

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

**PŘÍPRAVA LABORATORNÍ ÚLOHY PŘEDMĚTU
EKOLOGIE VÝROBY**

PREPARATION OF A LABORATORY ASSIGNMENT FOR THE ECOLOGY OF
PRODUCTION SUBJECT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. František Dovčák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

BRNO 2017

DIPLOMOVÁ práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**
Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. František Dovčík

ID: 146811

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Příprava laboratorních úloh předmětu Ekologie výroby

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte kompletní laboratorní úlohu včetně teoretického rozboru a detailního popisu postupu na téma „kvalita vody“ pro předmět Ekologie výroby. Pro tvorbu laboratorní úlohy využijte informací oddělení kontroly kvality odpadních vod průmyslového podniku zaměřeného na výrobu DPS.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.05.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práca sa venuje kvalite vody obecne, z pohľadu znečisťovania vôd, odpadnými vodami a ich čistením so zameraním sa na elektrotechnickú výrobu. Práca je podkladom k vytvoreniu laboratórnej úlohy z praktickej časti diplomovej práce do predmetu Ekológia výroby. V laboratórnej úlohe sú testované vybrané ukazovatele kvality vody pomocou metód titrácie a rýchlych testov. Práca vychádza z prevádzky odpadných vôd firmy zaoberajúcej sa výrobou DPS.

KLÍČOVÁ SLOVA

voda, kvalita vody, odpadné vody, titrácia

ABSTRACT

The thesis deals with the quality of water in general as well as from the perspective of water pollution, wastewater and its treatment within the context of electrotechnical production. The thesis is based on the laboratory task in the practical part, which has been included in the Ecology of Production class. The laboratory task tests the selected indicators of water quality using titration and rapid tests. The thesis is based on the wastewater operation of a company producing PCB.

KEYWORDS

water, water quality, wastewater, titration

DOVČÍK, F. *Příprava laboratorních úloh předmětu Ekologie výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 63 s.
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Bača, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Příprava laboratorních úloh předmětu Ekologie výroby jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. doc. Ing. Petr Bača, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Zoznam veličín a zkratiek	9
Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	12
Úvod	13
1 Voda, jej vlastnosti a delenie	14
1.1 Vyjadrovanie kvalitatívneho a kvantitatívneho zloženia vôd.....	15
1.1.1 Hmotnostná koncentrácia	15
1.1.2 Látková koncentrácia	16
1.2 Vybrané vlastnosti vody	17
1.2.1 Teplota vody	17
1.2.2 Hodnota pH.....	17
1.3 Zdroje použiteľnej vody	17
1.4 Klasifikácia povrchových vôd podľa akosti	18
1.5 Znečistenie vody	19
1.5.1 Znečistená voda a zdravie človeka	19
1.5.2 Znížený obsah kyslíka	20
1.6 Škodlivé látky vo vode	21
1.6.1 Rozdelenie škodlivých látok.....	21
1.6.2 Soli.....	22
1.6.3 Ťažké kovy.....	23
1.6.4 Rádioaktivita.....	23
1.6.5 Kyslé dažde.....	23
1.6.6 Organické látky	23
1.6.7 Zvýšený obsah živín	23
1.6.8 Choroboplodné zárodky.....	24
1.7 Odpadné vody	24
1.8 Priemyselné odpadné vody	25
1.8.1 Delenie priemyselných odpadných vôd.....	25
1.8.2 Úvod do problematiky priemyselných odpadných vôd	26
1.8.3 Odpadné vody z elektrotechnických výrobní a riešenie čistenia	

odpadných vôd.....	27
2 Rýchle analytické testy	31
2.1.1 Titračné postupy	31
2.1.2 Kolorimetrické postupy	31
2.1.3 Fotometrické postupy	32
2.1.4 Potenciometria pomocou iónovo selektívnych elektród.....	32
3 Prístroje určené k meraniu a testovaniu vody	33
3.1 Rýchle testy.....	33
3.2 Prístroje pre meranie pH, EC, TDS	33
3.3 Fotometre	34
4 Čistenie odpadných vôd – ČOV	36
4.1 Vyrovnanie množstva a akosti odpadných vôd	36
4.2 Cedenie	36
4.3 Sedimentácia.....	37
4.4 Flotácia.....	37
4.5 Chemické čistenie odpadných vôd	38
4.5.1 Zrážanie	38
4.5.2 Koagulácia	39
4.5.3 Neutralizácia	39
4.5.4 Oxidácia.....	40
4.5.5 Redukcia	40
4.5.6 Spaľovanie	41
4.6 Fyzikálno-chemické čistenie odpadných vôd	41
4.6.1 Adsorpcia.....	41
4.6.2 Iónová výmena.....	41
4.7 Riešenie ČOV firmy GATEMA	42
5 Laboratorná úloha	46
5.1 Zadanie laboratórnej úlohy	46
5.2 Cieľ úlohy	46
5.3 Teoretický rozbor.....	46
5.3.1 Podmienky pre vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie.....	46
5.3.2 Čistenie odpadných vôd.....	46
5.3.3 Základné laboratórne operácie	47

5.4	Laboratórny postup merania	52
5.4.1	Stanovenie reakcie vody pH:	52
5.4.2	Stanovenie celkovej tvrdosti vody:	52
5.4.3	Stanovenie vápniku vo vode:	54
5.4.4	Stanovenie amoniaku vo vode:	54
5.4.5	Stanovenie dusitanov vo vode	55
5.4.6	Stanovenie Cu^{2+} pomocou titrácie	57
5.5	Vzorové meranie	58
5.5.1	Základné informácie, namerané a vypočítané hodnoty	58
5.5.2	Záver z merania:	59
	Záver	60
	Literatúra	62

ZOZNAM VELIČÍN A ZKRATIEK

ρ	hmotnostná koncentrácia [mg/l][g/l]
A	absorbancia [-]
Al	hliník
AOX	halogénové organické zlúčeniny
As	arzén
BSK	biochemická spotreba kyslíka [mg/l]
c	mólová koncentrácia látky [mol.l ⁻¹]
Cd	kadmium
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chróm
Cu	meď
ČR	Česká republika
d	dĺžka dráhy priechodu lúča cez látku [cm]
DDT	aromatická halogén zlúčenina, najstarší a najznámejší insekticíd
DMDTC	dimetyldithiokarbamát sodný
ε	molový absorpčný koeficient [dm ³ .ml ⁻¹ cm ⁻¹]
Fe	železo
Hg	ortuť
CHSK	chemická spotreba kyslíka [mg/l]
I_0	dopadajúca intenzita žiarenia na vzorku [W/m ²]
I	intenzita žiarenia po priechode žiarenia cez vzorku [W/m ²]
m	hmotnosť látky [g]
M	mólová hmotnosť látky [g.mol ⁻¹]
n	látkové množstvo látky [mol]
Ni	nikel
NH ₃	amoniak
NO ₂ ⁻	dusitanové ionty, dusitany
NO ₃ ⁻	dusičnany
PAU	Polyaromatické uhl'ovodíky
PCB	polychlórované bifenyly
Pb	olovo

TDS	koncentrácia všetkých rozpustených solí v roztoku [mg/l]
TOC	total organic carbon/ celkový organický uhlík [mg/l]
V	objem [l]
Zn	zinok

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Čistička odpadných vôd LG Philips Hranice [6]	28
Obrázok 2: Neutralizačná stanica firmy Gatema a.s. s kapacitou 75 m ³ /deň [7]	28
Obrázok 3: Čistička odpadných vôd firmy CUBE CZ s.r.o. [8].....	30
Obrázok 4: Set testerov vody [11]	33
Obrázok 5 : pH/EC/TDS meter HI991301N firmy Hanna Instruments [13].....	34
Obrázok 6: Princíp fotometru [14].....	35
Obrázok 7: Ionexový filter, sorpčná fáza a fáza regenerácie [16]	42
Obrázok 8: Zjednodušené schéma ČOV – neutralizačná stanica pre firmu Gatema a.s.	47
Obrázok 9: Správne vypúšťanie pipety [18].....	49
Obrázok 10: Koncová ryska pipety [18].....	49
Obrázok 11: Správne odčítanie objemu kvapaliny z odmernej banky [18].....	50
Obrázok 12: Farebná stupnica pre pH 4,7 - 7,4	52
Obrázok 13 : Porovnávacia farebná škála pre test amoniaku	55
Obrázok 14: Porovnávacia farebná stupnica pre určenie koncentrácie dusitanov rozpustených vo vode	56

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 : Ukazovatelia miery znečistenia povrchových vôd [3]	21
Tabuľka 2: Emisné štandardy ukazovateľov prípustného znečistenia vybraných odvetví podľa Prílohy č. 1 k nariadeniu vlády č. 61/2003 SB	27
Tabuľka 3: Limity pre vypúšťanie odpadnej vody do kanalizácie pre firmu Gatema a.s. [7]	29
Tabuľka 4: Limity pre vypúšťanie odpadnej vody do povrchovej pre firmu CUBE CZ s.r.o. [8]	30
Tabuľka 5: Vybrané hodnoty EC pre pitnú vodu [12]	34
Tabuľka 6: Prepočet tvrdosti vody [20]	53
Tabuľka 7: Hodnotenie tvrdosti vody	54
Tabuľka 8: Namerané hodnoty	58

ÚVOD

Práca vznikla ako podklad pre vytvorenie laboratórnej úlohy do predmetu Ekológia výroby, predmet je zaradený medzi voliteľné odborové predmety druhého ročníku nadväzujúceho magisterského štúdia odboru Elektrotechnická výroba a materiálové inžinierstvo na Vysokom Učení Technickom v Brne.

V prvom kroku z voľne definovaných tém voda, pôda a atmosféra sa práca zamerala na oblasť ekológie vôd. V danej oblasti vznikla rešerše, ktorá skúma jak fyzikálne vlastnosti vody, tak obsah látok vo vode zo súvisiacim vyjadrovaním koncentrácie látok vo vode. Práca tiež skúma význam znečisťujúcich zložiek látok vo vode.

Kapitola 2 sa venuje rýchlim analytickým testom, obsah tejto kapitoly slúži ako možný vývoj laboratórnej úlohy s ohľadom na rýchle vyhodnotenie vybraných parametrov vody rôznymi metódami. Testy boli vybrané pre ich jednoduchosť a časovú nenáročnosť s možnosťou využitia pre pedagogické účely v rámci laboratórnej úlohy.

Kapitola 3 sa venuje možnému prístrojovému vybaveniu pre potreby testovania vody. Existuje mnoho výrobcov prístrojov na trhu, v rôznych kvalitách a cenových hladinách, preto sa práca v tejto kapitole orientuje na možnosti výberu základných parametrov a uvedené konkrétne prístroje sú iba ilustračné.

V kapitole 4 sa práca venuje technológii čistenia odpadných vôd s uvedením jednotlivých procesov a tiež konkrétnemu riešeniu čistenia odpadných vôd u firmy zaoberajúcej sa výrobou dosiek plošných spojov – DPS.

Na základe skúseností z prevádzky priemyselnej čističky odpadných vôd u firmy vyrábajúcej DPS sa práca v hlavnej časti – laboratórnej úlohe v kapitole 5, venuje stanovovaniu koncentrácie meďnatých iónov Cu^{2+} pomocou v praxi často využívanej titrácie. Pri výrobe DPS a súvisiacich povrchových úpravách, ako je napr. leptanie medi sa do priemyselných odpadných vôd dostávajú v značnej miere prvky: Cu - Meď a Ni - Nikel. Práve ióny týchto prvkov sú často v nadlimitných koncentráciách prekračujúcich hodnoty stanovené prevádzkovateľom kanalizácií. Z tohto dôvodu je významné sledovať koncentrácie týchto iónov. Študenti sa v rámci laboratórnej práce zoznámia s vybraným riešením čistenia odpadných vôd, metódou stanovovania koncentrácie pomocou titrácie a taktiež budú mať možnosť otestovať vybrané parametre vody pomocou rýchlych testov.

V závere práce sú zhrnuté dosiahnuté poznatky z jednotlivých kapitol, týkajúce sa kvality vody, odpadných vôd a spôsobu ich čistenia, zvolené metódy pre demonštračné laboratórne meranie a dosiahnuté výsledky zo vzorového merania.

1 VODA, JEJ VLASTNOSTI A DELENIE

Voda je významnou zložkou životného prostredia, jej kolobeh veľmi úzko súvisí s procesmi v atmosfére. Pohyb vodných mäs rozličnej teploty je jedným z hnacích kolies klimatického mechanizmu. Okrem zásadných funkcií globálneho rozmeru má voda význam taktiež pre funkciu živých organizmov. [1]

Najväčšou zásobárňou vody je oceán. V morskej vode je rozpustená široká škála solí. Medzi prvky, ktoré sa vo vode najčastejšie vyskytujú patria predovšetkým chlór, sodík, horčík, sira, draslík, a vápnik. [1]

Najrozšírenejšou látkou na Zemi je voda. Je nevyhnutnou podmienkou života na zemi, hospodárskeho a civilizačného vývoja. Postupné zvyšovanie počtu obyvateľov, zvyšovanie životnej úrovne podmienené rastom výroby vyvolali určité rozpory vo vzťahu voda – spoločnosť. Tento vzťah charakterizujú z jednej strany zvýšené požiadavky spoločnosti na vodu a na druhej strane znečisťovanie vodných zdrojov. V niektorých oblastiach na Zemi sú tieto rozpory veľké a voda sa stala limitujúcim článkom ďalšieho rozvoja spoločnosti. [2]

Zrážky, rýchlosť výparov, zásoby pozemnej vody ani odtok nie sú rozmiestnené rovnomerne a zvyšujúca sa spotreba vody pre domácnosť a priemysel sú hlavnou príčinou obáv o dostatok pitnej či úžitkovej vody pre človeka. Z hľadiska dostupnosti vody žijú ľudia vo veľa oblastiach v katastrofických podmienkach. Niekde môže sucho trvať aj niekoľko rokov, a na iných miestach sú územia ktoré sú často zaplavované následkom vysokých zrážok. [1]

V mnohých oblastiach sveta, kde rýchlo rastie populácia a kde je malý zdroj vody, dostupnosť vody na osobu klesá s počtom pribúdajúcich obyvateľov. Nejde len o pitnú vodu, ale taktiež o vodu k zavlažovaniu. Vo svete je 50 až 80 % celkovej spotreby vody použitej pre zavlažovanie [1]

Odber vody nie je závislý iba na počte obyvateľov, ale tiež na spôsobe ich života. S rastúcou priemyselnou výrobou vzrastá aj potreba vody pre priemysel. [1]

V dnešnej dobe sú pre život ľudí nevyhnutné umelo vytvorené vodné systémy zložené z týchto prvkov:

- odber vody z prirodzeného obehu vody,
- úprava vody podľa požiadaviek obyvateľov,
- transport vody od vodného zdroja cez úpravu vody až k spotrebiteľovi,
- využitie vody v domácnostiach, priemysle, poľnohospodárstve a doprave,
- čistenie odpadných vôd a ich odvádzanie do recipientu. [2]

Umelo vytvorené systémy je možné rozdeliť na dve časti:

- zásobovanie obyvateľstva vodou (vodovod),
- odvádzanie odpadných vôd (kanalizácia).

Stokovanie (technický obor vodného hospodárstva) a čistenie odpadových vôd sú v súčasnosti vedecko – technické obory, ktorých účelom je návrh, realizácia a prevádzka kanalizácie. [2]

1.1 Vyjadrovanie kvalitatívneho a kvantitatívneho zloženia vôd

Kvantitatívne zloženie vôd sa vyjadruje buď v hmotnostných koncentráciách s odpovedajúcimi jednotkami $\mu\text{g.l}^{-1}$, mg.l^{-1} , g.l^{-1} , alebo v látkových koncentráciách s odpovedajúcimi jednotkami $\mu\text{mol.l}^{-1}$, mmol.l^{-1} , mol.l^{-1} . [3]

1.1.1 Hmotnostná koncentrácia

Hmotnostná koncentrácia označovaná symbolom ρ vyjadruje hmotnosť látky, ktorá je obsiahnutá v jednotke objemu, zvyčajne litru. Hmotnostná koncentrácia látky je daná vzťahom (1.1):

$$\rho_A = \frac{m_A}{V_R} \quad (1.1)$$

kde ρ_A je hmotnostná koncentrácia látky A [g.l^{-1}], m_A je hmotnosť látky A [g], V_R je objem roztoku [l]

Spôsoby vyjadrovania hmotnostných koncentrácií

Vyjadrovanie obsahu látky vo vode formou hmotnostných koncentrácií má svoje zákutia, ide o to že koncentráciu jednej zlúčeniny zloženej z niekoľkých prvkov môžeme vyjadriť rôznymi spôsobmi: napr. koncentrácia dusičnanov môže byť vyjadrená ako koncentrácia dusičnanových aniónov NO_3^- alebo ako koncentrácia atómu dusíku N z dusičnanového iónu NO_3^- . To znamená, že v prvom prípade vyjadrujeme hmotnostnú koncentráciu celého dusičnanového iónu zloženého z jedného atómu dusíku a troch atómov kyslíku a v druhom prípade vyberáme z celého iónu iba atóm dusíku a uvedeným zápisom vyjadrujeme že sa jedná o dusík vo forme dusičnanov. [3]

Je dôležité dodržiavať spôsob vyjadrovania, pretože vyjadrovanie rôznymi spôsobmi sa číselne odlišuje a dopúšťali by sme sa závažnej chyby. Pri vyjadrovaní výsledkov hmotnostných koncentrácií je teda dôležité vyjadrovať za jednotkami aj spôsob vyjadrovania. [3]

Pri porovnávaní výsledkov je častokrát dôležité tieto výsledky vzájomne prepočítať z jednej formy na druhú. Pomer číselných hodnôt hmotnostnej koncentrácie s požadovaným vyjadrením a hmotnostnej koncentrácie s daným pôvodným vyjadrením, tzv. prepočítavací koeficient k , je rovný pomeru mólovej hmotností častíc v požadovanom výslednom stave a molovou hmotnosťou pôvodného vyjadrenia vid' rovnica (1.2). [3]

$$k = \frac{M_p}{M_d} \quad (1.2)$$

kde:

k je prepočítavací koeficient pre prepočítanie hmotnostnej koncentrácie látky daného vyjadrenia na hmotnostnú koncentráciu požadovaného vyjadrenia [-]

M_p je mólová hmotnosť látky v požadovanom vyjadrení [g.mol^{-1}]

M_d je mólová hmotnosť látky v pôvodnom vyjadrení [g.mol^{-1}]

Číselnú hodnotu hmotnostnej koncentrácie v požadovanom vyjadrení ρ_p potom

vypočítame ako súčin číselnej hodnoty hmotnostnej koncentrácie v danom vyjadrení ρ_d a prepočítavacieho koeficientu k vid' rovnica (1.3).

$$\rho_p = \rho_d \cdot \frac{M_p}{M_d}; \rho_p = \rho_d \cdot k \quad (1.3)$$

kde:

ρ_p je hmotnostná koncentrácia v požadovanom vyjadrení [mg.l⁻¹]

ρ_d je hmotnostná koncentrácia v pôvodnom vyjadrení [mg.l⁻¹]

k je prepočítavací koeficient pre prepočítanie hmotnostnej koncentrácie látky pôvodného vyjadrenia na hmotnostnú koncentráciu požadovaného vyjadrenia [-]

M_p – mólová hmotnosť látky v požadovanom vyjadrení [g.mol⁻¹]

M_d – mólová hmotnosť látky v pôvodnom vyjadrení [g.mol⁻¹]

1.1.2 Látková koncentrácia

Látková koncentrácia označovaná symbolom c vyjadruje látkové množstvo n v moloch látky v jednotkovom objeme roztoku, bežne v jednom litri. Jednotka látkovej koncentrácie je teda mol.l⁻¹, prípadne jej zlomky $\mu\text{mol.l}^{-1}$, mmol.l^{-1} . [3]

