

Univerzita Pardubice

Fakulta filozofická

Návrh učebního textu z Analytické chemie pro studenty středních škol chemického zaměření

Autor práce: Ing. Dana Krejčová

Vedoucí práce: PhDr. Mgr. Ilona Ďatko, PhD.

2015

University of Pardubice
The Faculty of Arts and Philosophy

A proposal of a textbook for the Analytical Chemistry for high school students
focused on chemistry

Author: Ing. Dana Krejčová

Supervisor: PhDr. Mgr. Ilona Ďatko, PhD.

2015

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v závěrečné práci použila, jsou uvedeny v seznamu literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména na skutečnost, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

.....

Ing. Dana Krejčová

Poděkování

Děkuji paní PhDr. Mgr. Iloně Ďatko, PhD. za odborné vedení závěrečné práce, rady, názory a připomínky.

ANOTACE

Závěrečná práce doplňujícího pedagogického studia je zaměřena na přípravu učebního textu do předmětu Analytické chemie. Práce seznamuje žáky se základy odměrné analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA

didaktika chemie, analytická chemie, odměrná analýza

ANOTATION

The final thesis of the complementary pedagogical study focuses on preparation of learning materials for the subject of Analytical chemistry. The aim of this work is to introduce basics of volumetric analysis to the students.

KEYWORDS

didactics of chemistry, analytical chemistry, volumetric analysis

Obsah

1	Didaktika	8
2	Didaktika odborných předmětů	8
2.1	Didaktika chemie	9
2.2	Didaktické zásady ve výuce chemie	9
2.3	Učební pomůcky a pomůcky ve výuce chemie	12
2.3.1	Písemné pomůcky	13
2.3.2	Předmětové pomůcky	13
3	Návrh učebního textu	17
3.1	Cíl práce	17
3.2	Komu je text určen	17
3.3	Střední průmyslová škola chemická Pardubice	17
3.4	Pojetí a cíle školního vzdělávacího programu	18
3.5	Úvod do předmětu analytická chemie	20
3.6	Odměrná analýza	20
3.6.1	Rozdělení odměrných metod	21
3.6.2	Určení bodu ekvivalence	22
3.6.3	Příprava odměrných roztoků	24
3.6.4	Oxidačně-redukční reakce	27
3.7	Doplňující literatura	42
3.8	Opakování učiva	43
4	Závěr	46

Úvod

Závěrečná práce doplňkového pedagogického studia pojednává o vytvoření učebního textu pro studenty středních škol chemického zaměření.

Cílem této závěrečné práce je návrh učebního textu do předmětu Analytická chemie. Předmět analytická chemie obsahuje řadu kapitol, jako jsou například protolytické reakce, komplexotvorné reakce, srážecí reakce, oxidačně-redukční reakce, kvalitativní chemické analýzy a řadu dalších. Učební text je zaměřený na odměrnou analýzu. Po prostudování tohoto podkladu by měli být žáci schopni vysvětlit princip a znát základní pojmy na téma volumetrie, znát rozdíl mezi jednotlivými typy titrací, znát pojem bod ekvivalence a jeho indikaci, znát přípravu odměrného roztoku, rozdělit odměrné metody, znát jejich principy a příklady stanovení a znát podrobné informace o redoxních reakcích.

Práce je rozdělena na několik částí. První část se zabývá didaktikou odborných předmětů, především didaktikou chemie, didaktickými zásadami a učebními pomůcky používanými v chemii. Druhá část obsahuje návrh učebního textu zaměřeného na odměrnou analýzu. V závěru je věnována pozornost didaktickému rozboru vzniklého učebního textu.

1 Didaktika

Didaktika je vymezována nejčastěji jako teorie vzdělávání a vyučování. Zabývá se výchovně vzdělávacím procesem jako celkem tj. obsahem vzdělání projektovaný v učebních plánech, osnovách a učebnicích, vyučovacími metodami, prostředky a organizačními formy vyučování, motivací podporující aktivitu a kreativitu činnosti žáků a jejich intelektuální rozvoj, všímá si také vybavení školy, učeben a laboratoří. Je důležitou součástí pedagogiky, protože učitel působí výchovně především při vyučování, kde žáci jsou bezprostředním subjektem jeho plánovitého a cílevědomého působení. [1,2]

Didaktika se postupně vyčlenila z obecné pedagogiky, jejich vztah je tak těsný, že často bývá označována „jádrém“ nebo „srdcem“ pedagogiky. Z didaktiky se posléze vyčlenila další dílčí disciplína tzv. oborová didaktika. Oborová didaktika zkoumá obsah a průběh vzdělávacího procesu, včetně didaktické transformace výsledků technických věd. Podstata této transformace spočívá ve formulaci cíle vzdělání, výběru teoretických i praktických poznatků a jejich uspořádání do didaktické soustavy. Do oborových didaktik patří i didaktika odborných předmětů, která je mnohdy označována jako speciální didaktika. [2]

2 Didaktika odborných předmětů

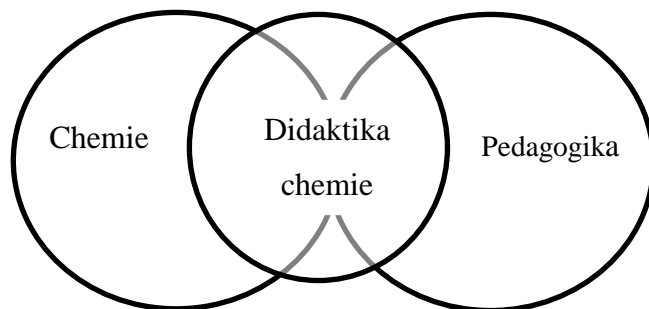
Didaktiku odborných předmětů řadíme svým obsahem mezi pedagogické vědy. „Pojem pedagogika má odlišný význam v závislosti na historickém vývoji tohoto oboru i na současných jejích teoretických směrech“. Didaktika odborných předmětů rozvíjí svou činnost ve vzájemné spolupráci s ostatními pedagogickými obory, ze kterých vychází, opírá se o ně a zároveň jim poskytuje podněty a východiska.

Didaktika odborných předmětů zkoumá obsah a průběh vzdělávacího procesu, včetně didaktické transformace výsledků technických věd. Podstata této transformace spočívá ve formulaci cíle vzdělání, výběru teoretických i praktických poznatků a jejich uspořádání do didaktické soustavy.

Předmětem didaktiky odborných předmětů jsou teorie o vzdělávání v jednotlivých vyučovacích předmětech nebo složkách předmětů např. didaktika fyziky, didaktika chemie, didaktika hry na klavír. Součástí jsou i zákonitosti vzdělávacího procesu, mezi které zahrnujeme jeho obsah, tvorbu, realizaci, průběh a hodnocení jednotlivých fází procesu výuky. Kvalita výuky odborným předmětům je přímo úměrná stupni vzdělání učitele, jeho odborným a praktickým zkušenostem a v neposlední řadě i materiálovému zabezpečení školy. [2]

2.1 Didaktika chemie

Didaktika chemie je vědní obor, ve kterém se překrývají oblasti chemických disciplín s oblastmi disciplín pedagogicko-psychologických (Obr. 1). Zabývá se otázkami výchovy a vzdělání v chemii. Zkoumá jevy a zákonitosti výchovy a vzdělání, které se realizují na věcném podkladě chemie a jejich aplikací. [3]



Obrázek 1: Schéma hraničního charakteru didaktiky chemie

Cílem didaktiky chemie není objevování nových chemických poznatků, jako je cíl vědního oboru chemie, ale objevování nových postupů, kterými si žáci efektivně osvojí plánované vzdělávací chemické cíle. Je potřeba zjišťovat, za jakých podmínek, lze co nejefektivněji dosahovat stanovených výchovně vzdělávacích cílů a podílet se na jejich stanovení. [4]

2.2 Didaktické zásady ve výuce chemie

Didaktické zásady vyjadřují obecné požadavky na plánování, řízení a realizaci účinnost výchovně vzdělávacího procesu. Jedná se o základní pravidla, jak má učitel vyučovat, aby co nejkvalitněji a nejefektivněji dosáhl vyučovacího cíle v jakémkoliv předmětu, nejen v chemii. Většina didaktických zásad se zakládá na psychologických poznacích a je ověřena mnohaletou pedagogickou zkušeností. [1,5]

System didaktických zásad, níže uvedených, není vždy vymezován zcela jednotně a některé uvedené zásady se navzájem prolínají a podmiňují. Z didaktických zásad vycházejí didaktická pravidla, která mnohem konkrétněji sledují dílčí výukové cíle.

Přehled nejvýznamnějších didaktických zásad¹:

- zásada vědeckosti
- zásada osvojení teorie a praxe (spojení školy se životem)
- zásada individuálního přístupu k žákům
- zásada názornosti
- zásada posloupnosti (systematičnosti)
- zásada uvědomělosti a aktivity
- zásada soustavnosti a přiměřenosti

Vedle výše uvedených zásad, které jsou nejčastěji prezentované, existuje celá řada dalších, jako např. zásada zpětné vazby, zásada trvalosti a zásada všestrannosti.

Zásada vědeckosti

Vědeckost obsahu: vždy by se mělo jednat o rozšiřování a upřesňování poznatků, nikoliv o jejich náhradu jinými. Žákům je třeba podávat vždy jen vědecky ověřené poznatky. Vést je k pochopení základních zákonitostí a vztahů, zachovávat správný poměr mezi konkrétním a všeobecným a zevšeobecňovat je na základě faktů. Vyučovací předmět chemie nesmí být uzavřený osnovami, obsahem učebnice či ukončeným vysokoškolským vzděláním učitele. Je na učiteli, aby aktualizoval svoji výuku např. individuálním nebo celoživotním studiem.

Vědeckost metod: spočívá v rámci časových možností ve výuce umožnit žákům, aby pod vhodným vedením alespoň k některým poznatkům sami docházeli, vytvářeli si je (např. myšlenkové zpracování experimentálních výsledků, řešení problémů, diskuze, obhajoba výsledků).

