

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta biotechnológie  
a potravinárstva

Ústav potravinárstva

Ing. Marek Šnirc, PhD., RNDr. Daniel Bajčan, PhD.,  
Ing. Pavol Trebichalský, PhD.

## **LABORATÓRNE POSTUPY Z CHÉMIE**

Nitra 2023

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre  
vo Vydavateľstve SPU

Autori: Ing. Marek Šnirc, PhD. (4,87 AH)  
Ústav potravinárstva  
FBP, SPU v Nitre

RNDr. Daniel Bajčan, PhD. (3,10 AH)  
Ústav potravinárstva  
FBP, SPU v Nitre

Ing. Pavol Trebichalský, PhD. (0,89 AH)  
Ústav potravinárstva  
FBP, SPU v Nitre

Recenzenti: prof. RNDr. Alžbeta Hegedúsová, PhD.  
ÚZ, FZKI, SPU Nitra

doc. PaedDr. Zita Jenisová, PhD.  
KCH, FVPI, UKF Nitra

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 6. 10. 2023  
ako skriptá pre študentov SPU.

Táto publikácia bola vytlačená na ekologickom papieri.



© Marek Šnirc, Daniel Bajčan, Pavol Trebichalský, Nitra 2023

ISBN 978-80-552-2651-4

# Obsah

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Predhovor.....</b>                                                             | <b>9</b>  |
| <b>Úvod.....</b>                                                                  | <b>11</b> |
| <b>1. Zásady bezpečnosti práce v chemickom laboratóriu .....</b>                  | <b>13</b> |
| 1.1 Laboratórny poriadok.....                                                     | 13        |
| 1.2 Laboratórny protokol.....                                                     | 15        |
| 1.3 Prvá pomoc pri najčastejších laboratórnych úrazoch .....                      | 17        |
| <b>2. Základné laboratórne zariadenia používané v chemickom laboratóriu .....</b> | <b>19</b> |
| 2.1 Chemické laboratórium .....                                                   | 19        |
| 2.2 Materiály používané v chemickom laboratóriu .....                             | 19        |
| 2.2.1 Laboratórne sklo a porcelán .....                                           | 19        |
| 2.2.2 Kov, liatina, oceľ .....                                                    | 21        |
| 2.2.3 Guma, plasty, korok, azbest .....                                           | 22        |
| <b>3. Základné laboratórne operácie .....</b>                                     | <b>24</b> |
| 3.1 Zostavovanie aparátúr .....                                                   | 24        |
| 3.2 Váženie.....                                                                  | 24        |
| 3.3 Meranie objemu.....                                                           | 27        |
| 3.4 Rozpúšťanie látok.....                                                        | 34        |
| 3.5 Meranie hustoty kvapalín .....                                                | 37        |
| 3.6 Meranie teploty.....                                                          | 38        |
| 3.7 Sušenie.....                                                                  | 38        |
| 3.8 Zahrievanie, žiňanie a odparovanie.....                                       | 40        |
| 3.8.1 Priame zahrievanie .....                                                    | 40        |
| 3.8.2 Nepriame zahrievanie.....                                                   | 43        |
| 3.9 Chladenie.....                                                                | 46        |
| 3.10 Meranie pH.....                                                              | 48        |
| <b>4. Separačné metódy.....</b>                                                   | <b>53</b> |
| 4.1 Filtrácia.....                                                                | 53        |
| 4.1.1 Filtrácia pri atmosférickom tlaku .....                                     | 53        |
| 4.1.2 Filtrácia pri zníženom tlaku.....                                           | 55        |
| 4.2 Sedimentácia a odstred'ovanie.....                                            | 59        |
| 4.3 Kryštalizácia.....                                                            | 63        |
| 4.3.1 Kryštalizácia zrážaním .....                                                | 64        |
| 4.3.2 Kryštalizácia odparením rozpúšťadla.....                                    | 65        |
| 4.3.3 Kryštalizácia zmenou teploty .....                                          | 65        |