Látkové množstvo n je základnou fyzikálnou veličinou a jeho jednotkou je mol. Jeden mol obsahuje toľko elementárnych častíc ako počet atómov uhlíku vo 12g nuklidu ¹²C. Počet častíc pripadajúcich na látkove množstvo 1 mol je $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ a teda Avogadrova konštanta. Mol látky je charakterizovaný mólovou hmotnosťou M , ktorá má rozmer g.mol⁻¹. Číselne sa molárna hmotnosť zhoduje s relatívnou molekulovou hmotnosťou. [3]

Látkové množstvo látky A označované n_A v moloch získame ako podiel hmotnosti m_A v gramoch a molovej hmotnosti tejto látky M_A v g.mol⁻¹ vid' rovnica (1.4).

$$n_A = \frac{m_A}{M_A} \quad (1.4)$$

kde:

n_A je látkové množstvo látky A [mol]

m_A je hmotnosť látky A [g]

M_A je mólová hmotnosť [g.mol⁻¹]

Látková koncentrácia roztoku c_A je definovaná vzťahom (1.5).

$$c_A = \frac{n_A}{V_R} = \frac{m_A}{M_A \cdot V_R} \quad (1.5)$$

kde:

n_A je látkové množstvo látky A [mol]

V_R je objem roztoku [l]

m_A je hmotnosť látky A [g]

M_A je mólová hmotnosť [g.mol⁻¹]

Potom, vzťah medzi látkovou a hmotnostnou koncentráciou je daný vzťahom (1.6).

$$c_A = \frac{\rho_A}{M_A} \quad (1.6)$$

kde:

c_A je látková (mólová) koncentrácia látky A [mol.l^{-1}]

ρ_A je hmotnostná koncentrácia látky A [g.l^{-1}]

M_A je mólová hmotnosť [g.mol^{-1}]

Jednotka látkovej koncentrácie sa niekedy označuje symbolom M a nazýva sa molarita. S touto jednotkou je možné stretnúť sa v literatúre kde roztok býva označený 0,05 M NaOH, čo vyjadruje roztok o látkovej koncentrácii 0,05 mol.l^{-1} , čo odpovedá súčasnému záväznému spôsobu vyjadrovania. [3]

1.2 Vybrané vlastnosti vody

Medzi fyzikálne faktory vodného prostredia patria: teplota vody a parciálny tlak kyslíka v atmosfére. Z chemických vlastností sú rozhodujúce najmä pH a obsah rozpustených látok. [4]

1.2.1 Teplota vody

S rastúcou teplotou vody súvisí množstvo rozpusteného kyslíka vo vode. V povrchovej vode je možné, že koncentrácia kyslíka sa výrazne zvyšuje alebo znižuje v závislosti na: množstve organizmov vytvárajúcich fotosyntézu, teplote vody, intenzity a času osvetlenia. Kyslík obsiahnutý vo vode sa odčerpáva najmä pri dýchaní organizmov vo vode a pri rozklade organických látok. Intenzita odčerpávania kyslíka závisí hlavne od obsahu dobre rozložiteľnej organickej hmoty vo vode. [4]

1.2.2 Hodnota pH

Hodnota pH je stupnica pre koncentráciu vodíkových iónov, pohybuje sa u prírodných tečúcich vôd blízko hodnoty pH 7 (neutrálnej hodnoty). Vo vodách chudobných na vápnik je hodnota medzi 6 a 7, stredne vysoká a vysoká tvrdosť vody zvyšuje túto hodnotu na pH 7 až 8,5. Kyslé dažde a topenie snehu môžu hodnotu pH tečúcej vody chudej na vápnik znížiť až pod hodnotu pH 4, teda do kyslej oblasti. [4]

1.3 Zdroje použiteľnej vody

Viac než 97% vody na zemi je voda slaná, ktorá je súčasťou svetových oceánov. Teoreticky má človek k dispozícii obrovské množstvo sladkej vody v podzemí, v ľadovcoch, v jazerách a v riekach. Táto voda je však veľmi ťažko dosiahnuteľná alebo technicky získateľná. [1]

Z kolobehu vody je možné opakovane využiť len veľmi nepatrnú časť, asi 40 000 km^3 . Toto množstvo sa nazýva stabilný ročný odtok. Okolo 26 km^3 z tohto množstva odtečie v podobe prívalových vôd po prudkých dažďoch. Ďalšia časť odtečie riekami a potokmi z neobývaných oblastí. Ľudstvo môže každým rokom využiť len 9000 km^3 vody.

Ročná spotreba vody na osobu vo svete sa odhaduje medzi 7000 m³ až 8 000 m³. [1]

1.4 Klasifikácia povrchových vôd podľa akosti

Klasifikácia povrchových vôd podľa akosti je založená na stanovení vybraných ukazovateľov. Tieto ukazovatele sa rozdeľujú do šiestich skupín a označené sú písmenami A až F:

- A. ukazovatele kyslíkového režimu,
- B. ukazovatele základného chemického a fyzikálneho zloženia
- C. doplňujúce chemické ukazovatele
- D. ťažké kovy
- E. biologické a mikrobiologické ukazovatele
- F. rádioaktivita [2]

Z ukazovateľov kyslíkového režimu sa predovšetkým stanovuje rozpustený kyslík, biochemická a chemická spotreba kyslíka (BSK₅, CHSK_{Cr}, CHSK_{Mn}). Najvýznamnejším parametrom z kritérií hodnotenia kvality vody je hodnota BSK₅ ktorá je detailnejšie vysvetlená a popísaná v ďalších kapitolách. K tejto skupine sa ešte priraduje celkový organický uhlík, sulfán a sulfidy. [2]

Do druhej skupiny k základným chemickým ukazovateľom patria: reakcia vody (pH), teplota vody, rozpustené látky prípadne vodivosť, nerozpustené látky, celkové železo, celkový mangán, amoniakálny dusík, dusičnanový dusík, celkový fosfor. [2]

K doplňujúcim chemickým ukazovateľom patria: chloridy, sírany, vápnik, absorbanca pri vlnovej dĺžke 254 nm, fenoly, tenzidy aniónové, nepolárne extrahovateľné látky, celkové kyanidy, extrahovateľný organický viazaný chlór. [2]

Štvrtú skupinu tvoria ťažké kovy z ktorých hlavne ortuť, meď, arzén, kadmium, olovo, celkový chróm, chróm^{IV}, kobalt, nikel, vanád, striebro. [2]

Biologické a mikrobiologické ukazovatele patriace k piatej skupine tvoria: saprofóbny index bioseonu (ostatky tiel rôznych organizmov napr. produkty metabolizmu železitých baktérií, prázdne schránky rozsievok, zbytky schránok panciernatok, kôrovcov, vírnikov, hmyzu, peľové a škrobová zrná, zbytky rastlinných pletív, detritus a tiež častice anorganického pôvodu (napr. produkty korózie, rôzne zrazeniny, pôdne častice) ďalej psychofilné baktérie, koliformné baktérie, fekálne koliformné baktérie, enterokoky. [2]

K ukazovateľom rádioaktivity poslednej šiestej skupiny patria: celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta, rádium 226, urán, trícium. [2]

Hodnotenie kvality povrchovej vody bežne prebieha stanovením týchto ukazovateľov: koncentrácie rozpusteného kyslíka, BSK₅, CHSK_{Mn}, saprobity, pH, teploty vody, počtu koliformných baktérií. Na základe týchto ukazovateľov podľa ich medzných hodnôt sa povrchové vody delia do piatich tried čistoty:

- I. voda veľmi čistá
- II. čistá voda
- III. znečistená voda
- IV. silno znečistená voda

V. veľmi silno znečistená voda [2]

Z pohľadu ochrany povrchových vôd sú dôležité ukazovatele stupňa znečistenia povrchových vôd a nie triedy čistoty. Povrchové vody je možné chrániť:

- čistením odpadných vôd
- zmenami v technológii výroby v priemyselných závodoch vrátane rušenia zastaralých prevádzok
- určením množstva vypúšťaného znečistenia
- intenzifikáciou vlastného samočistenia
- správnou prevádzkou hydro-technických diel na tokoch

Doposiaľ opomenutou je vo veľkej miere najmä intenzifikácia samočistenia v tokoch zvýšením koncentrácie kyslíka pomocou umelej aerácie. [2]

1.5 Znečistenie vody

Podľa pôvodu sa voda delí na:

- prírodnú (atmosférickú, podzemnú, povrchovú)
- odpadnú (splaškovú, priemyselnú) [1]

Opadná voda je prírodná voda znehodnotená buď činnosťou ľudí alebo komunálnymi faktory. Z historického hľadiska je znečisťovanie vôd najdlhšie znehodnocovanou oblasťou životného prostredia. [1]

Zväčšujúce sa znečistenie povrchových vôd splaškovými vodami a priemyselnými odpadnými vodami si vynútilo prijatie medzinárodnej zmluvy o ochrane morí a oceánov pred znečistením a Európske vodnej charty, Ochrana povrchových a podzemných vôd pred ich znečistením odpadnými vodami a škodlivými látkami je v Českej republike zaistená zákonom. [1]

Kedysi mala pramenitá a čerpaná podzemná voda dostatočnú kvalitu, mohla byť po miernych úpravách použitá ako pitná. V súčasnej dobe je často situácia horšia a mnoho prirodzených prameňov a podzemných zásob vody je znečistených. Najčastejšia príčina znečistenia podzemných vôd sú priesaky z pôdy, vypúšťanie odpadných vôd z priemyslu alebo havárie nádrží s nebezpečnými kvapalinami. Znečistenie podzemných vôd je dlhodobé, voda je viazaná na horniny, pričom ich pohyb a výmena sú veľmi pomalé. [1]

Závažným problémom je znečisťovanie oceánov. Okrem stáleho prítoku znečistenia vody riekami, prispieva k znečisteniu pobrežných oblastí morí vypúšťanie odpadov na voľnom mori, rozptylom kalov z čistiarní odpadných vôd, ukladanie rádioaktívnych odpadov a vyplachovanie tankerov prepravujúcich ropu. Havárie tankerov boli už niekoľkokrát príčinou rozsiahlych pobrežných ekologických katastrof. [1]

1.5.1 Znečistená voda a zdravie človeka

Znečistená voda pôsobí nepriaznivo na zdravie človeka a na živé organizmy. Toxické kovy, pesticídy a polychlórované bifenyly obsiahnuté vo vode väčšinou nespôsobia akútne otravy. Môžu sa však akumulovať v telách rastlín a živočíchov a cez potravinový reťazec sa dostať k človeku. Akútne a chronické otravy ortuťou, kadmium a

olovom väčšinou spôsobujú otravy centrálného nervového systému, pečene a obličiek. [1]

Zvýšené množstvo dusičnanov v pitnej vode poškodzuje funkcie hemoglobínu u detí, červené krvinky nie sú schopné viazať v dostatočnom množstve kyslík. Vodou sa prenáša tiež rada nákazlivých chorôb a parazitov. Znečistené studne sú dodnes v niektorých krajinách zdrojom nákazy týfusom a choleroou. [1]

Znehodnotenie vody môže byť spôsobené:

- zníženým obsahom kyslíka vo vode (v porovnaní s obsahom v čistých vodách)
- výskytom znečisťujúcich (škodlivých) látok vo vode
- tepelným znečistením vody [1]

1.5.2 Znížený obsah kyslíka

Množstvo kyslíka rozpusteného vo vode je základný parameter, charakterizujúci znečistenie vôd. Minimálne doporučené hodnoty sa stanovujú s ohľadom na chov rýb. Pre pstruhy je to 5 – 8 mg/l , pre kaprov 3 mg/l. Maximálna koncentrácia kyslíka (stav nasýtenia) závisí na teplote a obsahu solí vo vode. Pohybuje sa v rozmedzí 8-15 mg/l. Nedostatok kyslíka obmedzuje rozvoj živých organizmov vo vode. Sprevádzajú ho ďalšie javy ako napr. zápach, zmena farby vody a pod. Tieto javy sú spôsobované organickými odpadnými látkami, ktoré vo vodnom toku oxidujú (splaškové odpadní vody, priemyslové odpadové vody z potravinárskeho a papierenského priemyslu), prípadne aj oxidáciou niektorých anorganických odpadných látok. [1]

Nedostatok kyslíka odpovedá organickému znečisteniu vôd, ktoré sa vyjadruje veličinami BSK (biochemická spotreba kyslíka) a CHSK (chemická spotreba kyslíka). BSK je množstvo kyslíka spotrebovaného mikroorganizmami na biologické rozloženie organických látok za aeróbnych podmienok bez súčinnosti fotosyntetizujúcich mikroorganizmov. Pri uvedenej metóde sa využívajú heterotrofné baktérie, ktorých je v odpadných vodách dostatok. Baktérie využívajú organické látky ako zdroj energie a živín. Organická látka je po určitej dobe zoxidovaná na CO₂, H₂O, NH₃. Niektorým priemyslovým vodám je nutné dodať pre stanovenie BSK bakteriálne osídlenie. Oxidácia sa vykonáva za tmy (k potlačeniu fotosyntézy) a trvá 5 dní (BSK₅). Množstvo kyslíka potrebného k oxidácii organických, biologický nerozložiteľných odpadných látok vo vode sa vyjadruje údajom CHSK (CHSK_{Cr} – dichróman draselný, CHSK_{Mn} – manganistan draselný. [1]

Prehľad úrovne znečistenia vody je v tabuľke 1.

Tabuľka 1 : Ukazovatelia miery znečistenia povrchových vôd [3]

ukazovateľ	koncentrácia [mg/l]		
	zvýšená	vysoká	veľmi vysoká
biochemická spotreba kyslíka (BSK5)	6	12	24
obsah TOC (total organic carbon)	10	20	40
chloridy	200	400	800
fosfor v orthofosfátoch	0,5	1	2
fosfor celkový	1	2	4
dusík (amoniakálny)	2	4	8
dusík (dusičnanový)	5	10	20
ukazovateľ	koncentrácia [µg/l]		
kadmium	0,5	1	2
chróm	10	20	40
nikel	5	10	20
olovo	15	30	60
ortuť	0,5	1	2

1.6 Škodlivé látky vo vode

Škodlivé látky sú látky, ktoré pri styku s vodou spôsobujú jej kvalitatívne znehodnotenie a tým aj zníženie jej úžitkovej hodnoty. Škodlivými látkami rozumieme produkty, suroviny, odpady, prípravky a iné látky, ktoré sa môžu dostať do odpadových vôd. Za určitých podmienok môžu škodlivé látky znečisťovať alebo úplne znehodnotiť povrchové a podzemné vody. [1]

1.6.1 Rozdelenie škodlivých látok

Škodlivé látky ovplyvňujúce akosť a zdravotnú bezchybnosť vody je možné klasifikovať podľa miesta vzniku, zdroja znečistenia, povahy látok. Podľa miesta vzniku sú škodlivé látky produkované:

- obyvateľstvom
- priemyslom
- poľnohospodárstvom
- dopravou

Zdroj znečistenia vody môže byť:

- bodový
- plošný

Bodové zdroje znečistenia produkujú odpadní vody alebo škodlivé látky z niektorých technologických procesov. Tieto zdroje znečistenia sú označované ako zdroje so sústredeným odvádzaním škodlivých látok (výpusť kanalizácie, únik ropných látok zo skladu apod.). [1]

Za plošné znečistenie považujeme zmývania z polí, pastvín, veľkých oblastí mestských a priemyslových aglomerácií. Plošné znečistenia priamo neodvádzajú škodlivé látky, ale prispievajú k zhoršeniu akosti povrchových a podzemných vôd. Plošné znečistenia sú označované ako zdroje rozptýlené (erózie, eutrofizácia, znečistenie poľnohospodárstvom, exhaláty, skládky, kyslé dažde). [1]

Látky charakteristické pre oba typy, sú známe a koncentrácie dobre odhadnuteľné. Pôvodcovia bodového znečistenia sú veľmi dobre sledovaní a za vypúšťanie odpadných vôd do vôd povrchových platia poplatky, pri prekročení stanovených limitov tiež pokuty. Znečistenie z plošných zdrojov je ťažšie sledovateľné a je ťažšie presne určiť pôvodcu. [1]

Podľa povahy sa škodlivé látky delia na látky:

- fyzikálne
- chemické
- biologické

Nebezpečnosť škodlivých látok vo vode je posudzovaná na základe chemického pôsobenia látok na živý organizmus. Z hľadiska tohoto prístupu môžu škodlivé látky byť:

- bez vplyvu
- pôsobiť stimulačne
- pôsobiť inhibične
- pôsobiť toxicky

Škodlivosť látok vo vode na organizmy sa môže prejaviť dvojakým spôsobom:

- škodlivosť látok sa prejaví priamo vo vode, kde sa ich pôsobením narušuje biocenóza (spoločenstvo organizmov v určitom prostredí, patria sem živočíchy, rastliny, huby, mikroorganizmy)
- škodlivé látky pôsobia priamo na vyššie organizmy (rastliny, živočíchy, ľudí), ktorí vodu prijímajú

Vplyv škodlivých látok na biocenózu sa určuje pomocou testov vykonávaných na vybraných vodných organizmoch. Na základe týchto testov sa stanovuje prípustná koncentrácia, pri ktorej nedochádza k zjavnému poškodeniu alebo úhynu testovaných organizmov. Podstatne zložitejšie a časovo náročnejšie je posudzovanie škodlivých látok priamo na vyššie organizmy a predovšetkým na človeka. Zvláštnu pozornosť pri hodnotení škodlivých látok vo vode vyžadujú látky toxické. [1]

1.6.2 Soli

Voda obsahuje rôzne rozpustené častice a soli (katióny sodíku, vápniku, horčíka a draslíku a anióny chloridov, síranov a hydrogénuhličitanov). Koncentrácia všetkých rozpustených solí sa označuje skratkou TDS (total dissolved solids). U sladkých vôd je hodnota TDS menšia ako 1500 mg/l, (pitná voda cca. 500 mg/l), u slaných vôd je hodnota TDS väčšia ako 5000 mg/l (morská voda má TDS 30 000 až 34 000 mg/l). Na zvyšovanie obsahu solí sa podieľajú niektoré technologické procesy. K zvýšenému nárastu obsahu solí dochádza tiež pri používaní vody k zavlažovaniu, kedy odparovaním vody narastá

v zostatkovej vode koncentrácia solí. [1]

1.6.3 Ťažké kovy

Rozpusťné alebo nerozpusťné zlúčeniny niektorých kovov (ako je Hg, Pb, Zn, Cd, Cu, Cr, Ni, As) sa dostávajú do vôd z rôznych technologických procesov. Častým zdrojom ťažkých kovov sú kaly z čistiarní odpadných vôd, ktoré obsahujú kadmium z komunálnych odpadov, fosforečných hnojív, olovo (z priemyslových hnojív a sprostredkovane, cez imisie zo spaľovaného olovnateho benzínu), ortuť (z morenia osív ortuťovými moridlami), chróm (z priemyslových imisií, spaľovaní fosílnych palív, oceliarskych vápenatých stružiek a kožiarskych odpadov), meď (z metalurgických prevádzok, meďnatých prípravkov k ochrane rastlín). Často sú ťažké kovy súčasťou nerozpusťných čiastočiek, ktoré sa usádzajú v riekach a jazerách. [1]

1.6.4 Rádioaktivita

Pri ťažbe a spracovaní uránovej rudy sa do vody dostáva rada rádioaktívnych látok. V ČR ide hlavne o Labe, Vltavu, Ohři, do ktoré preniká rádium, tórium, poprípade urán. Voda môže byť po haváriách atómových elektrární kontaminovaná céziom. Prirodzene môže do vody prenikať z hornín radón. [1]

1.6.5 Kyslé dažde

Oxidy síry a dusíku, vznikajúce pri spaľovaní, sa rozpúšťajú v dažďovej vode a vytvárajú slabé kyseliny. S dažďom alebo snehom sa dostávajú do vodného prostredia a spôsobujú okysľovanie vôd prameňov a jazier. Kyslosť pH 5 nevyhovuje planktónu a niektorým druhom rýb. V niektorých vodách nie sú vzácnosťou hodnoty pH 4 aj menej, čo je hodnota, ktorá predstavuje pre radu organizmov príliš kyslé prostredie. Navyše sú okyslenou vodou uvoľňované z geologického podložia a pôdy niektoré zlúčeniny a prvky, ktoré môžu byť aj toxické. Kyslosť dažďov a povrchových vôd sa v posledných rokoch mierne znižuje predovšetkým znížením produkcie oxidu siričitého. [1]

