

**UNIVERZITA PALACKÉHO OLMOUC**

Přírodovědecká fakulta  
Katedra Anorganické chemie



Bc. Radim Masař

**Příprava vzorových komplexů využitelných ve výuce  
teorie koordinačních sloučenin**

Diplomová práce  
Studijní program: Chemie  
Studijní obor: Učitelství chemie pro střední školy maior – Učitelství geografie  
pro střední školy minor  
Vedoucí práce: doc. RNDr. Bohuslav Drahoš, Ph.D.  
Olomouc 2021

## **Bibliografický záznam**

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Radim Masař

**Název práce:** Příprava vzorových komplexů využitelných ve výuce teorie koordinačních sloučenin.

**Typ práce:** diplomová práce

**Pracoviště:** Katedra anorganické chemie, PŘF Univerzity Palackého v Olomouci

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Bohuslav Drahoš, Ph.D.

**Rok obhajoby práce:** 2021

### **Abstrakt:**

Diplomová práce se věnuje problematice výuky chemie komplexních sloučenin. Teoretická část popisuje základní charakteristiku koordinačních sloučenin, rešerši zabývající se přehledem komplexních sloučenin vybraných přechodných kovů s kyanoidovými, amminovými a oxalatovými ligandy a také postavením koordinační chemie v rámci vzdělávacích programech pro gymnázia a školních vzdělávacích programech u vybraných gymnázií. V rámci teoretické práce je také zpracována analýza středoškolských učebnic z hlediska chemie komplexních sloučenin. Praktická část práce se zabývá dotazníkovým šetřením zabývajícím se výukou chemie komplexních sloučenin u vybraných gymnázií, tvorbou pracovních listů vhodných jako návody do laboratorních cvičení, a hlavně reálnou přípravou dvou sérií kyanokomplexů a oxalatokomplexů, které jsou zpracovány do formy ucelené sbírky a didaktické pomůcky využitelné ve výuce chemie na střední nebo vysoké škole.

**Klíčová slova:** komplexní sloučenina, dotazníkové šetření, kyanokomplexy, oxalatokomplexy

**Počet stran:** 84

**Jazyk:** čeština

## **Bibliographic identification**

**Author's first name and surname:** Bc. Radim Masař

**Title of thesis:** Synthesis of model complexes suitable for the teaching of the theory of coordination compounds

**Type of thesis:** diploma thesis

**Department:** Department of Inorganic Chemistry, Palacky University in Olomouc

**Supervisor:** doc. RNDr. Bohuslav Drahoř, Ph.D.

**The year of presentation:** 2021

### **Abstract:**

The diploma thesis deals with the issues of teaching chemistry of coordination compounds. The theoretical part describes the basic characteristics of coordination compounds, the literature search providing overview of coordination compounds of selected transition metals with cyanido, ammine and oxalato ligands and also the position of coordination chemistry in framework educational programs for secondary schools and school educational programs at selected secondary schools. The theoretical part also includes an analysis of secondary school textbooks in terms of chemistry of coordination compounds. The practical part of the work deals with a questionnaire survey of selected secondary schools focusing on teaching the chemistry of complex compounds, the preparation of worksheets suitable as secondary school laboratory manuals and especially the real preparation of two series of cyanocomplexes and oxalatocomplexes, which are processed into a comprehensive collection and teaching aid, which can be used in teaching chemistry at secondary school or university.

**Keywords:** complex compound, questionnaire survey, cyanocomplexes, oxalatocomplexes

**Nuber of pages:** 84

**Language:** Czech language

Prohlašuji, že zadanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Bohuslava Drahoše, Ph.D., a také, že jsem veškeré použité zdroje řádně uvedl níže v seznamu.

V Olomouci dne .....

.....

Podpis

Chtěl bych poděkovat doc. RNDr. Bohuslavu Drahošovi, Ph.D., za poskytnutí nejen cenných rad a připomínek, ale také za odborné vedení práce. Děkuji Mgr. Evě Zahradníkové za cenné rady při práci v laboratoři a v neposlední řadě také děkuji žákům středních škol, kteří se zúčastnili dotazníkového šetření.