Zásada spojení teorie a praxe

Podstatu zásady tvoří snaha o co největší propojení získaných vědomostí a dovedností s praktickým životem. Snahou učitele a jeho záměrem by mělo být prezentování možností praktického využití předkládaných poznatků už při samotném výkladu. V každé části výchovně vzdělávacího procesu by měla být zastoupena teorie a rovina praktická. V praxi to

¹ Didaktické zásady byly citovány z literatury [1,2,5], podrobný seznam literatury je uveden na konci práce.

znamená, že i když si žák osvojí teoretické vědomosti např. o ředění roztoků, neznamená to že, je budou všichni umět automaticky aplikovat, neboli vyřešit zadaný úkol ředění.

Zásada individuálního přístupu k žákům

Jedním z požadavků kladených na učitele je respektování psychických a fyzických zvláštností každého žáka a sociálních podmínek. V psychické oblasti mohou být mezi žáky stejného věku rozdíly zejména v úrovni poznávacích procesů, rozdíly ve vlastnostech myšlení, rozdíly v řeči, paměti, rozdíly mezi výkonově a strachově orientovanými žáky. Pro učitele je dodržování této zásady velmi náročný úkol a její uplatnění v praxi předpokládá jisté vědomosti a dovednosti učitele z pedagogické diagnostiky.

Zásada názornosti

Mottem pro tuto zásadu by mohlo být „Zlaté pravidlo“, které v díle Didactica Magna z roku 1657 uvádí Jan Ámos Komenský, který kladl důraz na to, aby se do poznání zapojilo co nejvíce smyslů:

„Proto budiž učitelům zlatým pravidlem aby všechno bylo předváděno všem smyslům, kolika možno, totiž věci viditelné zraku, slyšitelné sluchu, cítitelné čichu, chutnatelné chuti a hmatatelné hmatu. A může-li být něco vnímáno více smysly, budiž předváděno více smyslům.“

Zásada názornosti vyžaduje, aby žák získával poznatky přímým stykem s jevy, látkami a procesy např. žák může dotekem na stěnu kádinky poznat, že při rozpouštění NaOH ve vodě se roztok ohřál, nebo zprostředkovaně pomocí přístrojů – pomocí teploměru.

Je vhodné mít na paměti, že úroveň zapamatování je pouhým čtením 10%, sluchovým vnímáním 20%, zrakovým vnímáním 30%, sluchovým a zrakovým vnímáním 50%. Dojde-li k reprodukci vlastními slovy, pak se úroveň zapamatování pohybuje na hranici 70% a vlastní zkušenost zvyšuje samotnou úroveň na 90%.

Zásada uvědomělosti a aktivity

Podstatou aplikace této zásady je přivést žáka k uvědomění si významu probíraného učiva a významu vzdělání obecně. Učitel prostřednictvím odpovídající motivace, stimulací činností, podporou zájmů a vytvářením vhodného prostředí (včetně podporující tvůrčí

atmosféry) směřuje k podpoře aktivity žáků při výuce. Současně je potřeba vytvářet u žáků kladné postoje nejen k vlastnímu učení, ale ke vzdělávání a vzdělání jako celku.

Zásada posloupnosti

Zásada úzce navazuje na zásadu individuálního přístupu. Obsah učiva se musí předávat nejen úměrně k věku a k individuálním vědomostem a dovednostem, ale také s respektováním určitých pravidel, jako např. postupovat od:

- konkrétnímu k abstraktnímu,
- známého k neznámému,
- jednoduchého je složitějšímu,
- blízkého ke vzdálenému.

Zásada soustavnosti a přiměřenosti

Podstatou této zásady je, že nové poznatky se mají opírat o starší, zařazovat se do soustav již dříve osvojených poznatků. Nové poznatky mohou také vytvářet i novou strukturu, do které jsou zařazovány naopak starší izolované poznatky. Pojem není jednorázově vytvořený výsledek poznání, ale rozvíjí se, postupně obohacuje, vytvářejí se vztahy mezi pojmy, zařazují se do hierarchie pojmů a odstraňuje se izolovanost pojmů.

2.3 Učební pomůcky a pomůcky ve výuce chemie

Učební pomůcky lze definovat jako předměty zprostředkující nebo napodobující realitu, napomáhající větší názornosti nebo usnadňující výuku.

Při správném metodickém zakomponování do edukačního procesu umožňují efektivněji dosahovat vzdělávacích cílů. Edukanti mohou manipulovat s reálnými předměty, jejich napodobeninami, zobrazeními a symboly, čímž dochází k žádoucímu propojení vzdělávání s praxí. Učební pomůcka, která má edukantům zobrazit skutečnost, by měla zaujmout, upoutat pozornost a být bezpečná. Pomůcky pro výuku, jak pomůcka vypadá a její složitosti, musíme volit podle věku edukantů.

Jako pomůcky k výuce chemie² jsou označovány materiální vyučovací prostředky, které se bezprostředně vztahují k obsahu výuky. Třídění pomůcek lze provádět z různých hledisek. V didaktice chemie se používá třídění podle funkční stránky a pomůcky k výuce se dělí do následujících skupin. [5,6]

² Pomůcky ve výuce chemie byly citovány především z literatury [5,6], podrobný seznam literatury je uveden na konci práce.

2.3.1 Písemné pomůcky

- *Pracovní texty* jsou určeny k individuální práci ve škole nebo doma. Zaměřují se na upevnění a procvičování učiva. Tyto texty urychlují žákům práci, odstraňují neproduktivní činnost (např. opisování zadání) a umožňují žákům se soustředit na řešení úkolu.
- *Pomocné texty* se používají nepravidelně podle potřeby. Ve výuce chemie se jedná především o různé chemické tabulky či příručky. Učitel by měl vést žáky k tomu, aby se naučili s těmito texty pracovat a používali je (např. v laboratorních úkolech se nezadávají veškeré informace, žáci jsou tak nuceni údaj vyhledat sami).
- *Odborná literatura a časopisy* umožňují sledovat nejnovější technický vývoj zvoleného oboru.
- *Učební texty (učebnice)* pomáhají žákům sledovat výklad nového učiva, do učebnice si mohou vyznačovat důležité pojmy nebo si zapisovat vlastní poznámky, které tam nejsou uvedeny.

2.3.2 Předmětové pomůcky

Mezi tyto pomůcky patří jednak skutečné věci – předměty, látky, ale také věci, které realitu pouze napodobují – modely. Objektové pomůcky slouží k prostorovému pozorování, které je instruktivnější než pozorování dvojrozměrného obrazu, v některých případech je možné s nimi manipulovat např. model krystalové mřížky.

Skutečné látky a předměty

Prezentování těchto objektových pomůcek se dělá formou demonstrace ve vyučovací hodině se slovním doprovodem učitele. Pomůcky jsou typické pro přírodovědné předměty. Patří mezi ně:

- *přírodniny* s dostatečně vyvinutými charakteristickými vlastnostmi (např. tvary krystalů, kousky dřeva, zkameněliny). Tyto předměty se získávají z přírody, některé zůstávají tak jak byly nalezeny, jiné je nutné pro lepší názornost opracovat
- *suroviny*, polotovary a výrobky (např. produkty z ropy, ukázky prvků)
- *ukázka technických zařízení* nebo jejich částí (např. přístroje, nástroje a zařízení)

Pomůcky a zařízení k laboratorním účelům

Mezi pomůckami a zařízeními (přístroji) k laboratorním účelům není přesná hranice. Laboratorní přístroj je chápán jako komplexnější jednotka než pomůcka.

Základními pomůckami v každé laboratoři je laboratorní nádobí, jehož obsah je dán charakterem laboratoře a náplní laboratorních cvičení. Nejběžnější pomůcky jsou vyrobeny ze skla. Jejich velká výhoda je jednak průhlednost, ale také odolnost proti působení většiny chemikálií. Nevýhodou skleněných pomůcek je jejich křehkost. Další často používaný materiál pro pomůcky je porcelán (misky s tloučkem, žíhací kelímky), plast a kov (stojany, držáky, špachtle apod.).











Nejčastějšími přístroji v laboratořích jsou laboratorní váhy s různou citlivostí, zdroje tepla a přístroje na měření. Nejčastějším zdrojem tepla je plynový kahan (výjimečně kahany lihové) a elektrická topná tělesa (plotýnky, lázně, topné spirály). Přístroje na měření nelze obecně specifikovat, neboť se liší možnostmi školy (financování, výukové cíle).

Chemikálie

Chemikálie se řadí do samostatné skupiny vzhledem k jejich specifičnosti a předpisům, které se k nim vážou. Nakládání s chemickými látkami a chemickými přípravky stanovuje zákon č. 350/2011 Sb. Chemické látky a chemické směsi jsou podle zákona rozděleny do následujících 15 skupin dle nebezpečnosti [7]:

- Výbušné látky nebo směsi
- Oxidující látky nebo směsi
- Extrémně hořlavé látky nebo směsi
- Vysoce hořlavé látky nebo směsi
- Hořlavé látky nebo směsi
- Vysoce toxické látky nebo směsi
- Toxické látky nebo směsi
- Zdraví škodlivé látky nebo směsi
- Žíravé látky nebo směsi
- Dráždivé látky nebo směsi
- Senzibilující látky nebo směsi
- Karcinogenní látky nebo směsi
- Mutagenní látky nebo směsi
- Látky nebo směsi toxické pro reprodukci
- Látky nebo směsi nebezpečné pro životní prostředí

Přehled výstražných symbolů nebezpečnosti podle Nařízení EP a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (GHS/CLP) [8]:

				
GHS01 - výbušné látky	GHS02 - hořlavé látky	GHS03 - oxidační látky	GHS04 - plyny pod tlakem	GHS05 - korozivní a žíravé látky
				
GHS06 - toxické látky	GHS07 - dráždivé látky	GHS08 - látky nebezpečné pro zdraví	GHS09 - látky nebezpečné pro životní prostředí	GHS10 - látky s neznámými vlastnostmi

Modely

Modely skutečnost pouze napodobují či transformují. Může být jak materiální (např. atom sestavený z drátů a kuliček) tak i nemateriální (např. chemický vzorec jako model složení látky, stavová rovnice apod.).

Rozdělení modelů:

- *Modely statické* neobsahují pohyblivý prvek. Mají za úkol podat informaci, jak daný předmět vypadá, tam kde není zapotřebí pohybů či funkcí (např. model krystalové mřížky).
- *Modely dynamické* obsahují prvek, který reaguje na vnější podnět. Vykazuje pohyb či reálnou funkci předmětů. Některé modely jsou z praktického hlediska zmenšené, jiné zůstávají v originální velikosti.
- *Modely makroskopické* jsou nejčastěji modely technologických zařízení a přístrojů.