1.6.6 Organické látky

Pri spracovaní ropy, uhlia, pri výrobe farieb a lakov tiež pri produkcii a aplikácii pesticídov prechádzajú do vody rozličné organické látky. Sú väčšinou vo vode nerozpusťné alebo rozpusťné len v malom množstve. Patria sem polychlóvané bifenyly, polyaromatické uhl'ovodíky, ropné látky, DDT a ďalšie pesticídy, organické rozpúšťadlá atď. Toxicita niektorých látok nemusí byť vysoká. Látky môžu svojim zápachom či zafarbením obmedziť použitie vody. Často ide o tak nízke koncentrácie organických látok, že ich detekcia je veľmi zložitá. Z organických látok ktoré sa môžu vyskytovať vo vode sú zvlášť nebezpečné pesticídy. [1]

1.6.7 Zvýšený obsah živín

Živiny sú chemické látky (dusík, fosfor, uhlík, síra, draslík, železo, mangán, bór, kobalt) nutné pre rast živých organizmov. Ako znečisťujúce látky vo vode ich pokladáme v tom prípade, keď ich koncentrácia umožňuje nadmerný rast vodných rastlín, obzvlášť rias. To spôsobuje znehodnotenie vody pre pitie aj pre život iných organizmov. Po

odumretí ochudobňujú rozkladajúce sa riasy oxidáciou vodu o kyslík. Uvedený proces sa označuje eutrofizácia a je obzvlášť závažný pre vodné nádrže. [1]

V prvej fáze dochádza vo vodách s nadmerným obsahom živín k nárastu fytoplanktónu (fotosyntetizujúcich rias a siníc) a ďalších vodných rastlín. Následuje rozmnoženie zooplanktónu (drobných vodných heterotrofných organizmov), ktoré sa živia riasami. Vzrastá spotreba kyslíka potrebného k dýchaniu rozmnožených organizmov a k rozkladu odumierajúcich tiel týchto organizmov. Prebytočné množstvo inak potrebných živín tak môže vďaka nedostatku kyslíka privodiť zruenie pôvodných ekosystémov. [1]

Zo všetkých živín sú pre eutrofizáciu rozhodujúce tri látky – uhlík, dusík a fosfor. Uhlík je k dispozícii z prírodných zásaditých zdrojov, z atmosférického CO₂ a z rozkladajúcich sa organických látok. Hlavným zdrojom dusíku a fosforu sú splaškové odpadné vody, odpadné vody, odpady zo živočíšnych výkrmní a umelých hnojív. Špecifickým zdrojom fosforu vo vode sú fosforečnany zo saponátov (pracích prostriedkov). Dusík je v pitnej vode obsiahnutý vo forme dusičnanov NO₃, ktoré nie sú obzvlášť nebezpečné. Určité baktérie nachádzajúce sa v zažívacom trakte dojčiat, môžu ale zmeniť NO₃ na vysoko toxické dusitany NO₂, ktoré majú vyššiu afinitu k hemoglobínu v krvi než kyslík. Ak nahradí NO₂ kyslík, dochádza k duseniu dieťaťa (syndróm modrania). Po šiestom mesiaci veku je tráviaci systém dieťaťa vyvinutý tak, že k uvedeným javom nedochádza. [1]

1.6.8 Choroboplodné zárodky

Vírusy, baktérie, prvoky a niektoré ďalšie organizmy, ako napr. plesne, sú prítomné v odpadných vodách z ľudských sídiel, v odpadoch z poľnohospodárskej výroby či zo skládok tuhého komunálneho odpadu (TKO). [1]

Choroboplodné zárodky (baktérie, prvoky, cudzopasný červy) spôsobujú šírenie chorôb vodou (týfus, cholera). Choroby šírené pitnou vodou (nielen pri pití, ale i pri styku s vodou z povrchu jedál, rúk, riadov) sú zvlášť rozšírené v rozvojových krajinách. V našich podmienkach je hlavným bakteriálnym rizikom pitných vôd (obecne povrchových vôd) znečistenie koliformnými baktériami a fekálnymi streptokoky – enterokoky. Limitné hodnoty sa udávajú počtom mikróbov v jednom litri vody. Choroby spôsobované kontaktom s vodou vznikajú aj bez príjmu vody v potrave. Šírenie chorôb prostredníctvom vodných tokov sa nepriamo ovplyvňuje hmyzom, žijúcim v ich blízkosti (malária, spavá choroba). Nedostatok vody pre osobnú hygienu podporuje choroby ako sú svrab a malomocenstvo. [1]

1.7 Odpadné vody

Ľudskou činnosťou sa pozmeňuje prirodzená akosť vôd, znečisťuje sa a vzniká tak odpadová voda. Odpadové vody sú využívané v sídliskách, mestách, obciach, priemyselných závodoch, zdravotníckych zariadeniach a v ďalších iných zariadeniach kde sa použitím vody mení jej akosť. [2]

Odpadové vody je možné rozdeliť podľa rôznych kritérií. Podľa pôvodu rozdelíme odpadné vody:

- splaškové – odpadné vody z domácností, objektov stravovania a ubytovania,
- mestské – splaškové odpadné vody a priemyselné odpadné vody odvádzané mestskou kanalizáciou,
- priemyselné – znečistené vody z priemyselných procesov,
- poľnohospodárske – znečistené vody z rastlinnej a živočíšnej výroby,
- dažďové – vody z atmosférických zrážok odvádzané stokovou kanalizáciou
- iné odpadné vody – sem patria: nemocničné, chladiace a ďalšie. [2]

Podľa akosti sa rozlišujú odpadné vody čerstvé, nahnité, infekčné, rádioaktívne a toxické. [2]

1.8 Priemyselné odpadné vody

1.8.1 Delenie priemyselných odpadných vôd

Priemyselné odpadné vody pochádzajú z ťažby a získavania anorganických a organických surovín a pri ich priemyselnej úprave a spracovaní. Podľa technologických procesov, v ktorých sa použila voda sa priemyselné odpadné vody rozoznávajú najmä charakterom znečistenia, chemickým zložením a fyzikálnymi vlastnosťami. Odpadové vody z priemyselných prevádzok sú zmesou rozličných odpadových vôd z jednotlivých výrob a tiež splaškových odpadných vôd. [2]

Priemyselné odpadné vody môžu byť z prevažne tvorené anorganickým alebo organickým znečistením. Podľa akosti ich delíme na odpadné vody:

1. **Mimoriadne škodlivé** – nutné je tieto vody zneškodňovať osobitne, prípadne vhodne predčistiť pred napojením na ostatné odpadové vody podobného charakteru.
2. **Znečistené prevažne organickými látkami rozložiteľnými biologicky.** Označujú sa tiež hnilobnými odpadnými vodami. Hodnoty BSK₅ a CHSK sú u týchto odpadných vôd prevyšujúce 50 a 1000 mg.l⁻¹. Účelné čistenie prebieha v spoločnej biologickej čistiarni.
3. **Znečistené prevažne anorganickými látkami, prípadne organickými látkami,** ktoré sú odolné proti biologickému čisteniu a kde sa predpokladá čistenie chemické. Označujú sa tiež nehnílné odpadové vody. Hodnoty BSK₅ sa u týchto odpadných vôd pohybujú rádovo v 1 – 10 mg.l⁻¹ a CHSK v desiatkach mg.l⁻¹.
4. **Relatívne neškodné** [2]

Delenie podľa charakteru organických látok obsiahnutých v odpadných vodách je možné na odpadné vody s látkami:

1. netoxickými, biologicky rozložiteľnými (aminokyseliny, proteíny, sacharidy a iné)
2. netoxickými, biologicky ťažko rozložiteľnými (alifatické zlúčeniny, hydroaromatické zlúčeniny, lignínsulfoány, organické farbivá a iné),
3. toxickými, biologicky rozložiteľnými (fenoly, orgánofosforové insekticídy, sulfofenylalkány, monochlórfenoly atď.)
4. toxickými, biologicky ťažko rozložiteľnými (chlórované uhlíkovodíky, dinitrofenoly, nitroanilíny, kationové tenzidy atď.). [2]

Rozdelenie odpadných vôd podľa zloženia jednotlivých látok:

Kyslé odpadné vody – vody vznikajúce pri morení, zinkovaní, niklovaní obsahujúce okrem kyselín aj veľké množstvo solí príslušných kovov. Hodnota pH kyslých odpadných vôd sa pohybuje okolo 1,5-4,0 a obsah kyselín a kovových solí je až 500 mg/l.

Alkalické odpadné vody – pochádzajú najmä z procesov odmasťovania a niektorých procesov morenia. Hodnota pH sa pohybuje v rozmedzí 9,5-12,5.

Kyslé a alkalické odpadné vody s obsahom daných látok:

- S obsahom toxických kovov – zneškodňujú sa neutralizáciou a zrážaním. PH je upravené na hodnotu pri ktorej je dosiahnuta najmenšia zostatková koncentrácia iónov kovov vo vyčistenej vode.
- S obsahom ostatných kovov – zneškodňujú sa spoločne s kyslými a alkalickými odpadnými vodami s obsahom toxických kovov pokiaľ tým nedochádza k zhoršeniu zachytu toxických kovov
- S obsahom komplexotvorných látok – tento typ je posudzovaný podľa vplyvu na neutralizačné zrážacie procesy. Pokiaľ odpadná voda s obsahom toxických kovov obsahuje komplexotvorné látky v nadlimitnej miere, zneškodňuje sa špeciálnym postupom napr. sulfidovým zrážaním
- S obsahom dusitanov – zneškodňujú sa redukciami na elementárny dusík, pokiaľ to nie je možné zneškodňujú sa oxidáciou v kyslom prostredí na dusičnany.
- S obsahom fluoridov – zneškodňuje sa premenou na nerozpustné fluoridy napr. fluorid vápenatý
- S obsahom náterových hmôt – zneškodňujú sa koaguláciou alebo filtráciou. V prípade že obsahujú šesťmocný chróm, je najskôr nutné jeho prevedenie na chróm trojmocný.
- S obsahom nerozpustných látok – z procesov brúsenia, leštenia, omývania. Tento typ sa zneškodňuje hydroseparačnými procesy, usadzovaním, koaguláciou, flotáciou, filtráciou alebo ich kombináciou.
- So špecifickým znečistením – zneškodňuje sa podľa modelmi overenými testami podľa charakteru znečisťujúcej zložky. [5]

Jednotlivé čistiace procesy sú detailnejšie popísané v kapitole 4.

1.8.2 Úvod do problematiky priemyselných odpadných vôd

Zloženie priemyselných odpadných vôd závisí hlavne na druhu priemyselnej výroby a môže sa tiež meniť použitou technológiou výroby, preto je nutné pri projektovaní a zavádzaní priemyselnej čističky odpadných vôd poznať jak zloženie odpadných vôd tak jednotlivé procesy a technológie použité pri výrobe.

Firmy a podniky, ktoré vypúšťajú odpadné vody priamo do kanalizácie, musia dokladať splnenie limitov daných zmluvou s prevádzkovateľom kanalizácie a vodovodov. Na základe rozhodnutia Vodoprávneho úradu, musia dokladať akreditované rozboru odpadných vôd na prítoku a odtoku odpadnej vody do čističky odpadných vôd. Príklad stanovených hodnôt prevádzkovateľom kanalizácie je uvedený v tabuľke 3.

V tabuľke 2 sú uvedené emisné štandardy ukazovateľov prípustného znečistenia priemyselných odpadných vôd podľa Prílohy č. 1 k nariadeniu vlády č. 61/2003 SB.

Tabuľka 2: Emisné štandardy ukazovateľov prípustného znečistenia vybraných odvetví podľa Prílohy č. 1 k nariadeniu vlády č. 61/2003 SB

3.1 Povrchová úprava kovov a plastov	
CHSK _{Cr}	300 mg/l
pH	6-9
NEL	2 mg/l
NL	30 mg/l
3.2 Elektrotechnická výroba	
CHSK _{Cr}	300 mg/l
pH	6-9
NEL	2 mg/l
NL	20 mg/l

kde NL je skratka nerozpustných látok a NEL je skratka nepolárne extrahovateľných látok

Elektrotechnické výroby zväčša nepatria k významným znečisťovateľom odpadnej vody, avšak k hlavným producentom odpadných vôd v elektrotechnickom priemysle patrí: automobilový priemysel a výroba elektrickej energie (tepelné znečistenie). K elektrotechnickým firmám produkujúcim odpadné vody patrí tiež výroba DPS.

1.8.3 Odpadné vody z elektrotechnických výrobných a riešenie čistenia odpadných vôd

Zloženie odpadných vôd závisí hlavne na druhu priemyselnej výroby a jednotlivých procesov využívajúcich vodu. Priemyslové odpadné vody vznikajú vo výrobných procesoch ako tzv. vody technologické alebo chladiace.

Z príkladov elektrotechnických firiem je možné uviesť firmu LG Philips Hranice, u ktorej sa z výrobných procesov dostávajú do odpadnej vody hlavne znečisťujúce látky ako sú ťažké kovy a to hlavne Cr⁶⁺, Cr³⁺, Pb. Tieto produkované odpadné vody sú od ťažkých kovov účinne čistené čističkou odpadných vôd vid' obrázok 1, pozostávajúcou z troch chemických liniek a jednej biologickej linky. Maximálny výkon čističky odpadných vôd je 120 m³/h.[6]



Obrázok 1: Čistička odpadných vôd LG Philips Hranice [6]

Ďalším príkladom je výroba dosiek plošných spojov firmou Gatema a.s., ktorá sa zaoberá výrobou DPS, pri výrobe dosiek plošných spojov sa využívajú procesy povrchovej úpravy, leptania medi a do odpadnej vody sa dostávajú ťažké kovy. Odstraňovanie znečistenia je realizované pomocou neutralizačnej stanice vid' obrázok 2, kde dochádza k úprave pH, vyvrážaniu ťažkých kovov, flokulácii a sedimentácii. V tabuľke 3 sú uvedené zmluvné hodnoty pre vypúšťanie vyčistenej vody do kanalizácie konkrétne pre firmu Gatema a.s.. [7]



Obrázok 2: Neutralizačná stanice firmy Gatema a.s. s kapacitou 75 m³/deň [7]

Tabuľka 3: Limity pre vypúšťanie odpadnej vody do kanalizácie pre firmu Gatema a.s. [7]

Producent	GATEMA, s.r.o., neutralizačná stanica				
Množstvo odpadných vôd	12000 m ³ /rok (vrátane vlastného zdroja)				
Vodohospodárska aktivita	365 dní/rok	Počet kontrolných vzoriek		12x ročne	
Typ kontrolného vzorku	Zmiešaný 8 hodinový + bodový jednoduchý				
Kontrolné miesto	odtok z NS				
Ukazovateľ znečistenia	max.	priemer			Pozn.
	mg/l	mg/l	kg/den	kg/rok	
BSK ₅	300	150	6,74	1800	
CHSK	600	300	13,48	3600	
NL	30	25	1,12	300	
RL	2000	1500	67,42	18000	
Dusikový amoniakálny NH ₄ ⁺	30	20	0,9	240	
P _{celk.}	5	3	0,13	36	
PAL (tenzidy aniontové)	7	5	0,22	60	
AOX	0,2	0,15	0,007	1,8	
Chloridy Cl ⁻	400	200	8,99	2400	
Sírany	500	300	13,78	3600	
Cu	1	0,6	0,027	7,2	
Sn	0,6	0,3	0,013	3,6	
Ni	0,2	0,1	0,004	1,2	
Pb	0,1	0,05	0,002	0,06	
CN celkové (kyanidy)	0,1	0,05	0,002	0,6	
pH	6,5-9,5				

kde: AOX je skratka pre halogénové organické zlúčeniny, NL je skratka nerozpustných látok, RL sú rozpustné látky,

Pre porovnanie firma CUBE CZ s.r.o., ktorá sa taktiež venuje výrobe DPS, odpadné vody vypúšťa priamo do recipientu povrchových vôd vodného toku vedeného ako „pstruhového“ v rámci CHKO Jizerské hory. Priemyselné odpadné vody prichádzajúce z prevádzky sú rozdelené na tri charakteristické typy a likvidované bežným spôsobom. Kampaňovité rozpúšťanie ťažkých kovov prebieha v reaktoroch a prevádza sa do fázy sedimentácie ťažkých kovov. Finálne čistenie vypúšťaných vôd sa realizuje na pieskových filtroch a filtroch s aktívnym uhlím. Dočistenie je ďalej vykonávané na iónomeničovej stanici. Rýchlosť vypúšťania je automaticky regulovaná, tak aby bola splnená podmienka zmiešavacej rovnice pri vypustení do vodného toku. Zhotovenie čističky odpadných vôd je na obrázku č. 3. Limity k povoleniu sú v tabuľke 4. [8]



Obrázok 3: Čistička odpadných vôd firmy CUBE CZ s.r.o. [8]

Tabuľka 4: Limity pre vypúšťanie odpadnej vody do povrchovej pre firmu CUBE CZ s.r.o. [8]

množstvo:	priemer 0,8 l/s	max. 2,0 l/s	max. 1200 m ³ /mesiac	12 250 m ³ /rok
kvalita:	„p“ mg/l	„m“ mg/l	t/rok	metóda stanovenia
CHSK _{Cr}	300	350	1,8	TVN 757520
NL	30	40	0,3	ČSN EN 872
Cu	0,5	0,8	0,002	TVN 75 7389
Fe	2	2,5	0,012	ČSN EN ISO 11885
Ni	0,8	1	0,005	ČSN EN ISO 11886
Sn	2	2,5	0,012	ČSN EN ISO 11887

U firmy BOSCH DIESEL S.R.O. odpadné technologické vody vznikajú predovšetkým z prania a odmasťovania dielov a ďalej ako oplachy. Časť odpadných vôd je pred vypustením predčistená na flotačnej jednotke, a časť je odovzdávaná k odstráneniu ako kvapalnú odpad. U odpadných vôd na vstupe a výstupe z flotácie sú sledované parametre: pH, CHSK_{Cr}, P_c, NEL, EL, NL, Tenzidy, C10-C40, Si, AOX (halogénové organické zlúčeniny), Al, Fe, Cd, Zn, Ni, Cu, Cr⁶⁺, PCB (polychlórované bifenyly), PAU (Polyaromatické uhľovodíky). U kvapalných odpadov sú sledované hodnoty: CHSK_{Cr}, NL, Cd, Cl_{celk.}, Ni, Zn, pH.

2 RÝCHLE ANALYTICKÉ TESTY

Oblasť použitia rýchlych testov, ktoré je možné dnes získať v obchode, sa rozširuje nielen na rozličné pracovné oblasti ochrany životného prostredia, ale taktiež zahrnuje väčší počet odborných špecifických postupov.

