mezi 8,5 až 9. Tato úprava v běžných případech stačí k vysrážení některých kovů přítomných v odpadních vodách, například iontů  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{Ni}^{2+}$  [2].

Ostatní odpadní vody – do této skupiny patří vody, které jsou též produkovány při povrchových úpravách a jsou to vody s obsahem fluoridů, drahých kovů (stříbro, zlato), vody s vysokým obsahem olejů a tuků či s obsahem dusitanů, ale i další, které se likvidují odděleně [2].

### 3 Odpadní vody z povrchových úprav

Jak již bylo uvedeno, z průmyslu v ČR bylo za rok 2019 vypuštěno 242 mil. m<sup>3</sup> odpadních vod. Povrchové úpravy vypouští zhruba 0,02 % z tohoto množství. Avšak při bližším pohledu, když se zaměříme pouze na kovozpracující průmysl, generují provozy povrchových úprav více než 50 % veškeré znečištěné vody z tohoto odvětví průmyslu [1].

Složení těchto odpadních vod se v průběhu let změnilo, a to v závislosti na používaných technologiích a rozvoji tohoto oboru. Dříve byly hlavními znečišťujícími látkami převážně látky anorganické. Po rozvoji pomocných přísad v galvanotechnice začal významně stoupat i obsah látek organických. V takto znečištěných vodách se nachází široké spektrum kontaminujících látek, které pochází jak z funkčních lázní, tak převážně z mezioperačních úprav daných povrchů [1].

Obecně mezi hlavní zdroje produkce odpadních vod v povrchových úpravách patří procesy – odmašťování, moření a galvanických úprav [1].

#### 3.1 Odmašťování kovů

Odmašťování kovů slouží k odstranění nečistot z povrchu – jedná se především o odstranění konzervačních olejů, tuků a provozních kapalin.

Odmašťovací operace lze rozdělit podle druhu použitých prostředků na odmašťování:

- v organických rozpouštědlech
- v alkalických vodních roztocích
- vodnými tenzidovými prostředky
- emulzní

Odmaštění v organických rozpouštědlech – jedná se o nejjednodušší způsob odmašťování s vysokou čistící mohutností při poměrné jednoduchosti čistícího procesu. V organických rozpouštědlech nelze odstraňovat heteropolární nečistoty (anorganické soli, pot, otisky prstů). Pro praktické používání vyhovuje pouze několik organických rozpouštědel – ostatní vzhledem ke svým nevýhodám (hořlavost, jedovatost, nestálost) se nerozšířily. Dříve se často k odmašťování užívali chlorované uhlovodíky (trichloretylen či perchloretylen) – tyto látky jsou nehořlavé, poměrně stálé, málo jedovaté, mají však významné narkotické účinky a velmi negativní vliv na životní prostředí, neboť u těchto rozpouštědel je velmi obtížná jejich likvidace. Proto je jejich používání velmi omezené a jsou nahrazovány jinými látkami – především alkalickými



vodnými roztoky nebo např. přírodními terpeny (D-limonen). U tohoto způsobu odmašťování nejsou nutné a nepoužívají se operace oplachování [7].

Odmašťování v alkalických vodných roztocích – spočívá hlavně v koloidně-chemických pochodech, tj. v emulgaci a dispergaci nečistot. Přitom se samozřejmě rozpouštějí i ty heteropolární nečistoty, které jsou ve vodě nerozpustné. Odmaštění těmito látkami probíhá dvojitým způsobem – tuky (rostlinné či živočišné) se mění – zmýdelňují. Látky minerálního původu jsou odolnější a tento způsob na ně není dostatečný – tyto látky se pomocí některých přísad v lázni rozptylují do roztoku – emulgují, a tím jsou z povrchu odstraněny. Původně se používali přípravky, které obsahovaly látky jako jsou křemičitany, hydroxidy, fosforečnany a uhličitany. Do těchto roztoků byly později přidávány organické složky, které zesilují odmašťovací účinek (především tenzidy – pokud možno snadno odbouratelné a nepělivé). Alkalické složky jsou nahrazeny boritany a polyfosfáty. Alkalické vodné roztoky lze použít prakticky všude, kde je třeba očistit mastné a ulpělé nečistoty z povrchu [7].

Odmašťování vodnými tenzidovými prostředky – tato metoda je založena na funkci směsných vodných tenzidových přípravků, které pracují na bázi anion – kation aktivních či neionogenních tenzidů, k nimž je přidána řada dalších přísad – většinou slabé alkalické prostředky s nízkým obsahem solí. Jedná se o technologie, které dobře řeší problémy s likvidací odpadních vod i odmašťovacích lázní [7].

Odmašťování emulzní – tento proces probíhá způsobem, kdy je předmět ponořen do lázně (organické rozpouštědlo s obsahem organických emulgátorů), a po určitém čase je vyjmut a opláchnut vodou. Tato lázeň je velmi účinná a vhodná i pro odstraňování velkého množství mastných nečistot. Při oplachu dojde k odstranění nečistot i použitého rozpouštědla ve formě vodné emulze. Velkou nevýhodou této metody jsou však právě vzniklé emulze při oplachu – ty jsou v některých případech velmi stabilní a způsobují problémy při likvidaci vzniklých odpadních vod [1,7].

### **3.2 Moření kovů**

Moření je proces, při kterém dochází k odstranění kovových oxidů, které vznikly při tepelném zpracování, a hydratovaných oxidů, vzniklých atmosférickou korozí. Nejčastějšími látkami používanými při moření jsou kyseliny – především kyselina sírová a chlorovodíková, dále pak také kyselina fluorovodíková nebo fosforečná. Do těchto lázní se též přidávají povrchově aktivní látky a inhibitory. Pro moření hliníku či zinku se používá roztok alkalického hydroxidu [7].

Zvláštním druhem moření je tzv. dekapování, které se používá před galvanickým pokovením a jedná se o odstranění tenkých oxidických vrstev a aktivaci povrchu po procesech odmašťování [7].

### **3.3 Galvanické úpravy**

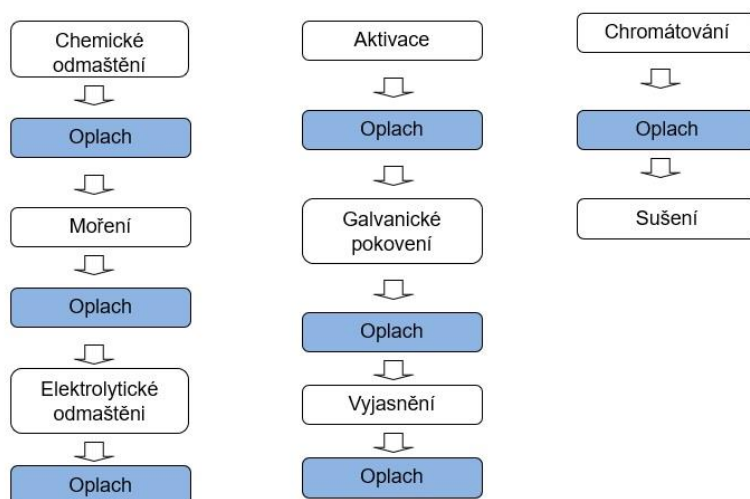
Velkým zdrojem odpadních vod jsou též technologie galvanického pokovování. Galvanické (elektrolytické) pokovování patří k nejvýznamnější povrchové technologii ve strojírenství – používá se v širokém rozsahu a slouží k vylepšení funkčních vlastností povrchů materiálu, antikorozi ochraně či k dekorativním účelům. Tento proces probíhá v řadě lázní oddělených jednostupňovými nebo víceúrovňovými oplachy. Z tohoto důvodu zde dochází ke vzniku velkého množství odpadních vod z oplachů po jednotlivých operacích. Vzhledem k širokému spektru používaných chemických prostředků vzniká i velmi mnoho rozdílných druhů odpadních vod [7].

Základním rozdělením těchto odpadních vod je, zdali jsou kyselé nebo alkalické, chromové nebo kyanidové. V kyselém prostředí se provádí např. niklování, cínování, mědění, chromování. V alkalickém prostředí pak mědění, mosazení, stříbření a zlcení. Při všech těchto procesech vznikají nebezpečné odpady jako jsou, těžké kovy, kyanidy, povrchově aktivní látky a komplexotvorné látky, například kyseliny (nitriltriocetová, ethylendiamintetraocetová, vinná, glukonová, octová, citronová) nebo další látky jako jsou triethanolamin, ethylendiamin ale i řada dalších [7].

## 4 Oplachy

Oplachové operace jsou v oboru povrchových úprav největším zdrojem odpadních vod. Toto lze dokázat například ze schématu technologického postupu galvanického zinkování (obr. 1). Zde můžeme vidět velký počet oplachů při tomto výrobním procesu a s velkým počtem oplachů vzniká i velké množství odpadních vod.

### Vzorový technologický postup galvanického zinkování



Obrázek 1. Vzorový technologický postup galvanického zinkování [27]

S nárůstem ceny vody a jejich omezených zdrojů je jedním z důležitých směrů rozvoje povrchových úprav omezování spotřeby vody. Praktické řešení tohoto důležitého úkolu spočívá především:

- v náhradě technologií náročných na spotřebu vody
- hmotově uzavřenými okruhy v procesech oplachů
- zaváděním odparek do procesu čištění odpadních vod
- zaváděním vícestupňových oplachů

### 4.1 Náhrada technologií náročných na spotřebu vody

K nejnáročnějším technologiím na spotřebu vody patří v povrchových úpravách technologie galvanického pokovení. Vzhledem k potřebám strojírenství vytvářet povlaky s velkou přesností o malých tloušťkách a z široké řady technických kovů není náhrada technologie zatím reálná z důvodu převažujících výhod tohoto způsobu pokovení.

Pouze u některých aplikací této technologie v konkrétních případech daného výrobku či součásti je možná volba povrchové úpravy jiným způsobem. Na základě

rozhodnutí konstruktéra, který může zvolit jiný materiál (plast, kompozit či korozivzdornou ocel). Změnit může i povrchovou úpravu například povlakem z práškových plastů, technologií žárového zinku, kataforézou, případně povlaky z mikrolamel zinku či hliníku (typu geomet či Delta MKS), nebo žárový nástřik kovu, ale i další technologie [6, 15].

V povrchových úpravách jsou však vždy nezbytné kvalitní předúpravy povrchů (odmaštění, moření), které jsou nejvíce náročné na spotřebu vody jejich operacemi oplachů. Řešení není v omezování spotřeby vody, ale v omezování nezbytných technologií pro průmysl.

## **4.2 Hmotově uzavřené okruhy v procesech oplachů**

Při procesech oplachů vznikají odpadní, avšak ne příliš koncentrované vody. Toho lze využít pro jejich opětovné použití. U více koncentrovaných vod je možnost opakovaného použití z praktického hlediska nemožná. Pro opětovné použití je však nutné zvolit vhodný způsob čištění těchto odpadních vod. Jako nejvhodnější se ukázalo zavedení čistících metod pomocí iontoměničů a membránových procesů [2].

### **4.2.1 Iontoměniče**

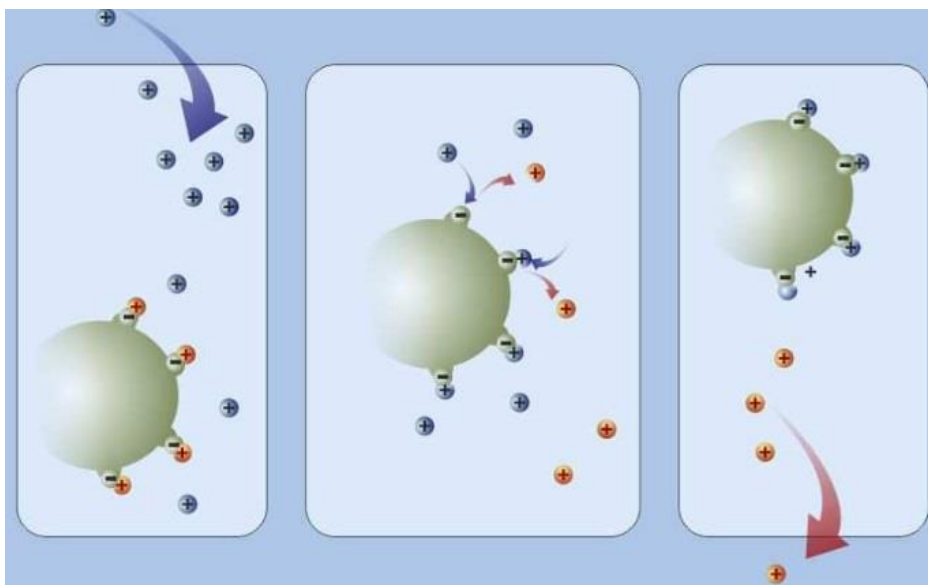
Pro možnost využití této metody čištění je třeba mít již předpřipravenou odpadní vodu, jelikož je k tomuto procesu nutná relativně čistá voda. Tato voda tak musí být očištěna od hrubých nečistot a mastnot. Z tohoto důvodu se proto čištění pomocí iontoměniče (platí též označení ionex) používá až jako druhý stupeň čištění odpadních vod [23].

Princip tohoto zařízení spočívá v tom, že znečištěná odpadní voda protéká přes skelet iontoměniče, který nese na svém povrchu náboj. Protékající voda, která se pohybuje skrze iontoměnič, následně reaguje. Na skelet se váží nežádoucí látky, čímž dojde k uvolnění protiiontů, jak znázorňuje obr. 2. Voda se tak čistí a změkčuje. Iontoměniče se dají rozdělit do dvou základních skupin, a to do skupiny anexů a katexů [8, 9, 23].

Anex je druh iontoměniče jehož úkolem je z vodného roztoku odstranit anionty. Takovým případem jsou při čištění vod z povrchových úprav anionaktivní kovové komplexní sloučeniny. Pro čištění těchto sloučenin je na skeletu iontoměniče funkční skupina, která je tvořena kvartérní amoniiovou solí – tato skupina je silně bazická a dá

se použít při jakékoli hodnotě pH vody. Při použití v neutrálních nebo kyselých vodách se jako funkční skupina používají různé anioskupiny. Nejčastějšími protiionty, které se zachytávají na skeletu jsou  $\text{OH}^-$  a  $\text{Cl}^-$  [9, 23].