- *Modely mikroskopické* jsou modely atomů a molekul (orbitalové, tyčinkové, kalotové).

Funkce modelů:

- poznávací, umožňuje zprostředkované poznání skutečnosti
- vysvětlující, pomocí modelu žáci snadněji pochopí reálné jevy
- spojovací, navzájem spojuje teorii a skutečnost, obecné a konkrétní poznatky
- předvídací, pomocí modelu lze předvídat chování reality.

3 Návrh učebního textu

Závěrečná práce doplňujícího pedagogického studia je zaměřena na přípravu učebního textu pro předmět analytická chemie. Z důvodu omezeného rozsahu této závěrečné práce je návrh učebního textu zaměřen na vybranou kapitolu z celého obsahu učiva předmětu analytická chemie – Odměrnou analýzu. Na konci učebního textu je uvedena doplňující literatura, ze které mohou studenti čerpat další informace v průběhu studia.

3.1 Cíl práce

Cílem této práce je, aby žáci po prostudování tohoto učebního textu porozuměli jedné z kapitol, které předmět analytická chemie obsahuje a to odměrné analýze. Žáci by měli po prostudování znát a umět vysvětlit základní pojmy a znát principy oxidačně-redukčních reakcí. Pochopení základů odměrných metod činí někdy žákům potíže. Případné nedostatky je potřeba odstraňovat ihned, protože jinak neustále narůstají (týká se to především přípravy odměrných roztoků a výpočtů).

Klíčová slova

Odměrná analýza, titrace, odměrný roztok, bod ekvivalence, oxidačně-redukční reakce.

3.2 Komu je text určen

Učební text je určen žákům 3. ročníku oboru Aplikovaná chemie pro předmět analytická chemie na Střední průmyslové škole chemické Pardubice. Text má poskytnout přehledné informace o odměrné analýze, základních pojmech, principech této metody a vybraných metodách odměrné analýzy. Tyto znalosti uplatňují při praktické maturitní zkoušce a lze je uplatnit také v budoucím zaměstnání.

3.3 Střední průmyslová škola chemická Pardubice

Střední průmyslová škola chemická byla založena v únoru 1946. Spolu s tradičními obory chemie nabízí SPŠCH Pardubice od roku 2012 také vzdělávání v oborech Požární ochrana, Bezpečnostně právní činnost, Kosmetické služby a Kadeřník. Poslední dva jmenované obory byly ke Střední průmyslové škole chemické přiřazeny na základě optimalizace středoškolského vzdělávání v Pardubickém kraji. V roce 2011 došlo k přestěhování SPŠCH do bezprostřední blízkosti areálu Chemicko – technologické fakulty Univerzity Pardubice. Středoškolské a vysokoškolské chemické vzdělávání v Pardubicích se tak téměř propojilo.

3.4 Pojetí a cíle školního vzdělávacího programu

Absolvent studijního oboru Aplikovaná chemie má rozsáhlé znalosti ze všech základních disciplín moderní chemie. Má široké praktické dovednosti v ovládání měřících přístrojů a laboratorní praxi.

Absolvent ŠVP Analytická chemie je navíc vybaven hlubšími znalostmi a dovednostmi v oblasti chemické analýzy, a to jak v oblasti tradičních postupů, tak moderních způsobů chemických analýz s použitím instrumentálních metod, má osvojeny správné pracovní návyky pro praktickou činnost v chemické laboratoři a zpracování získaných výsledků.

Po úspěšném vykonání maturitní zkoušky je absolvent připraven uplatnit se jako technický, technicko-ekonomický a technicko-ekologický pracovník v chemickém a farmaceutickém průmyslu a v různých odvětvích zpracovatelského průmyslu s významným podílem chemického charakteru. Významnými oblastmi možného uplatnění absolventů jsou výzkumné, vývojové a servisní laboratoře, které se zabývají chemickými a biochemickými rozbory, úpravou vody, problematikou likvidace chemického odpadu a odpadních vod, monitorováním životního prostředí. Další možnost uplatnění absolventů je v organizacích a institucích zajišťujících dozor nad dodržováním hygienických norem a v oblasti životního prostředí. Absolventi mohou najít uplatnění i při samostatném podnikání a při obchodně-provozních činnostech podle živnostenského zákona všude tam, kde je požadováno střední vzdělání chemického zaměření s maturitní zkouškou. Absolventi jsou dobře připraveni pro další vzdělávání na všech vysokých školách nebo fakultách zaměřujících se na studium chemických a příbuzných oborů.

Odborné kompetence získané během studia:

- Aplikovat znalosti z chemie a dalších přírodovědných disciplín (dle ŠVP oboru) při výkonu pracovních činností.
- Pracovat s přístroji, stroji a zařízeními.
- Vykonávat laboratorní činnosti.
- Zajišťovat a řídit dílčí technologické procesy v chemické výrobě.
- Řídit chemické provozy a laboratoře a vykonávat obchodně podnikatelské aktivity v chemických firmách.
- Dbát na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci.
- Usilovat o nejvyšší kvalitu své práce, výrobků nebo služeb.
- Jednat ekonomicky a v souladu se strategií udržitelného rozvoje.

Klíčové kompetence získané během studia:

- Kompetence k učení
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni efektivně se učit, vyhodnocovat dosažené výsledky a pokrok a reálně si stanovovat potřeby a cíle svého dalšího vzdělávání.
- Kompetence k řešení problémů
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni samostatně řešit běžné pracovní i mimopracovní problémy.
- Personální a sociální kompetence
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli připraveni stanovovat si na základě poznání své osobnosti přiměřené cíle osobního rozvoje v oblasti zájmové i pracovní, pečovat o své zdraví, spolupracovat s ostatními a přispívat k utváření vhodných mezilidských vztahů.
- Občanské kompetence a kulturní povědomí
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi uznávali hodnoty a postoje podstatné pro život v demokratické společnosti a dodržovali je, jednali v souladu s udržitelným rozvojem a podporovali hodnoty národní, evropské i světové kultury.

- Komunikativní kompetence
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni vyjadřovat se v písemné i ústní formě v různých učebních, životních i pracovních situacích.
- Kompetence k pracovnímu uplatnění a podnikatelským aktivitám
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni optimálně využívat svých osobnostních a odborných předpokladů pro úspěšné uplatnění ve světě práce, pro budování a rozvoj své profesní kariéry a s tím související potřebu celoživotního učení.
- Matematické kompetence
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni funkčně využívat matematické dovednosti v různých životních situacích.
- Kompetence využívat prostředky informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi
 - Vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi pracovali s osobním počítačem a jeho základním a aplikačním programovým vybavením, ale i s dalšími prostředky ICT a využívali adekvátní zdroje informací a efektivně pracovali s informacemi.

3.5 Úvod do předmětu analytická chemie

Předmět analytická chemie je vědecká disciplína, která se zabývá procesy (převážně chemickými) využívanými v chemické analýze. Analytická chemie zasahuje do všech oborů přírodních věd. Hranice mezi fyzikálními a chemickými, resp. chemickými a biologickými metodami je často nejasná (formální), takže mnohé moderní analytické metody se nazývají fyzikálně chemické nebo biochemické.

3.6 Odměrná analýza

Odměrná analýza neboli volumetrie je souhrn kvantitativních metod, při kterých se určuje hmotnostní množství látek tak, že se ke stanovované látce přidává roztok titračního činidla (odměrný roztok) v takovém množství, které je právě nutné pro kvantitativní průběh reakce, tj. bylo dosaženo **bodu ekvivalence**. K určení bodu ekvivalence se používá **indikátor**.

Obsah stanovované látky ve vzorku se vyhodnotí ze spotřebovaného objemu odměrného roztoku a jeho známé koncentrace, ze známého množství vzorku odebraného k analýze a ze známé stechiometrie reakce.

Aby mohla být reakce využita v odměrné analýze, musí splňovat tyto požadavky:

- musí být přesně známá stechiometrie reakce (nesmí probíhat vedlejší reakce)
- reakce musí být kvantitativní
- reakce musí probíhat dostatečně rychle
- musí být k dispozici indikátor k určení bodu ekvivalence pro danou reakci

3.6.1 Rozdělení odměrných metod

Rozdělení metod je založeno na typu reakce mezi stanovovanou látkou a odměrným roztokem. Mezi odměrné metody patří:

Neutralizační (acidobazické) titrace

Jedná se o titrace založené na reakcích mezi kyselinami a zásadami. **Acidimetrie** je metoda, při níž se stanovují látky zásadité povahy titrací odměrným roztokem kyseliny. **Alkalimetrie** je metoda, při které se stanovuje obsah látek kyselé povahy titrací odměrným roztokem zásady.

Srážecí titrace

Podstatou srážecích titrací jsou reakce vedoucí ke vzniku málo rozpustných sloučenin. Do této skupiny patří tzv. **argentometrie**, při níž se stanovovaná látka titruje odměrným roztokem dusičnanu stříbrného (AgNO_3).

Komplexometrické titrace

Mezi komplexometrické titrace se řadí **chelatometrie** a **merkurimetrie**. Při chelatometrii se stanovovaná látka titruje odměrným roztokem chelatonu za vzniku stabilních, málo disociovaných komplexů. Při merkurimetrii se stanovovaná látka titruje odměrným roztokem dusičnanu rtuťnatého a vznikají rozpustné, velmi málo disociované sloučeniny.

Oxidačně-redukční titrace

Tyto titrace využívají reakce mezi oxidačním a redukčním činidlem. Při **oxidimetrických titracích** se stanovují látky redukční povahy, které jsou titrovány roztokem oxidovadla. Jako příklad lze uvést metody jako **manganometrie**, **jodometrie**, **bromatometrie** nebo **dichromatometrie**. Látky oxidační povahy jsou stanovovány titrací odměrným roztokem redukovadla při tzv. **reduktometrických titracích**, mezi něž patří např. **titanometrie**.

Podle způsobu provedení titrace lze odměrné metody rozdělit na metody:

1. Přímé

Jedná se o přímou titraci stanovované látky odměrným roztokem.

2. Nepřímé

Nepřímá metoda se používá v případech, kdy nelze provést přímou titraci z důvodu např. pomalé reakce, špatné rozpustnosti vzorku ve vodě, těkavosti vzorku nebo nedostupnosti vhodného indikátoru pro danou reakci. V praxi se využívají následující způsoby provedení nepřímé metody.