Činidlá je možné zakúpiť v podobe testovacej sady a hodia sa podľa zhotovenia ku kvalitatívnym, polo-quantitatívnym alebo kvantitatívnym analýzám. Testy musia spĺňať predovšetkým tieto požiadavky:

- jednoduchá manipulácia
- použiteľnosť nezávislá na mieste
- malé vynaloženie materiálu, práce a času
- dostatočná presnosť merania pri čo možno najväčšej selektivite
- rýchlo dostupný reprodukovateľný výsledok
- priaznivý pomer ceny a výkonu
- dlhá trvanlivosť [9]

2.1.1 Titračné postupy

Titračia (fr. Le titre = obsah, pomer) umožňuje zisťovanie koncentrácií súčastí analyzovaného roztoku pridaním titračného roztoku. [9]

Titrační roztok sa z dávkovacej fľaše, presného kvapkadla alebo titračnej pipety pridá v malom podiele do pripraveného objemu skúšobného roztoku. Vhodný indikátor ukáže zmenou zafarbenia koniec chemické reakcie medzi činidlom a skúmanou látkou. Z objemu a koncentrácie použitého titračného roztoku sa zisťuje koncentrácia hľadanej látky. Pokiaľ sa použijú titračné pipety, je možné hľadanú koncentráciu odčítať priamo na stupnici pipety. [9]

Rýchle titrační testy sa používajú v prvej rade k zisťovaniu KNK (kyselinová neutralizační kapacita), ZNK (zásadová neutralizační kapacita), obsahu vápniku, uhličitanovej tvrdosti, celkovej tvrdosti, koncentrácie chloridových a siričitanových iónov, ako aj obsahu kyslíka vo skúšobnom roztoku. [9]

2.1.2 Kolorimetrické postupy

V kolorimetrii sa uskutočňuje zisťovanie koncentrácie na základe farebnej reakcie. Z dôvodu obzvlášť jednoduchej manipulácie sú k polo-quantitatívnemu zisťovaniu početných rozpustených látok používané testovacie tyčinky (analytické tyčinky). Každá tyčinka sa skladá z polyesterového prúžku, ktorý je na jednom konci impregnovaný potrebným činidlom. Reakčná zóna sa krátko ponorí do analyzovaného skúšobného roztoku, potom sa prebytočná kvapalina strepe. Po uplynutí reakčnej doby sa porovná zafarbenie reakčnej zóny so stupnicou farieb na obale a zistí sa existujúca koncentrácia látok. Testovacie tyčinky umožňujú presvedčivú predbežnú kontrolu v rozsahu od 1ml/l.

Hodí sa preto k vykonávaniu screeningových testov (screening = preskúšanie). Pri tom sa z veľkého počtu vzorkou vyhľadávajú tie, ktoré vyžadujú citlivejšie analytické metódy. [9]

U testov s farebnými kartami sa pridávajú k určitému objemovému množstvu skúšobného roztoku špeciálne činidlá. Zisťovanie koncentrácie sa uskutočňuje následne porovnaním farby vzniknutej pri reakcii s vytlačeným štandardom príslušnej farebnej karty. [9]

2.1.3 Fotometrické postupy

Absorbancia elektromagnetického žiarenia homogénneho roztoku môže byť použitá k zisťovaniu koncentrácie rozpustenej látky. Vo fotometrii je použité monochromatické svetlo, ktoré ako lúč určitej vlnovej dĺžky prechádza skúšobným roztokom. K meraniu sú vhodné predovšetkým tie vlnové dĺžky, u ktorých má analyzovaná látka absorpčné maximum. [9]

Pretože zisťovanie koncentrácie farebných látok kladie menší nároky na prístrojové vybavenie, prevádzajú sa bezfarebné látky pridaním vhodných činidiel najskôr na farebné produkty. Aby bolo možné vypočítať koncentráciu skúmanej látky, je treba v ďalšom kroku zmerať absorbanciu štandardného roztoku o známej koncentrácii. [9]

2.1.4 Potenciometria pomocou iónovo selektívnych elektród

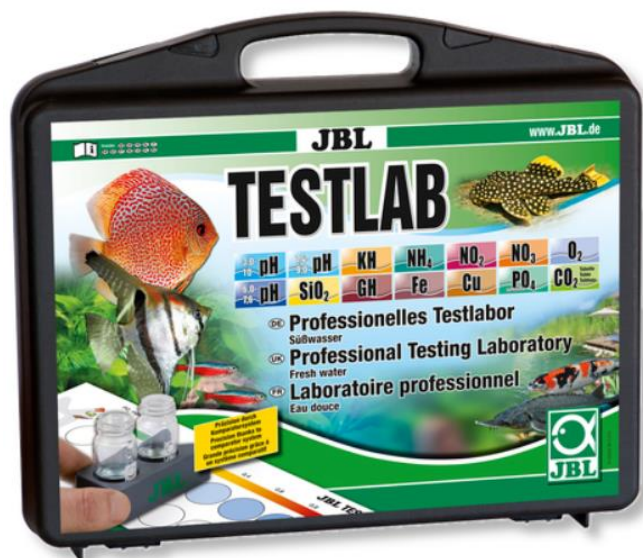
Iónové selektívne elektródy sú moderné analytické senzory pre stanovenie veľmi širokej škály iónov analyzovanej látky za použitia rôznych metód vyhodnocovania. Majú veľký rozsah použitia v analytických laboratóriách v poľnohospodárstve, potravinárskom priemysle, biochémií, farmácii, medicíne, pre ekologické merania povrchových, spodných, pitných a odpadových vôd. Elektródy je možné použiť zo všetkými bežnými pH metrami a inými prístrojmi. Medzi druhy ponúkaných elektród patria: amóniová, lítiová, sodíková, draslíková, vápniková, dusičnanová, fluoroborátová, perchlorátová, fluoridová, chloridová, báryová, plynová pre amoniak, plynová pre oxid uhličitý. [10]

3 PRÍSTROJE URČENÉ K MERANIU A TESTOVANIU VODY

Pre potreby merania parametrov a kvality vody sú v tejto kapitole vybrané konkrétne testy a prístroje ktoré môžu byť použité pri meraní vlastností/ kvantitám vody.

3.1 Rýchle testy

K rýchlym testom patria napr. testy pre potreby akvaristov, testy sú pomerne lacné a rýchle. Medzi parametre ktoré je možné testovať patria: pH, uhličitanová tvrdosť vody, celková tvrdosť vody, NO₂ (meranie úrovne dusitanov), NO₃ (zistenie prítomnosti dusičnanov), PO₄ (fosfáty), Fe, Ca, Cl. Testy je možné zakúpiť samostatne alebo vo forme sady vid' obrázok 4. Testy obecné fungujú na zafarbení určitého množstva testovanej vody kvapkami testeru a zrovnaním s farebnou stupnicou.



Obrázok 4: Set testerov vody [11]

3.2 Prístroje pre meranie pH, EC, TDS

Konduktivita, merná elektrická vodivosť EC udáva množstvo rozpustených anorganických solí vo vode, resp. vyjadruje približnú mieru koncentrácie elektrolytov vo vode. Nepriamo tak vyjadruje obsah všetkých minerálnych, iónovo rozpustených látok, ku ktorým sa voda dostane v podloží a rozpustí. Príliš veľké zasolenie vody môže pri dlhodobom požívaní vyvolať zdravotné problémy. Na druhej strane čistá voda bez rozpustených solí (destilovaná voda) sa k pitiu rovnako nehodí, pretože pri dlhodobom požívaní môže byť telo ochudobnené, o potrebné minerály. Vyhláška povoľuje limit vodivosti pre pitnú vodu, teda konduktivitu do 125 mS/m (1250 µS/cm) čo odpovedá

obsahu rozpustených látok asi 1000 mg/l (1000 ppm) (vynásobíme hodnotu vodivosti ôsmymi, dostaneme orientačnú hodnotu rozpustených látok v mg/l). Hodnoty pre vybrané typy vôd sú v tabuľke 5.

Tabuľka 5: Vybrané hodnoty EC pre pitnú vodu [12]

typ vody	konduktivita EC				poznámka
	od		do		
limit pre pitnú vodu			125 mS/m		cca. 1000 mg/l rozpuštených látok
optimum pre pitnú vodu	25 mS/m	250 uS/cm	50 mS/m	500 uS/cm	ČSN EN ISO
	2,5 mS/m	65 uS/cm	18 mS/m	180 uS/cm	EPA (USA/CND)
destilovaná voda	0,05 mS/m	0,5 uS/cm	0,3 mS/m	3 uS/cm	
povrchové a prosté pozemné vody	5 mS/m	50 uS/cm	50 uS/m	500 uS/cm	
priemer pitných vôd v ČR					40 mS/m (400 uS/cm)
dojčenská a stolová voda					100 mS/m (1000 uS/cm)

Pre meranie hodnôt EC, TDS, pH existuje celá rada dostupných prístrojov, buď pre každú veličinu samostatne alebo v kombinácii pH + EC, pH + EC + TDS. Tieto prístroje často vyžadujú pravidelnú kalibráciu sond pre zachovanie presnosti merania. Na obrázku 5 je uvedený pH/EC/TDS meter firmy Hanna Instruments.



Obrázok 5 : pH/EC/TDS meter HI991301N firmy Hanna Instruments [13]

3.3 Fotometre

Fotometre pracujú na princípe absorpcie svetla pri priechode skúmaným roztokom, kde dochádza k interakcii medzi elektromagnetickým žiarením a skúmanou látkou. Pri priechode svetelného lúča určitou látkou sa časť žiarenia absorbuje atómami, molekulami alebo atómami kryštalickej mriežky. Ak dôjde k čistej absorpcii, zlomok absorbovaného svetla závisí tak od dĺžky optickej dráhy cez hmotu, ako aj od fyzikálno-chemických vlastností látky podľa Lambert-Beerova zákona vid' rovnice 3.1 a 3.2:

$$-\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon_{\lambda} * c * d \quad (3.1)$$

alebo

a

$$A = \varepsilon_{\lambda} * c * d \quad (3.2)$$

kde:

$-\log I/I_0 =$ Absorbancia (A)

I_0 intenzita dopadajúceho svetelného lúča [W/m^2]

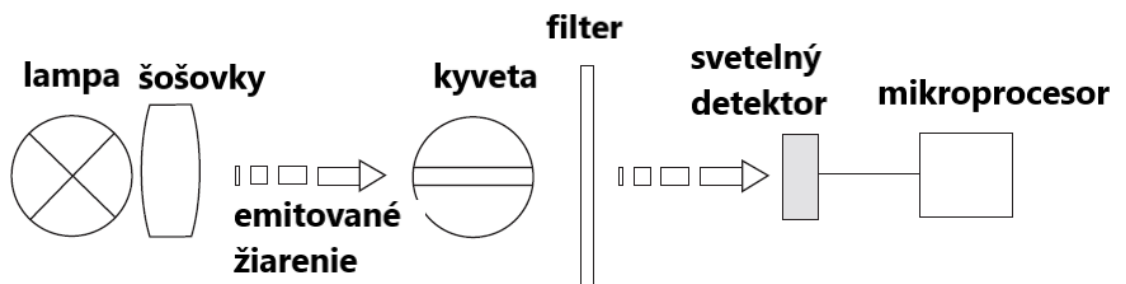
I intenzita svetelného lúča po absorpcii [W/m^2]

ε_{λ} molový absorpčný koeficient pri vlnovej dĺžke λ [$dm^3 \cdot ml^{-1} \cdot cm^{-1}$]

c molová koncentrácia látky [$mol \cdot dm^{-3}$]

d dĺžka dráhy priechodu lúča cez látku [cm]

Koncentrácia c môže byť vypočítaná z absorpcie látky, pokiaľ sú známe ostatné faktory. Fotometrická chemická analýza je založená na možnosti vytvorenia absorpčnej zlúčeniny zo špecifickej chemickej reakcie medzi vzorkou a činidlami. Vzhľadom na to, že absorpcia zmesi prísne závisí od vlnovej dĺžky dopadajúceho svetelného lúča, mala by byť vybraná úzka spektrálna šírka pásma, ako aj správna vlnová dĺžka pre optimalizáciu merania. Príklad optického usporiadania fotometru je na obrázku 6. Fotometria pracuje s čiastočne monochromatickým žiarením. Poly-chromatické svetlo sa vedie cez filter a dopadá na vzorku. Vzhľadom k tomu, že sa pracuje len vo viditeľnej časti svetla, je možné analyzovať iba látky zafarbené. Žiarenie zoslabené priechodom cez vzorku je merané objektívne detektorom, najčastejšie fotočlánkom. [14]



Obrázok 6: Princíp fotometru [14]

Fotometer podľa svojej konštrukcie a integrovaných metód merania s použitými činidlami môže stanovovať širokú škálu vybraných hodnôt kvality vody, napr. koncentráciu Al^{3+} , $CaCO_3$ (zásaditosť), NH_3 (amoniak), Br_2 (bróm), Ca^{2+} (Kalcium), voľný chlór, celkový chlór, chlorid ClO_2 , rozpustený kyslík O_2 , Mn, Cu, Fe, Ni, Zn, NO_2 - a ďalšie. [15]

4 ČISTENIE ODPADNÝCH VÔD – ČOV

Medzi najdôležitejšie prostriedky zlepšenia akosti povrchových vôd patrí v dnešnej dobe čistenie odpadných vôd. Čistenie je technologický proces ktorý prebieha v čistiarni odpadných vôd. [2]

Odstránenie znečisťujúcej látky jednotlivými procesmi alebo ich kombináciou sa hodnotí podľa čistiaceho účinku. Čistiaci účinok je pomer úbytku koncentrácie znečisťujúcej látky dosiahnutý procesom alebo kombináciou jednotlivých procesov, ku koncentrácii danej látky na pred čistením vyjadrený v percentách. [2]

Technologická linka zneškodnenia odpadných vôd predstavuje vlastné čistenie a tvoria ju nasledujúce procesy, prípadne kombinácie:

- vyrovnanie množstva a akosti,
- cedenie,
- sedimentácia,
- flotácia,
- fyzikálne-chemické a chemické čistenie,
- prirodzené biologické čistenie,
- aktivácia,
- biofiltrácia,
- dočisťovanie biologicky vyčistených odpadových vôd,
- dezinfekcia. [2]

Viac informácií k odpadným vodám je možné nájsť v kapitole 1.7 a 1.8. .

4.1 Vyrovnanie množstva a akosti odpadných vôd

Prvou úrovňou mechanickej zložky čistenia odpadných vôd býva vyrovnanie množstva a akosti odpadných vôd, hlavne v prípade čistenia odpadných vôd z priemyslu. Na vyrovnanie množstva sa používajú vyrovnávacie nádrže. Na vyrovnanie akosti sa odpadnej vody sa využívajú egalizačné nádrže. [2]

Na vyrovnanie časových zmien prietoku je nutný určitý referenčný priestor vo vyrovnávacích nádržiach. Vo vyrovnávacích nádržiach je odtok konštantný a prítok do nádrží je variabilný podľa potreby. Konštantný odtok býva z vyrovnávacej nádrže realizovaný buď plavákovým uzáverom, odberom na plavákoch alebo čerpaním. Egalizačné nádrže sa z hľadiska konštrukcie rozdeľujú na premiešavané a prietokové. V premiešavacích egalizačných nádržiach sa akosť homogenizuje pneumatickými alebo mechanickými miešadlami. V prietokových egalizačných nádržiach sa dosiahne vyrovnanie akosti tak, že prietok v nádrži je rozdelený tak, aby každá časť mala iný čas zdržania. Tým sa dosiahne, že vody s rôznou akosťou sa stretnú, čím sa ich akosť vyrovná. [2]

4.2 Cedenie

Cedením sú oddelené najväčšie nečistoty z odpadnej vody. Mikrocedenie je málo používané a niekedy v technologickej linke nahrádza procesy sedimentácie alebo

flotácie. Pri cedení sú využívané hrablice a sitá, na ktorých sa zachytávajú tzv. zhrabky. Tieto zariadenia sa nachádzajú v každej čistiarni odpadných vôd z dôvodu ochrany čerpadiel a iných zariadení pred poškodením. [2]

4.3 Sedimentácia

Sedimentácia je proces založený na princípe sedimentácie ťažších častíc ako je voda, zariadenie pracujúce s týmto princípom je možné nájsť skoro vo všetkých technologických linkách čistenia odpadných vôd. Separácia suspendovaných látok prebieha v lapačoch štrku a piesku, sedimentačných nádržiach, štrbinových nádržiach. [2]

Lapače štrku a piesku slúžia na zachytávanie najťažších častíc ktoré sú unášané prúdom vody alebo sú sunuté unášacou silou vody po dne. Ich zachytenie sa realizuje tak že sa zmenší prietoková sila, znížením rýchlosti (rozšírením priečného profilu). Z tohto dôvodu sú lapače a sedimentačné nádrže priestranné, aby sa okrem zníženia rýchlosti zabezpečil aj potrebný čas na sedimentáciu častíc. [2]

V sedimentačných nádržiach sa odstraňujú pôsobením tiaže gravitácie suspendované látky s väčšou hustotou ako má voda. Podľa akosti separovaných častí a umiestnenia sedimentácie v technologickom procese linky čistenia odpadných vôd rozdeľujeme sedimentačné nádrže na:

- primárne sedimentačné nádrže
- sekundárne sedimentačné nádrže [2]

Primárne sedimentačné nádrže sú umiestnené na začiatku technologickej linky, zvyčajne za hrubým predčistením alebo koaguláciou. Sekundárne sedimentačné nádrže oddeľujú usaditeľné látky za biologickým čistením a zabezpečujú kal pre vlastný biologický proces aktivácie. V priemyselných čistiarnach odpadových vôd je možné nájsť zaradené ďalšie sedimentačné nádrže. Konštrukčne sa primárne a sekundárne nádrže od seba neodlišujú. V sekundárnych nádržiach býva zhrabovač plávajúcich nečistôt.

Podľa smeru toku delíme sedimentačné nádrže na:

- horizontálne nádrže
- radiálne nádrže
- vertikálne nádrže [2]

4.4 Flotácia

Patrí k mechanickému čisteniu vody. Pri flotácii sa z odpadnej vody odstraňujú znečisťujúce látky ľahšie ako voda, napr. oleje a tuky. Odpadová voda je prebublávaná bublinkami vzduchu, ktoré znečisťujúce látky vyplávajú na povrch hladiny. Hromadené látky z povrchu vody sú odstraňované zhrabovačom a zneškodňujú sa napríklad spaľovaním alebo sa spracujú na možné využitie. [2]

Prirodzená flotácia je pozorovateľná v primárnych sedimentačných nádržiach, lapačoch tuku a olejov (bez pridávania bubliniek). Bublínková flotácia s mechanickým rozptýlením vzduchu je vhodná obzvlášť pre separáciu olejov a tukov z odpadných vôd.

[2]

Najrozšírenejšia je tlaková flotácia, pri ktorej sa odpadová voda alebo kal nasýti vzduchom v tlakovej nádrži pri zvýšenom tlaku. Pri uvoľnení tlaku a znížení na atmosférický tlak dochádza k uvoľneniu vzduchu mikrobublínkami. Dochádza k vytvoreniu komplexov so znečisťujúcimi časticami ktoré sú vynášané na povrch, je tým dosiahnuté oddelenie a zahustenie znečisťujúcich častíc. Výhodou tlakovej flotácie je vysoký separačný účinok pri menších rozmeroch. [2]

Nádrž na flotáciu je označovaná ako flotátor. Z hladiny sú flotované látky odstraňované stieračom. Vyčistená voda je odvádzaná z dna nádrže. [2]

4.5 Chemické čistenie odpadných vôd

Využitie chemického a fyzikálne-chemického čistenia je hlavne pri čistení priemyselných odpadných vôd a pri dočisťovaní biologicky vyčistených odpadných vôd. V súčasnosti poznáme množstvo používaných čistiarenských procesov založených na tomto čistení.

Medzi najpoužívanejšie patria:

- zrážanie
- koagulácia
- neutralizácia
- oxidácia
- redukcia
- spaľovanie [2]

4.5.1 Zrážanie

Zrážaním sa v čistiarenských procesoch odstraňujú z odpadných vôd nežiaduce rozpustené látky. Pridaním vhodného chemického činidla do odpadovej vody sa vytvárajú zrazeniny, látky ktoré sú veľmi málo rozpustné a v ktorých sú fixované látky nežiaduce t.j. škodlivé alebo toxické. Pri zrážaní sa využívajú reakcie s výsledným málo rozpustným produktom reakcie. Vzniknuté zrazeniny sa odstraňujú separáciou tuhých častíc, napr. sedimentáciou, filtráciou. Účinnosť zrážania závisí od celkového zloženia vôd, prítomnosti koncentrácie vlastných a cudzích iónov, od priebehu vedľajších chemických reakcií a priebehu absorpčných procesov a ďalších. Z týchto dôvodov sa dávka zrážadla určuje experimentálne napr. odhadom z titračných kriviek. [2]

Najväčším významom pri čistení odpadných vôd má odstraňovanie iónov ťažkých kovov a niektorých aniónov napr. kyanidových zlúčenín. Je možné zrážať aj soli ťažkých kovov ktoré sa použili na odstránenie iného znečistenia. [2]

Na odstránenie iónov ťažkých kovov sa využívajú hlavne hydroxidy, zásadité uhličitany a sulfidy. Dávky zrážadiel sa pohybujú rádovo v stovkách až tisíckach mg.l^{-1} .