Katex je opakem anexu, jeho práce tedy spočívá v odstranění kationtů z vodných roztoků. Katexy se využívají v cyklech, kde se objevují kationaktivní kovové komplexní sloučeniny. Funkční skupina je v tomto případě skupina iminodiacetátová – tato skupina se stejně jako kvartérní amoniové soli, dá využít ve vodách o všech hodnotách pH. Pro neutrální nebo zásadité vody se využívají karboxylové funkční skupiny. Protiionty jsou v zásaditých vodách nejčastěji  $\text{H}^+$  a  $\text{Na}^+$  [8, 23].



Obrázek 2. Výměna iontů [23]

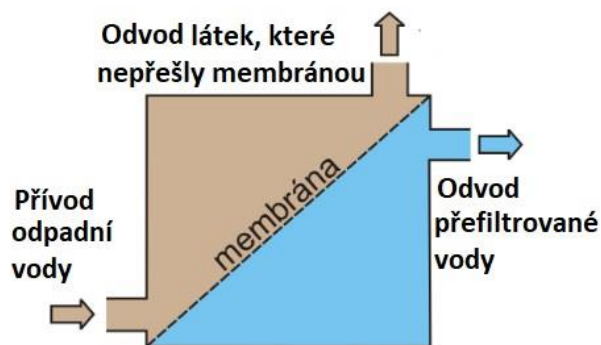
Po přechodu přes skelet se jak v případě anexu, tak v případě katexu ještě upravuje, pokud je to nutné, hodnota pH vody, tak aby byla optimální. To se docílí prostým přidáním kyseliny sírové či chlorovodíkové v případě zásaditých vod nebo hydroxidem sodným v případě vod kyselých [23].

Obecně platí, že využití iontoměničů je velmi účinná metoda čištění odpadních vod. Jak již bylo řečeno, je však nutno ji kombinovat s předčištěním a není vhodné ji používat pro vysoce koncentrované vody. Další nevýhodou této metody je též cena, která je bohužel velmi vysoká.

#### 4.2.2 Membránové procesy

Tato metoda čištění odpadních vod spočívá ve filtraci vody pomocí membrán – jedná se tedy o membránovou filtraci. Proudění přes membránu probíhá za určitého tlaku, který je závislý na velikosti filtrovaných látek. Předchůdcem této metody je tzv.

tradiční vodárenská filtrace – ta pracuje na principu separace suspendovaných látek pomocí filtrů s náplní zrnitého materiálu jako je například písek. Membránová filtrace využívá, jak již název napovídá, jako oddělovací bariéru membránu, na které se zachycují a z větší části odvádí látky, které je potřeba z vody odstranit (obr. 3.). Je však důležité dbát na pravidelné čištění, jinak se membrány mohou zanášet, a tím se snižuje jejich účinnost. Také je třeba kontrolovat celistvost membrány, jelikož i malé defekty mohou potencionálně způsobit průnik značného množství nežádoucích látek [10, 11, 12].



Obrázek 3. Schéma membránového procesu [24]

Mezi největší výhody membránových procesů patří výborná kvalita upravené vody, snížení používání chemikálií téměř na minimum, velmi nízké nároky na energie a v neposlední řadě též možnost snadného rozšíření čistícího systému. Nevýhodou této metody je cena membrány – tento problém se však postupem času zmenšuje, jelikož rostou požadavky na čištění odpadních vod, a tím pádem i rostou náklady jiných metod na splnění těchto požadavků [10].

Velikost nejmenší částice, kterou lze danou membránou odstranit, závisí zejména na jmenovité velikosti pórů membrány. Pro úpravu vody se využívají, dle velikosti odstraňovaných částic, čtyři typy: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a čištění reverzní osmózou [11].

Mikrofiltrace – dokáže odseparovat částice o velikosti až 0,1  $\mu\text{m}$  a je doprovázena tlakem od 30 do 200 kPa. Přes tuto filtrace se tak nedostanou žádné bakterie či řasy, ale nedokáže odfiltrovat rozpuštěné látky [11].

Ultrafiltrace – tento druh membrán zvládne zadržet makromolekuly nebo částice, které jsou větší než 0,002  $\mu\text{m}$ . Tlak používaný při ultrafiltraci je srovnatelný s tlakem používaný pro mikrofiltraci, výjimečně se používá tlak mírně vyšší [11].

Nanofiltrace – ta dokáže odstranit téměř kompletně většinu přirozených i syntetických organických látek s molekulovou hmotností vyšší než 400 D (dalton). Též

dokáže zachytit rozpuštěné látky které mají rozměr menší než 1 nm, jako je vápník či hořčík. Proces nanofiltrace probíhá při tlaku 350 až 850 kPa [4, 11].

Posledním druhem filtrace je filtrování reverzní osmózou. Ta probíhá za vyšších tlaků, které se pohybují v rozmezí 700 až 8000 kPa. Touto metodou lze odstranit všechny suspendované částice a dokáže zachytit naprostou většinu rozpuštěných látek. Nedokáže však zachytit některé těkavé látky jako jsou trihalomethany [4, 11].

Kompletní přehled je zobrazen v následující tabulce (tab. 1).

Odstraňované látky / Druh filtrace	MF	UF	NF	RO
Suspendované látky	C	C	C	C
Prvoci	C	C	C	C
Bakterie	C	C	C	C
Víry	P	C	C	C
Železo, mangan	D	D	C	C
Huminové látky (NOM)	-	P	C	C
CHSK	-	-	P	C
Syntetické org. látky - pesticidy	-	-	P	C
Ca + Mg	-	-	P	C
Dusičnany	-	-	-	C
Amoniak	-	-	-	C

*Tabulka 1. Látky odstraňované z vody membránovými procesy [11]*

Kde:

C – kompletní odstranění,

D – v závislosti na chemické formě,

P – částečné odstranění.

### 4.3 Odparky v procesech čištění odpadních vod

Zavádění odparek v procesech čištění odpadních vod je technologie, která se zatím nevyužívá ve velkém množství. Tato technika čištění má však velký potenciál a dá se využít v procesech povrchových úprav, chemickém, strojírenském, potravinářském či farmaceutickém průmyslu. Vakuové odpařování je velmi důležitým a nezbytným krokem k vytvoření uzavřeného okruhu odpadních vod. Čistírna odpadních vod poté nevypouští žádné odpadní vody do kanalizace, ale všechny vody se recyklují a opětovně využívají ve výrobních procesech. To vede k výraznému snížení nákladů na čištění odpadních vod [22].

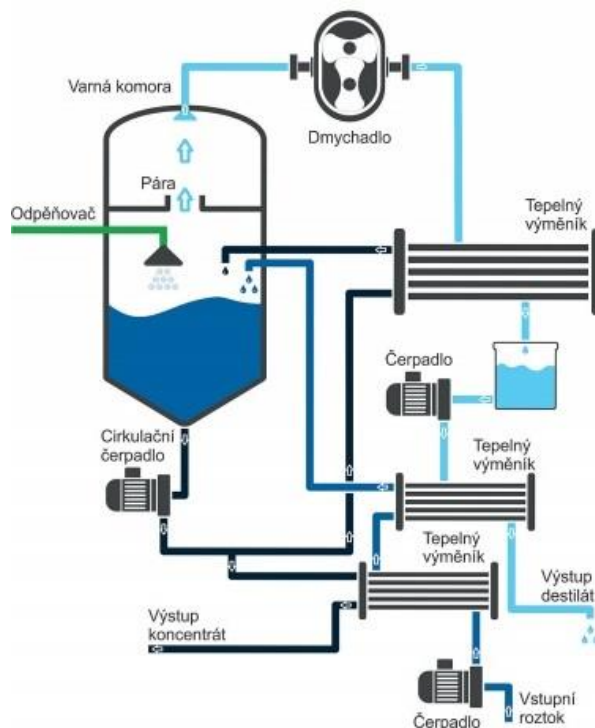
### 4.3.1 Funkce odparek

Princip odparek spočívá ve vakuovém odpařování, které probíhá ve speciálních varných komorách. Při vakuovém odpařování se významně sníží tlak ve varné komoře a dojde k varu při mnohem nižší teplotě, než je bod varu vody při normálním atmosférickém tlaku. Podtlak v komoře se běžně používá 6 kPa, tento podtlak má za následek, že roztok začne vařit již při teplotě okolo 35 °C. Když dojde k varu roztoku, dojde k následnému odpařování látek s nižší teplotou varu. To vede ke zmenšení objemu roztoku, a to až o 90 %. Zbývá kapalná směs, která obsahuje většinu rozpuštěných pevných látek, se nazývá koncentrát. Odpařená část se nazývá destilát [22].

Vakuové odparky se vyznačují malou spotřebou energie. Spotřeba se liší v závislosti na modelu dané odparky, ale její nejnižší hodnoty se pohybují již okolo 0,05 – 0,15 kWh na jeden litr produkovaného destilátu [22].

### 4.3.2 Typy odparek

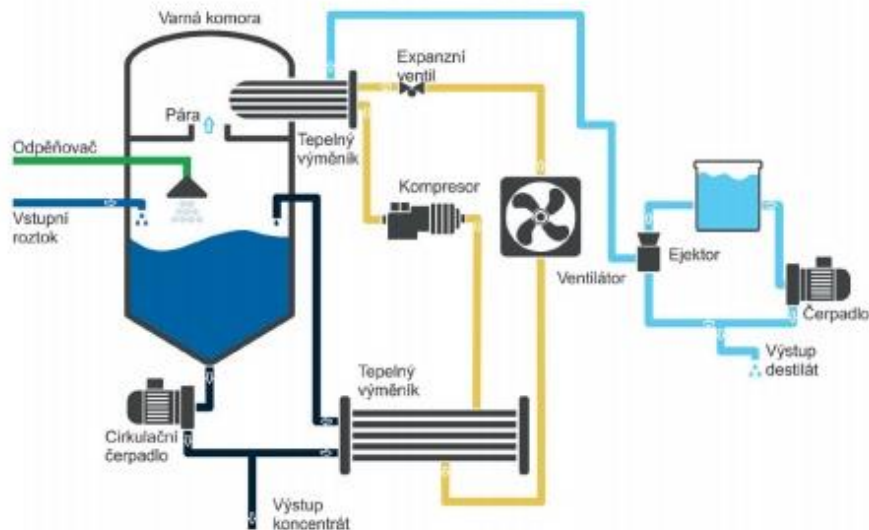
Na obrázku 4 je vidět schéma odparky Aquadest D. Tento druh odparek využívá ke snížení tlaku mechanické dmychadlo, které odvádí páry z varné komory, čímž ve varné komoře vytváří podtlak. Odcházející páry jsou dmychadlem stlačovány, a tím jsou i zahřívány. Jejich teplota se následně ve výměníku předává roztoku, který vstupuje do varné komory, a páry samy kondenzují a jsou odváděny jako kapalný destilát [22].



Obrázek 4. Schéma principu odparky Aquadest D [22]



Obrázek 5 popisuje schéma odparky Aquadest K. Ta na rozdíl od odparky typu D používá pro snížení tlaku vodní ejektor (proudové čerpadlo). Ohřev a chlazení je zde zaručen pomocí okruhu s tepelným čerpadlem, který chladí vzniklé páry, čímž je kondenzuje a získané teplo ohřívá cirkulační okruh roztoku [22].



Obrázek 5. Schéma principu odparky Aquadest K [22]

Velké modely odparek jsou schopny produkovat až 60 m<sup>3</sup> destilátu za den. Největší výhodou odparek je, že nevyžadují žádné přidané chemikálie, čímž se výrazně odlišují od ostatních metod čištění odpadních vod. Nevýhodou je ekonomické hledisko, jelikož se jedná o nákladnou záležitost. Nicméně mnoho investorů přistupuje právě na toto řešení, protože produkce odpadních vod se stane nulovou a náklady na jejich čištění tak velmi klesnou [22].

#### 4.4 Vícetupňové oplachy

Při procesech pokovování se mezi každou operací provádí mezioperace – oplach. Ten má za úkol zabránit, aby nedocházelo k přenosu elektrolytů z jedné funkční lázně do druhé. Zbytek elektrolytu, který byl na povrchu výrobku vynesena z funkční lázně se oplachem naředí a odvede. Pokud by došlo k nedokonalému očištění mohlo by dojít ke zhoršení kvality finálního výrobku.

Tento způsob oplachu je velmi náročný na spotřebu vody. Je tedy důležité se snažit docílit co nejmenšího výnosu z funkčních lázních, a tím snížit spotřebu vody i ekonomické náklady na její následné čištění. Jako jednou z nejúčinnějších metod se ukázalo být zavádění tzv. vícetupňového oplachu.

Důležitým parametrem při oplachových operacích je počet oplachů, který je potřeba určit tak, aby došlo ke správnému očištění a zároveň nedošlo k zbytečnému plýtvání vodou. Tento počet se určuje dle tzv. Kuschnerova vzorce (vzorec 1) [25, 26].

$$L = m \cdot (R)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

kde: L – potřeba vody na očištění určité upravované plochy,

m – výnos z lázně na jednotku plochy výrobku,

n – počet stupňů oplachové lázně,

R – poměr hmotnostních koncentrací látek v galvanické lázni (vzorec 2) [26].

$$R = \frac{C_0}{C_n} \quad (2)$$

kde: C<sub>0</sub> – koncentrace složky v lázni,

C<sub>n</sub> – koncentrace složky v posledním stupni oplachu.

Další možností, jak omezit spotřebu vody v oplachových operacích je její násobné použití. To lze využít pouze po procesech, které produkují malé množství znečišťujících látek jako jsou především závěrečné oplachy nebo oplachy v analogických systémech. Pro příklad lze uvést vodu, která byla použita po elektrolytickém odmaštění – tuto vodu můžeme následně využít při oplachu po chemickém odmaštění a naopak. Další možností je využití oplachové vody po dekapování v kyselině, která může být následně využita při oplachu po operaci moření a naopak. [13]

#### 4.4.1 Vícestupňový oplach – úsporný

Vícestupňový oplach úsporný (ekonomický oplach) se používá při procesech pokovování, neboť jejich funkční lázně pracují za vyšších teplot (více než 45 °C), a tak je právě tento druh oplachu nejvhodnější. Jde o vanový oplach neprůtočný. Výrobek je ponořen do vany a následně dojde k pohybu výrobku, aby došlo k lepšímu opláchnutí. Poté je výrobek vyjmut a vložen do další neprůtočné vany [13].