- Při **nepřímé titraci** se roztok stanovované látky reakcí s pomocným činidlem převede na jinou látku, která se pak titruje.
- Při **zpětné titraci** (tzv. **retitraci**) se k roztoku stanovované látky přidá známé nadbytečné množství odměrného roztoku a po proběhnutí reakce se stanoví jeho nespotřebované množství titrací jiným odměrným roztokem.

3.6.2 Určení bodu ekvivalence

Je okamžik, kdy chemická reakce mezi stanovovanou látkou a odměrným roztokem proběhla kvantitativně v poměru stechiometrických koeficientů v chemické rovnici reakce. Identifikujeme změnou zbarvení indikátoru nebo přesněji použitím přístrojů např. metodou potenciometrie či konduktometrie.

1. VIZUÁLNÍ INDIKACE

Do titrovaného roztoku se přidává tzv. **vizuální indikátor**. Indikátory jsou látky podobné povahy jako titrační činidlo nebo titrovaná látka, které reagují se stanovovanou látkou nebo s přebytečným titračním činidlem. V bodě ekvivalence (jeho blízkosti) dochází ke změně barvy indikátoru, vzniku sraženiny nebo fluorescence. Indikátor se používá jen ve velmi malém množství, aby zvětšení spotřeby titračního činidla vlivem reakce s indikátorem bylo zanedbatelné.

Rozdělení indikátorů:

a. Indikátory acidobazické (neutralizační)

Jsou to slabé organické kyseliny nebo zásady. Forma kyselá (*HInd*), která existuje při vyšší koncentraci H^+ (nižším pH) má jinou barvu než forma zásaditá (*Ind*). Používají se při acidimetrických a alkalimetrických titracích. Jako příklad lze uvést fenolftalein, methyloranž, metylčerveň.

b. Metalochromní (chelatometrické) indikátory

Metalochromní indikátory jsou látky tvořící komplex se stanovovaným iontem kovu. Komplex s kovem je odlišně zbarvený než forma volného indikátoru. Před bodem ekvivalence je přítomna forma komplexu s kovem, kolem bodu ekvivalence je v roztoku nedostatek volných iontů stanovovaného kovu, a proto titrační činidlo začne reagovat s ionty kovu vázanými v komplexu s indikátorem. Indikátor tím přejde do volné formy, která je odlišně zbarvena. Příkladem tohoto druhu indikátoru je např. eriochromová čern T, xylenolová oranž nebo murexid.

c. Redoxní indikátory

Jako redoxní indikátory se používají látky, jejichž redukovaná forma je barevně odlišná od formy oxidované. Těchto indikátorů se využívá při oxidačně-redukčních titracích a jako příklad lze uvést difenylamin.

Některé redoxní indikátory fungují nevratně (např. methylčerven) – prvním přebytkem oxidačního činidla se zoxidují, což má za následek rozklad látky, který se projeví odbarvením. Redukcí už však nelze získat zpět redukovanou barevnou formu indikátoru.

d. Srážecí indikátory

Jedná se o látky, které v bodě ekvivalence tvoří s prvním přebytkem titračního činidla barevnou sraženinu nebo zákal. Jako srážecí indikátor v argentometrii se používá např. chroman draselný, který s nadbytkem odměrného roztoku AgNO_3 tvoří červenohnědou sraženinu Ag_2CrO_4 .

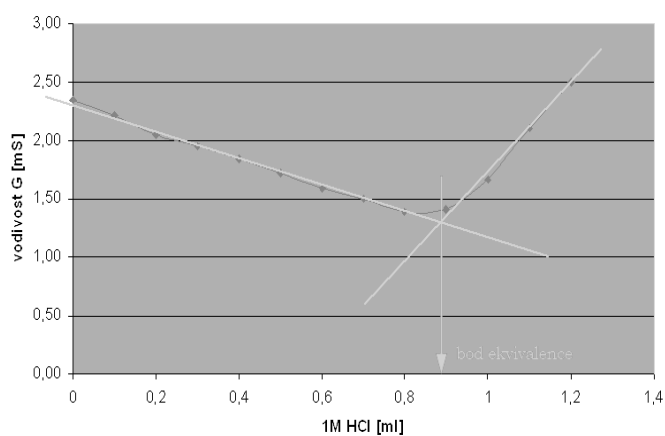
e. Fluorescenční indikátory

Jsou to látky, jež v bodě ekvivalence mění fluorescenci. Využívají se nejčastěji při srážecích titracích (lze je použít i při neutralizačních a redoxních titracích). Mezi využívané zástupce fluorescenčních indikátorů patří fluorescein nebo eosin.

2. INSTRUMENTÁLNÍ INDIKACE

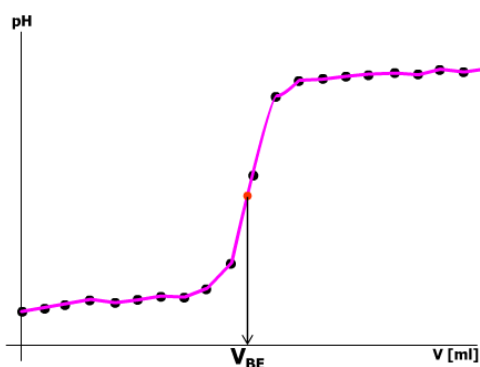
Při instrumentální indikaci bodu ekvivalence se pomocí přístroje měří některá z fyzikálních veličin titrovaného roztoku (např. vodivost roztoku, pH, napětí) v závislosti na objemu přidávaného titračního činidla (**titrační křivka**). V bodě ekvivalence dochází k podstatným změnám na titrační křivce (např. zlom), z určitého bodu této změny lze různými metodami odečíst spotřebu titračního činidla.

Při **konduktometrické** indikaci bodu ekvivalence se sleduje závislost vodivosti roztoku na objemu přidávaného titračního činidla. Na obrázku 2 je znázorněna konduktometrická titrační křivka pro stanovení obsahu NaOH titrací odměrným roztokem HCl.



Obrázek 2: Konduktometrická titrační křivka

Při **potenciometrické** indikaci bodu ekvivalence acidobazických titrací se sleduje závislost pH na spotřebě titračního činidla. Na obrázku 3 je znázorněna potenciometrická titrační křivka při stanovení obsahu HCl titrací odměrným roztokem NaOH.



Obrázek 3: Potenciometrická titrační křivka

3.6.3 Příprava odměrných roztoků

Odměrné metody požadují použití roztoků o známé koncentraci. Obvyklým vyjadřováním koncentrace odměrného roztoku je molární (látková) koncentrace c , tj. látkové množství účinné látky obsažené v 1000 ml titračního činidla. Molární koncentrace by měla být udávána s přesností na 4 až 5 desetinných míst.

Způsob přípravy odměrných roztoků závisí na povaze látky, ze které se roztok připravuje.

STANDARDNÍ ROZTOK

Standardní roztoky se připravují za základních látek, tj. z takových chemikálií, které splňují následující požadavky:

- mají vysoký stupeň čistoty (p.a.)
- reagují kvantitativně a ve známém stechiometrickém poměru
- jsou odolné vůči vzdušné vlhkosti (nesmí být hygroskopické)
- jsou stálé na vzduchu

Mezi další podmínky patří:

- vysoká molární hmotnost
- dobrá rozpustnost ve vodě (nebo v jiném rozpouštědle při titracích v nevodném prostředí)
- žádná nebo nízká toxicita

Základní látka se navažuje diferenčně na analytických vahách (Obrázek 4) a po rozpuštění se doplňuje na přesný objem v odměrné baňce (Obrázek 5).



Obrázek 4: Přesné analytické váhy



Obrázek 5: Odměrná baňka doplněná na přesný objem

Teoretická navážka se vypočítá ze vztahu:

$$m_t = M \cdot c \cdot V$$

M molární hmotnost základní látky [g/mol]

c požadovaná koncentrace odměrného roztoku [mol/l]

V objem roztoku [l]

Ze skutečné navážky základní látky se pak vypočte skutečná koncentrace odměrného roztoku

$$c_s: \quad c_s = c_t \cdot \frac{m_s}{m_t}$$

m_s skutečně navážené množství základní látky [g]

m_t vypočtená teoretická navážka [g]

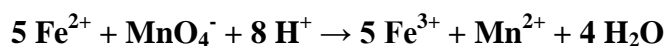
c_t teoretická koncentrace roztoku [mol/l]

ROZTOK O PŘIBLIŽNÉ KONCENTRACI

Většina odměrných roztoků se však připravuje z chemikálií, které nesplňují požadavky na základní látky (např. odměrný roztok NaOH, HCl, KMnO₄). Tyto chemikálie se navažují na předvážkách (není nutné používat přesné analytické váhy) a roztok se doplňuje v odměrném válci na požadovaný objem. Přesná koncentrace takto připraveného roztoku se pak zjistí titrací na vhodnou základní látku, tzv. standardizace roztoku. Standardizace se provádí tak, že se přesně odměřený objem roztoku základní látky pomocí byrety titruje odměrným roztokem o přibližné koncentraci, jehož koncentrace se stanovuje. Ke standardizaci lze použít i roztoky již známé koncentrace, např. již standardizovaný odměrný roztok HCl lze použít ke standardizaci odměrného roztoku NaOH.

VÝPOČET OBSAHU STANOVOVANÉ LÁTKY

Při výpočtech obsahu stanovované složky ze spotřeby titračního činidla se vychází zásadně ze stechiometrie probíhající reakce. Z rovnice reakce je nutné zjistit tzv. **titrační faktor** F_t , tj. počet molů stanovované látky připadající na 1 mol titračního činidla. Jako příklad lze uvést rovnici pro stanovení Fe²⁺ pomocí odměrného roztoku KMnO₄:



$$F_t = \frac{n(\text{Fe}^{2+})}{n(\text{MnO}_4^-)} = \frac{5}{1} = 5$$

K výpočtu procentuálního obsahu stanovované látky ve vzorku se používá tento vztah:

$$\% X = \frac{M_x \cdot c_{odm} \cdot V_{odm} \cdot zF \cdot Ft \cdot 100}{a}$$

Kde: M_x ... molární hmotnost stanovované látky [g/mol]
 c_{odm} ... koncentrace odměrného roztoku [mol/l]
 V_{odm} ... objem odměrného roztoku [l] (spotřeba titračního činidla)
 a ... navážka vzorku [g]
 F_t ... titrační faktor pro danou reakci
 F_z ... zředovací faktor

Zředovací faktor se uvádí v případě, kdy byla navážka vzorku rozpuštěna a doplněna na objem V_z zásobního roztoku a k titraci byl pipetován pouze určitý díl V_p tohoto zásobního roztoku.

$$F_z = \frac{V_z}{V_p}$$

Pro kapalný vzorek se rovnice zjednoduší na tvar:

$$x = M_x \cdot c_{odm} \cdot V_{odm} \cdot F_t \cdot F_z$$

$$F_z = 1000 / \text{pipetovaný objem}$$

Výsledek je uváděn v jednotkách g/l.