# Obsah

1.	Úvod .....	8
2.	Cíle práce .....	9
3.	Teoretická část práce.....	10
3.1	Základní charakteristika komplexních sloučenin.....	10
3.1.1	Příprava komplexních sloučenin.....	10
3.2	Vybrané komplexní sloučeniny u přechodných kovů 4.periody.....	14
3.2.1	Kyanokomplexy s vybranými přechodnými kovy .....	14
3.2.2	Amminkomplexy s vybranými přechodnými kovy.....	18
3.2.3	Oxalatokomplexy s vybranými přechodnými kovy.....	20
3.3	Koordinační chemie v RVP – G chemie.....	22
3.4	Koordinační chemie ve školních vzdělávacích programech vybraných gymnázií.....	23
3.4.1	Koordinační chemie v ŠVP – Gymnázia Olomouc-Hejčín .....	23
3.4.2	Koordinační chemie v ŠVP – Slovanského gymnázia Olomouc .....	24
3.4.3	Koordinační chemie v ŠVP – Gymnázium Jana Pivečky a Střední odborná škola Slavičín..	25
3.4.4	Koordinační chemie v ŠVP – Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži.....	26
3.5	Rozbor učebnic určených pro gymnázia a SŠ z hlediska výuky komplexních sloučenin .....	27
4.	Praktická část práce.....	31
4.1	Dotazníkové šetření – Chemie komplexních sloučenin ve výuce na SŠ .....	31
4.2	Pracovní listy pro výuku laboratorního cvičení z chemie komplexních sloučenin na SŠ.....	49
4.3	Příprava komplexních sloučenin.....	56
4.3.1	Oxalatokomplexy.....	56
4.3.1.1	Trihydrát tris(oxalato)chromitanu draselného – $K_3[Cr(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ .....	56
4.3.1.2	Trihydrát tris(oxalato)manganitanu draselného– $K_3[Mn(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ .....	56
4.3.1.3	Trihydrát tris(oxalato)železitanu draselného – $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ .....	57
4.3.1.4	Trihydrát tris(oxalato)kobaltitanu draselného – $K_3[Co(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ .....	58
4.3.1.5	Tetrahydrát diaqua-bis(oxalato)nikelnatanu draselného– $K_2[Ni(H_2O)_2(C_2O_4)_2] \cdot 4H_2O$ .....	59
4.3.1.6	Bis(oxalato)měďnatan draselný – $K_2[Cu(C_2O_4)_2]$ .....	59
4.3.1.7	Bis(oxalato)zinečnatan draselný – $K_2[Zn(C_2O_4)_2]$ .....	60
4.3.2	Kyanokomplexy .....	61
4.3.2.1	Hexakyanochromitan draselný – $K_3[Cr(CN)_6]$ .....	61
4.3.2.2	Hexakyanomanganitan draselný – $K_3[Mn(CN)_6]$ .....	62
4.3.2.3	Hexakvanoželezitan draselný – $K_3[Fe(CN)_6]$ .....	63

4.3.2.4	Hexakyanokobaltitan draselný – $K_3[Co(CN)_6]$ .....	63
4.3.2.5	Tetrakyanonikelnatan draselný – $K_2[Ni(CN)_4]$ .....	64
4.3.2.6	Tetrakyanoměďnan draselný – $K_3[Cu(CN)_4]$ .....	65
4.3.2.7	Tetrakyanozinečnatan draselný – $K_2[Zn(CN)_4]$ .....	65
4.4	Výroba dvou sbírek komplexních sloučenin využitelných při výuce chemie na SŠ/VŠ.....	66
5.	Diskuse .....	69
6.	Závěr.....	75
7.	Seznam použité literatury .....	76
8.	Přílohy .....	81