Obsah vany je v počátku demineralizovaná voda, která se postupně oplachy znečišťuje. Po dosažení určené hranice znečištění je nutno lázeň vypustit. Zde je ovšem výhoda těchto lázní, které pracují za vyšších teplot – lázeň se nechá dosytit na úroveň elektrolytu ve funkční lázni a může být použita jako náhrada za ztracenou část elektrolytu, který byl vnesen na výrobcích nebo se vypařil. Tímto způsobem lze zachránit až 75 % všech vnesených solí z elektrolytu. Spolu s elektrolytem by se však

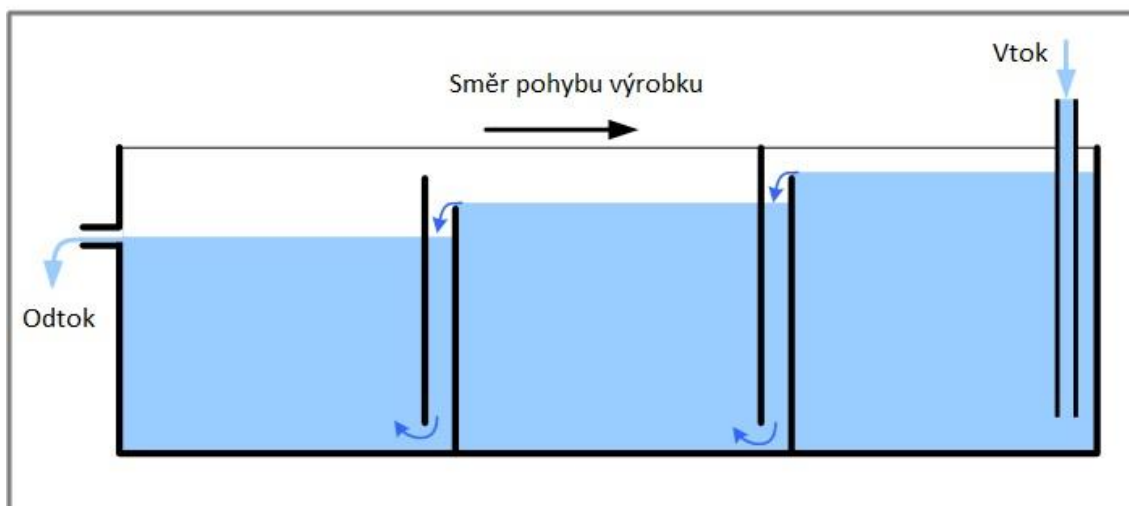
do lázní mohly vracet i nečistoty, proto je nutné před navrácením oplachové vody zpět do lázně provést její filtraci pomocí svíčkových mechanických filtrů a filtrů s aktivním uhlím [13,14].

#### **4.4.2 Sprchový oplach**

Sprchový oplach nebo též oplach postřikem je druh oplachu, kdy je výrobek zavěšen a rovnoměrně ostříkáván proudem destilované či demineralizované vody. Je zde využíváno především kinematické energie proudící vody, která přispívá ke kvalitnějšímu a rychlejšímu opláchnutí výrobku. Nevýhodou této techniky je její spektrum využití, protože tento oplach není vhodný pro výrobky, které obsahují dutiny nebo se jedná o tenké výrobky jako jsou dráty a není vhodný ani pro členité výrobky. Nejčastější použití tohoto oplachu je u předmětů, které mají velký objem, a především jsou vyráběny v malých sériích a pro provozovatele se nevyplatí instalace velkorozměrových oplachových van [13].

#### **4.4.3 Průtočný oplach protiproudý**

U tohoto způsobu oplachu je zajištěn rovnoměrný oplach. Na rozdíl od neprůtočných druhů oplachů zde nedochází ke zvyšování koncentrace škodlivin v oplachových vanách. Nejdůležitějším krokem u této technologie je správné zvolení přítoku a odtoku. Pokud nebude správně zvolen přítok a odtok nedojde k dobrému rozložení koncentrace v oplachové lázni, a tím se vytrácí výhody tohoto oplachu. V ideálním případě je lázeň v průběhu oplachu promíchávána, tím se docílí lepší rozložení koncentrace a zvýší se tak efektivita celého oplachu. Míchání může být aplikováno do všech oplachových van. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o protiproudý oplach, proto je přítok umístěn na konci poslední lázně. Odtok je umístěn na opačné straně, tedy na počátku první lázně ve směru pohybu výrobku při oplachové operaci. Přechod oplachového média je řešen přepadem, kdy médium přepadá ve směru proudění vody z jedné lázně do druhé (obr. 6) [13].



Obrázek 6. Schéma průtočného protiproudého oplachu [28]

Dalším důležitým krokem je zvolení ideálního počtu lázní, tak aby došlo k efektivnímu oplachu a zároveň aby nebyl oplach neekonomický. Z praktických zkušeností se ukázalo, že nejvhodnější počet van jsou dvě. Každým stupněm oplachu se posouvá efekt oplachu zhruba o jeden řád níž. To znamená, je-li v prvním stupni oplachová účinnost 10%, bude ve druhém stupni 1%, ve třetím 0,1%, ve čtvrtém 0,01% proti původní koncentraci funkční lázně. Více než čtyři stupně oplachu se nedoporučují, neboť se jedná o neekonomický oplach. Účinnost lázně je též závislá na době oplachu. V případě větších požadavků na oplach výrobků je vhodnější zvolit jinou metodu oplachu [13].

#### 4.4.4 Retenční oplach

Retenční oplach je druh neprůtočného vanového oplachu. Podobně jako u úsporného oplachu dochází k oplachu do té doby, dokud není vana nasycena do určité hodnoty. Kvalita oplachu se společně se zvětšující koncentrací nečistot zhoršuje. Po nasycení, kdy dojde k překročení stanovené hodnoty se vana vypouští – naráz. Bohužel na rozdíl od úsporného oplachu nelze toto médium znovu použít a je tedy zdrojem odpadních vod. Pro zachování správného chodu výrobní linky je třeba navrhnout kapacitu vany tak, aby stačila na celou pracovní směnu nebo na určitý pracovní úsek a k výměně lázně docházelo mezi těmito úseky. Retenční oplach se používá zpravidla dvoustupňový [13].

## 5 Požadavky na čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod je nedílnou součástí každého provozu, který se zabývá procesy povrchových úprav. Je nutné, aby nedocházelo k produkci znečištěných vod, a tím i ke zhoršování životních podmínek zde na Zemi. Z tohoto důvodu jsou na čištění vod kladeny přísné požadavky.

Ukazatel	Jednotka	Dovolená hodnota
pH		6,0 – 8,5
BSK <sub>5</sub>	mg/l	1000
CHSK <sub>Cr</sub>	mg/l	2000
Arsen (As)	mg/l	0,2
Chrom trojmocný (Cr <sup>+3</sup> )	mg/l	0,5
Kadmium (Cd)	mg/l	0,2
Kyanidové ionty	mg/l	0,2
Měď (Cu)	mg/l	0,5
Nikl (Ni)	mg/l	1,0
Olovo (Pb)	mg/l	0,1
Ropa a ropné látky	mg/l	20
Rtuť (Hg)	mg/l	0,005
Saponáty celkem	mg/l	10
Selen (Se)	mg/l	0,05
Solnost celková	mg/l	1000
Stříbro (Ag)	mg/l	0,1
Tuky a oleje rostli. A živ. původu	mg/l	55
Zinek (Zn)	mg/l	2,0

*Tabulka 2. Maximální dovolené hodnoty znečištění odpadních vod vypouštěných do veřejných kanalizací [17]*

V tabulce č. 2 jsou vidět požadavky na maximální dovolené hodnoty různých látek obsažených ve vodách, které jsou vypouštěné zpět do veřejných kanalizací. Dle hodnot je vidět, že požadavky jsou velmi náročné, a proto je každý podnik nucen své odpadní vody čistit. Pro čištění je důležité zvolit správnou metodu. Metodu čištění odpadních vod nelze stanovit univerzálně – pro každý podnik je nevhodnější jiná, popř. různé kombinace čistících metod, a to v závislosti dle druhu a množství odpadních vod.

Z pohledu životního prostředí je samozřejmé, že je nevhodnější používat neúčinnější metody. Zde však přichází také ekonomické hledisko. Nejúčinnější metody

bývají obvykle i těmi nejdražšími, a tak se firmy snaží investice do čištění minimalizovat pouze na potřebné minimum, tak aby splňovaly legislativní požadavky.

## 5.1 Hodnoty pH

Definice veličiny pH je dána jako záporně vzatý logaritmus aktivity vodíkových iontů. Měření pH vykazuje hodnoty na stupnici 0 – 14. Roztoky o hodnotách 0 – 7, jsou roztoky kyselé. Ty se vyznačují nadbytkem iontů vodíku  $H^+$ , a platí, že čím je hodnota pH nižší, tím je v roztoku více iontů  $H^+$  a jedná se tedy o silnější kyselinu. Opakem kyselých roztoků jsou roztoky zásadité nebo též alkalické. Tyto roztoky nabývají hodnot pH 7 – 14 a vyznačují se přebytkem iontů hydroxidu  $OH^-$ . Zde platí, že čím je v roztoku větší přebytek iontů  $OH^-$ , tím větší je hodnota pH daného roztoku a jedná se tedy o silnější zásadu. Roztoky, které nejsou ani kyselé ani zásadité se nazývají neutrální. Neutrální roztoky mají hodnotu pH 7, a platí pro ně, že obsahují ionty  $H^+$  a  $OH^-$  v rovnováze [18, 19].

Měření pH patří k nepřímo měřeným veličinám, kdy se jedná o měření neelektrické veličiny na elektrochemickém principu. Měření pracuje se dvěma články – prvním článkem je milivoltmetr a druhým článkem je pH sonda, která generuje napětí v závislosti na pH vzorku, v němž je ponořena, a které zaznamenává milivoltmetr. Mezi základní měrné sondy pro zjišťování pH se používají vodíková elektroda nebo elektroda skleněná. Další způsobem měření je měření pomocí acidobazických indikátorů. Tyto indikátory v reakci s daným roztokem mění svou barvu v závislosti na pH tohoto roztoku (obr. 7). K tomuto měření se používají indikátorové papírky, tzv. pH papírky. Tyto papírky obvykle pokryjí celý rozsah stupnice pH, ale je možnost pořídit i papírky s menším rozsahem, jako je například rozsah 0 – 7, 7 – 14, popřípadě i například 6 – 7, 7 – 8. Čím větší je rozsah pH papírku, tím je obvykle menší přesnost měření, a proto je v mnohých případech toto měření nedostačující. Výhodou je však velká dostupnost a prakticky nulová náročnost na měření [18, 19].



Obrázek 7. Stupnice pH [29]

## **6 Předpoklady a prostředky pro předcházení znečištění vod při povrchových úpravách**

Strojírenské technologie včetně povrchových úprav jsou zdrojem velmi nebezpečných látek, proto je pro každý podnik s tímto zaměřením důležité co nejlépe zajistit, aby nedocházelo ke znečištění životního prostředí. Vhodnými opatřeními, technologickou kázní a automatizací je možno zvládnout i velmi náročnou legislativu a požadavky kontrolních orgánů [26].

### **6.1 Organizační opatření**

Personalistika – výběr vhodných pracovníků je svým způsobem nejdůležitějším předpokladem ve firmě – je však třeba najít i správné způsoby, jak je motivovat a využít celý jejich potenciál [26].

Ovlivňování lidského faktoru – je třeba neustále proškolovat personál, a prohlubovat tak jeho znalosti v daném oboru celoživotním vzděláváním [26].

Kontrolní opatření – stanovit účinný kontrolní systém technologických zařízení, postupná kontrola kvality výrobků, motivací na zisku personálu (např. dodržování technologické kázně, pracovních postupů, zásad bezpečnosti práce) [26].

Pravidelná údržba provozu – musí být nedílnou součástí každé dobře fungující firmy. Je třeba též zajistit servisní služby, pro případné rychlé napravení vzniklých mimořádných událostí a pochybení [26].

### **6.2 Technická opatření**

Důsledná separace skupin průmyslových vod – předcházet tomu, aby nedošlo k mísení, při němž by mohlo dojít k ohrožení personálu v důsledku úniku toxických látek, nebo by nebylo možné provést čištění, popřípadě by došlo ke zhoršení jejich čistitelnosti [26].

Důsledná separace provozních, komunálních a chladicích vod a s tím související dodržování zásad děleného vodního hospodářství [26].

Samostatné předčištění vstupních technologických vod za účelem odstranění některých látek minerálního charakteru (deionizace vody) – zabránit použití těchto látek

v jakékoli formě. Kontrola technických dokumentů – list dodavatelů včetně kontroly látek obsažených v dodávaných vodách [26].

Zneškodňování koncentrátů (vyčerpaných funkčních lázní) - provádět samostatně v diskontinuálních reaktorech mimo čistírnu nebo smluvně mimo firmu [26].

Snížení produkce odpadních vod novými technologickými postupy omezujícími spotřebu vody, např. zavedením efektivnější oplachové techniky instalací víceetapových protiproudých oplachů a ekonomického oplachu, použitím přímého způsobu čištění, nebo využitím cirkulačního oběhu vody. Kontrolou čistoty povrchů z předchozích technologií, například vakuování, odlévání, tváření či svařování dodaných zákazníkem k povrchové úpravě [26].

Vícenásobné využití odpadních vod, po posouzení jejich kvality, a to přímo nebo po předčištění v jiném výrobním procesu [26].

Rekuperace lázní a jejich složek z oplachových vod – zavádění maloodpadových technologií, z hlediska technického a ekonomického, posoudit možnost zavedení materiálově uzavřených okruhů, při kterých se vnesené látky na zboží vrací zpět do funkční lázně [26].