3.6.4 Oxidačně-redukční reakce

Oxidačně- redukční titrace využívají reakce mezi oxidačním a redukčním činidlem. Základním požadavkem pro využití určité oxidačně-redukční (redoxní) reakce v odměrné analýze je zcela stechiometrický a rychlý průběh této reakce. Titrační činidlo tedy musí se stanovovanou látkou za daných podmínek reagovat kvantitativně a jednoznačně (nesmí probíhat žádné vedlejší reakce). Ze znalosti stechiometrie reakce, látkové koncentrace a spotřeby odměrného činidla lze vypočítat obsah stanovované látky ve vzorku.

Podle charakteru použitého titračního činidla rozdělujeme odměrné metody na **oxidimetrické** a **reduktometrické**. Při **oxidimetrických titracích** se stanovují látky redukční povahy, které jsou titrovány roztokem oxidovadla, např. roztokem $KMnO_4$, $KBrO_3$, $K_2Cr_2O_7$, atd. Při **reduktometrických titracích** jsou stanovovány látky oxidační povahy titrací odměrným roztokem redukovadla, např. roztokem $TiCl_3$, $SnCl_2$.

K určení bodu ekvivalence se většinou využívají vratné nebo nevratné oxidačně-redukční indikátory (např. difenylamin, methylovanž). V jodometrii se využívá specifický indikátor, tzv. škrobový maz. Při manganometrii (titraci odměrným roztokem $KMnO_4$) se

dosažení bodu ekvivalence projeví prvním přebytkem tohoto titračního činidla, tzn. fialovým zbarvením titrovaného roztoku. K určení bodu ekvivalence lze v řadě titračních metod využít také potenciometrickou indikaci, při níž je možné sledovat průběh titrace a zaznamenat titrační křivku.

MANGANOMETRIE

Manganometrie je odměrná oxidimetrická metoda, při níž se jako odměrný titrační roztok používá manganistan draselný. Roztok KMnO_4 je v kyselém prostředí silným oxidačním činidlem a redukuje se na manganatou sůl podle reakce:



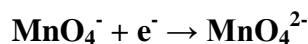
V kyselém prostředí se stanovují např. ionty Fe^{2+} , As^{3+} , Sb^{3+} , H_2O_2 , Sn^{2+} , I^- , Br^- .

V neutrálním nebo slabě zásaditém prostředí se manganistan redukuje pouze na oxid manganičitý podle reakce:



Této reakce se využívá při stanovení Mn^{2+} solí.

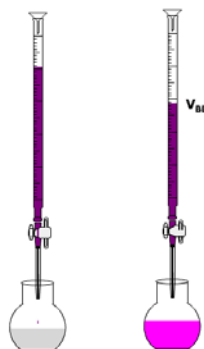
V alkalickém prostředí přechází manganistan na manganan podle rovnice:



Tento způsob je vhodný pro stanovení např. I^- , IO_3^- , S^{2-} , SO_3^{2-} .

Výhody odměrného roztoku KMnO_4

- Při titracích není k určení bodu ekvivalence nutný indikátor, neboť roztok KMnO_4 je intenzivně fialově zbarvený a při titraci přechází na bezbarvou manganatou sůl. Titrovaný roztok se v bodě ekvivalence nadbytečnou kapkou KMnO_4 zbarví do růžova.



Obrázek 6: Indikace bodu ekvivalence roztokem KMnO_4

Nevýhody odměrného roztoku KMnO_4

- Malá stabilita roztoku – vlivem anorganických a organických nečistot se rozkládá za vzniku hnědé sraženiny $\text{MnO}(\text{OH})_2$, která urychluje další rozklad roztoku.
- Reakce MnO_4^- na Mn^{2+} je autokatalytická (katalyzátorem je Mn^{2+}) – pro urychlení je tedy nutné tyto ionty přidat nebo titrovat za tepla.
- Titrace v kyselém prostředí musí být prováděny v prostředí H_2SO_4 , neboť v prostředí HCl by docházelo k oxidaci Cl^- na Cl_2 .

Příprava odměrného roztoku KMnO_4

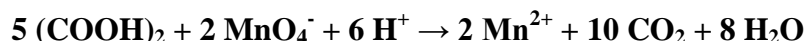
Protože roztok KMnO_4 z důvodu nestálosti nesplňuje podmínky pro standardní roztok, připravuje se jako roztok o přibližné koncentraci a jeho přesnou koncentraci je nutné stanovit standardizací. Standardizace roztoku se provádí až po 14denním stání, kdy je ukončen rozklad roztoku. 14denní stání lze nahradit hodinovým varem roztoku na vodní lázni. Roztok se poté filtruje přes fritu, aby se zbavil sraženiny $\text{MnO}(\text{OH})_2$ (nelze použít filtrační papír, neboť má redukční vlastnosti). Takto připravený roztok se přechovává v tmavých zábrusových lahvích.

Standardizace odměrného roztoku KMnO_4

Ke standardizaci titračního roztoku KMnO_4 se nejčastěji používají tyto základní látky:

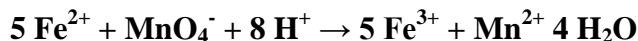
- **Kyselina šťavelová $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.**

Jedná se o přímou titraci roztoku $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ roztokem KMnO_4 při teplotě $80\text{--}90^\circ\text{C}$ a v prostředí H_2SO_4 . Reakce probíhá dle rovnice



- **Mohrova sůl $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$**

Principem je přímá titrace Fe^{2+} v prostředí H_2SO_4 a za přítomnosti H_3PO_4 , která váže reakcí vznikající Fe^{3+} ionty do bezbarvého komplexu, aby svým zbarvením nerušily indikaci bodu ekvivalence. Reakce probíhá dle rovnice:

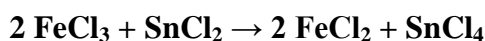


- **Oxid arsenitý As_2O_3**

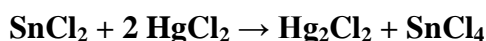
Přehled stanovení

1. Stanovení Fe^{3+} podle Reinhardta-Zimmermanna

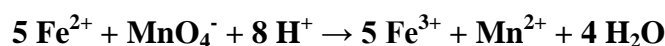
Nejprve se Fe^{3+} redukuje na Fe^{2+} za horka roztokem $SnCl_2$:



Pro zajištění kvantitativní reakce se přidá navíc 1 kapka $SnCl_2$. Případný přebytek $SnCl_2$ se odstraní přidávkem roztoku $HgCl_2$ za vzniku kalomelu Hg_2Cl_2 .

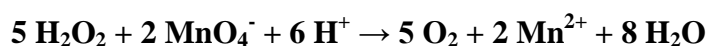


Fe^{2+} se pak titruje roztokem $KMnO_4$ v prostředí Reinhardt-Zimmermannova roztoku, což je směs H_2SO_4 , H_3PO_4 a $MnSO_4$. H_2SO_4 zajišťuje kyselé prostředí pro titraci, H_3PO_4 váže Fe^{3+} do bezbarvého komplexu a $MnSO_4$ slouží jako katalyzátor. Tento roztok také zabraňuje oxidaci Cl^- na Cl_2 . Reakce stanovení probíhá podle rovnice:



2. Stanovení H_2O_2

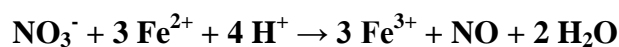
H_2O_2 je rovněž oxidačním činidlem, ale slabším než $KMnO_4$, proto $KMnO_4$ oxiduje H_2O_2 na O_2 podle rovnice:



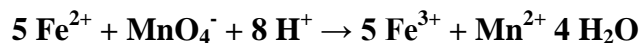
Stanovení se provádí přímou titrací roztokem $KMnO_4$ v prostředí H_2SO_4 za přítomnosti katalyzátoru $MnSO_4$ (nelze zahřát, neboť by se H_2O_2 rozložil).

3. Stanovení NO_3^- (oxidovadel)

Jedná se o nepřímé stanovení, kdy se ke vzorku oxidovadla přidá nadbytek Fe^{2+} soli (látka redukční povahy) a v kyselém prostředí a za varu proběhne redukce dusičnanů až na oxid dusnatý podle rovnice:



Nspotřebovaná Fe^{2+} sůl se stanoví titrací roztokem $KMnO_4$ podle rovnice:



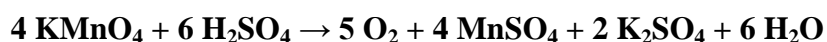
Protože se stanovení provádí za varu, během něhož se může Fe^{2+} sůl oxidovat i vzdušným kyslíkem, provádí se současně tzv. slepá zkouška, při níž se místo vzorku odebere stejné množství destilované vody a roztok se zpracuje stejným způsobem jako vzorek. Z rozdílu spotřeb $KMnO_4$ na slepou zkoušku a na vlastní stanovení se vypočítá obsah dusičnanů.

4. Stanovení CHSK (chemické spotřeby kyslíku) podle Kubela

CHSK neboli chemická spotřeba kyslíku je ukazatelem znečištění vod organickými látkami. CHSK je definováno jako množství kyslíku potřebného na chemickou oxidaci organických látek ve vodě silným oxidačním činidlem.

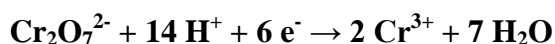
Vyjadřuje se v mg/l O₂ (ekvivalentního spotřebě oxidačního činidla). Jako oxidační činidlo se používá KMnO₄ nebo K₂Cr₂O₇.