|           |                                                                                            |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4       | Opakovaná kryštalizácia – rekryštalizácia .....                                            | 66         |
| 4.5       | Triturácia .....                                                                           | 70         |
| 4.6       | Extrakcia a delenie vzájomne nemiešateľných kvapalín .....                                 | 70         |
| 4.7       | Vysušovanie a zrážanie .....                                                               | 73         |
| 4.8       | Destilácia .....                                                                           | 74         |
| 4.8.1     | Destilácia za normálneho alebo zníženého tlaku .....                                       | 74         |
| 4.8.2     | Frakčná destilácia .....                                                                   | 77         |
| 4.8.3     | Destilácia vodnou parou .....                                                              | 78         |
| 4.9       | Sublimácia .....                                                                           | 80         |
| <b>5.</b> | <b>Chemická kinetika</b> .....                                                             | <b>82</b>  |
| <b>6.</b> | <b>Kvantitatívna analýza látok</b> .....                                                   | <b>86</b>  |
| 6.1       | Odmerná analýza .....                                                                      | 86         |
| 6.2       | Vážková analýza .....                                                                      | 93         |
| <b>7.</b> | <b>Kvalitatívna analýza látok</b> .....                                                    | <b>96</b>  |
| 7.1       | Úvod .....                                                                                 | 96         |
| 7.2       | Chemické skúmadlá .....                                                                    | 97         |
| 7.2.1     | Čistota chemických činidiel .....                                                          | 97         |
| 7.3       | Plameňové skúšky .....                                                                     | 98         |
| 7.3.1     | Interpretácia výsledkov z plameňovej skúšky .....                                          | 98         |
| 7.3.2     | Limity plameňových testov .....                                                            | 99         |
| 7.4       | Skupinové reakcie katiónov .....                                                           | 99         |
| 7.4.1     | Delenie katiónov .....                                                                     | 100        |
| 7.4.2     | Dôkaz katiónov .....                                                                       | 100        |
| 7.4.3     | Dôkazové reakcie vybraných katiónov, aniónov a prvkov s významnou biologickou úlohou ..... | 101        |
| 7.5       | Dôkazové reakcie vybraných aniónov .....                                                   | 106        |
| 7.5.1     | Delenie aniónov .....                                                                      | 106        |
| <b>8.</b> | <b>Tabuľky</b> .....                                                                       | <b>111</b> |
| <b>9.</b> | <b>Literatúra</b> .....                                                                    | <b>113</b> |

## Zoznam obrázkov

|          |                                                                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1:  | Pripevnenie laboratórneho kruhu alebo klemy svorkou k laboratórnemu stojanu.....                 | 24 |
| Obr. 2:  | Správne odčítanie objemu kvapaliny.....                                                          | 28 |
| Obr. 3:  | Automatická pipeta .....                                                                         | 30 |
| Obr. 4:  | Metóda postupného rozpúšťania naváženej presnej hmotnosti (5g) neznámej látky .....              | 36 |
| Obr. 5:  | Metóda postupného rozpúšťania naváženej presnej hmotnosti (1g) neznámej látky .....              | 36 |
| Obr. 6:  | Závislosť tlaku vodných pár $p(\text{H}_2\text{O})$ na prírastku hmotnosti sušidla $m(\%)$ ..... | 39 |
| Obr. 7:  | Základné typy sklenených exsikátorov .....                                                       | 40 |
| Obr. 8:  | Laboratórne kahany .....                                                                         | 41 |
| Obr. 9:  | Distribúcia teplôt v oxidačnom plameni .....                                                     | 42 |
| Obr. 10: | Vodný kúpeľ .....                                                                                | 44 |
| Obr. 11: | Základné druhy laboratórnych chladičov .....                                                     | 46 |
| Obr. 12: | Filtrácia pri atmosférickom tlaku .....                                                          | 54 |
| Obr. 13: | Príprava jednoduchého a skladaného filtra .....                                                  | 55 |
| Obr. 14: | Aparatúra na odsávanie za zníženého tlaku .....                                                  | 56 |
| Obr. 15: | Vznik filtračného koláča .....                                                                   | 56 |
| Obr. 16: | Schematické znázornenie diferenciálneho usadzovania so segregáciou častíc..                      | 59 |
| Obr. 17: | Schematické znázornenie hydrocyklóny .....                                                       | 60 |
| Obr. 18: | Schéma cetrifúgy a centrifugačného procesu .....                                                 | 61 |
| Obr. 19: | Sily pôsobiace pri odstred'ovaní .....                                                           | 61 |
| Obr. 20: | Krivky rozpustnosti rôznych anorganických látok .....                                            | 64 |
| Obr. 21: | Laboratórna zostava na extrakciu pomocou oddel'ovacieho lieviku .....                            | 71 |
| Obr. 22: | Aparatúra pre destiláciu za normálneho, resp. za zníženého tlaku .....                           | 75 |
| Obr. 23: | Rektifikačná kolóna .....                                                                        | 78 |
| Obr. 24: | Aparatúra pre destiláciu vodnou parou .....                                                      | 79 |
| Obr. 25: | Aparatúra pre odmernú analýzu .....                                                              | 87 |
| Obr. 26: | Spôsoby uskutočnenia niektorých krokov vážkovej analýzy .....                                    | 94 |