## 7 Experimentální část – Problematika oplachových vod a ověření Kuschnerova vzorce

V této práci, respektive její experimentální části, je věnována pozornost problematice oplachových vod, včetně ověřování Kuschnerova vzorce, který se používá pro výpočet objemů oplachových vod a ke stanovení počtu oplachů.

### 7.1 Změny pH v oplachové lázni

V tomto experimentu je sledována změna pH v oplachové lázni. Měření probíhalo na dvou vzorcích – plechu (obr. 8) a součásti (obr. 9 a 10). Všechna měření probíhala za stálé teploty 20 – 22 °C.

Je třeba zdůraznit, že problematika oplachových vod je velmi složitou záležitostí jak z hlediska kvantity, tak kvality sledovaných vod. Problematiku oplachových vod lze sledovat pomocí změny pH jen u silně zředěných roztoků.

#### 7.1.1 Specifikace vzorku – plech



Obrázek 8. Vzorek – plech

Materiál: Nerezová ocel (přesné složení nespecifikováno)

Rozměry: šířka – 101 mm, výška – 45,25 mm, tloušťka – 2 mm, průměr díry – 8 mm  
Tyto rozměry byly zvoleny úmyslně, jelikož bylo vycházeno ze součásti, která nebyla nijak upravována. Plech byl tedy uříznut, a to tak, aby plocha povrchu byla shodná s plochou povrchu součásti a mohlo dojít k porovnání těchto dvou vzorků – k měření jsem použil posuvné měřítko.

Celková plocha: 9 675 mm<sup>2</sup>

Příprava vzorku před měřením:

- 1) očištění proudící vodou,
- 2) utření utěrkou,
- 3) zavěšení na drát – zajištění manipulace bez kontaktu s pokožkou,
- 4) odmaštění technickým lihem,
- 5) osušení pomocí fénu bez ohřevu – teplota proudícího vzduchu shodná s teplotou okolí.

### 7.1.2 Specifikace vzorku – součást



Obrázek 9. a 10. Vzorek – součást

Materiál: Nástrojová ocel kalená (přesné složení nespecifikováno)

Rozměry: níže uvedené rozměry vychází z obrázku 9 (vlevo)

šířka (na horní straně) – 49 mm, šířka (na spodní straně) – 19 mm, výška (na pravé straně) – 50 mm, výška (na levé straně) – 19 mm, tloušťka – 30 mm, průměr děr – 8 mm

Celková plocha: 9 674 mm<sup>2</sup> – povrch součásti shodný s povrchem plechu (rozdíl 1 mm<sup>2</sup>)

Příprava vzorku před měřením:

- 1) očištění proudící vodou
- 2) utření utěrkou
- 3) zavěšení na drát – zajištění manipulace bez kontaktu s pokožkou
- 4) odmaštění technickým lihem
- 5) osušení pomocí fénu bez ohřevu – teplota proudícího vzduchu shodná s teplotou okolí

### 7.1.3 Specifikace dalších pomůcek a přístrojů

Jako další pomůcky byly použity tyto předměty:

#### pH metr

Pro měření pH byl použit pH metr ADWA AD12 (obr. 11). Před každým měřením pH byl přístroj dle návodu výrobce zkalibrován. Kalibrace probíhala pomocí dvou kalibračních prášků, díky nimž byly dle návodu vytvořeny dva kalibrační roztoky, ve kterých probíhala následná kalibrace.



Obrázek 11. pH metr od firmy ADWA, kalibrační prášky

#### Vana

Jako vanu pro funkční i oplachové lázně byly použity tyto skleněné mísy (obr. 12). Obě mísy byly před použitím umyty, odmaštěny technickým lihem a vysušeny fénem.



Obrázek 12. Vana (miska)

### Odměrný válec a pipeta

Pro přesné odlití a měření objemu kapalin byl použit odměrný válec (obr. 13). Tento válec má rozsah 20 – 500 ml. Dále byla pro odměřování použita pipeta (obr. 14) s rozsahem 0 – 2 ml. Obě pomůcky byly před použitím umyty, odmaštěny technickým lihem a usušeny.



Obrázek 13. a 14. Odměrný válec, pipeta

## **Voda**

Voda byla čerpána z vodovodního řádu a ponechána odstát po dobu 2 dní při pokojové teplotě. Z kapacitních důvodů byla voda čerpána během více dní, tudíž se počáteční hodnota pH pro jednotlivé měření lehce mění. Přesná hodnota je uvedena vždy u každého měření.

## **Promíchání lázně**

Předmětem, který byl použit pro promíchání vytvořených lázní byla nerezová kuchyňskou lžíce s dlouhým držadlem. Před použitím byla umyta, odmaštěna a osušena.

### **7.2 Postup měření**

Prvním krokem měření bylo vytvoření funkční lázně a příprava oplachové lázně. Funkční lázně se lišily dle prostředí, ve kterém probíhalo měření, příprava jednotlivých lázní je popsána v následujících podkapitolách. Oplachová lázeň byla vytvořena z 1 litru vody, odměřena pomocí odměrného válce. Lázně byly umístěny na pracovní stůl vedle sebe. Připravený vzorek, kterým se manipulovalo pomocí drátu, na kterém byl vzorek zavěšen, byl ponořen do funkční lázně a zde byl ponechán po dobu 5 sekund. Následně byl vzorek vyjmut a držen nad lázní 10 sekund, aby došlo k okapání – měření času bylo docíleno stopkami. Po uplynutí tohoto časového úseku byl vzorek opatrně přenesen nad oplachovou lázeň a ponořen. Zde byl vzorek pomocí manipulačního drátu uveden do pohybu, tak aby došlo k oplachu. Tato operace trvala opět 10 sekund a po uplynutí této doby byl vzorek vyjmut ven z lázně a nechán okapat nad lázní. Následoval operace sušení, kdy byl zapnut fén s vypnutou funkcí ohřevu, tak aby nedocházelo ke změně teploty vzorku a vzorek byl umístěn do proudu vzduchu a ponechán zde po dobu, dokud nedošlo k odstranění veškerých přebytků vynesných z oplachové lázně. Tento proces se poté opakoval.

Celý tento proces oplachu se u jednotlivých vzorků opakoval 100x. Úkolem, v této části práce, bylo sledovat změnu pH v oplachové lázni prvního stupně oplachu. Toto měření probíhalo vždy po uskutečnění 5 oplachů. Měření probíhalo pomocí kalibrovaného pH metru. Výsledek jednotlivých měření byl zaznamenán a následně zpracován v programu Microsoft Excel 2016.

Druhou částí úkolu bylo změřit změnu pH u druhého stupně oplachu. Pro tuto část měření byla jako funkční lázeň použita oplachová lázeň z první části úkolu a jako lázeň oplachová byla použita zcela nová lázeň. Celý proces měření druhého stupně oplachu probíhal shodným způsobem jako měření v první části úkolu.

### 7.3 Měření pH v kyselém prostředí

Vytvoření funkční lázně – lázeň byla vytvořena 1 litrem vody a přidáním octa (obr. 15) tak, aby vzniklá lázeň měla pH rovno 4. To bylo docíleno přidáním 13 ml octa a důkladným promícháním.



Obrázek 15. Ocet – pH 2,5

V následujících podkapitolách jsou v tabulkách a grafech číselně a graficky zobrazeny hodnoty měření změny pH pro oba vzorky v kyselém prostředí. Tabulka 3 a graf 4 zobrazují změnu pH v oplachové lázni pro plech v prvním stupni oplachu. Tabulka 4 a graf 5 zobrazují změnu pH v oplachové lázni pro plech pro druhý stupeň oplachu. Tabulka 5 společně s grafem 6 ukazují změnu hodnoty pH oplachové lázně pro součást v prvním stupni oplachu. Změnu pH při druhém stupni oplachu pro součást ukazují tabulka 6 a graf 7.

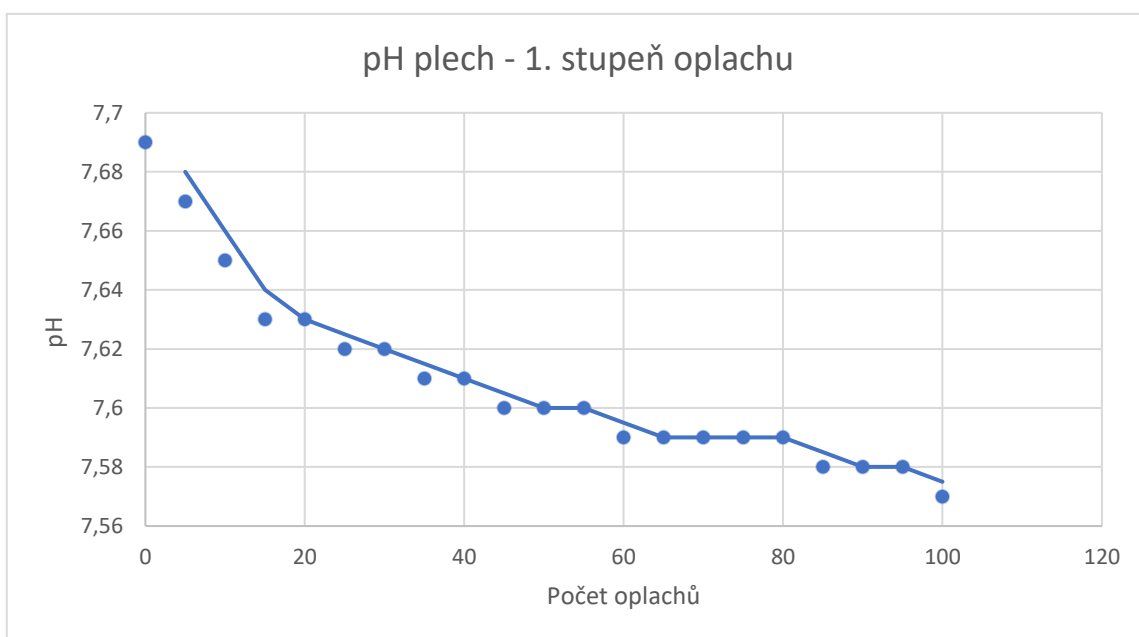
### 7.3.1 Plech – první stupeň oplachu

pH funkční lázně – 4

Počáteční pH oplachové lázně – 7,69

Počet oplachů	pH
0	7,69
5	7,67
10	7,65
15	7,63
20	7,63
25	7,62
30	7,62
35	7,61
40	7,61
45	7,6
50	7,6
55	7,6
60	7,59
65	7,59
70	7,59
75	7,59
80	7,59
85	7,58
90	7,58
95	7,58
100	7,57

Tabulka 3. pH plech – 1. stupeň oplachu v kyselém prostředí



Graf 4. pH plech – 1. stupeň oplachu v kyselém prostředí

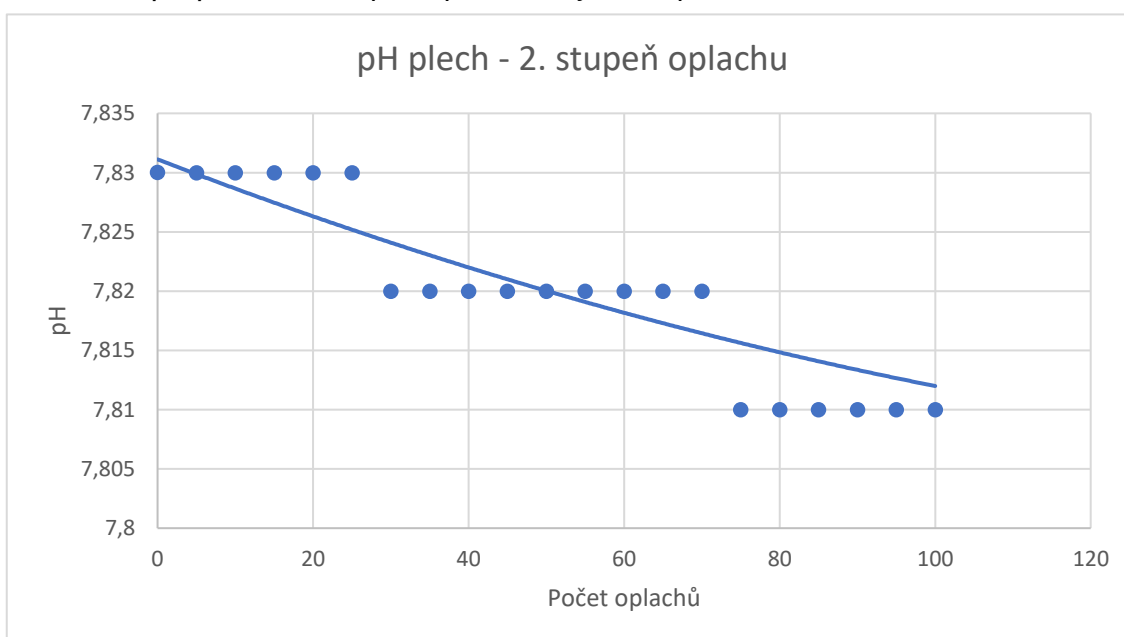
### 7.3.2 Plech – druhů stupeň oplachu

pH funkční lázně (lázeň prvního stupně oplachu) – 7,57

Počáteční pH oplachové lázně – 7,83

Počet oplachů	pH
0	7,83
5	7,83
10	7,83
15	7,83
20	7,83
25	7,83
30	7,82
35	7,82
40	7,82
45	7,82
50	7,82
55	7,82
60	7,82
65	7,82
70	7,82
75	7,81
80	7,81
85	7,81
90	7,81
95	7,81
100	7,81