Oxidace probíhá v přebytku KMnO₄ v prostředí H₂SO₄ během desetiminutového varu. Po skončení oxidace se přidá známý přebytek roztoku (COOH)₂ a jeho nespoteřované množství se za horka retitruje manganistanem. Současně se provádí slepá zkouška. Rozdíl spotřeby KMnO₄ při vlastním stanovení a při slepé zkoušce odpovídá množství manganistanu spotřebovaného na oxidaci organických látek. Množství manganistanu se přepočítá na množství kyslíku na základě rovnice popisující oxidační působení manganistanu a kyseliny sírové:



DICHROMATOMETRIE

Dichromatometrie je odměrná oxidimetrická metoda, která se používá pro stanovení látek redukční povahy. Jako odměrný titrační roztok se používá dichroman draselný, který je v kyselém prostředí silným oxidačním činidlem a sám se redukuje na chromitou sůl podle rovnice:



V dichromatometrii se k indikaci bodu ekvivalence používá redoxní indikátor difenylamin, který se používá ve formě 1%ního roztoku v konc. H₂SO₄. Redukovaná forma difenylaminu je bezbarvá, oxidovaná forma difenylaminu je zbarvena modrofialově, neboť vzniká difenylbenzidinová violeť.

Výhody odměrného roztoku K₂Cr₂O₇

- K₂Cr₂O₇ splňuje požadavky na základní látku, připravuje se standardní roztok o známé koncentraci.
- Roztok je stálý.
- Titrace lze provádět i v prostředí HCl, neboť nehrozí oxidace Cl⁻ na Cl₂, dichroman je totiž slabším oxidačním činidlem než manganistan.

Nevýhody odměrného roztoku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

- Vysoká toxicita pevného $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- Při titracích je nutné používat indikátor.

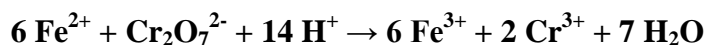
Příprava odměrného roztoku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ je základní látka, připravuje se standardní roztok bez nutnosti standardizace roztoku.

Přehled stanovení

1. Stanovení Fe^{2+} dle Knopa

Jedná se o přímou titraci Fe^{2+} iontů odměrným roztokem $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v prostředí Knopova roztoku (směs H_2SO_4 a H_3PO_4) na indikátor difenylamin do vzniku modrofialového zbarvení podle rovnice:

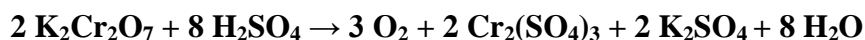


H_2SO_4 zajišťuje kyselé prostředí a H_3PO_4 váže reakcí vznikající Fe^{3+} ionty do bezbarvého komplexu, aby se svým zbarvením nerušily indikaci bodu ekvivalence.

V případě stanovení iontů Fe^{3+} je nutné nejprve provést redukci na Fe^{2+} použitím např. roztoku SnCl_2 .

2. Stanovení CHSK (chemické spotřeby kyslíku)

Oxidace probíhá v přebytku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v prostředí H_2SO_4 během dvouhodinového varu pod zpětným chladičem. Po skončení oxidace se nadbytečný dichroman retitruje železnatou solí na indikátor ferroin do červeného zbarvení. Současně se provádí slepá zkouška. Rozdíl spotřeby železnaté soli se přepočítá na množství dichromanu spotřebovaného na oxidaci organických látek. Množství dichromanu se pak přepočítá na množství kyslíku na základě rovnice popisující oxidační působení manganistanu a kyseliny sírové:



BROMATOMETRIE

Bromatometrie je odměrná oxidimetrická metoda, při níž se stanovují látky redukční povahy. Jako odměrný titrační roztok se používá bromičnan draselný, který je v kyselém prostředí silným oxidačním činidlem. Bromičnan se přitom redukuje na bromid podle rovnice:



Odměrné roztoky

1. Odměrný roztok KBrO_3

Předností roztoku je jeho stabilita, čistota a dostupnost, čímž splňuje požadavky základních látek. Roztoky, připravené rozpuštěním přesné navážky na přesný objem, není třeba standardizovat.

2. Odměrný roztok bromid-bromičnanu $\text{KBrO}_3 + \text{KBr}$

Roztok je směsí KBrO_3 a KBr , který v kyselém prostředí nahrazuje odměrný roztok bromu. Koncentrace roztoku se počítá z navážky KBrO_3 , který se navažuje na analytických vahách. KBr je pouze pomocná chemikálie, navažuje se na předvážkách a dává se v 5násobném molárním přebytku.

Indikace bodu ekvivalence

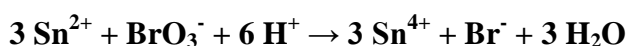
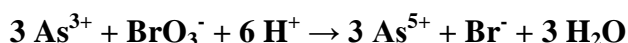
Určení konce titrace je založeno na indikaci uvolněného bromu dvěma způsoby. Buď se využívá nevratného odbarvení methylované nebo methylčerveně a nebo se aplikuje jodometrická indikace, kdy první přebytek bromičnanu poskytne reakcí s přidaným jodidem elementární jód, zbarvující škrobový maz.

Přehled stanovení

1. Stanovení kovových iontů o nižším oxidačním čísle

Patří sem např. stanovení As^{3+} , Sb^{3+} , Sn^{2+} .

Jedná se o přímou titraci roztokem KBrO_3 na indikátor MČ (MO).

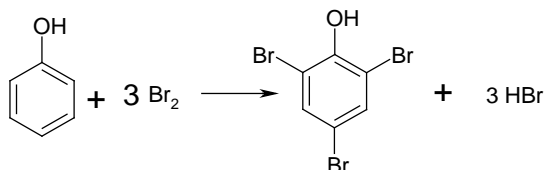


2. Stanovení fenolu

Stanovení fenolu lze provádět přímou nebo nepřímou metodou.

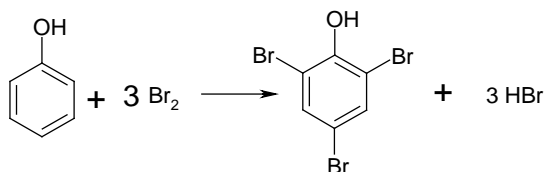
a) přímá metoda

Jedná se o přímou titraci vzorku fenolu bromid-bromičnanovým roztokem za vzniku symetrického tribromfenolu. Titruje se do vzniku žlutého zbarvení nadbytečným bromem.

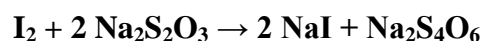
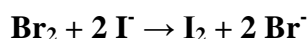


b) nepřímá metoda

Ke vzorku fenolu se přidá známý nadbytek bromid-bromičnanového roztoku, roztok se okyselí a nechá se ½ - 1 hod. stát.



Nspotřebovaný Br_2 se stanoví jodometricky. Přídavkem KI se převede na ekvivalentní množství I_2 , který se titruje roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ na škrobový maz.



Pro vyhodnocení je nutné odvodit vztah mezi fenolem a thiosíranem.

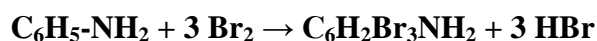
3. Stanovení anilinu

Stanovení anilinu je založeno na stejném principu jako stanovení fenolu.

a) přímá metoda

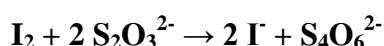
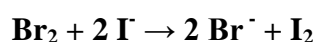
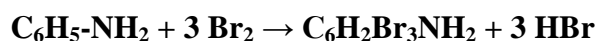
Anilin reaguje s bromem vzniklým reakcí bromidu s bromičnanem v kyselém prostředí na symetrický tribromanilin (titruje se roztokem $\text{KBr} + \text{KBrO}_3$).





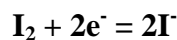
b) nepřímá metoda

Při nepřímém stanovení se přidá nadbytek odměrného roztoku bromid-bromičnanu a nezreagovaný brom se stanoví jodometricky, po přidavku KI vznikne jod, který se titruje thiosíranem.



JODOMETRIE

Názvem jodometrie jsou obecně označovány jak přímé titrace odměrným roztokem jodu, tak nepřímá stanovení oxidovadel, která vyloučí z jodidu jod, jehož množství se zjistí titrací odměrným roztokem thiosíranu. Základem obou metod je vratná rovnováha:



Přímá jodometrie

Přímá jodometrie se používá ke stanovení redukovadel reakcí s roztokem jodu. Při stanoveních se využívá přímá titrace na indikátor škrobový maz do vzniku modrého zbarvení, nebo zpětná titrace, při níž se nadbytek roztoku jodu titruje roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ do odbarvení škrobového mazu.

Nepřímá jodometrie

Při nepřímé jodometrii se stanovují oxidovadla, která oxidují KI v kyselém prostředí na I_2 , jenž se titruje roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ na indikátor škrobový maz do odbarvení.

Odměrné roztoky v jodometrii

Odměrnými roztoky jsou roztoky jodu v jodidu draselném a thiosíran sodný. Odměrný roztok jodu v jodidu se připravuje rozpuštěním I_2 v jodidu draselném (jod je v roztoku převážně jako trijodid I_3^-), protože elementární jod je ve vodě téměř nerozpustný.

Nepřipravujeme standardní roztok, protože I₂ je těkavý, i když je díky resublimaci čistý. Z roztoku se uvolňují dýmy jodu, proto je nutno koncentraci často kontrolovat. Roztok thiosíranu sodného se připravuje z Na₂S₂O₃·5H₂O, který není základní látkou (na vzduchu se totiž oxiduje až na síran). Roztok není stálý, protože se rozkládá vlivem kyselosti způsobené absorpcí CO₂ ze vzduchu. Roztok se stabilizuje přidáním látky zásadité povahy – Na₂CO₃, který posune rovnováhu reakce doleva. Standardizace roztoku se provádí po 14denním stání.

Základní látky

Pro standardizaci odměrných roztoků se v jodometrii používají tyto základní látky:

- K₂Cr₂O₇
- Resublimovaný jod
- Oxid arsenitý As₂O₃
- KBrO₃ a KIO₃

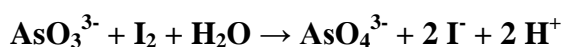
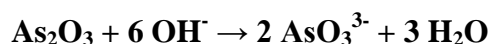
Standardizace

1. Standardizace roztoku I₂

Volí se podle toho, při jakém pH bude prováděna titrace:

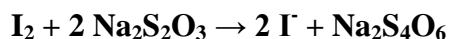
a) pro titrace v neutrálním a slabě zásaditém prostředí

Standardizace se provádí na základní látku As₂O₃, kdy se nejprve As₂O₃ rozpustí v roztoku NaOH za vzniku arsenitanu AsO₃³⁻. Přebytek NaOH se zneutralizuje roztokem H₂SO₄ na fenolftalein (pH = 8 - 9). Vzniklý AsO₃³⁻ se titruje roztokem I₂ na škrobový maz.