Proces zrážania sa realizuje diskontinuálne alebo kontinuálne, pričom diskontinuálny spôsob je vhodný pre menšie objemy odpadných vôd pri vyšších alebo silno kolísajúcich koncentráciách. Kontinuálny proces je vhodný pre väčšie množstvá odpadných vôd. [2]

Zachytený kal ktorý má v sebe stále veľké množstvo vody sa zahusťuje, odvodňuje (kalolismi, vákuofiltrami) a následne skládkuje na určených skládkach príslušnej triedy. [2]

4.5.2 Koagulácia

Koagulácia je zložitý fyzikálno-chemický proces, pri ktorom na seba nadväzuje niekoľko stupňov: miešanie, flokulácia, jednostupňová alebo dvojestupňová separácia. [2]

Prvým stupňom je rýchle miešanie koagulačného činidla s odpadovou vodou a jeho homogénne rozptýlenie v celom objeme čistenej vody. Vplyvom turbulencie prebiehajú chemické reakcie rýchlo a okamžite. Výsledkom je vznik mikrovločiek. Táto fáza sa uskutočňuje v rýchlych miešačoch, ktoré môžu byť mechanické, mechanicko-pneumatické alebo hydraulické. Dimenzujú sa na čas zdržania do 5 minút. [2]

Po rýchlom miešaní nadväzuje druhá fáza koagulácie pri pomalom miešaní. V tejto fáze sa vytvárajú dobre separovateľné vločky. Čas na ich vytvorenie má byť dostatočne dlhý, zvyčajne 10 – 20 minút. [2]

Koagulácia sa využíva najmä pre čistenie priemyselných odpadných vôd, ktoré obsahujú látky toxické a biologicky ťažko rozložiteľné a tiež na dočistenie biologicky vyčistených odpadných vôd z mestských odpadných vôd. Koaguláciou sa tiež zvyšuje obsah rozpustených anorganických látok. Technologická linka s koaguláciou má podobné zloženie ako pri úprave vody. Vytvára ju skladovanie koagulačných činidiel, dávkovanie, homogenizácia koagulantu s čistenou odpadnou vodou, vločkovanie, separácia vločiek sedimentáciou a filtrácia. [2]

Podstatou dávkovania koagulačných činidiel je vytvorenie vločiek v ktorých sa vyzrážajú znečisťujúce látky a je možné ich zachytiť. Medzi používané hlavné koagulačné činidlá môžeme zaradiť soli železa a hliníka (síran hlinito-amónny, síran hlinitý, chlórovaný síran železitý, chlorid železitý), ktoré vytvárajú vločkovité zrazeniny príslušných hydroxidov. Ako pomocné koagulačné činidlá sa používajú hydroxid vápenatý, oxid vápenatý, sóda, kyselina sírová, oxidačné činidlá, organické flokulanty a ďalšie. Dávkovanie sa určí experimentálne pričom optimálne je aby hodnoty zvyškového organického znečistenia vyjadrená ako BSK₅ a CHSK boli minimálne. Existuje aj mnoho empirických vzťahov pre výpočet dávkovanie koagulačného činidla podľa farby a zákalu čistenej odpadnej vody. [2]

Vytvorené vločky spolu so zachytenými vyzrážanými znečisťujúcimi látkami sa oddeľujú sedimentáciou, filtráciou, flotáciou a inými spôsobmi. [2]

4.5.3 Neutralizácia

Neutralizáciou je upravovaná hodnota pH odpadnej vody. Pri neutralizácii sa vyzrážajú takmer všetky znečisťujúce látky vo forme nerozpustných hydroxidov alebo iných solí. Proces neutralizácie je citlivý a preto je nutné presné dávkovanie neutralizačných činidiel. [2]

Koncentrácia vodíkových iónov sa znižuje rozpustnými (hydroxidy – hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 alebo sodný NaOH , rozpustné karbonáty – sóda Na_2CO_3) a nerozpustnými činidlami (oxidy – oxid horečnatý MgO , hydroxidy – hydroxid horečnatý Mg(OH)_2 a karbonáty – vápenatý CaCO_3 alebo horečnatý MgCO_3). Málo

rozpustné a takmer nerozpustné činidla sa pred použitím drvia. [2]

Neutralizácia sa realizuje v neutralizačných staniciach alebo nádržkách. K neutralizácii je možné použiť vápno, vápenec v práškovej forme, dolomit, hydroxid sodný, sódu a ďalšie alkalické látky. Iné využitie vápenca je použitie vápencovej drviny, ktorou sa naplnia neutralizačné filtre, prietokom kyslých odpadných vôd takýmito filterami prebieha neutralizácia v krátkom čase. [2]

Neutralizácia odpadných vôd sa môže realizovať:

- vypúšťaním kyslých odpadných vôd do rieky, kde neutralizácia prebieha hydrogenuhličitanmi prítomnými v riečnej vode,
- zmiešaním zásaditých a kyslých odpadných vôd v mieste jednej prevádzky a prípadnou úpravou použitím menších dávok neutralizačných činidiel,
- filtráciou kyslých odpadných vôd cez filtračnú náplň vhodnej zrnitosti. Využíva dolomit a vápenec. Odpadová voda môže pretekať cez filtračnú vodu zdola nahor alebo opačne.
- dávkovaním činidiel v kvapalnom skupenstve (vápenné mlieko, kyselina sírová alebo chlorovodíková), skupenstve tuhom (hydroxid vápenatý, vápencový prach) alebo skupenstve plynnom (oxide uhličitý z dymových plynov) [2]

Pri neutralizácii vzniknuté kaly sa odstránia sedimentáciou v sedimentačných nádržkách. [2]

4.5.4 Oxidácia

Oxidácia, resp. oxidačné procesy sa uplatňujú hlavne pri čistení priemyselných odpadných vôd, napr. vôd s obsahom kyanidov alebo s obsahom ropných uhľovodíkov, fenolov a ďalších. Ako oxidovadlá sa využívajú chlór, ozón, vzdušný kyslík a ďalšie. [2]

Ako príklad môžeme uviesť čistenie kyanidových vôd oxidáciou chlórrom prebiehajúcou v dvoch úrovniach.

- v prvej úrovni z kyanidov vzniká kyanatan
- v druhej úrovni pri nadbytku chlóru sa kyanatan ďalej oxiduje až na elementárny dusík a oxid uhličitý. Tým sa toxické kyanidy úplne eliminujú. [2]

Oxidácia organických látok je vhodná hlavne na oxidáciu ropných uhľovodíkov a fenolov obsiahnutých v odpadných vodách. Ako oxidovadlo sa používa ozón alebo iné silné oxidovadlo. Ozonizačné dočisťovanie je vhodné aj pre vyčistené odpadové vody zo zvyškovým obsahom fenolov, ropných uhľovodíkov a tiež merkaptánov. [2]

4.5.5 Redukcia

Redukcia a teda redukčné procesy sú významné hlavne pri čistení odpadných vôd s obsahom šesťmocného chrómu pochádzajúceho z povrchovej úpravy kovov zo strojárenského prostredia. Šesťmocný chróm sa redukuje na podstatne menej toxický trojmocný chróm, ktorý je potom vyzrážaný ako nerozpustný hydroxid chromitý. Zneškodnená odpadná voda je takto zbavená toxickú škodliviny. [2]

Pomocou železnatých solí prebieha redukcia šesťmocného chrómu z odpadných

vôd pri hodnote pH 3 – 5 za vzniku trojmocného chrómu. Po skončení redukcie sa hodnota pH upraví vápnom do hodnoty pH 8,5 – 9,5, čím sa vyzrážajú ióny trojmocného chrómu ako oxid chromitý. [2]

4.5.6 Spaľovanie

Spaľovanie je vhodné na zneškodnenie škodlivých kvapalných odpadných vôd a kalov v prípade, keď nie je inými spôsobmi zneškodnenie z technických alebo ekonomických dôvodov možné. [2]

4.6 Fyzikálno-chemické čistenie odpadných vôd

Využíva sa pri priemyselných odpadných vodách alebo na dočistenie biologicky vyčistených odpadných vôd. Medzi najrozšírenejšie metódy patria:

- adsorbpcia
- extrakcia
- iónová výmena
- membránové separačné procesy
- radiačno-chemické procesy
- elektrochemické procesy
- destilácia [2]

V nasledujúcich dvoch kapitolách sú podrobnejšie popísané procesy adsorbpcie a iónovej výmeny.

4.6.1 Adsorbpcia

Ak uvedieme znečistenú vodu (roztok) do kontaktu s tuhými látkami s veľkým aktívnym povrchom, je možné pozorovať zmenšenie koncentrácie znečisťujúcej látky v roztoku a na povrchu tuhej látky zasa zvýšenie koncentrácie znečisťujúcej látky. Tento jav je nazývaný adsorbpcia, adsorbent je potom látka na ktorej povrchu došlo k zachyteniu adsorbátu. [2]

Rozlišujú sa dva typy adsorbpcie a to fyzikálna (podmienená van der Waalsovými silami) a chemická, pri ktorej sa uplatnia omnoho väčšie sily a vzniká pevnejšia väzba medzi adsorbentom a sorbátom. [2]

Adsorbpcia patrí medzi progresívne procesy v možnostiach technológií čistenia vody z dôvodu že sa do vody nevnášajú iné látky. Rozhodujúcou operáciou je regenerácia absorbenta. Ako adsorbent sa využíva hlavne aktívne uhlie a menej často tiež adsorbent na báze organických polymérov. [2]

Pri čistení odpadných vôd sa adsorbér s aktívnym uhlím používa na dočistenie hlavne na odstránenie rezistentných látok. [2]

4.6.2 Iónová výmena

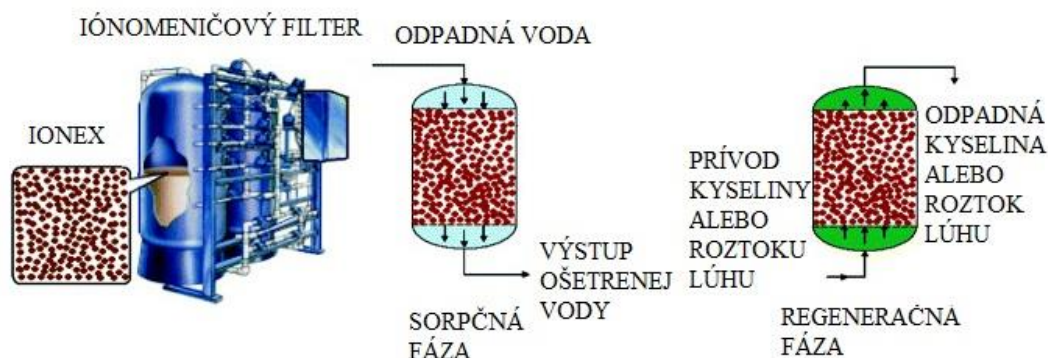
V prírode aj v technickej praxi je iónová výmena rozšíreným javom. Ionexy (nerozpustné vysokomolekulárne látky, ktoré obsahujú ionizovateľné funkčné skupiny) sa vo väčšine

aplikácií používajú na úpravu vody k energetickým účelom, na čistenie špeciálnych odpadných vôd napr. rádioaktívnych alebo vôd z povrchových úprav kovov s obsahom toxických ťažkých kovov. Pri použití iónovej výmeny je dôležitá predúprava čistenej vody za účelom odstránenia koloidných suspendovaných látok aby nedochádzalo k vzniku zrazenín v náplni ionexových filtrov. [2]

Ionexy sa rozdeľujú podľa funkčnosti na katexy (vymieňače katiónov) a anexy (vymieňače aniónov). Obe skupiny môžu byť pripravené prírodným aj syntetickým spôsobom. Podľa disociačnej schopnosti (rozklad chemických zlúčenín na jednoduchšie látky vonkajším pôsobením) sa ionexy rozdeľujú na katexy (ionexy) – silno, stredne alebo slabo kyslé (zásadité). [2]

Pracovný cyklus ionexu pozostáva zo štyroch operácií, ktoré sa cyklicky opakujú:

- Sorpčná fáza (vlastná iónová výmena)
- Pranie ionexu (skypenie stlačenej vrstvy, vyplavenie prípadných zachytených kalov, umožnenie rovnomernejšieho rozdelenia regeneračného roztoku pri regenerácii)
- Regenerácia (premývanie zachytených iónov a opätovné prevedenie ionexu do pracovnej formy pomocou regeneračného činidla, obnovenie výmennej schopnosti ionexu)
- Vymývanie (premývanie kolóny vodou za účelom odstránenia regeneračného činidla) [2]



Obrázok 7: Ionexový filter, sorpčná fáza a fáza regenerácie [16]

4.7 Riešenie ČOV firmy GATEMA

Popis:

Možností technologického čistenia odpadných vôd je niekoľko, uvedená kapitola popisuje jeden konkrétny prípad ČOV u firmy zaoberajúcej sa výrobou dosiek plošných spojov. Blokové schéma neutralizačnej stanice ČOV je uvedené v kapitole 5.3.2. obrázok 8.

Akumulácia odpadnej vody: Odpadné vody sú privedené do nadzemných akumuláčnych plastových nádrží. Nádrže sú uzavreté a vybavené potrubím pre odvod vzduchu mimo priestory neutralizačnej stanice. Nádrže sú vybavené servisnými vstupmi

a poklopy. Obsah nádrží je miešaný vzduch-membránovým čerpadlom pracujúcim v režime doba kľudu a doba chodu, ktorých časy sa zadávajú na displeji riadiaceho automatu vo dverách rozvádzača. Výška hladiny v nádrži je spojito meraná tenzometrom. Aktuálna výška hladiny je zobrazovaná na displeji riadiaceho automatu na dverách rozvádzača. Akumulačná nádrž je vybavená bezpečnostným prepacom zaústeným do odtoku z neutralizačnej stanice. [7]

Čerpanie odpadnej vody: Odpadná voda je z akumuláčnej nádrže čerpaná do kaskádovo pretekajúcej sústavy miešaných reaktorov a po jej pretečení je zvedená do koagulačno-sedimentačného reaktoru. Čerpanie je realizované prostredníctvom vzduch-membránového čerpadla o výkone 3,5 m³/h (pri H = 6 m) umiestneného na dne akumuláčnej nádrže. Chod čerpadla je riadený od zapínacej a vypínacej hladiny v akumuláčnej nádrži. Zapínanie, vypínanie a havarijná hladina (v cm) je zadávaná na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. Na potrubí výtlaku tohoto čerpadla je inštalovaný magneticko – indukčný prietokomer. Množstvo čerpanej odpadnej vody do zostavy miešaných reaktorov je regulované pomocou ihlového ventilu na prívodnom potrubí tlakového vzduchu, slúžiaceho k pohonu vzduch-membránového čerpadla. Na vlastnom displeji m-i. prevodníku prietokomeru je zobrazovaný aktuálny prietok (m³/h) a tiež celkové pretečené množstvo odpadnej vody (m³). Požadovaný prietok odpadných vôd v m³/hod je nastavovaný manuálne ihlovým ventilom. [7]

Chemická úprava odpadnej vody: Odpadná voda je čerpaná do sústavy troch prepojených gravitačne pretekajúcich reaktorov. Do prvého neutralizačného reaktoru je dávkovaný neutralizant NaOH. Jeho dávkovaním dochádza ku zvýšeniu pH odpadnej vody na hodnotu cca 9 - 11. Do druhého reaktoru na zrážanie ťažkých kovov, do ktorého pretečie odpadná voda so zvýšeným pH, je dávkované zrážadlo ťažkých kovov (DMDTC - dimetyldithiokarbamát sodný) ďalej len zrážadlo ťažkých kovov. Do tretieho koagulačného reaktoru, do ktorého pretečie odpadná voda so zvýšeným pH, je dávkovaný špecifický koagulant síran hlinitý Al₂(SO₄)₃. Nadávkovaním koagulantu dôjde k vyvráždaniu znečistenia obsiahnutého v odpadnej vode a tiež k poklesu pH odpadnej vody do oblasti pH 6 - 9. Vodný roztok flokulantu (aniónaktívny flokulant s označením Superfloc A 100) je dávkovaný priamo do odtokového potrubia z koagulačného reaktoru do koagulačno-sedimentačného reaktoru. Jeho nadávkovaním dôjde k vyvráždaniu znečistenia obsiahnutého v odpadnej vode do vločiek (flokulí), ktoré podliehajú jednoduchej sedimentácii. Miešaním obsahu neutralizačného reaktoru, reaktoru na zrážanie ťažkých kovov a koagulačného reaktoru je zaistené rýchlobežnými vrtuľovými miešadlami o otáčkach 700 – 800 ot./min. Miešanie obsahu koagulačno-sedimentačného reaktoru je zaistené pomalobežným vrtuľovým miešadlom o otáčkach 60 – 100 ot./min. Miešadlá sú spustené v súbahu s čerpadlom čerpajúcim odpadnú vodu z akumuláčnej nádrže. Obsah reaktorov je prerušované miešaný aj v dobe, kedy neprebíha čerpanie odpadných vôd, a to z dôvodu zabránenia sedimentácii látok obsiahnutých v odpadnej vode na dne reaktorov. Neutralizačný reaktor, reaktor na zrážanie ťažkých kovov a koagulačný reaktor je vybavený pH sondou ako riadiacim prvkom pre dávkovanie neutralizantu, zrážadiel ťažkých kovov a koagulantu. [7]

Dávkovanie neutralizantu: 50% roztoku hydroxidu sodného NaOH - neutralizácia odpadnej vody (úprava pH) Dávkovanie 50% roztoku hydroxidu sodného je realizované pomocou dávkovacieho čerpadla, jeho výkon bude možné meniť manuálne pomocou

polohovej skrutky s rukoväťou v rozmedzí 0 až 100% výkonu. Chod čerpadla bude riadený od požadovanej dosiahnutej hodnoty pH odpadnej vody v neutralizačnom reaktore zadávanej na displeji riadiaceho automatu. Dávka bude automaticky riadená pomocou riadiacej jednotky (PID regulátoru) prostredníctvom frekvenčného meniča. Nasávanie čerpadla z IBC kontajneru je realizovaný elastickou hadicou umožňujúcou bezproblémové premiestnenie z jedného kontajneru do druhého pri výmene kontajnerov. Potrubie nasávania čerpadla bude osadené sitovým Y-filtrom a potrubie výtlaku je vybavené bezpečnostným odbočením s poistným ventilom zaústeným späť do IBC kontajneru pre ochranu membrány čerpadla proti poškodeniu. Koniec dávkovacieho potrubia je ukončený pod hladinou v reaktore. [7]

Dávkovanie zrážadla ťažkých kovov: Dávkovanie zrážadla ťažkých kovov (DMDTC - dimetyldithiokarbamát sodný) do reaktoru na zrážanie ťažkých kovov je realizované pomocou membránového dávkovacieho čerpadla s možnosťou manuálnej zmeny jeho výkonu pomocou polohovej skrutky s rukoväťou v rozmedzí 0 až 100% výkonu. Výkon čerpadla je riadený pomocou frekvenčného meniča a PID regulátoru na základe požadovanej a skutočnej nameranej hodnoty pH odpadnej vody v reaktore na zrážanie ťažkých kovov merané pH sondou. Požadované pH je zadávané na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. Dávkovacie čerpadlo je spustené v súbehu s čerpadlom odpadnej vody. Roztoky zrážadla ťažkých kovov sú dovážané a skladované v 1 m³ IBC kontajneroch. Potrubie nasávania čerpadla je osadené sitovým Y-filtrom a potrubie výtlaku je vybavené bezpečnostným odbočením s poistným ventilom zaústeným späť do IBC kontajneru pre ochranu membrány čerpadla proti poškodeniu pri zapchatom alebo uzatvorenom potrubí výtlaku. Potrubie nasávania je vybavené plavákom minimálnej hladiny, ktorý pri nedostatku roztoku v kontajneru zablokuje čerpanie odpadnej vody do reaktorov. Koniec dávkovacieho potrubia je ukončený pod hladinou v reaktore. [7]