# 1. Úvod

Koordinační sloučeniny neboli komplexní sloučeniny či ionty jsou molekuly, které mají ke svému centrálnímu atomu (Lewisova kyselina) koordinováno několik atomových skupin, iontů, nebo molekul, ty nazýváme ligandy (Lewisova báze). V minulosti nebyla známa přesná struktura těchto sloučenin a panoval názor, že by koordinační sloučeniny mohli být tzv. „sloučeniny sloučenin“, které se skládají z více molekul a vytvářejí sloučeniny II. řádu. Tuto hypotézu vyvrátil švýcarský chemik Alfred Werner, který je považován za zakladatele koordinační chemie. Koordinační sloučeniny jsou připravovány většinou uměle, ale můžeme je najít v přírodě v podobě hydratovaných solí jako je např. modrá skalice ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Zde je centrální atom kation měďnatý a funkci ligandu mají molekuly vody a síranové anionty. Komplexní sloučeniny se vyskytují například v červeném krevním barvivu (hemoglobin), nebo zeleném rostlinném barvivu (chlorofyl), které je důležité při fotosyntéze. <sup>[1]</sup>

S termínem komplexní nebo také koordinační sloučenina se žáci setkávají poprvé během studia na střední škole. Na základní škole se tohle učivo žádným způsobem nevyučuje. Předmět chemie je v RVP – G (rámcově vzdělávacích programech pro gymnázia) zařazen do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. V této oblasti se dále nachází fyzika, biologie, geografie a geologie. Na RVP jsou přímo navázány ŠVP (školní vzdělávací programy), kdy si každá škola může upravit do jaké hloubky bude dané učivo probíráno a jaké jsou od žáků očekávané výstupy. Výuce koordinační chemie se tak na gymnáziích příkládá různý důraz a záleží na konkrétní škole, jakým způsobem a v jaké rozsahu má koordinační chemii zařazenou v ŠVP a zda dává tématu důležitost.

Chemie komplexních sloučenin se na SŠ (střední škola) velmi často vyučuje s velkým důrazem na názvosloví a žákům chybí konkrétní představa, jak komplexní sloučeniny vypadají a jaké mají vlastnosti. Ne vždy má učitel přístup do chemické laboratoře, aby bylo možné si některou z komplexních sloučenin připravit. Pro účely větší praktičnosti výuky komplexních sloučenin může být mimo laboratorního cvičení připravena vhodná didaktická pomůcka, která by demonstrovala vlastnosti komplexních sloučenin. Pro téměř každé učivo na SŠ nebo ZŠ (základní škola) je důležité čas od času udělat šetření, jakým způsobem výuka probíhá, jaké vědomosti si žáci odnášejí a zda je učivo baví. Vhodnou metodou pro sběr těchto informací je dotazníkové šetření.



## 2. Cíle práce

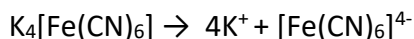
Cílem diplomové práce je příprava vzorových komplexních sloučenin využitelných ve výuce chemie koordinačních sloučenin. Cílem teoretické části práce je zpracovat rešerši odborné literatury poskytující přehled jednoduchých komplexních sloučenin přechodných kovů s vybranými ligandy ( $\text{CN}^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) se zaměřením na jejich syntézu. Dalším cílem je popis postavení chemie koordinačních sloučenin v RVP, a hlavně v ŠVP vybraných gymnázií. Dílčím cílem teoretické části je i analýza středoškolských učebnic z pohledu koordinační chemie.

Cílem praktické části práce je vlastní dotazníkové šetření u vybraných gymnázií, u kterých jsou v rámci teoretické části popsány školní vzdělávací programy z hlediska koordinační chemie. Hlavním cílem praktické části práce je ale příprava komplexních sloučenin vybraných kovů 4. periody (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) s oxalatovými a kyanidovými ligandy a jejich zpracování do podoby ucelené sbírky, která by mohla sloužit jako didaktická pomůcka při výuce chemie koordinačních sloučenin jak na SŠ, tak na VŠ (vysoká škola). Dalším dílčím cílem práce je tvorba sady pracovních listů týkající se laboratorní výuky chemie komplexních sloučenin na SŠ.