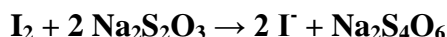
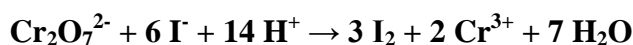
b) pro titrace ve slabě kyselém prostředí

Standardizace se provádí na roztok Na₂S₂O₃ o známé koncentraci na indikátor škrobový maz.



2. Standardizace roztoku Na₂S₂O₃

Standardizace tohoto roztoku se provádí na základní látku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ nebo KBrO_3 . Jedná se o nepřímé stanovení, kdy $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ oxiduje KI v kyselém prostředí na I_2 , který se titruje thiosíranem sodným na škrobový maz.

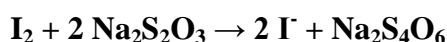
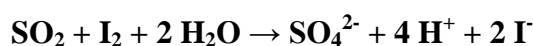
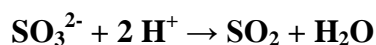


Přehled stanovení

a) Přímá jodometrie – stanovení v kyselém prostředí

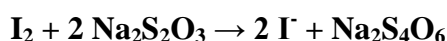
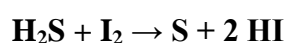
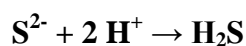
1. Stanovení siřičitanů SO_3^{2-}

Protože se po okyselení SO_3^{2-} HCl uvolňuje SO_2 , který je těkavý, je nutné provádět zpětnou titraci. K okyselenému vzorku SO_3^{2-} se přidá známý nadbytek I_2 a po oxidaci se nespoteřovaný jod titruje roztokem thiosíranu na škrobový maz.



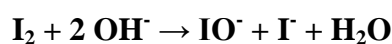
2. Stanovení sulfidů

Po okyselení vzorku sulfidů vzniká H_2S , který je těkavý. Vzniklý H_2S se predestiluje do známého nadbytku roztoku I_2 a nespoteřovaný I_2 se titruje thiosíranem na škrobový maz.



b) Přímá jodometrie – stanovení v zásaditém prostředí

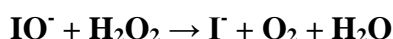
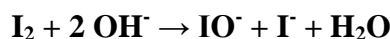
I_2 v zásaditém prostředí disproportionuje na 2 různá oxidační čísla – vzniká směs jodnanu IO^- a jodidu I^- podle rovnice:



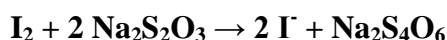
Vlastním oxidačním činidlem je pak IO^- , který je nestálý a ochotně přechází na jodid.

Stanovení H_2O_2 v zásaditém prostředí

Jedná se o zpětnou titraci, kdy se do známého přebytku roztoku I_2 přidá roztok NaOH a vzorek peroxidu vodíku a proběhnou tyto reakce:



Vznikající kyslík, který by mohl oxidovat I^- na I_2 , se z roztoku se odstraní zahřátím. Po ochlazení roztoku se nespoteřebovaný IO^- okyselením převede zpátky na I_2 , který se titruje roztokem thiosíranu sodného na škrobový maz.

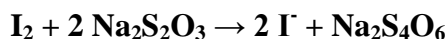


c) Nepřímá jodometrie

Nepřímá jodometrie se používá pro stanovení oxidovadel, která oxidují I^- v kyselém prostředí na I_2 , který se pak titruje roztokem $Na_2S_2O_3$ na škrobový maz.

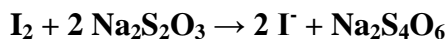
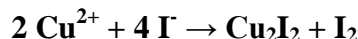
1. Stanovení H_2O_2 v kyselém prostředí

V kyselém prostředí působí H_2O_2 jako oxidovadlo, oxiduje I^- na I_2 , který se stanoví odměrným roztokem $Na_2S_2O_3$ na škrobový maz. Reakci katalyzuje molybdenan amonný $(NH_4)_2MoO_4$.



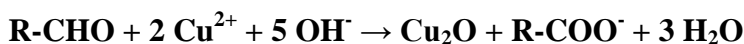
2. Stanovení Cu^{2+}

Ionty Cu^{2+} oxidují ve slabě kyselém prostředí I^- na I_2 , který se titruje roztokem thiosíranu na indikátor škrobový maz.



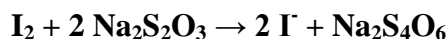
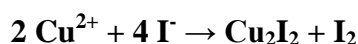
3. Stanovení redukujících cukrů podle Schoorla

Redukující cukry redukují za varu a v silně alkalickém prostředí Cu^{2+} sůl na Cu_2O , který je zbarven červeně.



Cu^{2+} se přidává ve formě Fehlingova roztoku I, což je roztok $CuSO_4$. Zásadité prostředí zajišťuje Fehlingův roztok II, což je roztok NaOH silně konc. s vnanem sodno-draselným, který zabraňuje vysrážení $Cu(OH)_2$. Var musí trvat přesně 2 minuty. Stanovení je založeno na stanovení nespoteřebované

měďnaté soli. K ochlazenému roztoku se přidá KI a roztok se okyslí. Uvolněný I₂ se stanoví titrací roztokem thiosíranu na indikátor škrobový maz.

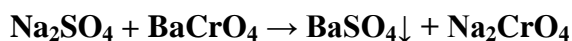


Současně se provádí slepá zkouška. Rozdíl spotřeby Na₂S₂O₃ při slepé zkoušce a při vlastním stanovení se přepočítá na objem přesně 0,1M roztoku thiosíranu, pro který se z empirických tabulek odečte odpovídající hmotnost cukru.

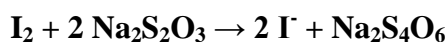
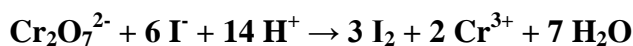
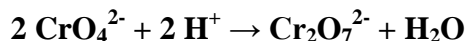
4. Stanovení SO₄²⁻ podle Bruhnse

Jedná se o nepřímé stanovení, kdy se stanovovaná látka převede na jinou látku, která se stanoví jodometricky.

Ke vzorku SO₄²⁻ se přidá nadbytek BaCrO₄ rozpuštěného v HCl, vysráží se BaSO₄ a stanovovaný SO₄²⁻ se převede na ekvivalentní množství alkalického chromanu.

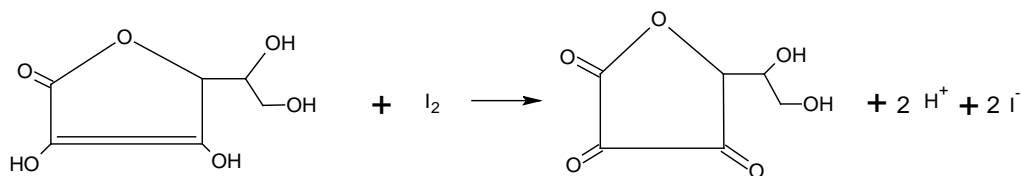


Přebytečný BaCrO₄ se odstraní zalkalizováním roztoku – vyloučí se ve formě sraženiny BaCrO₄. Sraženiny BaSO₄ a BaCrO₄ se zfiltrují fritou. Ve filtrátu přítomný CrO₄²⁻ se okyslením převede na Cr₂O₇²⁻, přidavkem KI se vyloučí jod, který se titruje roztokem thiosíranu na škrobový maz.



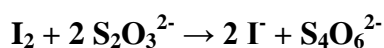
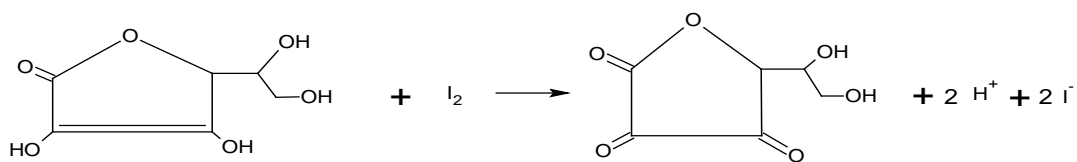
5. Stanovení kyseliny askorbové

Kyselinu askorbovou lze jodem v kyselém prostředí oxidovat za vzniku kyseliny dehydroaskorbové podle rovnice:



Při přímém stanovení se vzorek rozpustí ve vodě a do roztoku se přidá škrobový maz. Roztok se ihned titruje odměrným roztokem jodu do trvalého zbarvení škrobového mazu.

Při nepřímém stanovení se roztoku vzorku přidá známý nadbytek roztoku jodu. Po 10 minutovém stání na chladném a tmavém místě se nespotřebovaný I₂ titruje roztokem thiosíranu na škrobový maz do odbarvení.



TITANOMETRIE

Titanometrie patří mezi reduktometrické metody, při nichž se stanovují látky oxidační povahy. Titruje se roztokem titanité soli. Je nutné pracovat v inertní atmosféře N₂ nebo CO₂ kvůli snadné oxidaci Ti³⁺ vzdušným kyslíkem. Titrace se provádí ve slabě kyselém prostředí, neboť v zásaditém prostředí dochází k hydrolyze a v silně kyselém prostředí je slabším redukčním činidlem.

Odměrné roztoky

Jako odměrný titrační roztok se používá roztok TiCl₃ nebo Ti₂(SO₄)₃. Roztoky se uchovávají v tmavých lahvích v atmosféře N₂ nebo CO₂, aby se neoxidovaly. Destilovaná voda pro přípravu odměrných roztoků se musí vyvařením zbavit vzdušného kyslíku.

Standardizace

Ke standardizaci odměrného roztoku se používají tyto základní látky:

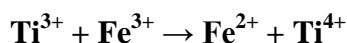
- NH₄Fe(SO₄)₂·12 H₂O
- K₃[Fe(SCN)₆] p.a. (ferrikyanid)
- K₂Cr₂O₇ p.a.

Indikace bodu ekvivalence

Indikaci bodu ekvivalence lze provádět potenciometricky nebo vizuálně za pomoci indikátorů.