Dávkovanie koagulantu: Dávkovanie koagulantu (síranu hlinitého Al₂(SO₄)₃) do koagulačného reaktoru je realizované podobne ako dávkovanie zrážadla ťažkých kovov. [7]

Dávkovanie roztoku flokulantu: Dávkovanie 0,1 – 0,3 % roztoku flokulantu (aniónaktívny flokulant s označením Superfloc A 100) ďalej len flokulantu je realizované pomocou membránového dávkovacieho čerpadla s možnosťou manuálnej zmeny jeho výkonu pomocou polohovateľnej skrutky s rukoväťou v rozmedzí 0 až 100% výkonu. Dávkovacie čerpadlo je spustené v súbehu s čerpadlom odpadnej vody a jeho výkon je menený manuálne obsluhou na základe veľkosti a štruktúry vznikajúcich vložiek chemického kalu. Roztok flokulantu je pripravovaný z emulzie flokulantu a tlakovej pitnej vody v jednodomorovej stanici prípravy roztoku flokulantu. Komora je miešaná tlakovým vzduchom pracujúcim v režime doby chodu pri príprave roztoku s dobou dobehu. Doba dobehu je zadávaná na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. Roztok je pripravovaný diskontinuálne vyliatím odmerného množstva emulzie flokulantu do nádrže naplnenej pitnou vodou. Emulzie flokulantu je dovážaná a skladovaná v plastových bandaskách alebo bareloch. Manipulácia s bandaskami alebo barelmi je realizovaná ručne obsluhou. Potrubie nasávania čerpadla je osadené sitovým Y-filtrom a potrubie výtlaku je vybavené bezpečnostným odbočením s poistným ventilom zaústeným späť do IBC kontajneru pre ochranu membrány čerpadla proti poškodeniu pri zapchatom alebo uzatvorenom potrubí výtlaku. Koniec dávkovacieho potrubia je ukončený pod hladinou v reaktore. [7]

Koagulačno-sedimentační reaktor: Po pretečení sústavou miešaných reaktorov je chemicky upravená (vyzrážaná) odpadná voda gravitačne privedená do stredového pokojového valca koagulačno-sedimentačného reaktoru. Tu dôjde k sedimentácii vytvorených vločiek (flokulí) chemického kalu v kónusu reaktoru a vyčistená odpadná voda zbavená vločiek je gravitačne odvádzaná odtokovým systémom do areálovej kanalizácie. Chemický kal usadený v kónusu sedimentačného reaktoru je v pravidelných intervaloch odťahovaný gravitačne pomocou pneumatického posúvača do zásobnej nádrže kalu. Tlak. vzduch je do pneumatického posúvača vpustený prostredníctvom elektromagnetického ventilu. Intervaly doba otvorené a doba zatvorené, sú zadávané na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. Do potrubia odvodu kalu z reaktoru je zavedený tlakový vzduch slúžiaci v prípade potreby k premiešaniu obsahu reaktoru a prečisteniu tohoto potrubia. Tlakový vzduch pre pneumatické posúvače, k údržbe reaktoru a potrubia je odoberaný z kompresoru, ktorý je súčasťou technológie. [7]

Uskladnenie kalu: Vyňatý chemický kal je akumulovaný v zastrešenej zásobnej nádrži kalu. Obsah nádrže je miešaný pomalo-otáčkovým miešadlom, Pracujúcim v intervale doba chodu, doba kľúdu, ktorý je zadávaný na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. Nádrž je vybavená bezpečnostným prepacom s ponornou stenou na úrovni max. hladiny zaústneným do odtoku z neutralizačnej stanice. Výška hladiny v nádrži je spojito meraná tenzometrom. Aktuálna výška hladiny je zobrazovaná na displeji riadiaceho automatu umiestneného vo dverách rozvádzača. [7]

Odvodnenie kalu: Naakumulovaný chemický kal o sušine cca 2 - 4% je zo zásobnej nádrže kalu v pravidelných intervaloch prečerpávaný prostredníctvom plniaceho vzduch-membránového čerpadla do manuálne obsluhovaného komorového kalolisu. Kompresná sila platní lisu je vytváraná manuálne ovládaným hydraulickým systémom a lisovací výkon kalolisu je vytváraný chodom vzduch-membránového čerpadla, ktorého chod je iniciovaný vpustením tlakového vzduchu pomocou ručne ovládaného guľového kohútiku. Výkon čerpadla je regulovaný prostredníctvom manuálne ovládaného ihlového ventilu umiestneného na prívide tlakového vzduchu do čerpadla. Tlakový vzduch pre prevádzku vzduch-membránového čerpadla kalolisu je odoberaný z kompresoru, ktorý je súčasťou technológie. Kalová voda (filtrát) je gravitačne zvedená prostredníctvom otvoreného žľabu kalolisu a potrubnej trasy späť do odtoku z neutralizačnej stanice. Do nasávacieho potrubia vzduch-membránového čerpadla je privedená tlaková voda a tlakový vzduch slúžiaci k jeho prečisteniu a prepláchnutiu. Oboje je vpustené manuálne ovládanými guľovými kohútikmi. Odvodnený kal o sušine cca 30% je po uvoľnení vnútorného tlaku kalolisu ručne ovládaným guľovým kohútikom, odstránenie odkvapových platní a rozdelením lisovacích platní vysypaný do pojazdného oceľového kontajneru. Po naplnení je kontajner pomocou vysokozdvížneho vozíku presypaný do väčšieho kontajneru a následne je kal zlikvidovaný mimo objekt neutralizační stanice. [7]

5 LABORATORNÁ ÚLOHA

5.1 Zadanie laboratórnej úlohy

Predložené vzorky pitnej vody otestujte pomocou priložených rýchlych testov: Stanovenie celkovej tvrdosti vody, pH, Ca, amoniaku a dusitanov. Z nameraných hodnôt celkovej tvrdosti vody a Ca vypočítajte koncentráciu magnézia vo vzorku pitnej vody. Oboznámte sa s princípom čistenia odpadných vôd u vybranej firmy zaoberajúcej sa výrobou DPS. Zoznámte sa s postupom pre určovanie koncentrácie látok pomocou titrácie. Ďalej u vzorku leptacieho roztoku stanovte koncentráciu meďnatých iónov Cu^{2+} pomocou titrácie, využite pritom priložený podrobný návod a zmeranú hodnotu porovnajete so stanoveným limitom Cu 1 mg/l. Namerané údaje zapíšete vyhodnotíte.

5.2 Cieľ úlohy

Cieľom laboratórnej úlohy je oboznámiť študentov s problematikou čistenia odpadných vôd u vybranej firmy zaoberajúcej sa výrobou dosiek plošných spojov - DPS, ďalej zmerať vybrané parametre vody pomocou rýchlych kolorimetrických testov a určiť koncentráciu meďnatých iónov Cu^{2+} u vybraného vzorku (leptací roztok) pomocou titrácie.

5.3 Teoretický rozbor

5.3.1 Podmienky pre vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie

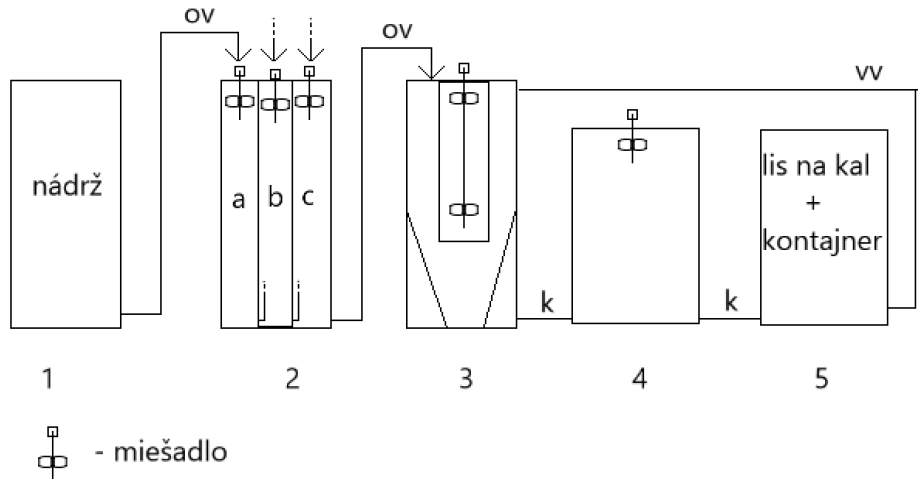
Vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie je pre verejnosť riešené Kanalizačným poriadkom. Ten stanovuje podmienky, za ktorých sa producentom povoľuje vypúšťanie odpadnej vody do kanalizácie. Podstatnú časť odpadných vôd tvoria odpadné vody zo zdravotníckych zariadení, priemyslových podnikov a prevádzok, títo významní znečisťovatelia majú stanovené individuálne limity predpísané rozhodnutím Mestského úradu. Podmienky pre vypúšťanie sú stanovené preto, aby čističky odpadných vôd (ČOV) do ktorých ústí kanalizácia miest, boli schopné odpadnú vodu vyčistiť a aby sa tým neznečisťovalo životné prostredie. [17]

5.3.2 Čistenie odpadných vôd

Priemyslové čistenie odpadných vôd podlieha legislatíve ktorú zabezpečuje vodný zákon č. 254/2001 Sb. ktorý obecne zastrešuje všetko ohľadne vôd, ďalej zákon o vodovodoch a kanalizáciách č. 274/2001 Sb. Ďalším stupňom ochrany vôd je odberateľská zmluva medzi znečisťovateľom a prevádzkovateľom kanalizácií, táto zmluva definuje limity pre vypúšťanie odpadných vôd, objem vypúšťaných vôd a rozsah a spôsob overenia. Vodoprávny úrad kontroluje tieto hodnoty prostredníctvom kanalizačného poriadku v rámci ktorého sú dané limity pre odpadné vody a taktiež je uvedený zoznam významných producentov odpadných vôd. vodoprávny úrad priamo sleduje iba producentov s zvlášť nebezpečnými odpadnými vodami (toxickými,

radioaktivními apod.). [17]

Pri výrobe DPS a hlavne s tým spojených povrchových úpravách DPS a leptaní medi sa dostáva do odpadných vôd rada nečistôt. Pre vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie podpisuje firma zmluvu medzi znečisťovateľom a prevádzkovateľom kanalizácií. Prevádzkovateľ kanalizácii týmto stanovuje limity pre vypúšťané odpadnej vody a objem odpadných vôd, ktoré by mala firma dodržiavať. Pre tomto účel si firmy zriaďujú čističku odpadných vôd – ČOV. Zjednodušené schéma neutralizačnej stanice firmy Gatema a.s. je na obrázku 8.



Obrázok 8: Zjednodušené schéma ČOV – neutralizačná stanica pre firmu Gatema a.s.

Kde: 1 – nádrž na zachytávanie odpadnej vody, 2 – dávkovanie prevádzkových chemických roztokov, 3 – koagulačno-sedimentačný reaktor (a - reaktor NaOH, b – reaktor zrážania ťažkých kovov, c – reaktor koagulantu), 4 – homogenizačná nádrž kalu 5 – lis na kal s kontajnerom na tuhý kal, ov – odpadná voda, k – kal, vv – vyčistená voda

Odpadná voda z technologických procesov je čerpadlom hnaná do akumuláčnej nádrže. Odpadná voda z akumuláčnej nádrže je ďalej prečerpávaná do sústavy troch prepojených gravitačne pretekajúcich reaktorov vid' obrázok 4 bod 2, kde je voda chemicky upravovaná a miešaná. Postupne sa voda upravuje v reaktore pomocou hydroxidu sodného - NaOH, zrážadla ťažkých kovov a koagulantu. Koagulant a zrážadlo spôsobia, že sa nečistoty vyzrážajú a v koagulačno-sedimentačnom reaktore dochádza k sedimentácii vyzrážaných nečistôt. Tieto nečistoty sú v podobe kalu odčerpávané z dna nádrže do homogenizačnej nádrže na kal. Kal z homogenizačnej nádrže putuje do lisu na kal a vylisovaný kal padá do kontajnera. Vyčistená voda putuje do odtoku kanalizácie. Vyčistená voda, ktorá je odvádzaná do kanalizácie je v pravidelných intervaloch testovaná komplexne prevádzkovateľom kanalizácie alebo akreditovaným laboratóriom, pričom problematická koncentrácia Cu^{2+} a Ni^{2+} je testovaná a sledovaná v rámci podniku v kratších intervaloch.

5.3.3 Základné laboratórne operácie

Váženie

K navažovaniu látok používame váhy, tie pre použitie v laboratóriu môžeme

rozdeliť podľa citlivosti tzn. na koľko desatinných miest (v gramoch) sú schopné vážiť alebo podľa konštrukcie. [18]

Delenie podľa citlivosti – váhy vážiace na celé gramy, na jedno alebo dve desatinné miesta sa nazývajú predvážky. Váhy vážiace na tri desatinné miesta sú semi-analytické váhy, na štyri desatinné miesta a viac sú analytické váhy.

Medzi najpoužívanejšie váhy z pohľadu typu konštrukcie sa dnes používajú váhy elektronické. [18]

Pri používaní váh platia tieto pravidlá:

1. Vodováha: Váhy s presnosťou na jedno a dve desatinné miesta vyžadujú aspoň približne rovnú plochu. U váh s väčšou presnosťou je vyžadovaná plocha rovná, preto je na takýchto váhach od výrobcu umiestnená vodováha.
2. Vynulovanie: Váhy musia byť vynulované, tzn. že po spustení váh musia ukazovať nulu. Elektronické váhy sa nulujú samé.
3. Čistota: Váhy je nutné udržiavať v čistote. Zabraní sa tým ničeniu váh a taktiež možnej kontaminácií ďalšieho navažovaného vzorku. Váhy sa utierajú suchou handrou, omietajú štetcom.
4. Nikdy nevážeme priamo na miske váh! K navažovaniu používame prednostne materiály, ktoré je v prípade potreby možné opláchnuť. To znamená: laboratórne sklo, porcelán, teflón, poprípade kovové materiály určené k váženiu.
5. Tarovanie: U väčšiny elektronických váh je zabudovaná pomôcka na vynulovanie váh po vložení laboratórneho skla na ktoré chceme navažovať. Po vložení skla necháme váhy ustáliť a použijeme funkciu TARE. [18]

Odmeriavanie kvapalín

Kvapaliny odmeriavame predovšetkým pomocou odmerného laboratórneho skla, ale aj iných zariadení. Je dôležité uvedomiť si že nie každé laboratórne sklo sa hodí k akémukoľvek odmeriavaniu. [18]

Kadičky sa nikdy nepoužívajú pre odmeriavanie kvapalín. Údaje na stene kadičky nám slúžia k tomu, aby sme mohli odhadnúť či reakciu ktorú vykonávame je možné vykonať v danej kadičke, napr. či roztoky ktoré zmiešavame sa zmestia do kadičky. [16]

Pre odmeriavanie približného množstva kvapalín v návodoch označované ako **asi** alebo **minimálne** sa používajú odmerné valce. Obecne sa odmerné valce používajú pri dávkovaní pomocných látok. [18]

Pre odmeriavanie presných objemov sa používajú pipety, byrety, a rôzne dávkovače. [18]

Sklenené pipety:

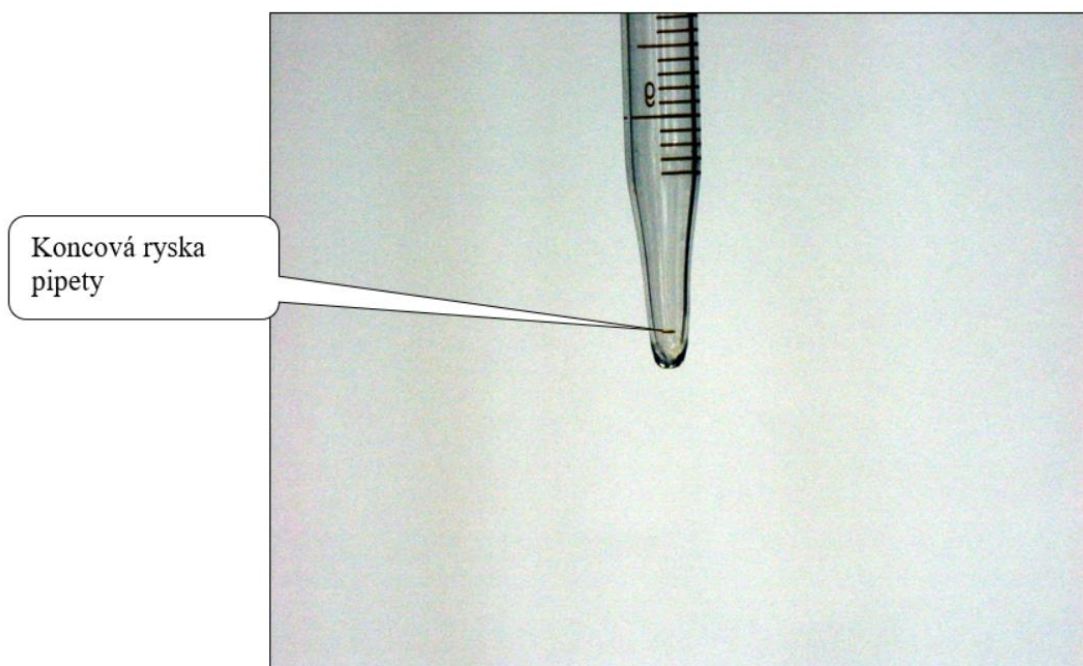
Pipety môžu byť klasické sklenené alebo v podobe mechanických dávkovačov. Práca so sklenenými pipetami: Presnosť pipetovania je udávaná veľkosťou pipety. Ich veľkosti sú zvyčajne 1, 2, 5 a 10 ml. Sú to väčšinou pipety delené, čo znamená že môžeme dávkovať akýkoľvek objem do maximálneho objemu označeného na pipete. Pipety na 1 – 2 ml môžu dávkovať s presnosťou až na dve desatiny ml, väčšie pipety na jedno desatinné miesto. Pipety s väčším obsahom jak 10 ml strácajú na presnosti. [18]

Pri pipetovaní sklenenými pipetami používame ukazovák. V prípade, že z pipety vypúšťame celý obsah, zistíme že v špičke zostala časť kvapaliny. Nikdy nevyfukujeme!