## Zoznam tabuliek

|          |                                                                                                                                           |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 1:  | Hustota vody pri rôznych teplotách .....                                                                                                  | 33  |
| Tab. 2:  | Koeficienty štatistických parametrov pre spracovanie malých súborov experimentálnych dát (pre hladinu významnosti $\alpha = 95\%$ ) ..... | 33  |
| Tab. 3:  | Namerané hodnoty veličín pre kalibráciu pipiet .....                                                                                      | 33  |
| Tab. 4:  | Základné údaje na prípravu roztokov .....                                                                                                 | 35  |
| Tab. 5:  | Príprava ..... roztokov                                                                                                                   | 50  |
| Tab. 6:  | Výsledky pozorovaní .....                                                                                                                 | 51  |
| Tab. 7:  | Príprava roztokov a výsledky meraní .....                                                                                                 | 51  |
| Tab. 8:  | Príprava roztokov a výsledky meraní .....                                                                                                 | 52  |
| Tab. 9:  | Farby plameňa pri plameňových skúškach vybraných prvkov (katiónov) .....                                                                  | 98  |
| Tab. 10: | Skúmadlá využívané v kvalitatívne analýze .....                                                                                           | 100 |
| Tab. 11: | Hustoty a hmotnostné percentá vodných roztokov amoniaku $\text{NH}_3$ pri 20 °C....                                                       | 112 |
| Tab. 12: | Hustoty a hmotnostné percentá vodných roztokov $\text{HCl}$ pri 20 °C .....                                                               | 112 |
| Tab. 13: | Hustoty a hmotnostné percentá vodných roztokov $\text{HNO}_3$ pri 20 °C .....                                                             | 112 |
| Tab. 14: | Hustoty a hmotnostné percentá vodných roztokov $\text{H}_2\text{SO}_4$ pri 20 °C .....                                                    | 113 |