Tabulka 4. pH plech – 2. stupeň oplachu v kyselém prostředí



Graf 5. pH plech – 2. stupeň oplachu v kyselém prostředí



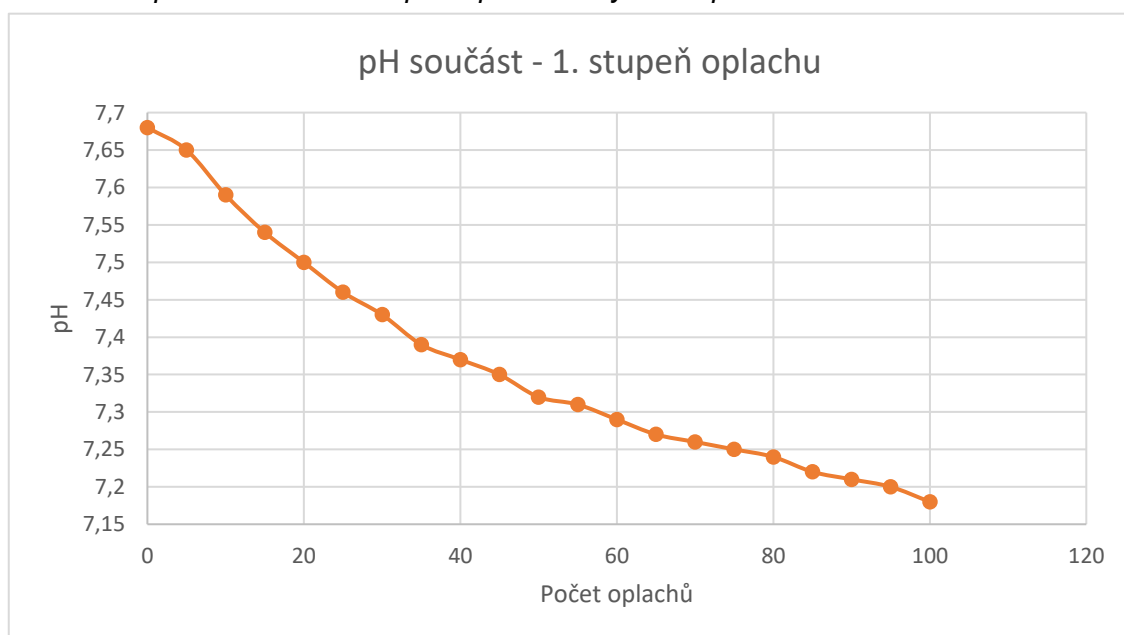
### 7.3.3 Součást – první stupeň oplachu

pH funkční lázně – 4

Počáteční pH oplachové lázně – 7,68

Počet oplachů	pH
0	7,68
5	7,65
10	7,59
15	7,54
20	7,5
25	7,46
30	7,43
35	7,39
40	7,37
45	7,35
50	7,32
55	7,31
60	7,29
65	7,27
70	7,26
75	7,25
80	7,24
85	7,22
90	7,21
95	7,2
100	7,18

Tabulka 5. pH součást – 1. stupeň oplachu v kyselém prostředí



Graf 6. pH součást – 1. stupeň oplachu v kyselém prostředí

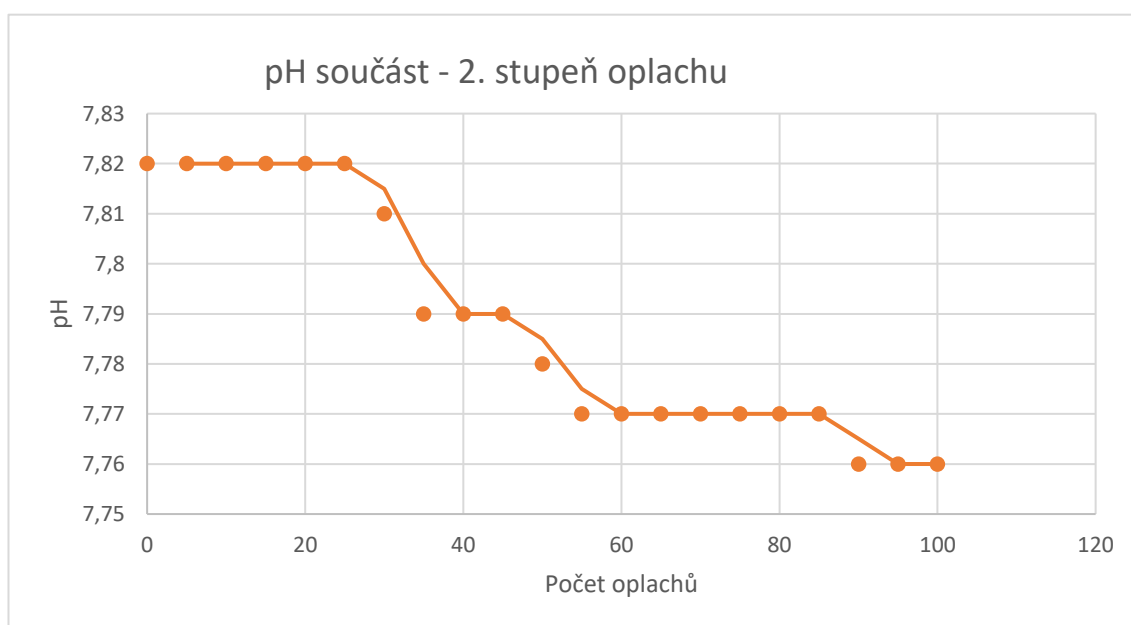
### 7.3.4 Součást – druhý stupeň oplachu

pH funkční lázně (lázeň prvního stupně oplachu) – 7,18

Počáteční pH oplachové lázně – 7,82

Počet oplachů	pH
0	7,82
5	7,82
10	7,82
15	7,82
20	7,82
25	7,82
30	7,81
35	7,79
40	7,79
45	7,79
50	7,78
55	7,77
60	7,77
65	7,77
70	7,77
75	7,77
80	7,77
85	7,77
90	7,76
95	7,76
100	7,76

Tabulka 6. pH součást – 2. stupeň oplachu v kyselém prostředí



Graf 7. pH součást – 2. stupeň oplachu v kyselém prostředí

#### 7.4 Měření pH v alkalickém prostředí

Vytvoření funkční lázně – lázeň byla vytvořena 1 litrem vody a přidáním SAVA ORIGINAL (obr. 16), tak aby vzniklá lázeň měla pH rovno 10. To bylo docíleno přidáním 18 ml tohoto přípravku a důkladným promícháním.



Obrázek 16. Savo – pH 12,4

V následujících podkapitolách, stejně jako tomu bylo u kyselého prostředí, i zde jsou uvedeny tabulky a grafy, které znázorňují změnu pH v oplachových lázních. Tentokrát však pro případ alkalické funkční lázně. Změnu pH v oplachových lázních pro plech při prvním stupni oplachu popisují tabulka 7 a graf 8, zatímco tabulka 8 a graf 9 popisují změnu při druhém stupni oplachu. U součásti při prvním stupni oplachu popisuje změnu pH tabulka 9 a graf 10. Druhý stupeň oplachu popisuje tabulka 10 a graf 11.

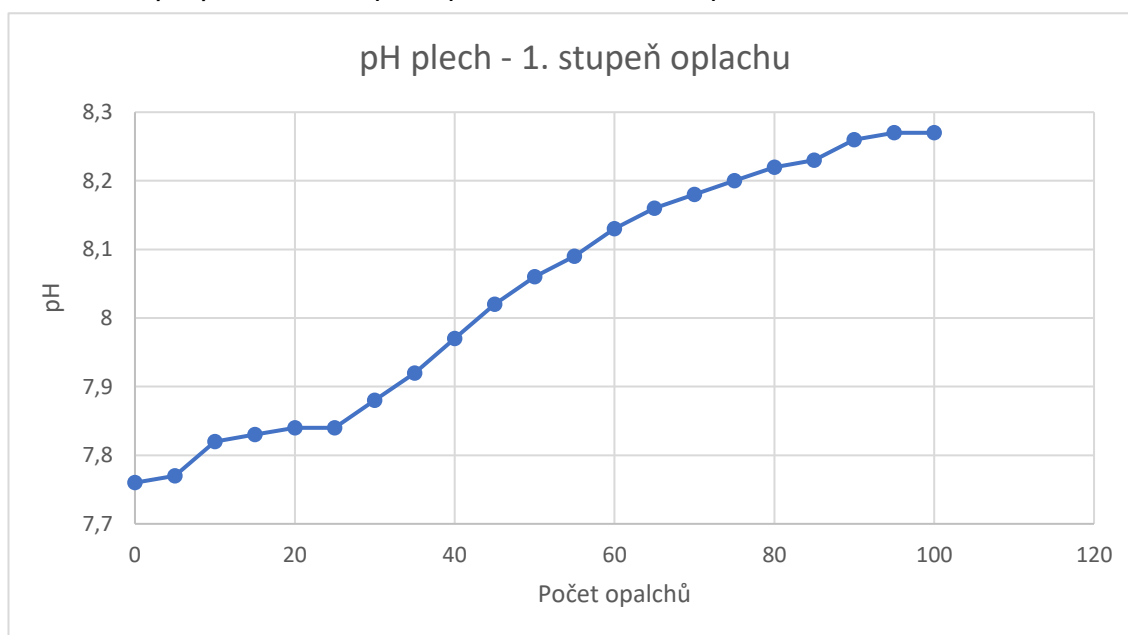
### 7.4.1 Plech – první stupeň oplachu

pH funkční lázně – 10

Počáteční pH oplachové lázně – 7,76

Počet oplachů	pH
0	7,76
5	7,77
10	7,82
15	7,83
20	7,84
25	7,84
30	7,88
35	7,92
40	7,97
45	8,02
50	8,06
55	8,09
60	8,13
65	8,16
70	8,18
75	8,2
80	8,22
85	8,23
90	8,26
95	8,27
100	8,27

Tabulka 7. pH plech – 1. stupeň oplachu v alkalickém prostředí



Graf 8. pH plech – 1. stupeň oplachu v alkalickém prostředí

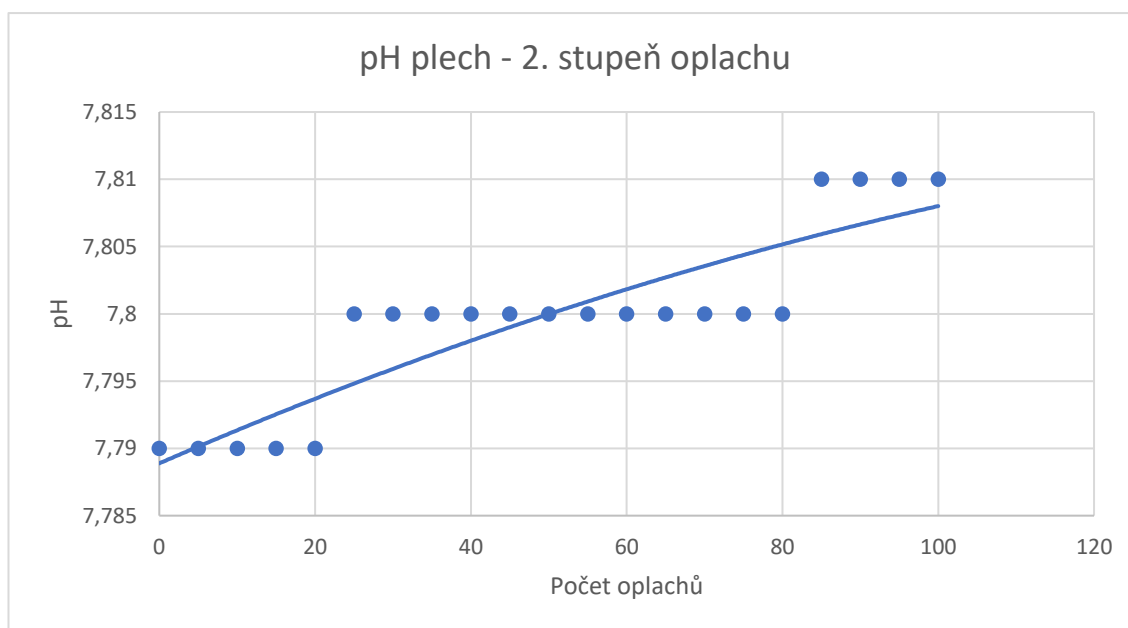
## 7.4.2 Plech – druhý stupeň oplachu

pH funkční lázně (lázeň prvního stupně oplachu) – 8,27

Počáteční pH oplachové lázně – 7,79

Počet oplachů	pH
0	7,79
5	7,79
10	7,79
15	7,79
20	7,79
25	7,8
30	7,8
35	7,8
40	7,8
45	7,8
50	7,8
55	7,8
60	7,8
65	7,8
70	7,8
75	7,8
80	7,8
85	7,81
90	7,81
95	7,81
100	7,81

Tabulka 8. pH plech – 2. stupeň oplachu v alkalickém prostředí



Graf 9. pH plech – 2. stupeň oplachu v alkalickém prostředí

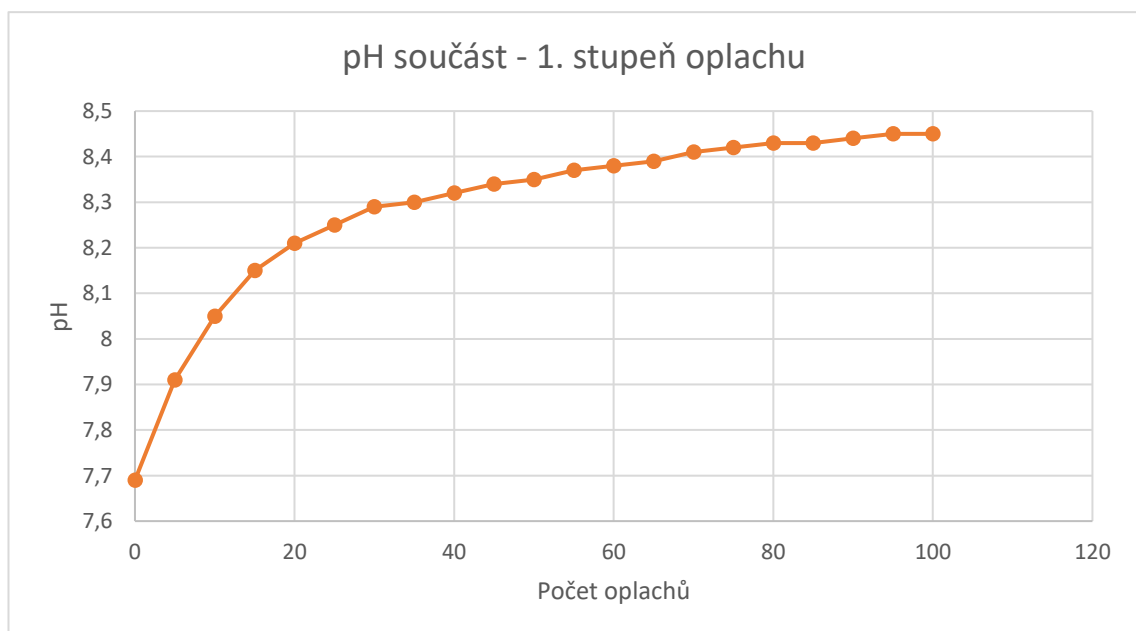
### 7.4.3 Součást – první stupeň oplachu

pH funkční lázně – 10

Počáteční pH oplachové lázně – 7,69

Počet oplachů	pH
0	7,69
5	7,91
10	8,05
15	8,15
20	8,21
25	8,25
30	8,29
35	8,3
40	8,32
45	8,34
50	8,35
55	8,37
60	8,38
65	8,39
70	8,41
75	8,42
80	8,43
85	8,43
90	8,44
95	8,45
100	8,45