Aby sme zabránili hromadeniu kvapaliny v špičke pipety, pri vypúšťaní oprieme špičku pipety o okraj laboratórneho skla do ktorého pipetujeme vid' obrázok 9. Väčšina kvapaliny sa takto vypustí a s tým malým zvyškom čo zostane výrobca počíta, vid' obrázok 10. [18]



Obrázok 9: Správne vypúšťanie pipety [18]



Obrázok 10: Koncová ryska pipety [18]

Ďalším typom pipiet je mechanická dávkovacia pipeta, ale názvy môžu byť rôzne. Sú to pipety postupne nahradzujúce pipety klasické. Ich výhodou je predovšetkým urýchlenie práce a vďaka výmenným špičkám odpadá problém s umývaním pipiet. [18]

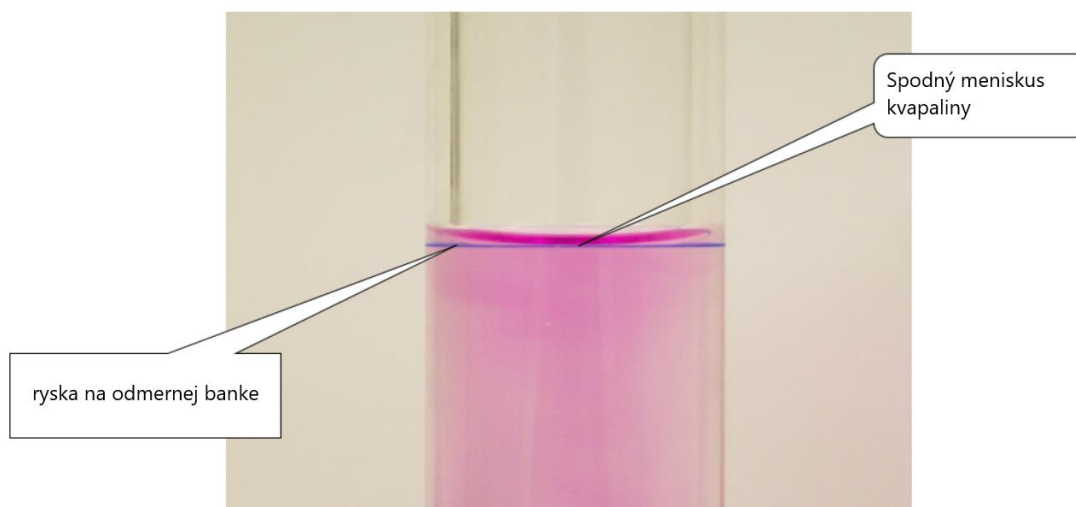
Odmerné banky:

Pre prípravu roztokov sa v laboratórnej praxi najčastejšie používajú odmerné banky. Sú to banky s vysokým úzkym hrdlom na ktorom je ryska označujúca objem, ktorý dostaneme, ak naplníme banku po tuto rysku. Úzke hrdlo umožňuje presnejšie odčítanie a navyše zabráňuje odparovaniu kvapalín. Použitie týchto bank uľahčuje prípravu roztokov, pretože nemusíme počítať koľko gramov rozpúšťadla musíme pridať k účinné látke, ktorú pripravujeme do roztoku. Postačuje do banky navážiť alebo napipetovať požadované množstvo látky a rozpúšťadlom doplníme po rysku. Bežne vyrábaný objem odmerných bank je od 5 do 2000 ml. [18]

Pokiaľ pripravujeme roztoky o presnej koncentrácii alebo riedime vzorky, okrem zvláštnych prípadov, vždy pripravujeme tieto roztoky do odmerných bank. [18]

Pozor !! Odmerná banka je chemické sklo „na doliatie“. To znamená, že doliatím po rysku dostaneme požadovaný objem, ale vyliatím už nie !! Sklo „na vyliatie“ je napr. pipeta, byreta apod. [18]

Pre presné odčítanie objemu musíme dodržať pravidlo odčítania na tzv. spodný meniskus u kvapalín s výnimkou ortuti(kde odčítame na horný meniskus). Rovnaké pravidlo platí i u klasických pipiet. Príklad správneho odčítania je znázornený na Obrázku č. 11. [18]



Obrázok 11: Správne odčítanie objemu kvapaliny z odmernej banky [18]

Odmerná analýza:

Odmerná analýza je metóda patriaca do kvantitatívnej chémie. Je založená na titrácii vzorku odmerným roztokom – čo je roztok o presnej známej koncentrácii. [18]

Pri titrácii prebiehajú rôzne reakcie – neutralizačná, oxid-redukčná, zrážacia, komplex-metrická. Cieľom titrácie je dosiahnuť bod ekvivalencie, čo je stav, kedy teoreticky práve všetko množstvo neznámeho roztoku práve zreagovalo s odmerným činidlom. Tento bod sa indikuje pomocou indikátorov. Pri titrácii prakticky nemôžeme

dosiahnuť presne bodu ekvivalencie, ale bodu čo najbližšieho. [18]

Odmerné roztoky – sú to roztoky o presne známej koncentrácii. Ich koncentrácia sa udáva v mol.l^{-1} . [18]

Príprava odmerného roztoku:

Pri príprave odmerného roztoku je potrebné zachovávať určité pravidlá pri príprave odmerného roztoku. Je treba mať dostatočne čistú látku, dobre vysušenú presne naváženú na analytických váhach (s presnosťou na 0.0001 g), ktorá sa rozpustí v presne známom objeme rozpúšťadla (napr. vody) o dostatočnej čistote. Pre odmeriavanie objemu používame tzv. odmerných nádob (najčastejšie sklenených - odmerné banky, byrety, pipety). Často je jednoduchšie a rýchlejšie použiť k príprave odmerných roztokov tzv. normanálov. Je to ampula obsahujúci roztok alebo pevnú substanciu látky, ktorej rozpustením v jednom litri rozpúšťadla (vody) vznikne presne požadovaná koncentrácia odmerného roztoku, ktorá je deklarovaná výrobcom na obalu. [18]

Často ani takáto príprava nezaručuje celkom presnú koncentráciu, pretože časom časť roztokov podlieha zmenám. [18]

Niektoré základné pravidlá v odmernej analýze:

1. Byretu pred použitím vypláchneme destilovanou vodou.
2. Byreta se behom titrácie vzorku nedolieva.
3. Spotreba na titráciu by nemala byť menší ako 1/5 objemu byrety - v našom prípade 5 ml (25 ml byreta) a nie viacej ako jej objem vid'. bod 2.
4. Byreta se po titrácií znova vypláchne vodou.
5. Objem vzorku je zvyčajne 10 ml.
6. Vzorka se stanovuje trikrát.
7. Vzorky si s indikátorom nachystáme naraz, aby bolo možné zrovnávať farbu indikátoru pred a po skončení titrácie. [18]

Orientačná titrácia:

- Vzhľadom k bodu 3 je treba väčšinou vzorku riediť. Ako veľké má byť zriedenie nám pomôže určiť orientačná titrácia.
- Nemusí se pri tomto postupe úplne precízne dodržiavať pravidlá titrácie. Na rozdiel od normálnej titrácie se orientačná titrácia vykonáva iba jeden krát.
- Bežný objem vzorku u orientačnej titrácie bude 1 ml. Pridá sa destilovaná voda, aby titrovaný roztok mal vhodný celkový objem.
- Titrácia prebieha sa tak dlho, až dôjde k zmene farby indikátoru, aj keď sa musí byreta niekoľkokrát dolievať - neplatí bod 2.
- Podľa spotreby nariedime vzorku tak, aby spotreba na 10 ml zriedeného vzorku odpovedala bodu 3. [18]

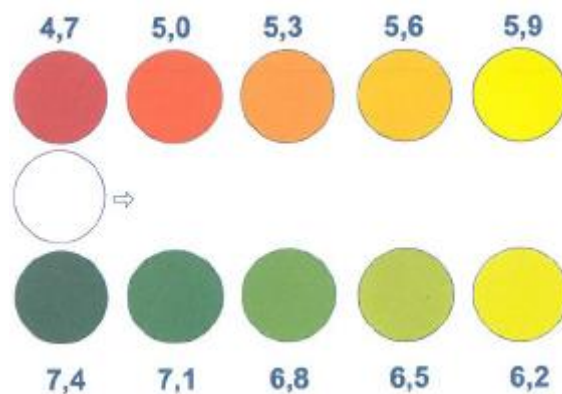
5.4 Laboratórny postup merania

5.4.1 Stanovenie reakcie vody pH:

Postup:

1. Plastovú skúmavku a injekčnú striekačku vypláchneme testovanou vodou.
2. Na dno skúmavky nakvapkáme 5 kvapiek testu pH.
3. Pomocou injekčnej striekačky pridáme do skúmavky testovanú vodu až po vylišovanú rysku na skúmavke.
4. Reakciu testovanej vody určíme tak že jedno oko zavrieme a druhým pozeráme do skúmavky cez kvapalinu. Pri meraní držíme skúmavku cca. 5 cm nad bielou časťou farebnej škály. Takto vidíme farebný kruh na dne skúmavky, ktorý porovnávame s farebnými krúžkami farebnej škály vid' obrázok 12. Pri zhode zafarbenia odčítame hodnotu reakcie vody pH.

Testom stanovíme koncentráciu vodíkových iónov kolorimetrickou metódou.



Obrázok 12: Farebná stupnica pre pH 4,7 - 7,4

Upozornenie: Pri styku testu s pokožkou postihnuté miesto opláchneme vlažnou vodou a umyjeme mydlom.

5.4.2 Stanovenie celkovej tvrdosti vody:

Tvrdosťou vody sa obecné rozumie súčet obsahu vápniku a horčíku vo vode. V pitnej vode je obsah vápniku a horčíku žiaduci. Existuje mnoho spôsobov a jednotiek vyjadrenia tvrdosti vody, prepočítavacie koeficienty medzi jednotlivými jednotkami je vidno v tabuľke 6. [19]

Horčík:

Je súčasťou kostí a taktiež zabezpečuje prevod nervových vzruchov. Urýchľuje mineralizáciu organických látok z odumretých organizmov a prispieva k samočistiacim procesom vody. Horčík sa vo vodách nachádza viazaný v nerozpustných uhličitanoch alebo rozpustných hydrogén-uhličitanoch spolu so zlúčeninami vápnika. Významne ovplyvňuje neutralizačnú kapacitu vody a pH vody. Je nevyhnutnou súčasťou chlorofylu. [19]

Prítomnosť horčíku v pitnej vode je definovaná odporúčanou hodnotou 10,0 - 30,0 mg/l a medznou hodnotou 125 mg/l. Predpis pre pitnú vodu ďalej odporúča hodnotu pre jeho spoločný obsah s vápnikom (Ca a Mg) 1,1 - 5,0 mmol/l. [19]

Postup:

1. Plastovú reakčnú nádobku a injekčnú striekačku vypláchneme testovanou vodou.
2. Injekčnou striekačkou odmeriame 1 ml vzorku vody do reakčnej nádobky.
3. Do odmeranej vody pridáme po jednej kvapke CM-testu a po každej kvapke krúživými pohybmi opatrne obsah reakčnej nádobky premiešame.
4. Kvapky počítame a pridávame až do výraznej farebnej zmeny reakčného roztoku z červenej do modrej farby.
5. Jedna použitá kvapka pri použití 1ml vzorku odpovedá 1 °N nemecký stupeň, 1 °N odpovedá 10 mg CaO/l alebo 7,4 mg MgO/l = 0,357 mval/l sumy Ca+Mg
6. Po testovaní vypláchneme reakčnú nádobku a injekčnú striekačku destilovanou vodou.

Upozornenie:

Pri styku roztoku testu celkovej tvrdosti vody s pokožkou je nutné opláchnuť postihnuté miesto vlažnou vodou.

Tabuľka 6: Prepočet tvrdosti vody [20]

		°dH	ppm	mmol/l	mval/l	mg CaO/l	mg CaCO ₃ /l	mg Ca ²⁺ /l
Nemecký stupeň	1°dH	1	17,848	0,178	0,357	10	17,848	7,147
p.p.m.	1 ppm	0,056	1	0,01	0,02	0,56	1	0,4
milimol na liter	1 mmol/l	5,607	100,087	1	2	56,077	100,087	40,078
milival na liter	1 mval/l	2,804	50,044	0,5	1	28,039	50,0436	20,039
mg CaO/liter	1 mg CaO/l	0,1	1,784	0,0178	0,0356	1	1,784	0,715
mg CaCO ₃ /l	1 mg CaCO ₃ /l	0,056	1	0,01	0,02	0,56	1	0,4
mg Ca ²⁺ /liter	1 mg Ca ²⁺ /l	0,14	2,498	0,025	0,05	1,399	2,497	1

Taktiež existuje mnoho slovných zápisov celkovej tvrdosti vody a v jednotlivých literatúrach sa stretávame s rôznymi intervalmi hodnôt pre jednotlivé stupne tvrdosti. V tabuľke 7 je uvedený príklad orientačného delenia stupňov tvrdosti.

Tabuľka 7: Hodnotenie tvrdosti vody

celková tvrdosť vody	stupeň tvrdosti [°N]	stupeň tvrdosti [mmol/l]
voda veľmi mäkká	0 až 4	0 až 0,72
voda mäkká	4 až 8	0,72 až 1,43
voda stredne tvrdá	8 až 12	1,43 až 2,14
voda tvrdá	12 až 20	2,14 až 3,6
voda veľmi tvrdá	>20	> 3,6

5.4.3 Stanovenie vápniku vo vode:

Vápnik je v pitnej vode žiaduci. Jeho odporúčaná hodnota je > 30 mg/l. Vápnik je obsiahnutý v kostiach a zuboch je tiež potrebný pre prevod nervového vzruchu v svaloch a je nevyhnutný pre zrážanlivosť krvi. [19]

Postup stanovenia vápniku vo vode:

1. Plastovú reakčnú nádobku a injekčnú striekačku niekoľkokrát vypláchneme testovanou vodou.
2. Injekčnou striekačkou odmeriame 1 ml vzorku vody.
3. K vzorku vody pridáme do reakčnej nádobky vrchovatú lopatku reakčnej látky a krúživými pohybmi premiešame.
4. Po kvapkách pridávame činidlo Ca 2 a po každej pridanej kvapke kvapalinu krúživými pohybmi opatrne premiešame. Kvapky počítame a pridávame až do výraznej farebnej zmeny roztoku z červenej do modrofialovej.
5. Výpočet: jedna spotrebovaná kvapka odpovedá 20 mg Ca/l.
6. Po použití testu vypláchneme reakčnú nádobku a injekčnú striekačku destilovanou vodou.

Ak poznáme hodnotu celkovej tvrdosti vody CM Ca+Mg v °N a obsah vápniku vo vode v mg/l, môžeme vypočítať podiel magnézia na celkovej tvrdosti vody.

Príklad: CM= 21°N , Ca= 120 mg/l

Podiel magnézia na celkovej tvrdosti vody je $Mg\text{ }^{\circ}N = CM - Ca \cdot 0,14$, kde 0,14 je faktor prepočtu mg/l na °N. Voda obsahuje po prepočte $21 - 120 \cdot 0,14 = 4,2\text{ }^{\circ}N$ Mg. Testovaná voda teda obsahuje 16,8 °N Ca a 4,2°N Mg.

Upozornenie:

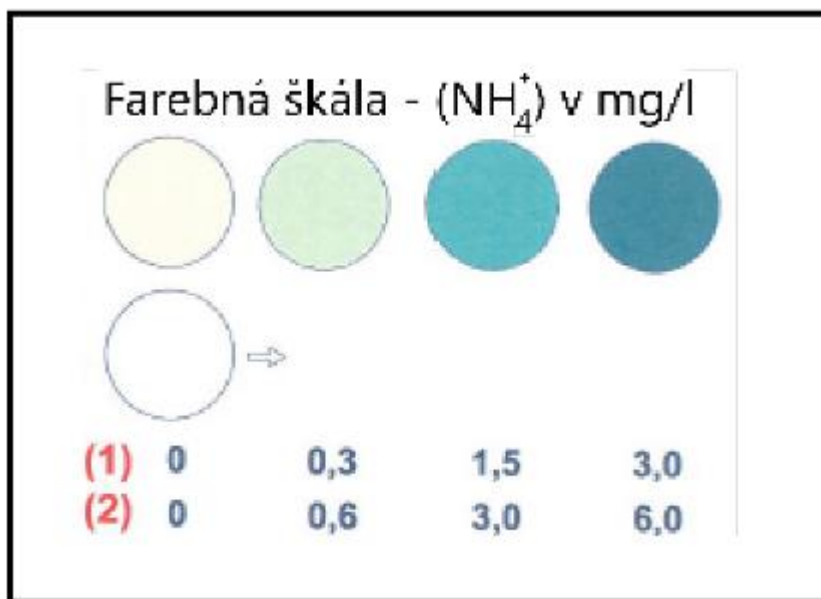
Pri zasiahnutí pokožky testom, zasiahnuté miesto omyjeme vlažnou vodou.

5.4.4 Stanovenie amoniaku vo vode:

Amónne ióny NH_4^+ môžu pri prekročení medznej hodnoty indikovať fekálne znečistenie, ale môžu byť aj z geologického pozadia. Môžu byť tiež ukazovateľom nedostatočnej dezinfekcie a v kombinácii so zvýšeným obsahom dusitanov a vyšším obsahom organických látok ($CHSK_{Mn}$) sú signálom čerstvej kontaminácie živočíšnym odpadom a svedčia o nárazovom znečistení. Medzná hodnota pre ukazovateľ je stanovená na 0,5 mg/l. [19]

Postup:

1. Plastovú skúmavku a injekčnú striekačku vypláchneme testovanou vodou.
2. Injekčnou striekačkou odmeriame 4 ml vzorku vody.
3. Pridáme 7 kvapiek z roztoku č.1 a kruhovými pohybmi premiešame.
4. Pridáme 7 kvapiek z roztoku č.2 a kruhovými pohybmi premiešame.
5. Presne po 20 minútach vykonáme vyhodnotenie testu podľa farebnej škály vid' obrázok 13. Pritom postupujeme tak, že jedno oko zavrieme a druhým pozeráme zhora do skúmavky cez kvapalinu. Pri stanovení držíme skúmavku cca. 5cm nad strednou bielou časťou farebnej škály. Takto vidíme farebný kruh na dne skúmavky ktorý porovnáme s farebnými kruhy farebnej škály. Pokiaľ docielime najtmavšieho zafarbenia obsahuje testovaná voda podľa stupnice (1) 3,0 mg/l NH_4^+ alebo viac. Potom vykonáme skúšku znova ale testovanú vodu zriedime v pomere 1:1 s destilovanou vodou. Do skúmavky odmeriame 2 ml testovanej vody a 2 ml vody destilovanej a postupujeme podľa bodu 3. Obsah amoniaku stanovíme podľa stupnice (2). Takto môžeme stanoviť obsah amoniaku až do koncentrácie 6 ml/l NH_4^+ .
6. Po skončení testu vypláchneme skúmavku a injekčnú striekačku destilovanou vodou.



Obrázok 13 : Porovnávacía farebná škála pre test amoniaku

Upozornenie:

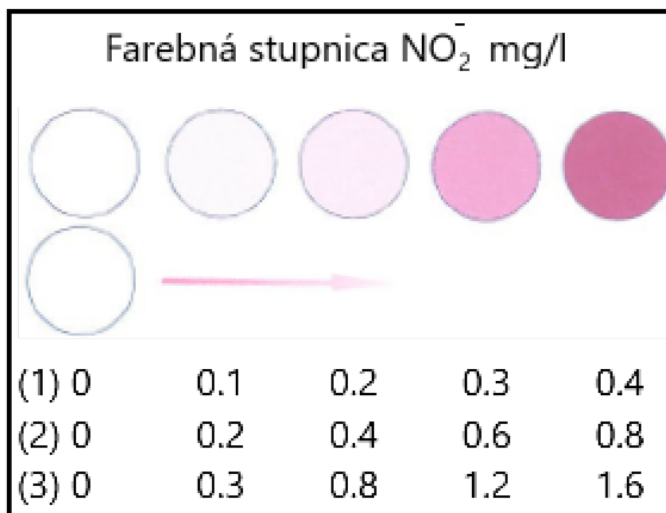
Pri styku testu a pokožkou opláchneme miesto vlažnou vodou a umyjeme mydlom. POZOR: Test obsahuje luh sodný! Pri zasiahnutí očí opláchneme zasiahnuté miesto prúdom vlažnej vody a ihneď vyhladáme lekársku pomoc.

5.4.5 Stanovenie dusitanov vo vode

Postup:

1. Plastovú skúmavku a injekčnú striekačku vypláchneme testovanou vodou.

2. Na dno skúmavky nakvapkáme 5 kvapiek testu.
3. Pomocou injekčnej striekačky odmeriame do skúmavky 4 ml vzorku vody.
4. Presne po 3 minútach určíme obsah dusitanov vo vode podľa farebnej škály vid' obrázok 14. Postupujeme tak že jedno oko zavrieme a druhým okom pozeráme zhora do skúmavky cez kvapalinu. Pri meraní držíme skúmavku vo výške cca. 5 cm nad bielou časťou farebnej škály. Takto vidíme farebný kruh na dne skúmavky, ktorý porovnáваме s farebnými krúžkami farebnej škály a hľadáme zhodné zafarbenie.
5. Pokiaľ docielime najtmavšieho zafarbenia, obsahuje testovaná voda podľa stupnice (1) 0,40 mg dusitanov alebo viac. Preto vykonáme skúšku znova ale testovanú vodu zriedime v pomere 1:1 vodou destilovanou. Odmeriame 2 ml vzorku testovanej vody a 2 ml destilovanej vody a po troch minútach vyhodnotíme obsah dusitanov podľa stupnice (2). Pokiaľ opäť docielime najtmavšieho zafarbenia, vykonáme ďalší test s zriedením testovanej vody v pomere 1:3 vodou destilovanou. Do reakčnej nádoby pridáme 5 kvapiek testu a 1 ml testovanej vody spolu s 3 ml destilovanej vody. Po 3 minútach vykonáme vyhodnotenie testu podľa stupnice (3). Takto je možné určiť obsah dusitanov do koncentrácie 1,60 mg/l NO₂⁻ vo vode.
6. Po skončení testu vypláchneme skúmavku a injekčnú striekačku destilovanou vodou.