## Zoznam úloh

|           |                                                                                                                                                                               |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Úloha 1:  | Porovnajete presnosť navažovania na rýchlováhach a analytických váhach .....                                                                                                  | 27 |
| Úloha 2:  | Váženie látok na digitálnych rýchlováhach .....                                                                                                                               | 27 |
| Úloha 3:  | Pripravte roztoky $\text{Cu}^{2+}$ s koncentráciami: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 g Cu/l s objemom 100 ml, ak koncentrácia zásobného roztoku $\text{Cu}^{2+}$ je 10 g Cu/l .....   | 30 |
| Úloha 4:  | Overte správnosť pipetovania delenou pipetou .....                                                                                                                            | 31 |
| Úloha 5:  | Pripravte vodný roztok etanolu o objeme 50 ml a zloženia – 50 obj.% etanolu. Správne zloženie výsledného roztoku overte pomocou pyknometra...                                 | 31 |
| Úloha 6:  | Určite hustotu vody .....                                                                                                                                                     | 31 |
| Úloha 7:  | Kalibrácia sklenej a automatickej pipety .....                                                                                                                                | 31 |
| Úloha 8:  | Pomocou byrety zistíte objem jednej kvapky vody .....                                                                                                                         | 34 |
| Úloha 9:  | Pripravte roztoky sacharózy a chloridu sodného o rôznom zložení .....                                                                                                         | 35 |
| Úloha 10: | Zistíte v laboratóriu rozpustnosť neznámej chemickej zlúčeniny .....                                                                                                          | 36 |
| Úloha 11: | Zmerajte hustotu kvapalín hustomerom (vztlakovou metódou) a pyknometrom (vážkovou metódou) .....                                                                              | 37 |
| Úloha 12: | Žiňaním a následným výpočtom zistíte percentuálny obsah minerálnych látok (popola) vo vzorke .....                                                                            | 45 |
| Úloha 13: | Priprava účinnej chladiacej zmesi chloridu sodného a vody .....                                                                                                               | 47 |
| Úloha 14: | Pozorujte rýchlosť chladenia roztoku $\text{H}_2\text{SO}_4$ chladiacou zmesou ľad-voda.....                                                                                  | 47 |
| Úloha 15: | Zo 4 anorganických látok ( $\text{NaCl}$ , $\text{NaOH}$ , $\text{KI}$ , $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) vyberte tie, ktoré sú vhodné na prípravu chladiaceho média .....            | 48 |
| Úloha 16: | Vyberte vhodný prírodný pH indikátor. Určite/odhadnite pH roztokov pomocou vybraných prírodných pH indikátorov .....                                                          | 49 |
| Úloha 17: | Zistíte sfarbenie acidobázických indikátorov vo vodných roztokoch kyselín, zásad a solí .....                                                                                 | 49 |
| Úloha 18: | Zistíte pH roztokov rôznych kyselín, zásad a solí pomocou indikátorového papierika a pH metra .....                                                                           | 49 |
| Úloha 19: | Určte pH sledovaných roztokov rôznych kyselín, zásad a solí pomocou acidobázických indikátorov .....                                                                          | 50 |
| Úloha 20: | Pripravte acetátové tlmivé roztoky a overte ich pH .....                                                                                                                      | 51 |
| Úloha 21: | Sledujte funkčnosť a tlmivú kapacitu tlmivých roztokov .....                                                                                                                  | 52 |
| Úloha 22: | Rozseparujte zmes troch tuhých látok ( $\text{SiO}_2 + \text{NaCl} + \text{CaCO}_3$ ) na jednotlivé zložky .....                                                              | 57 |
| Úloha 23: | Pripravte chroman bárnatý z 0,5 g chloridu bárnateho .....                                                                                                                    | 58 |
| Úloha 24: | Rozseparujte zmes dvoch tuhých látok ( $\text{SiO}_2 + \text{NaCl}$ ) na jednotlivé zložky....                                                                                | 58 |
| Úloha 25: | Prečistite 8 gramov modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ rekryštalizáciou.....                                                                           | 66 |
| Úloha 26: | Pripravte 5 g chloridu amónneho neutralizáciou roztoku 35% kyseliny chlorovodíkovej $\text{HCl}$ roztokom 26 % amoniaku $\text{NH}_3$ .....                                   | 67 |
| Úloha 27: | Pripravte dodekahydrát síranu draselno – hlinitého $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ z 50 g oktaedekahydrátu síranu hlinitého .....                     | 68 |
| Úloha 28: | Pripravte síran tetraammin-aquamednatý $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ z 3 gramov modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ..... | 69 |
| Úloha 29: | Pripravte 5 gramov hexakynožeľeznatanu železitého $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ .....                                                                               | 69 |
| Úloha 30: | Vyizolujte teobromín extrakciou z kakaa .....                                                                                                                                 | 72 |
| Úloha 31: | Spektrofotometricky stanovte celkový obsah karotenoidov v mrkve .....                                                                                                         | 72 |
| Úloha 32: | Izolujte kofeín z čaju alebo kávy extrakciou .....                                                                                                                            | 73 |
| Úloha 33: | Pripravte destilovanú vodu .....                                                                                                                                              | 76 |
| Úloha 34: | Pripravte heptahydrát síranu železnateho z 3 gramov železa .....                                                                                                              | 76 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Úloha 35: Destiláciou za normálneho tlaku rozdeľte zmes acetón-voda a zostrojte destilačnú krivku .....                               | 77  |
| Úloha 36: Destiláciou vodnou parou izolujte vonné silice z citrusovej kôry .....                                                      | 79  |
| Úloha 37: Izolujte kofeínu z čaju alebo kávy sublimáciou .....                                                                        | 81  |
| Úloha 38: Sledujte ovplyvňovanie rýchlosti redoxnej reakcie zmenou koncentrácie .....                                                 | 84  |
| Úloha 39: Sledujte ovplyvňovanie rýchlosti redoxnej reakcie zmenou teploty .....                                                      | 84  |
| Úloha 40: Sledujte ovplyvňovanie rýchlosti redoxnej reakcie katalyzátorom .....                                                       | 85  |
| Úloha 41: Sledujte ovplyvňovanie rýchlosti rozkladnej reakcie peroxidu vodíka katalyzátorom .....                                     | 85  |
| Úloha 42: Stanovte koncentráciu kyseliny chlorovodíkovej HCl vo vzorke a porovnajte ju so skutočnou hodnotou .....                    | 88  |
| Úloha 43: Stanovte koncentráciu kyseliny sírovej H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vo vzorke a porovnajte ju so skutočnou hodnotou ..... | 90  |
| Úloha 44: Stanovte látkovú aj hmotnostnú koncentráciu chloridov vo vzorke .....                                                       | 91  |
| Úloha 45: Stanovte hmotnosť kyseliny askorbovej v tabletách Celaskonu® .....                                                          | 92  |
| Úloha 46: Stanovte hmotnosť železa vo vzorke .....                                                                                    | 94  |
| Úloha 47: Urobte nasledovné dôkazové reakcie vybraných iónov a výsledok porovnajte s teóriou .....                                    | 101 |