Tabulka 9. pH součást – 1. stupeň oplachu v alkalickém prostředí



Graf 10. pH součást – 1. stupeň oplachu v alkalickém prostředí

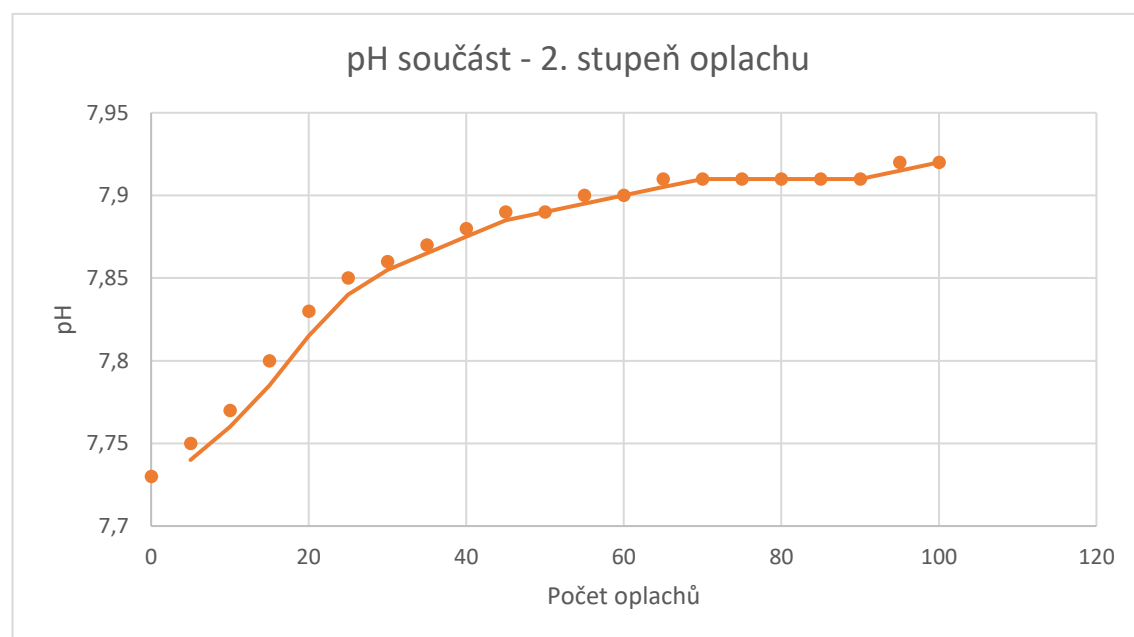
#### 7.4.4 Součást – druhý stupeň oplachu

pH funkční lázně (lázeň prvního stupně oplachu) – 8,45

Počáteční pH oplachové lázně – 7,73

Počet oplachů	pH
0	7,73
5	7,75
10	7,77
15	7,8
20	7,83
25	7,85
30	7,86
35	7,87
40	7,88
45	7,89
50	7,89
55	7,9
60	7,9
65	7,91
70	7,91
75	7,91
80	7,91
85	7,91
90	7,91
95	7,92
100	7,92

Tabulka 10. pH součást – 2. stupeň oplachu v alkalickém prostředí



Graf 11. pH součást – 2. stupeň oplachu v alkalickém prostředí

## 7.5 Výsledky první části – problematika oplachových vod

V první části experimentu byla ověřena velikost výnosu v závislosti na členitosti výrobku, a také byl pozorován rozdíl ve změně pH oplachových van v závislosti na charakteru funkční lázně (kyselá/alkalická).

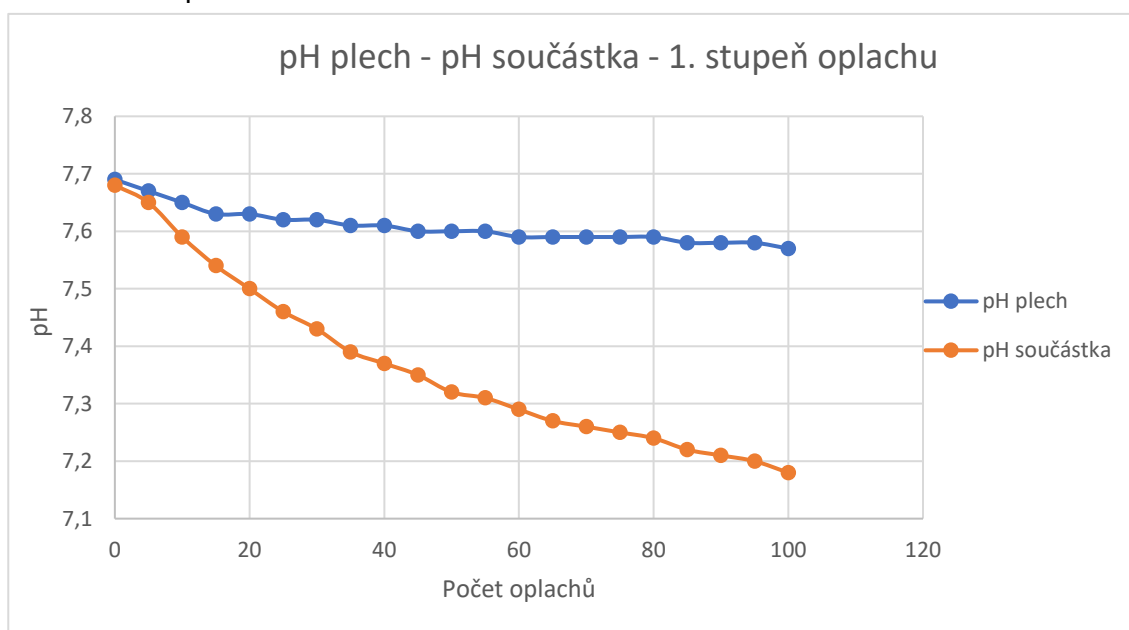
### 7.5.1 Velikost výnosu

Výnos byl měřen pro plech i pro součást a taktéž byl měřen pro obě prostředí. Z měření, které probíhalo odměřením množství roztoku, které zbylo ve funkční lázni po 100 opláších, byly zjištěny tyto data:

- 1) Prostředí nemělo vliv na velikost výnosu,
- 2) Pomocí plechu bylo během 100 oplachů vyneseno z funkční lázně 36 ml roztoku,
- 3) U součástky byl po 100 opláších zaznamenán výnos z funkční lázně 70 ml roztoku.

### 7.5.2 Porovnání plech – součást v kyselém prostředí

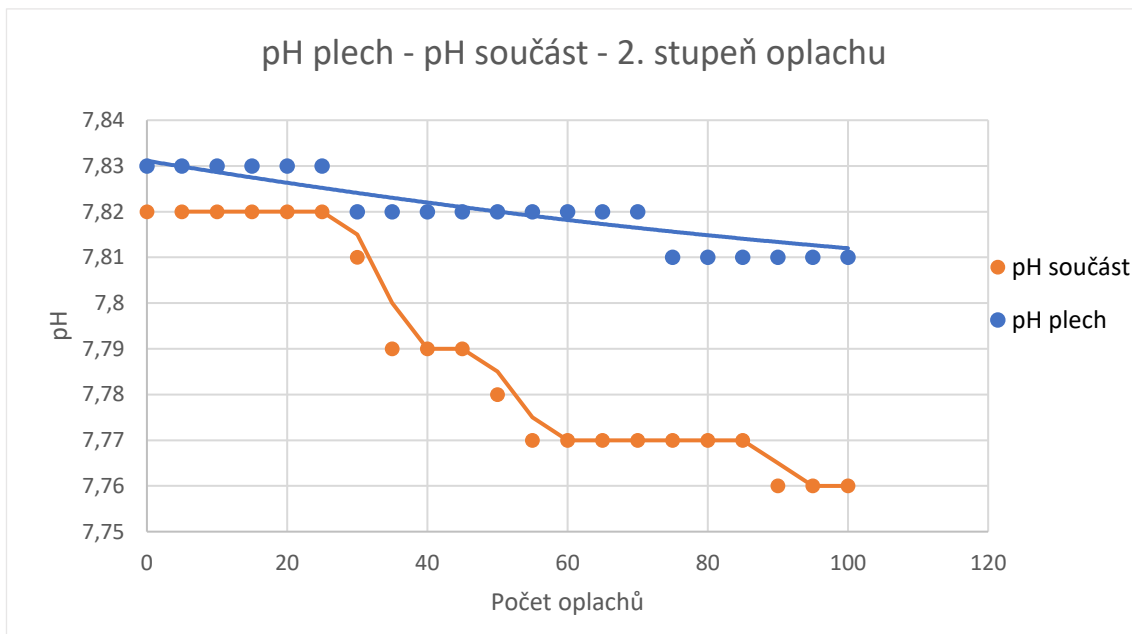
Graf 12 vznikl spojením grafů 4 a 6. Je zde vidět, že pH v oplachové lázni klesalo. Výraznější pokles byl zaznamenán u součásti (0,50), u plechu byl pokles nižší (0,12). Oplachováním součásti tedy došlo k většímu znečištění oplachové lázně výnosem z funkční lázně. Tento větší výnos je dán tvarovou rozmanitostí obou vzorků, neboť na součásti se přenesla větší množství roztoku.



Graf 12. Porovnání první stupeň oplachu v kyselém prostředí



Graf 13 vznikl spojením grafů 5 a 7. I zde je zaznamenán pokles hodnot pH. A stejně jako tomu bylo v předchozím případě, rychleji se pH měnilo u součásti (0,06). U plechu byla změna menší (0,02). Důvodem této rychlejší změny je opět tvarová rozmanitost obou vzorků.

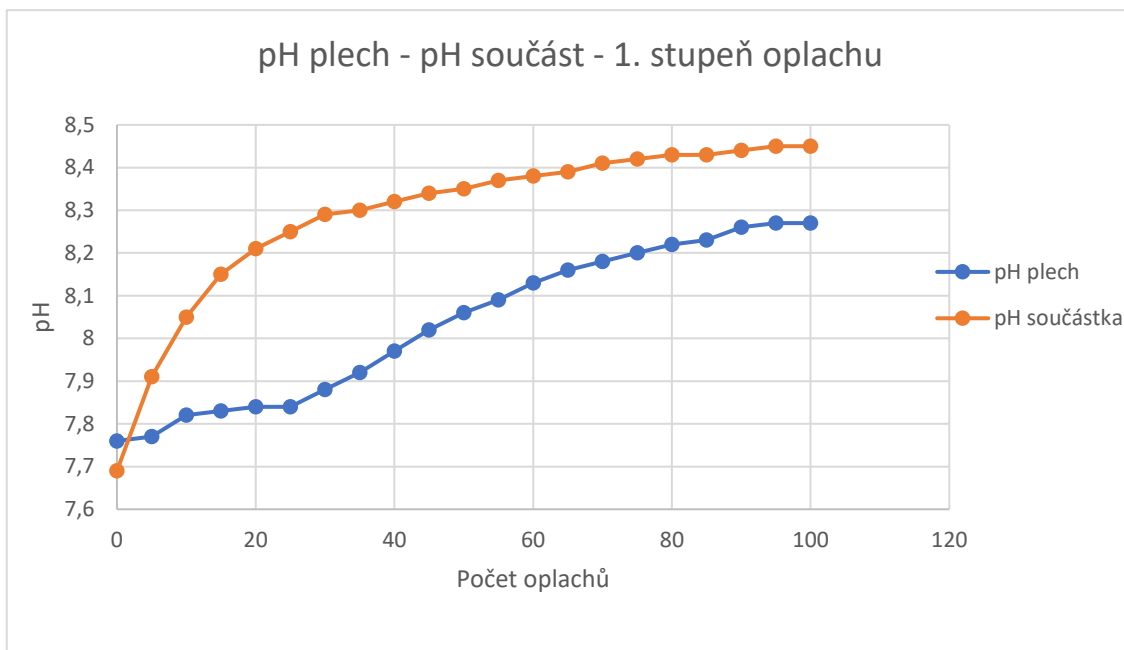


Graf 13. Porovnání druhý stupeň oplachu v kyselém prostředí

Při porovnání grafů 12 a 13 lze vidět, že lázeň druhého oplachu mění své pH, oproti lázni prvního oplachu, velmi pomalu. To je dáno rozdílem pH v lázních, ze kterých se přenáší vzorek. V případě prvního stupně oplachu přichází vzorek z lázně o hodnotě pH 4, zatímco při druhém stupni oplachu přichází vzorek z lázní, které mají hodnotu pH nad hranicí 7 → 7,18 respektive 7,57 v závislosti na testovaném vzorku.