Obrázok 14: Porovnávací farebná stupnica pre určenie koncentrácie dusitanov rozpustených vo vode

Testom sa stanovuje obsah dusitanov rozpustených vo vode v mg/l. Dusitany patria medzi toxické látky a sú škodlivé pre všetky živé organizmy. Pri koncentrácii dusitanov nad 0,2 mg/l dochádza u rýb k poruchám dýchania, značnému oslabeniu organizmu a väčšej náchylnosti na choroby. Prítomnosť dusitanov vo vode indikuje závadný zdroj vody alebo hnilobné procesy v nádrži.

Maximálna prípustná koncentrácia dusitanov v pitnej vode je 0,5 mg/l a to preto, že dusitany v organizmu nemusia byť ďalej premieňané a v prijatej forme rovno pôsobia na hemoglobín. [21]

Upozornenie: Pri styku testu a pokožkou opláchneme miesto vlažnou vodou a umyjeme

mydlom. POZOR: Pri zasiahnutí očí opláchneme zasiahnuté miesto prúdom vlažnej vody a v prípade problémov ihneď vyhľadáme lekársku pomoc.

5.4.6 Stanovenie Cu^{2+} pomocou titrácie

Titračia pomocou kyseliny etyldiamintetraoctovej, Chelaton 2 (ďalej EDTA) patrí medzi komplexometrické titrácie a chelatometriu. Jeden mol chelatonu viaže vždy 1 mol kovu bez ohľadu na jeho oxidačné číslo a uvoľnia sa vždy dva vodíkové ióny. Stálosť komplexu je závislá na hodnote pH a preto je nutné roztoky udržiavať na určitej hodnote pH pomocou tlmivých roztokov. Komplexy s oxidačným číslom +II sú stále v alkalických alebo slabo kyslých roztokoch. [22]

Indikátor murexid sa používa v amoniakálnom roztoku pri hodnote $\text{pH} < 10$ k indikácii chelatometrických stanovení Ni^{2+} , Cu^{2+} a Co^{2+} . [22]

Chemikálie:

- 0,1 M EDTA – odmerný roztok
- NH_3 – vodný roztok 28% (čpavok)
- murexid - indikátor
- NaCl – soľ
- deionizovaná voda cca. 2 litre

Laboratórne vybavenie a pomôcky:

- analytické váhy
- sklo – kadička 25 ml, 50 ml, 75 ml, 2000 ml
- sklo – odmerná banka 100 ml, 1000 ml
- striekačka 3x
- Erlenmayerova banka 500 ml,
- byreta 50 ml + stojan
- pH papieriky
- tretia miska + tĺčik
- ochranné pomôcky: okuliare, plastové (nitrilové) rukavice

Postup:

1. Príprava odmerného roztoku 0,1 M EDTA: Na analytických váhach sa naváži 37,22g EDTA, ktoré sa následne rozpustia v deionizovanej vode (ďalej DI) a v odmernej banke sa doplní pomocou DI na objem 1 liter.
2. Príprava indikátoru murexid: V trecej miske pomocou tĺčiku zmiešame a rozotrieme 1g murexidu a 100g NaCl. Pri vážení použijeme analytické váhy.
3. Odpipetujte 1 ml testovanej vody do 500 ml Erlenmeyerovej banky a nariediť pomocou 100 ml deionizovanej vody.
4. Do Erlenmeyerovej banky sa pridá štyri až päť kvapiek vodného roztoku NH_3 (čpavok) pre úpravu pH ($\text{pH} \approx 8,0$).

Upozornenie: Práca s čpavkom musí byť opatrná, čpavok veľmi rýchlo prchá a dostáva sa do ovzdušia. Pridanie čpavku musí prebiehať rýchlo a vo vetranej miestnosti. Fľašu s čpavkom nenechávame otvorenú, prelejeme iba malé množstvo do lab. skla, natiahneme do striekačky (stačí 1 ml) vyšok zlejeme naspieť do fľaše a rýchlo uzavrieme. Na pár minút sa vzdialime a necháme miestnosť vetrať.

5. Do Erlenmeyerovej banky sa pridá štipka (cca 2g) pripraveného indikátoru murexid podľa bodu 2.
6. Titrácia roztokom 0,1 M EDTA: Byretu máme na stojane, naplníme ju na viac než 50 ml roztokom 0,1 M EDTA, do laboratórneho skla povolením kohútiku na byrete odpustíme roztok, tak aby v byrete zostalo presne 50 ml roztoku. Laboratórne sklo vymeníme za pripravenú Erlenmeyerovu banku s testovanou vodou s indikátorom. Kohútik na byrete povolíme tak aby roztok kvapkal po kvapkách a za sústavného miešania titrujeme do fialového zafarbenia. V bode zafarbenia uzáver na byrete zatiahneme a zaznamenáme spotrebu činidla z byrety.
7. Titráciu opakujeme minimálne dva krát. Z nameraných hodnôt spotreby odmerného roztoku spravíme priemer a vypočítame koncentráciu Cu^{2+} pomocou vzorca:

$$\text{Cu}^{2+}[\text{g.l}^{-1}] = \text{spotreba } 0,1 \text{ M EDTA } [\text{ml}] \cdot 6,354$$

Poznámka: Výpočet je zjednodušený a vychádza z titračných stechiometrických rovníc pre chelatometrické titracie s použitím vzorca pre výpočet obsahu danej zložky.

5.5 Vzorové meranie

5.5.1 Základné informácie, namerané a vypočítané hodnoty

Odber vzorku pre rýchle testy: U testovanej vodovodnej vody bolo najskôr odstránené sitko z točky a voda bola 2-5 minút odpúšťaná za mierneho prúdu vody. Testy boli vykonané bezprostredne po odbere vody.

Názov testovaného vzorku: Vodovodná voda – adresa odberu: Technická 10, Brno
Dátum odberu: 2.5.2018

Dátum testu: 2.5.2018

Vzorka pre stanovenie Cu^{2+} : leptací roztok použitý pri výrobe DPS - leptanie medi

Tabuľka 8: Namerané hodnoty

Test	Typ testu	Vzorka	Namerané hodnoty	Jednotky	Poznámka
pH	Rýchly	Vodovodná voda	7,4		
Tvrdosť vody	Rýchly	Vodovodná voda	18	°N	Tvrdá voda
Vápnik	Rýchly	Vodovodná voda	120	mg/l	Ca
Amoniak	Rýchly	Vodovodná voda	0	mg/l	NH ₄ ⁺
Dusitany	Rýchly	Vodovodná voda	0	mg/l	NO ₂ ⁻
Cu ²⁺	Titračia	Leptací roztok	25,8	mg/l	Priem. 5 meraní, limit 1 ml/l

Výpočet magnézia z nameraných hodnôt:

$$\text{CM} = 18^\circ\text{N}, \text{Ca} = 120 \text{ mg/l}$$

Podiel magnézia na celkovej tvrdosti vody je $\text{Mg } ^\circ\text{N} = \text{CM} - \text{Ca} \cdot 0,14$, kde 0,14 je faktor prepočtu mg/l na °N. Voda obsahuje po prepočte $18 - 120 \cdot 0,14 = 1,2$ °N Mg. Testovaná

voda teda obsahuje 16,8 °N (120 mg/l) Ca a 1,2°N (8,57 mg/l) Mg.

5.5.2 Záver z merania

Akvaristické testy patria z hľadiska presnosti k orientačným testom avšak ich použitie je rýchle, jednoduché a cenovo dostupné. Nameraná hodnota pH pitnej vody je 7,4, táto hodnota odpovedá priemernej hodnote uvádzanej dodávateľom pitnej vody z dlhodobého merania. Amoniak a dusitany by sa v pitnej vode nachádzať nemali a ich zmeraná nulová hodnota tomu odpovedá. Obsah vápniku vo vode je žiaduci, nameraná hodnota celkovej tvrdosti vody je 120 mg/l pričom jeho odporúčaná hodnota je vyššia ako 30 mg/l. Zmeraná celková tvrdosť vody je 18 °N čo odpovedá tvrdej vode. Vypočítaná koncentrácia magnézia je 8,6 mg/l.

Pri vypúšťaní priemyselných odpadných vôd z elektrotechnických výrobných zariadení sa výrobou DPS je problematická koncentrácia meďnatých iónov hlavne z procesu leptania medi. Prevádzkovateľ kanalizácie určuje dovolené hodnoty koncentrácie pre vypúšťanie priemyselných odpadných vôd do kanalizácie, limity pre firmu zaoberajúcou sa výrobou DPS sú uvedené v tabuľke 8, kde pre meď je stanovený limit 1 mg/l. K stanoveniu koncentrácie meďnatých iónov vo vzorku leptacieho roztoku bola využitá titrácia ktorá je v praxi často využívaná. Zmeraná koncentrácia meďnatých iónov Cu^{2+} je 25,8 mg/l pričom v prevádzke je hodnota koncentrácie nižšia z dôvodu zmiešavania odpadných vôd z viacerých procesov a stanovený limit prevádzkovateľom je 1 mg/l. Z praxe sa hodnota koncentrácie meďnatých iónov na výstupe z čističky odpadných vôd pohybuje okolo 7-9 mg/l čo je hodnota nadlimitná a mala by byť firmou sledovaná, zo snahou túto hodnotu zmenšiť pod dovolený limit, prípadne odpadnú vodu nariediť podľa potreby aby bola dosiahnutá stanovená limitná koncentrácia.

ZÁVER

Práca sa v prvej kapitole venovala úvodu do problematiky vôd na zemi, jej vybraným fyzikálnym vlastnostiam, možnostiam vyjadrovania koncentrácie látok pomocou hmotnostnej a látkovej koncentrácie. Poznať možnosti vyjadrovania koncentrácie látok vo vode je dôležité z dôvodu ich možného chybného zamenenia a z dôvodu rôzneho vyjadrovania látok v jednotlivých literatúrach.

Z pohľadu ekológie vôd a udržateľného rozvoja sú dôležitými faktormi sledovanie spotreby a kvality vody využívané obyvateľstvom a priemyslom a jeho následné vypúšťanie do recipientu (vodných tokov). V prípade zásobovania obyvateľstva pitnou vodou je dôležitá jej kvalita a neškodnosť, kvalitu dodávanej vody pre každé odberné miesto je možné vyhľadať na internetových stránkach firmy dodávajúcej vodu a spravujúcej miestne vodovody a kanalizácie. Pri využívaní vody dochádza k ich znečisťujú vid' kapitola 1.5 a vznikajú tak odpadné vody, ktorým sa venovala kapitola 1.7, tie je možné rozdeliť na odpadné vody z obyvateľstva (splaškové vody) a odpadné vody z priemyslu. Priemyselným odpadným vodám sa práca venovala v kapitole 1.8, práca uviedla ich delenie a príklady elektrotechnických výrobných firiem v ktorých bola pri procesoch výroby použitá voda a vznikla tak odpadná voda, tieto informácie vychádzali z uvedených zdrojov, ktorými boli internetové stránky firmy, ale aj z informácií získaných formou emailovej komunikácie s povereným zamestnancom danej firmy. Na kapitolu 1.8. nadväzuje kapitola 4 čistenie odpadných vôd.

V dnešnej dobe vplýva na kvalitu povrchových vôd mnoho faktorov, dochádza najčastejšie k znečisťovaniu povrchových vôd vplyvom dažďov, ktoré zachytávajú škodliviny obsiahnuté v ovzduší, ďalej pri priesaku vody z poľnohospodársky obrábaných polí (znečistenie zvýšeným obsahom živín spôsobené nadmerným používaním hnojív), ďalej vypúšťaním odpadných vôd do recipientu a prípadne vplyvom havárie môže dôjsť k rôznym únikom látok do životného prostredia. Vybraným škodlivým látkam sa venovala kapitola 1.6.

V kapitole 2 a 3 boli uvedené postupy a prístroje použiteľné pri praktickej časti diplomovej práce t.j. laboratórnej úlohe vid' kapitola 5. Z použitých metód boli pre laboratórnu úlohu vybrané metódy stanovovania koncentrácie pomocou titrácie a rýchlych analytických testov využívajúcich kolorimetriu. Titračné metódy vid' kapitola 2.1.1 boli vybrané z dôvodu ich častého využitia v priemyselnej praxi pri stanovovaní koncentrácií látok v odpadnej vode a v roztokoch. Rýchle analytické testy boli vybrané pre ich jednoduchosť, časovú nenáročnosť, možnosť využitia v domácnosti a cenu. Metódy využívajúce fotometriu (kap. 2.1.3. a kap. 3.3) a potenciometriu pomocou iónovo selektívnych elektród (kap. 2.1.4) neboli využité v praktickej časti diplomovej práce, ale boli ponechané pre možnosť rozšírenia laboratórnej úlohy.

Čistenie odpadných vôd prebieha v čističkách odpadných vôd, kam pritekajú odpadné vody splaškové z domácností, zo stravovacích zariadení atď. a odpadné vody z priemyslu. Práve odpadné vody prichádzajúce z priemyslu by mali podľa výrobného charakteru firmy byť predčistené v rámci firmy technologickou linkou čističky odpadných vôd. Čisteniu odpadných vôd a jednotlivým procesom pri čistení odpadných vôd sa venuje kapitola 4. V kapitole 4.6. bol uvedený konkrétny prípad zhotovenia čistenia odpadných vôd pomocou neutralizačnej stanice firmy Gatema a.s. z výroby dosiek plošných spojov – DPS.

Hlavná časť diplomovej práce t.j. kapitola 5 bola zameraná na vytvorenie laboratórnej úlohy a podrobného návodu. V teoretickom rozbere v kapitole 5.3 boli uvedené podmienky pre vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie, prehľad technologickej linky čistenia odpadných vôd vybranou firmou - Gatema a.s. a potrebné základné chemické operácie k samotnému testovaniu. Vlastný postup laboratórnej úlohy bol uvedený v kapitole 5.4, kde sa kapitoly 5.4.1 až 5.4.5 venujú rýchlym testom a kapitola 5.4.6. sa venuje stanoveniu koncentrácie meďnatých iónov. Pre otestovanie funkčnosti a náročnosti testov, boli testy vyskúšané a záznam z testov a vzorové vyhodnotenie bolo uvedené v kapitole 5.5. Časová náročnosť testov odpovedala dvoj až trojhodinovému laboratórnemu meraniu, pričom testy prebehli podľa plánu a overenie použitia testov bolo splnené. Počas testovania bolo dôležité používať ochranné pomôcky (ochranné okuliare a rukavice) a s chemikáliami zaobchádzať opatrne, obzvlášť pri zmene hodnoty pH kvapkami vodného roztoku amoniaku, ktorý sa rýchlo šíri do ovzdušia a spôsobuje štipľavý zápach, ktorý naznačuje jeho nebezpečnosť pri vystavení vyšším dávkam. Manipulácia s amoniakom vyžaduje vetranie miestnosti a rýchle uzavretie fľaše s roztokom pre zabránenie ďalšieho uvoľňovania. Doporučené je tiež amoniak pridať mimo priestoru merania alebo miesto merania opustiť na pár minút, kým sa priestor vyvetrá. Zhodnotenie vzorového merania je v kapitole 5.5.2. .

LITERATÚRA

- [1] KUDLÁČEK, Ivan. *Ekologie pro elektrotechniky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04392-9.
- [2] SAMEŠOVÁ, Dagmar a Milan PIATRIK. *Technológia vody*. Časť [1], Čistenie odpadových vôd. Zvolen: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-228-0694-3.
- [3] VALENTOVÁ, Olga, Jana MÁCHOVÁ a Hana KOCOUR KROUPOVÁ. *Základy hydrochemie - návody pro laboratorní cvičení*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2013. ISBN 978-80-87437-46-9.
- [4] SZABOVÁ, Terézia a Mária KOŠČOVÁ. *Základy ekológie a environmentalistiky*. Košice: Technická univerzita, 2000. ISBN 80-88964-52-0.
- [5] HOLBOVÁ, Zuzana. Problematika likvidace odpadních vod z použití VŘNH [online]. Zlín, 2006 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/bx3wze/>>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Ivo Běťák.
- [6] ANTARES, AZV s.r.o. [online]. Přerov, 2009 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.antaresazv.cz/>
- [7] Gatema a.s. *Gatema a.s.* [online]. Boskovice, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: https://www.gatema.cz/plosne-spoje/technologie?detail=neutralizace_9
- [8] CUBE CZ s.r.o. *CUBE CZ s.r.o.* [online]. Ferdinandov, 2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.cube.cz/technologie/cisticka-odpadnich-vod.htm>
- [9] HÄBERLE, Gregor. *Technika životního prostředí pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2003. ISBN 80-86706-05-2.
- [10] Iontově selektivní elektrody. *Elektrochemické detektory, s. r. o.* [online]. Turnov [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.elektrochemicke-detektory.cz/elektrochemicke-detektory/Iontove-selektivni-elektrody-c2_0_1.htm
- [11] *Rostlinna-akvaria* [online]. 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/eshop/>
- [12] Výzkumný technologický institut. *Výzkumný technologický institut* [online]. 2012 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.vti-cz.com/spolecnost/rozbor-vody-17>
- [13] HI991301N Profesionální kombinovaný pH/EC/TDS meter. *PHmeter.sk* [online]. Kráľová nad Váhom, 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://phmeter.sk/ph-metre/74-hi991301n-profesionalny-kombinovany-ph-ec-tds-meter.html>
- [14] PÁNEK, Petr a Václav DOMBEK. *Základy analytické chemie pro studenty ekologie: Určeno pro stud. neučitel. studia biologie a ekologie*. Ostrava: Ostravská univerzita, 1994. Učební texty Ostravské univerzity. ISBN 80-7042-716-7.
- [15] *Hanna instruments* [online]. 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://hannainst.com/>
- [16] NASEF, Mohamed a Ujang ZAINI. Schematic representation of fixed bed ion exchange column system showing operation and regeneration modes. *ResearchGate* [online]. 2012 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/13-Schematic-representation-of-fixed-bed-ion-exchange-column-system-showing-operation-and_fig15_278636672?_sg=gpMXtaUWbHdOZJDEcAGmUyZbyBBpx48XAjZV1vRpBwjMongXg2tivts98cCi83t5zdzL4lXYjgnqqATwNC-2dQ

- [17] Vodárenská akciová společnost, a.s. *Vodárenská akciová společnost, a.s.* [online]. Brno, 2009, 2009 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/co-nepatri-do-kanalizace>
- [18] BEDNÁŘ, Jiří a Emanuel ŠUCMAN. *Návody ke cvičení z chemie* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/10041560-Navody-ke-cviceni-z-chemie-mvdr-jiri-bednar-ph-d-prof-rndr-emanuel-sucman-csc.html>
- [19] UKAZOVATELE KVALITY PITNEJ VODY. *Enviroportál* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://pitnavoda.enviroportal.sk/ukazovatele-kvality-pitnej-vody>
- [20] CHYTRÉ TABULKY A PŘEVODY. *Diran Company s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.dirancompany.com/sluzby/chytre-tabulky-a-prevody>
- [21] Požadavky na kvalitu pitné vody. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Po%C5%BEadavky_na_kvalitu_pitn%C3%A9_vody
- [22] HRDLIČKA, Petr a Marie STŘELCOVÁ. *Chemie obecná a anorganická: (laboratorní cvičení)*. Vyd. 2., nezměn. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-232-3.