## Predhovor

Skriptá „Laboratórne postupy z chémie“ sú určené ako pomôcka na výučbu chemických disciplín pre študentov bakalárskeho stupňa na SPU v Nitre. Skriptá majú slúžiť na výučbu predmetov Anorganická chémia, Chémia, Základy chémie a Chemické laboratórne techniky. Zároveň z obsahového hľadiska môžu byť doplnkovým materiálom aj pre iné predmety vyučované na Ústave potravinárstva, SPU v Nitre.

Úspešné zvládnutie cvičení z chémie vyžaduje nielen praktickú zručnosť pri práci v chemickom laboratóriu, ale i teoretické vedomosti jednotlivých tém. Preto praktickému cvičeniu musí predchádzať dôkladné individuálne štúdium teoretických základov príslušných prác z týchto skrípt, ale i z odporúčaných učebníc. Je to nevyhnutné aj z toho dôvodu, že nie všetky témy cvičenia časove nadväzujú na látku preberanú v prednáškach.

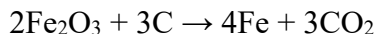
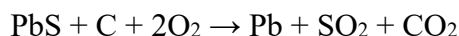
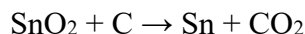
Túto učebnú pomôcku sme spracovali ako základné požiadavky vo forme vybraných kapitol z problematiky vybavenia a pomôcok v chemickom laboratóriu, základných laboratórnych operácií, najvýznamnejších deliacich metód, ako i kvalitatívnej a kvantitatívnej chemickej analýzy pre zvládnutie laboratórnej rutiny absolventom stredných škôl a gymnázií, kde je nízka, alebo žiadna výmera praktických cvičení pri výučbe chémie. Skriptá sú koncipované tak, aby zodpovedali náročným požiadavkám pre štúdium nadväzných odborných predmetov.