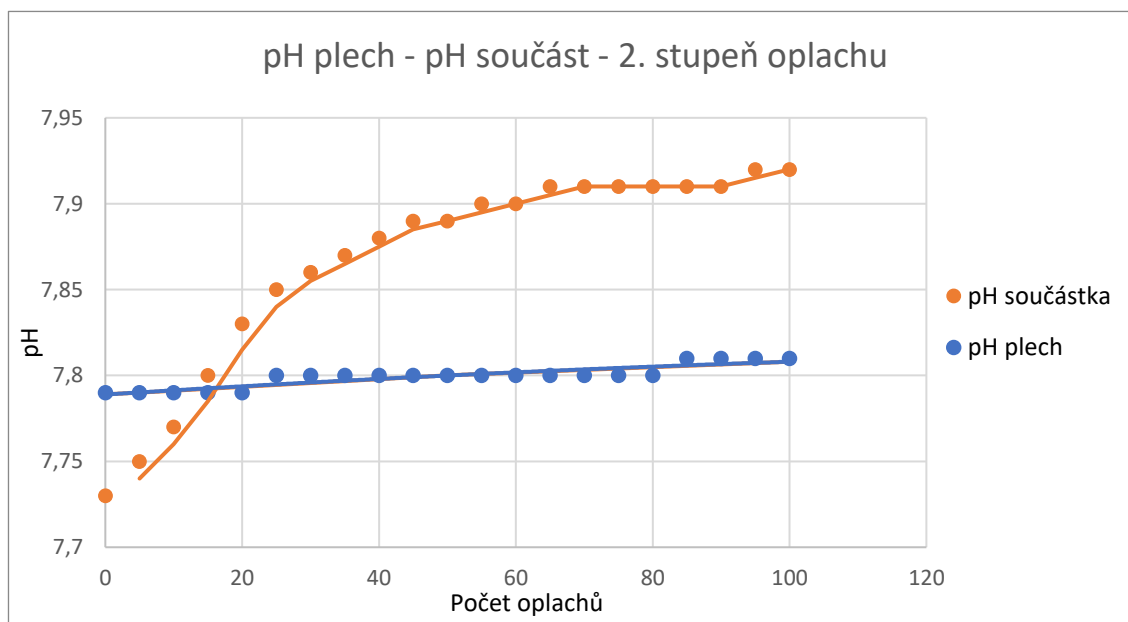
### 7.5.3 Porovnání plech – součást v alkalickém prostředí

V grafu 14, který vznikl spojením grafů 8 a 10, lze vyčíst, že hodnota pH v oplachové lázni stoupala, větší vzestup byl zaznamenán u součásti (0,76), zatímco plech zaznamenal menší vzestup (0,51). I zde se projevila tvarová rozmanitost obou vzorků.



*Graf 14. Porovnání první stupeň oplachu v alkalickém prostředí*

V grafu 15, který vznikl spojením grafů 9 a 11, lze spatřit, že stejně jako v předchozím případě i zde docházelo k navýšení hodnot pH, a také se projevila větší tvarová rozmanitost, a tedy i větší výnos, který má za následek větší změnu v hodnotách pH oplachových lázní u součásti (0,19), než u plechu (0,02).

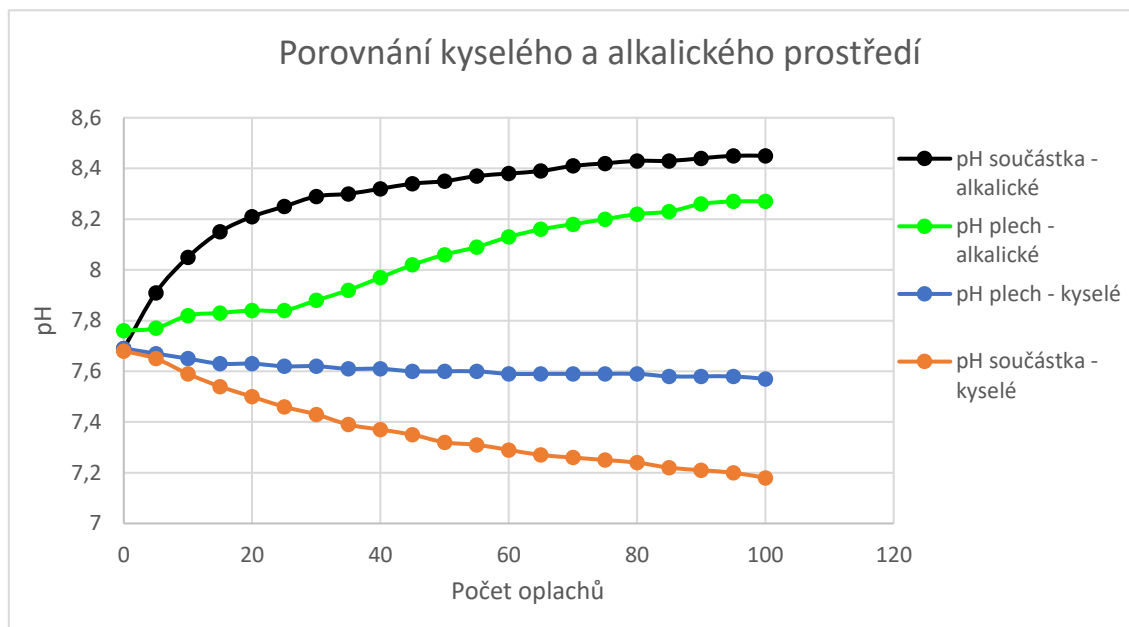


*Graf 15. Porovnání druhý stupeň oplachu v alkalickém prostředí*

Při porovnání grafů 14 a 15 si lze všimnout, že pH se měnilo výrazně rychleji při prvním stupni oplachu obdobně jako tomu bylo v kyselém prostředí. Důvodem je, že vzorek přicházel z funkční lázně, jejíž hodnota pH je 10, zatímco při druhém stupni oplachu vzorek přicházel z lázně, která měla hodnotu pH výrazně nižší.

#### 7.5.4 Porovnání kyselého a alkalického prostředí

Pro porovnání bude vhodné použít pouze hodnoty získané při prvním stupni oplachu, neboť druhý stupeň oplachu je závislý na prvním stupni, a tak by toto srovnání nebylo vypovídající. Kompletní grafické znázornění ukazuje graf 16.



Graf 16. Celkové porovnání prvního stupně oplachu pro obě prostředí

V grafu 16 jsou znázorněny průběhy hodnot pH v oplachových lázních pro oba vzorky v obou prostředích, ale pouze pro první stupeň oplachu. Je zde patrné, že k rychlejším změnám docházelo v případě, kdy testovaným vzorkem byla součást. Pro plech byly zaznamenány menší změny v hodnotách pH.

Zde jsou přehledně uvedeny změny pH oplachových lázní obou vzorků v obou prostředích. Tato změna se vypočítá odečtením poslední získané hodnoty pH od původní hodnoty pH pro prostředí kyselé, respektive odečtením původní hodnoty pH od poslední získané hodnoty pH v případě alkalického prostředí.

Změna pH u plechu v kyselém prostředí  $\Delta\text{pH} = 7,69 - 7,57 = 0,12$

Změna pH u plechu v alkalickém prostředí  $\Delta\text{pH} = 8,27 - 7,76 = 0,51$

Změna pH u součástky v kyselém prostředí  $\Delta\text{pH} = 7,68 - 7,18 = 0,50$

Změna pH u součástky v alkalickém prostředí  $\Delta\text{pH} = 8,45 - 7,69 = 0,76$

Graf 16 a následné výpočty ukazují, že k rychlejšímu znečišťování oplachových lázní dochází tehdy, je-li funkční lázeň alkalická. Z těchto výsledků lze stanovit, že při stejném výnosu z funkční lázně dochází k odlišným změnám hodnot pH v lázních oplachu. Tohoto závěru bylo docíleno i přesto, že hodnota pH oplachových vod se

nenachází přesně uprostřed hodnot pH funkčních lázní. Pokud by výpočty ukázaly, že k většímu znečištění dochází tehdy, je-li funkční lázeň kyselá, nemohla by tato data být hodnocena jako relevantní, protože rozdíl pH mezi funkční a oplachovou lázní v případě kyselého prostředí (3,68 – 3,69) je výrazně větší než rozdíl pH mezi funkční a oplachovou lázní alkalického prostředí (2,24 – 2,31).

Jelikož výsledky ukazují, že je větší znečištění oplachových lázní v případě, že je funkční lázeň alkalická, jsou tyto výsledky považovány za správné.

### 7.5.5 Parametry ovlivňující oplach

Pro zlepšení kvality oplachu lze využít další parametry – teplota, kinetická energie, čas. Tyto parametry však nebyly předmětem zkoumání této práce, a proto je zde uveden jen jejich význam při oplachových operacích.

Vliv teploty na oplach je ten, že se zvyšující se teplotou roste kvalita oplachu (experiment probíhal za stálé teploty 20 – 22 °C). Druhým parametrem je kinetická energie, která urychluje oplach a zlepšuje i jeho kvalitu. Tuto energii lze aplikovat dvěma způsoby – prvním způsobem je neustálé promíchávání lázně – popřípadě pohybem vzorku v lázni (tento druh kinetické energie byl použit v tomto experimentu), a tím druhým je změna typu oplachu (oplach postřikem). Posledním parametrem ovlivňující kvalitu oplachu je čas. Čím déle bude oplach probíhat, tím kvalitnější bude (oplach probíhal po dobu 10 sekund).

### 7.6 Ověření Kuschnerova vzorce

Množství vody potřebné na oplach, respektive na očištění určité upravované plochy zboží je dán vzorcem číslo 1, tzv. Kuschnerovým vzorcem [25, 26]

Kuschnerův vzorec

$$L = m \cdot (R)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

kde: L – potřeba vody na očištění určité upravované plochy,  
m – výnos z lázně na jednotku plochy výrobku,  
n – počet stupňů oplachové lázně,  
R – poměr hmotnostních koncentrací látek v galvanické lázni.

$$R = \frac{C_0}{C_n} \quad (2)$$

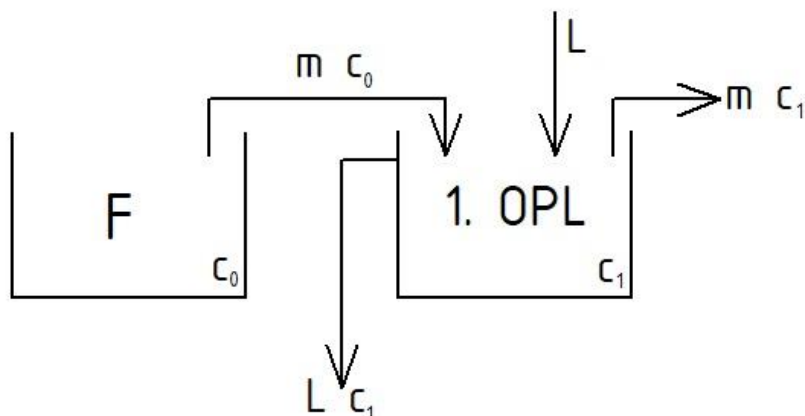
kde: C<sub>0</sub> – koncentrace složky v lázni,  
C<sub>n</sub> – koncentrace složky v posledním stupni oplachu.

V této části práce je úkolem ověřit ze schématu Kuschnerův vzorec. To bude probíhat zobrazením schématu a následně pomocí něj budou sestaveny rovnice. Následným upravováním rovnic bude zjištěno ověření vzorce.

Je zapotřebí konstatovat, že Kuschnerův vzorec je velmi zjednodušený. Kdyby se i v praxi měl používat kompletní vzorec se všemi parametry, stal by se tak prakticky nepoužitelný, neboť daných hodnot by ve vzorci bylo až příliš mnoho. Proto se i v praxi používá tento zjednodušený, který bude odvozen právě zde.

### 7.6.1 Ověření Kuschnerova vzorce pro jednostupňový oplach

Rovnice se sestaví pro první oplachovou vanu ze schématu jednostupňového průtočného oplachu (obr. 17) – při jednostupňovém oplachu zde nejsou žádné jiné oplachové vany.



Obrázek 17. Schéma jednostupňového průtočného oplachu

#### Bilance vany oplachu

$$m \cdot c_0 = m \cdot c_1 + L \cdot c_1$$

$$m \cdot \frac{c_0}{c_1} = m + L$$

$$m \cdot R = m + L$$

$$m \cdot R - m = L$$

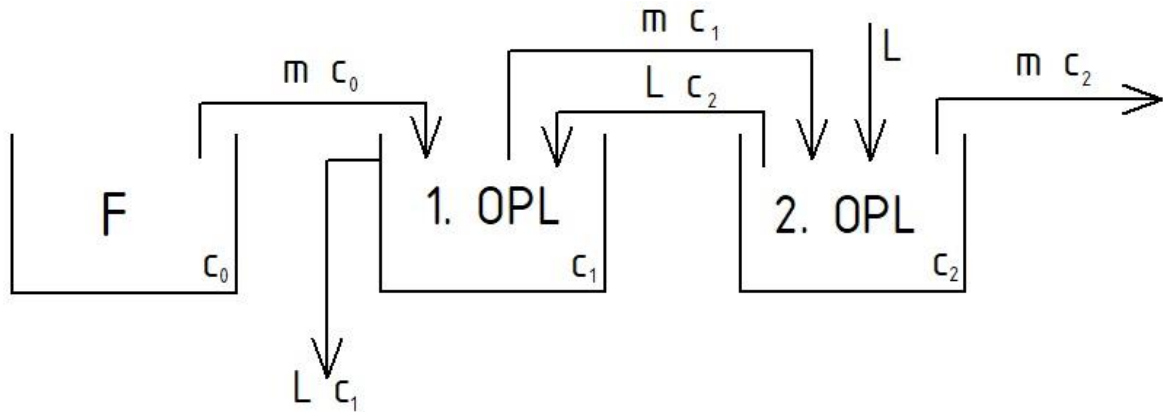
$$m \cdot (R - 1) = L$$

Hodnot R nabývá hodnot stovek až tisíců, tudíž lze závorku  $(R - 1)$  upravit zanedbáním číslovky 1 [25].

$$L = m \cdot R \quad \rightarrow \text{Tento vzorec se nedoporučuje používat pro hodnoty } R < 400 \text{ [25].}$$

### 7.6.2 Ověření Kuschnerova vzorce pro dvoustupňový oplach

Stejně jako u jednostupňového oplachu je nutno sestavit rovnice i zde. Opět dojde k sestavení na základě schématu dvoustupňového oplachu (obr. 18).