- 10% NH₄SCN

Používá se při stanovení Fe³⁺, kdy se v bodě ekvivalence odbarví červené zbarvení.



- **difenylamin**
– Difenylbenzidinová violet, která vzniká oxidací difenylaminu, se první nadbytečnou kapkou Ti^{3+} odbarví.
- **methylenová modř**
– V bodě ekvivalence se odbarví.

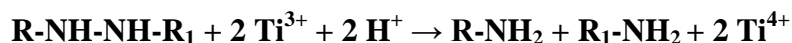
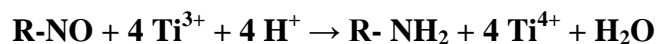
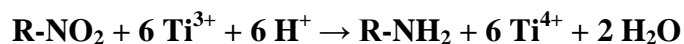
Přehled stanovení

1. Stanovení anorganických látek

Jedná se o přímé stanovení iontů Fe^{3+} , Cu^{2+} , Sb^{5+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$.

2. Stanovení organických látek

Titanometrie se používá pro stanovení nitrolátek, nitrososloučenin, hydrazolátek a azolátek, které se redukují nadbytkem titanité soli na příslušné aminy.



Po redukci se přebytečná titanitá sůl retitruje odměrným roztokem železité soli na thiokyanatan do vzniku červeného zbarvení.

3.7 Doplnující literatura

Volka, K.: Analytická chemie II, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 1995, ISBN 80-7080-227-8.

Bartoš, M.; et al.: Analytická chemie I., Univerzita Pardubice, Pardubice, 2004, ISBN 80-7194-723-7.

Kříženecká, S.; Synek, V.: Základy analytické chemie, Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, 2014.

3.8 Opakování učiva

Úkol č. 1: Vyberte správnou odpověď

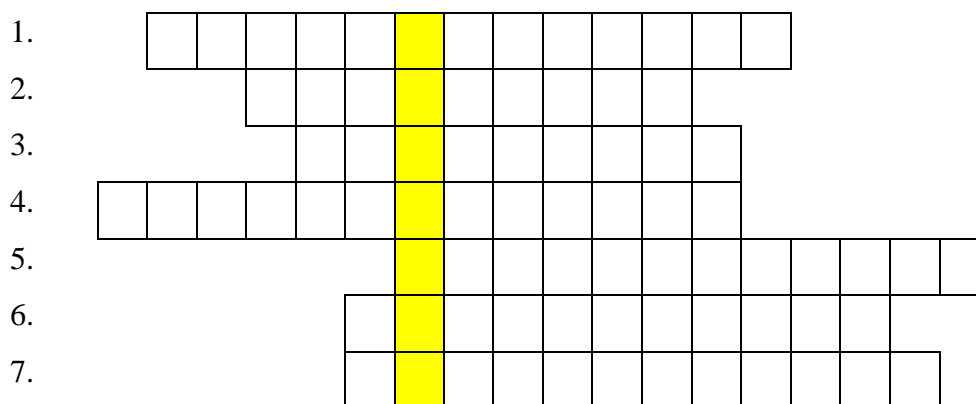
1. Určete, které indikátory se řadí mezi acidobazické indikátory:
 - a) methylčerveň, difenylamin, fenolftalein
 - b) fenolftalein, methyloranž, methylčerveň
 - c) methyloranž, xylenolová oranž, methylčerveň
2. Jak se provádí retitrace?
 - a) K roztoku stanovované látky se přidá známé nadbytečné množství odměrného roztoku a po proběhnutí reakce se stanoví jeho nespotřebované množství titrací jiným odměrným roztokem.
 - b) Roztok stanovované látky reaguje s pomocným činidlem, tím se převede na jinou látku, která se titruje.
 - c) Stanovovaná látka je přímo titrována odměrným roztokem.
3. Jaké roztoky se připravují navážením chemikálie na analytických vahách a po rozpuštění doplněním po rysku v odměrné baňce?
 - a) Tímto postupem se připravují všechny roztoky.
 - b) Standardní roztoky
 - c) Odměrné roztoky o přibližné koncentraci
4. Kterou metodou se stanovují látky kyselé povahy a redukční povahy?
 - a) kyselé - acidimetricky, redukční - pomocí oxidimetrických metod
 - b) kyselé - acidimetricky, redukční - pomocí reduktometrických metod
 - c) kyselé - alkalimetricky, redukční - pomocí oxidimetrických metod
 - d) kyselé - alkalimetricky, redukční - pomocí reduktometrických metod
5. Která z těchto látek nepatří mezi tzv. základní látky a proč?
 - a) KBrO_3
 - b) KMnO_4
 - c) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
6. Jaké nevýhody má odměrný roztok $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ používaný v dichromatometrii?
 - a) je nutné používat indikátor
 - b) roztok je nestálý
 - c) pevný $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ je vysoce toxický

- d) titrace nelze provádět v prostředí HCl – dochází k oxidaci Cl^- na Cl_2
7. Stanovení siřičitanů v kyselém prostředí jodometricky se provádí metodou:
- přímé titrace
 - nepřímé titrace
 - zpětné titrace
8. Které z následujících tvrzení o titanometrii není pravdivé?
- Titanometrie se řadí mezi reduktometrické metody.
 - Titrace se provádějí v inertní atmosféře dusíku, aby nedošlo k oxidaci titračního roztoku.
 - Pomocí titanometrie se stanovují látky redukční povahy, např. azolátky a nitrolátky.
 - K indikaci bodu ekvivalence se používá např. difenylamin nebo methylenová modř.

Úkol č. 2: Odpovězte na následující otázky

- Co je to CHSK a jak se stanovuje?
- Jaké znáte možné způsoby stanovení H_2O_2 ? Popište je.
- Jaké jsou výhody a nevýhody odměrného roztoku používaného v manganometrii?
- Jaké roztoky se používají v jodometrii a jak se připravují?
- Jak se provádí indikace bodu ekvivalence v bromatometrii?
- Co je to Reinhardt-Zimmermannův roztok, kde se používá a proč?
- Jak se provádí stanovení redukujících cukrů podle Schoorla?

Úkol č. 3: Vyluštěte tajenku



1. Jak se nazývá metoda, při níž se stanovovaná látka titruje odměrným roztokem dusičnanu stříbrného?
2. Jak se nazývá látka, která se přidává do titrovaného roztoku pro vizuální určení bodu ekvivalence?
3. Jakým jiným slovem se nazývá zpětná titrace?
4. Jak se nazývá postup stanovení přesné koncentrace roztoku na základní látku?
5. Jak se jmenuje metoda, při které se stanovují látky kyselé povahy titrací odměrným roztokem zásady?
6. Jak se jmenuje metoda, při které se stanovují látky zásadité povahy titrací odměrným roztokem kyseliny?
7. Jak se nazývají indikátory, které se používají při chelatometrických titracích a tvoří komplex se stanovovaným iontem kovu?

Úkol č. 4: *Vysvětlete princip následujících metod, napište a vyčíslete základní rovnice*

1. Manganometrie
2. Jodometrie
3. Bromatometrie
4. Dichromatometrie
5. Titanometrie

4 Závěr

Ve své závěrečné práci z doplňkového pedagogického studia jsem se zabývala návrhem učebního textu do předmětu analytická chemie pro žáky studijního oboru Aplikovaná chemie na SPŠCH Pardubice. Navrhovaný učební text je zaměřen na mnou vybranou kapitolu – Odměrnou analýzu z celého obsahu předmětu analytická chemie. Toto téma jsem si zvolila jednak proto, že je součástí praktických maturitních zkoušek, ale také pro jeho široké uplatnění v praxi.

V první části práce jsem se zaměřila na didaktiku chemie a didaktickým zásadám a pomůckám ve výuce chemie. Druhou část práce jsem věnovala stručné charakteristice Střední průmyslové školy chemické Pardubice, komu je text určen a pojetí a cíle školního vzdělávacího programu. Poté následuje samotný návrh učebního textu do předmětu Analytické chemie. Jednotlivé kapitoly jsou systematicky řazeny a obsahují vždy podstatné informace, tak aby učební text nebyl pro studenty chaotický. Při tvorbě učebního textu jsem upřednostňovala heslovité body v podobě odrážek případně jednoduché souvětí. Důležité pojmy jsem pro přehlednost zvýrazňovala tučným písmem nebo kurzívou. Součástí učebního textu jsou také kontrolní otázky, které by měly prověřit, jestli žáci danou látku dostatečně pochopili a zdali si zapamatovali důležité pojmy. Kontrolní otázky jsou umístěné na konci návrhu učebního textu. Do didaktického textu jsem zařadila také obrázky, které by měly studentům usnadnit představu o vysvětlované látce. Návrh učebního textu vychází z doplňující literatury uvedené na konci učebního textu.

Myslím si, že pro studenty, kteří se rozhodnou pokračovat ve studiu na vysokých školách chemických je tento učební text základním pramenem pro porozumění složitější problematice předmětu analytické chemie.

Literatura

- [1] Janiš, K.: *Obecná didaktika – vybraná témata*, Hradec Králové: Gaudeamus, 2012, ISBN 978-80-7435-224-9.
- [2] Čadílek, M.; Loveček, A.: *Didaktika odborných předmětů*, Brno, PdF MU, 2005.
- [3] PACHMAN, E. a kol.: *Speciální didaktika chemie*. 1. vyd. Praha: SPN, 1986. 66-00-17/1.
- [4] Didaktika chemie [online]. Cit. [2015-05-20]. Dostupné na:

www.eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_chem/externi/.../DIDAKTIKA_CHEMIE.doc
- [5] Dušek, B.: *Kapitoly z didaktiky chemie*, Vysoká škola chemicko-technologická Praha, 2000, ISBN 80-7080-409-2.
- [6] Dostál, J.: *Učební pomůcky a zásada názornosti*, Votobia Olomouc, 2008, ISBN 978-80-7409-003-5.
- [7] Šrámková, J.; Hyšplerová, P.: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v laboratořích na UPCE*, Pardubice, 2013.
- [8] European chemicals agency, dostupné z: <http://echa.europa.eu/cs/chemicals-in-our-life/clp-pictograms>. Cit. [2015-05-15]
- [9] Střední průmyslová škola chemická Pardubice [online]. Cit. [2015-04-15]

Dostupné na <http://www.spsch.cz/informace-o-skole/historie-skoly/>.