Autori

## Úvod

Základné chemické laboratórne operácie ako sú ohrev, chladenie, sušenie alebo filtrácia sú známe od nepamäti. Najstarší proces, ktorý človek začal zámerne využívať bolo sušenie s využitím slnka a vzduchu. Prvý veľký míľnik prinieslo ovládnutie ohňa, ohrev a žihanie. Išlo o prvé procesy úpravy potravín. Ďalším míľnikom bol objav keramiky. Existencia nádob umožnila prvé operácie s kvapalinami, čo umožnilo lúhovať prírodné látky a využitie prvého biologického procesu, ktorým bola jednoduchá fermentácia. Ľudia začali kvapaliny miešať, čím dosiahli zrýchlenie chemických procesov v kvapalinách, suspenziách a ďalších zmesiach. V súvislosti s úpravou potravín a prípravou pokrmov sa využívali mechanické operácie ako drvenie, preosievanie, mletie alebo triedenie. Na triedenie materiálov sa začala využívať rozdielna rýchlosť usadzovania látok vo vode. Striedavou suspendáciou (rozptýlením tuhých častíc do kvapaliny) a sedimentáciou (usadzovaním) sa dodnes napr. ryžuje zlato. Mechanická separácia častíc cedením (filtrácia) po lúhovaní alebo drvení umožnila ľuďom získavať oleje, farbivá, vonné látky, liečivá, prípadne jedy. Spojenie varu a následnej kondenzácie vzniknutých pár umožnilo využívať destiláciu na získavanie chemicky čistých látok. Predchodcom moderného destilačného zariadenia bola krivuľa alebo retorta. Postupným odparovaním vody z roztoku dochádza ku kryštalizácii. Kryštalizáciou sa získavala kuchynská soľ (NaCl) z morskej vody, ktorá sa používala ako konzervačné činidlo pre skladovanie potravín.

Dôležitým zistením bolo, že nedohorené uhličky horia lepšie a bez dymu (oxidačne) ako samotné drevo (ktoré pri nedokonalých podmienkach horí redukčným plameňom). Toto zistenie umožnilo pri procesoch využívať vyššie teploty, čo sa využívalo predovšetkým na získavanie čistých kovov, ako napr. cínu, olova alebo železa:



K zaisteniu správnej oxidácie sa vyvinuli mechy na obohacovanie reakčnej zmesi kyslíkom. Žihaním hornín dokázali naši predkovia vytvoriť pálené vápno z vápenca ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). Pálené vápno sa chovalo zaujímavo v reakcii z vodou, čím získali zásadité hasené vápno ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ ). Zásadité vlastnosti vykazoval aj výluh z popola  $\text{K}_2\text{CO}_3$  alebo  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Pokiaľ sa tento výluh zbavil vody postupným a pomalým odparením, dochádzalo k vzniku veľkých kryštálov solí. Rýchle odstránenie vody viedlo k vylúčeniu rozpustených látok v mikrokryštalickej forme, spravidla bez kryštálovej vody, ktoré sa nazýva kalcinácia. Kalcinácia bol základ pre alchymistov, ktorí stáročia hľadali možnosti získavania alternatívnych zdrojov ušľachtilých kovov, najmä zlata. Práve alchymisti začali intenzívne využívať proces žihania, pálenia a praženia látok za prístupu vzduchu za účelom odstránenia vody a oxidu uhličitého. Alchymistom môžeme vďačiť za odhalenie a postupné spresňovanie významných prírodných zákonov, ktoré začali formovať začiatky modernej chémie. Snaha alchymistov bola v mnohých prípadoch márna, keď nakoniec zistili, že v prírode sa zlato v zlúčeninách prakticky nevyskytuje. V tomto období (16. – 18. stor.) začalo zjednocovanie chémie.