Obrázek 18. Schéma dvoustupňového průtočného oplachu

#### Bilance 1. vany oplachu:

$$m \cdot c_0 + L \cdot c_2 = m \cdot c_1 + L \cdot c_1$$

$$L \cdot c_2 - L \cdot c_1 = m \cdot c_1 - m \cdot c_0$$

$$L \cdot (c_2 - c_1) = m \cdot (c_1 - c_0)$$

Hodnota  $c_2$  na levé části rovnice je vůči  $c_1$  malá, a proto ji lze zanedbat. To samé platí i v případě  $c_1$  a  $c_0$  na pravé straně, a proto je možné na pravé straně  $c_1$  zanedbat.

$$L \cdot (-c_1) = m \cdot (-c_0)$$

$$-L \cdot c_1 = -m \cdot c_0$$

$$L \cdot c_1 = m \cdot c_0$$

#### Bilance 2. vany oplachu:

$$m \cdot c_1 = m \cdot c_2 + L \cdot c_2$$

$$m \cdot c_1 - m \cdot c_2 = L \cdot c_2$$

$$m \cdot (c_1 - c_2) = L \cdot c_2$$

Na levé straně rovnice je hodnota  $c_2$  vůči  $c_1$  velmi malá a proti ji lze zanedbat.

$$m \cdot c_1 = L \cdot c_2$$

### Bilance společná pro 1. a 2. vanu

$$L \cdot c_1 = m \cdot c_0 \leq \text{Bilance první stupeň}$$

$$m \cdot c_1 = L \cdot c_2 \leq \text{Bilance druhý stupeň}$$

$$R = \frac{c_0}{c_n} \Rightarrow \text{pro dvoustupňový oplach platí } R = \frac{c_0}{c_2}$$

Vyjádření  $c_1$  z první rovnice

$$L \cdot c_1 = m \cdot c_0$$

$$c_1 = \frac{m \cdot c_0}{L}$$

Nyní lze dosadit do druhé rovnice

$$m \cdot c_1 = L \cdot c_2$$

$$m \cdot \frac{m \cdot c_0}{L} = L \cdot c_2$$

$$m \cdot m \cdot c_0 = L \cdot c_2 \cdot L$$

$$m^2 \cdot c_0 = L^2 \cdot c_2$$

$$m^2 \cdot \frac{c_0}{c_2} = L^2$$

$$m^2 \cdot R = L^2$$

$$m \cdot \sqrt{R} = L$$

$$m \cdot R^{\frac{1}{2}} = L$$

Konečný vzorec tak vypadá takto

$$L = m \cdot R^{\frac{1}{2}}$$

### Shrnutí

Jednostupňový oplach

$$L = m \cdot R \rightarrow \text{tento vzorec lze též zapsat ve tvaru } L = m \cdot R^{\frac{1}{1}}$$

Dvoustupňový oplach

$$L = m \cdot R^{\frac{1}{2}}$$

Z těchto dvou výsledných vzorců lze tedy stanovit, že jediná hodnota, která se mění je exponent u hodnoty  $R$ . Tento exponent je při jednostupňovém oplachu  $\frac{1}{1}$ . U dvoustupňového oplachu má exponent hodnotu  $\frac{1}{2}$ . Na základě těchto zjištěných souvislostí lze konstatovat, že exponent se ve jmenovateli mění podle počtu oplachů, a tak můžeme odvodit vzorec pro  $n$ -stupňový oplach.

Odvozený vzorec

$$L = m \cdot R^{\frac{1}{n}}$$

Tento vzorec je shodný se zjednodušeným Kuschnerovým vzorcem. Z toho vyplývá, že na základě experimentu, při kterém se pracovalo se schémata prvního a druhého stupně průtočného oplachu, bylo docíleno ověření Kuschnerova vzorce.



## 8 Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku vody se zaměřením na povrchové úpravy. V úvodu práce byla definována voda z pohledu spotřeby v České republice. Dále byly definovány odpadní vody a jejich rozdělení se zaměřením na rozdělení dle koncentrace odpadních látek, a také dle složení těchto odpadních vod. V další části byla práce zaměřena na hlavní zdroje odpadních vod v procesech povrchových úprav, mezi které patří odmašťování kovů, moření kovů, galvanické úpravy a největší zdroj odpadních vod – oplachové operace. Zde byly popsány možnosti, jak pracovat s těmito vodami, tak aby nedocházelo k jejich plýtvání a mohlo dojít i k jejich opětovnému použití, popřípadě jak nahradit některé technologie, které jsou náročné na spotřebu vody. Posledním bodem v teoretické části práce jsou předpoklady a prostředky pro to, aby nedocházelo ke znečišťování vod průmyslovým odvětvím povrchových úprav.

Experimentální část byla věnována problematice odpadních vod. Zde byly vytvořeny dvě lázně. Jedna z lázní měla kyselý charakter a druhá měla zásaditý charakter. Experiment probíhal na dvou vzorcích, které měly shodný obsah plochy, ale tvarově byly zcela odlišné. Nejprve probíhalo měření pro lázeň kyselého charakteru, kdy byl každý vzorek vložen do lázně, a poté probíhal oplach v oplachové lázni, ve které byla měřena změna pH. Výsledkem tohoto experimentu je ten, že tvarově složitější vzorek má větší výnos z lázně než vzorek tvarově ne tak rozmanitý. V tomto případě, kdy se jednalo o plech a součást, byl výnos u součásti 70 ml, což je téměř dvakrát více než u plechu, který měl výnos 36 ml. Poté probíhalo měření také pro lázeň alkalického charakteru. Zde bylo docíleno shodných výsledků jako v případě lázně kyselého tedy, že výnos součásti byl 70 ml a výnos plechu byl 36 ml. Dalším poznatkem z měření je, že rychlejší znečišťování oplachové lázně docházelo tehdy, pokud byla funkční lázeň alkalického charakteru. Tohoto výsledku bylo docíleno, jak u plechu, tak u součásti. Stejný výsledek platil i pro první stupeň oplachu, a také pro druhý stupeň oplachu v případě součásti. Jedinou výjimkou tak byl druhý stupeň oplachu u plechu – zde byla zaznamenána shodná změna pH oplachové lázně, a to 0,02.

Ve druhé část experimentu byl odvozen a ověřen Kuschnerův vzorec. Nejprve byly na základě schématu, pro jednostupňový průtočný oplach, sestaveny rovnice. Po jejich upravení vyšla výsledná rovnice, která měla následující tvar  $\rightarrow L = m \cdot R^{\frac{1}{2}}$ . Podle schématu pro dvoustupňový průtočný oplach byly i pro tento případ sestaveny rovnice. Nejprve pro bilanci v první lázni, a poté proběhlo odvození i pro bilanci v lázni druhé. Obě tyto bilance oplachových van byly následně spojeny a byl z nich odvozen vzorec, který měl ve finální podobě tvar  $L = m \cdot R^{\frac{1}{2}}$ .

Jediná změna, která proběhla v obou rovnicích, byla změna exponentu u hodnoty  $R$ . V případě jednostupňového oplachu je hodnota exponentu 1 (tedy ve tvaru zlomku  $\frac{1}{1}$ ) a v případě dvoustupňového oplachu je jeho hodnota  $\frac{1}{2}$ .

Na základě těchto získaných rovnic a pozorování změny exponentu u hodnoty  $R$  lze potvrdit, že obecný tvar Kuschnerova vzorce pro  $n$ -stupňový oplach je  $L = m \cdot R^{\frac{1}{n}}$ . Tento odvozený vzorec je zjednodušený tak, aby bylo reálné ho použít v praxi, neboť v něm nejsou započteny všechny ostatní parametry. Zavedení všech ostatních parametrů by představovalo velmi složitý vzorec, který by se v praxi prakticky nedal použít. Proto se přistupuje k používání tohoto zjednodušeného vzorce a jeho výsledek se v praxi experimentálně ověřuje.

## Seznam literatury

- [1] FRANČE, P. *Voda v povrchových úpravách kovů*. Povrcháři. 2019, no. 2, s. 4-7. ISSN 1802-9833.
- [2] KUDLÁČEK, J.; KUCHAR, J.; KREIBICH FRANČE, P. *Zneškodňovací zařízení a stanice odpadních vod*. Povrcháři. 2021, no. 1, s. 28. ISSN 1802-9833.
- [3] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky 2001*. Dostupný z WWW: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254/zneni-20210201>.
- [4] THACI, S. B.; GASHI, S. T. *Reverse osmosis removal of heavy metals from wastewater effluents using biowaste materials pretreatment*. Polish journal of environmental studies. 2019, vol. 28, no. 1, s. 337-341. ISSN 1230-1485.
- [5] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Zpráva o stavu vodního hospodářství české republiky v roce 2019* [online]. Praha, 2020 [17.2.2021]. Dostupné z WWW: [http://eagri.cz/public/web/file/669424/Modra\\_zprava\\_2019\\_web.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/669424/Modra_zprava_2019_web.pdf)
- [6] GEOMET. *Geomet coatings* [online]. [11.4.2021]. Dostupné z: <http://www.geomet.net/coatings.php>
- [7] NOVOTNÝ, J.; ŠANOVEC, J.; BEDNÁŘ, B.; KREIBICH, V. *Technologie I (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 215-218 s. ISBN 8001023516.
- [8] FREŠ, J., FUKA, T., RŮŽIČKA, J. *Zneškodňování odpadních vod z provozů galvanických a chemických povrchových úprav kovů*. 2016
- [9] VODEHNAL, L. *Problematika RAS v odpadních vodách z povrchových úprav* [online]. Ledec nad Sázavou [2.3.2021]. Dostupné z WWW: [http://www.aitec.cz/userfiles/file/publikace/publikace\\_02.pdf](http://www.aitec.cz/userfiles/file/publikace/publikace_02.pdf)
- [10] DOLEJŠ, P.; KALOUSKOVÁ, N.; NOGOVÁ, Z. *Využití membránových procesů při úpravě pitné vody* [online]. České Budějovice [18.3.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.smv.cz/res/archive/014/001646.pdf>
- [11] SCHÄFER, A.I.; FANE, A. G.; WAITE, T.D. *Cost factors and chemical pretreatment effects in the membrane filtration of waters containing natural organic matter*. *Water Research* [online]. [25.3.2021]. ISSN 00431354.
- [12] HONG, S. K.; MILLER, F.; TAYLOR, J.; ROSE, J.; OWEN, C. GIBSON, C.; JOHNSON, W. *Removal of microorganisms by MF processes: correlation between*

- membrane integrity test results and microbial removal efficiency. Proc. AWWA Membrane Technology Conference, AWWA, Denver, USA. 1999.
- [13] FUKA, T. *Oplachové systémy a intenzifikace využití vody*. Workshop ČSSP, Jihlava, 2013. s 7.
- [14] EUROPEAN COMMISSION. *Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics* [online]. European Commission, 2006 [21.4.2021]. Dostupné z WWW: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/stm\\_bref\\_0806.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/stm_bref_0806.pdf)
- [15] ARKYS. *Povrchová úprava a záruka LINEAR* [online]. [25.3.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.arkys.cz/cs/linear/povrchova-uprava-a-zaruka>
- [16] NAŠE VODA. *K návrhu ústavní ochrany vody se vláda postavila neutrálně* [online]. 2020 [26.2.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.nase-voda.cz/k-navrhu-ustavni-ochrany-vody-se-vlada-postavila-neutralne/>
- [17] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. Brno, 2007 [16.2.2021] Dostupné z WWW: [http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf)
- [18] VINŠOVÁ, H.; ZACHAŘ, P.; ZÁRUBA, K. *Potenciometrické měření pH* [online]. VŠCHT Praha [24.3.2021]. Dostupné z WWW: <https://docplayer.cz/6997904-Potenciometricke-mereni-ph-obecne-zaklady-h-vinsova-p-zachar-k-zaruba.html>
- [19] VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA ZDRAVOTNICKÁ A STŘEDNÍ ZDRAVOTNICKÁ ŠKOLA HRADEC KRÁLOVÉ. *Měření pH* [online]. Hradec Králové [24.3.2021]. Dostupné z WWW: <https://anl.zshk.cz/vyuka/mereni-ph.aspx>
- [20] ČESKO. Zákon č. 1/1993 Sb. ze dne 16. prosince 1992 *ústavní zákon* In: *Sbírka zákonů České republiky 1993*, článek 7. [26.2.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1993-1>
- [21] POSLANECKÁ SNĚMOVNA. *Návrh ÚSTAVNÍ ZÁKON o ochraně vody a vodních zdrojů* [online]. Praha, 2020 [27.2.2021]. Dostupné z WWW: <https://pravdaovode.cz/wp-content/uploads/2020/12/Poslanecky-navrh-vcetne-duvodove-zpravy-roz-posl-zari-2020.pdf>

- [22] KOVANDA Jr., P. *Vakuové odpařování – technologie budoucnosti* [online]. Kovofiniš, 2017 [15.4.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.kovofinis.cz/public/articles/files/299/Vakuov%C3%A1-Destilace.pdf>
- [23] FS ČVUT V PRAZE, ÚSTAV ENERGETIKY. *Vodní hospodářství jaderných energetických zařízení* [online]. Praha [15.6.2021]. Dostupné z WWW: [http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/VHJAE\\_03\\_uprava\\_vody3\\_ionexy.pdf](http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/VHJAE_03_uprava_vody3_ionexy.pdf)
- [24] PIVOKONSKÝ, M. *Membránové procesy* [online]. Praha [2.4.2021]. Dostupné z WWW: [http://www.pivokonsky.wz.cz/UV/uprava\\_vod\\_7.pdf](http://www.pivokonsky.wz.cz/UV/uprava_vod_7.pdf)
- [25] FRANČE, P., BAHENSKÝ, V., FUKA, T. *Požadavky na vodu pro povrchové úpravy*. SVÚOM, Praha, 1987. 6-14 s.
- [26] FRANČE, P. *Vodní hospodářství v provozech povrchových úprav kovů*. Povrcháři. 2018, no. 2, s. 9-10. ISSN 1802-9833.
- [27] FS ČVUT V PRAZE, ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Technologie povrchových úprav*. Výuková prezentace. 2019
- [28] KOPELIOVICH, D. *Rising* [online]. 2013 [26.6.2021]. Dostupné z WWW: <https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=rinsing>
- [29] LAZENA. *Vysvětlení pojmů pH a ORP* [online]. 2019 [27.6.2021]. Dostupné z WWW: <https://lazena-ecom.cz/vysvetleni-pojmu-ph-a-orp/>