Výraznejšia diferenciácia chémie nastala v 19. storočí, keď sa vyprofilovali základné chemické disciplíny: anorganická chémia, organická chémia, fyzikálna chémia a i. Medzníkom v rozvoji anorganickej chémie bol objav periodického zákona (D. I. Mendelejev, 1869) a vznik teórie koordinačných zlúčenín (A. Werner, koniec 19. stor.). Už v prvej polovici 19. storočia fungovali veľké výrobné organických farbív, ktoré si vyžadovali celú radu pomocných činidiel anorganickej chémie ako bola kyselina sírová, kyselina dusičná, amoniak, hydroxidy a iné.

Realizácia niektorých reakcií sa podarila urýchliť použitím katalyzátorov. Homogénna katalýza bola použitá už pri výrobe kyseliny sírovej komorovým spôsobom (1746), kde sa urýchlila oxidácia  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$  prítomnosťou oxidov dusíka a ich nestálymi zlúčeninami s oxidmi síry. Avšak celý mechanizmus týchto reakcií bol vysvetlený až o sto rokov neskôr. Použitelnosť heterogénnej katalýzy pre tento proces sa objavila okolo roku 1830, ale technologické zvládnutie trvalo 65 rokov. Potom však tento proces úplne ovládla. Začiatok 19. storočia priniesol do chémie elektrochemické procesy. Rozsiahle používanie elektriny ku koncu 19. storočia sa prenieslo aj do chémie. Začali sa pokusy delenia iónových zlúčenín elektrolýzou a pokusy v elektrickom oblúku za vysokých teplôt, elektrotermia.

Druhá polovica 19. storočia priniesla nový konštrukčný materiál, oceľ, ktorá sa používala nielen na vojenské účely, ale taktiež na výrobu tlakových reaktorov, čím nahradila dovtedy používané materiály na výrobu chemických reaktorov drevo a keramiku. Prelomové bolo zvládnutie výroby amoniaku za 1. svetovej vojny (Haber-Boschov proces), čo znamenalo nástup vysokotlakových katalytických reaktorov pre plyny.

Nové technológie si vyžadovali neustále sa zväčšujúce kapacity a zvyšovali sa nároky na čistotu chemických produktov. Muselo sa zlepšiť aj technické vybavenie, zvyšovala sa spoľahlivosť chemických procesov. Z pôvodne laboratórnych deliacich metód sa dostali do priemyselného použitia chromatografické metódy a iónomeniče. Rozvíjali sa katalytické reaktory s tuhými katalyzátormi, čím sa odkryli možnosti adsorpcie či desorpcie, ako aj jednotlivých chemických operácií.

Moderná anorganická chémia sa opiera o teórie chemickej väzby (teória molekulových orbitálov, teória ligandového poľa), o fyzikálno-chemické princípy chemických reakcií (chemická termodynamika, kinetika, katalýza), o výkonné experimentálne metódy štúdia štruktúry a zloženia tuhých látok (röntgenová štruktúrna analýza), ako aj o metódy štúdia štruktúry a zloženia častíc v roztokoch (elektrónová spektroskopia, vibračná spektroskopia, jadrová magnetická rezonancia). Ako relatívne samostatné súčasti anorganickej chémie sa v poslednom období vyčlenili koordinačná chémia, chémia anorganických materiálov, chémia organokovových zlúčenín a bioanorganická chémia.

**Autori:**

Ing. Marek Šnirc, PhD., RNDr. Daniel Bajčan, PhD.

Ing. Pavol Trebichalský, PhD.

**Názov:**

LABORATÓRNE POSTUPY Z CHÉMIE

**Vydavateľ:** Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

**Vydanie:** prvé

**Náklad:** 250 kusov

**Rok vydania:** 2023

**AH – VH:** 8,86 – 9,06

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU.

**ISBN 978-80-552-2651-4**