## 3. Teoretická část práce

### 3.1 Základní charakteristika komplexních sloučenin

Komplexní sloučeniny obsahují ve své molekule složitější celky (ligandy), které jsou charakterizovány určitým prostorovým uspořádáním a také tím, že zůstávají prakticky nedisociovány i v roztoku. Například hexakynoželeznatán draselný (žlutá krevní sůl) disociuje v roztoku podle rovnice



Další disociace komplexního iontu  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  je prakticky zanedbatelná a je popsána tzv. konstantou stability, která pro tento ion činí

$$\beta = \frac{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}}{[\text{Fe}^{2+}] \times [\text{CN}^-]^6} = 10^{24}$$

Tímto způsobem disociace se liší komplexní sloučeniny od podvojných solí, které jsou v roztoku zcela disociovány. Mezi oběma těmito skupinami sloučenin ovšem existuje spojitý přechod, takže rozhodnutí, zda určitá látka patří mezi podvojně soli nebo komplexy, často závisí na volbě hodnoty stupně disociace, kterou si vybereme jako hraniční. Například částečně asociovaná podvojná sůl  $\text{K}_3\text{AlCl}_6$  a silně disociovaný komplex  $\text{K}_2[\text{CoBr}_4]$  vykazují velmi obdobný disociační stupeň. Pokud se rozhodneme považovat sloučeninu za komplexní, tak by měla být ve vzorci formálně zapsána hranatými závorkami.<sup>[2]</sup>

Komplexní částice mohou být kationtové, aniontové i elektroneutrální povahy. Počet atomů vázaných bezprostředně na centrální atom (tzv. donorové atomy) se nazývá koordinační číslo, to je dost důležité pro určení geometrie koordinační sféry. Nejčastěji se setkáváme s koordinačními čísly 6 (geometrické uspořádání atomů kolem centrálního atomu odpovídá oktaedrickému tvaru, případně při velké deformaci trigonálnímu prisma) a 4 (tvar tetraedru nebo čtverce). Další běžná koordinační čísla jsou 2, 5, 8 a 9. S vyššími koordinačními čísly se můžeme setkat například u lanthanoidů.<sup>[3]</sup>

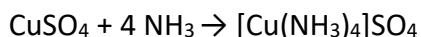
Ionty nebo molekuly vázané na centrální atom nazýváme ligandy. Podle toho, kolika donorovými atomy se ligand vážně na centrální atom, rozeznáváme ligandy monodentátní (jednovazné), bidentátní (dvojvazné) až polydentátní (více vazné). Například nejdůležitějšími monodentátními ligandy jsou halogenidové anionty, kyanidový anion (váže se atomem uhlíku), thiokyanatanový anion (váže se atomem dusíku nebo síry), hydroxidový anion, amoniak, voda, z bidentátních ligandů pak šťavelanový anion (váže se dvěma atomy kyslíku

v sousedních karboxylových skupinách), ethylendiamin (váže se dvěma atomy dusíku) a další ionty a molekuly. Příkladem polydentárního ligandu je šestivazná kyselina ethylendiamintetraoctová (váže se dvěma atomy dusíku a čtyřmi atomy kyslíku z karboxylových skupin).<sup>[2]</sup>

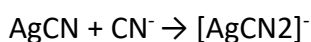
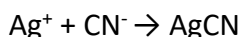
Komplexy můžeme klasifikovat na několik druhů. Tím prvním jsou klasické komplexy Wernerova typu, kdy jsou ligandy vázány ke kovu pomocí volného elektronového páru. Typickými ligandy jsou voda, amoniak, či halogenidové anionty. Jako příklad můžeme uvést chlorid hexaamminnikelnatý. Dalším druhem komplexních sloučenin jsou organokovové sloučeniny d-prvků, zde se jako ligandy vyskytují různé organické sloučeniny, jako jsou alkeny, či areny, mezi které se řadí metallocenové sloučeniny jako je ferrocen a další. Komplexy, které obsahují ve své struktuře 3 a více atomů kovů spojených přímou vazbou kov-kov se nazývají klastry. Posledním typem komplexů jsou bioorganické komplexy, jejichž ligandy pocházejí z biologických systémů. Mezi takové komplexní sloučeniny patří například chlorofyl, nebo hemoglobin.<sup>[2]</sup>

### 3.1.1 Příprava komplexních sloučenin

K přípravě komplexních sloučenin se užívá různých typů chemických reakcí. Pro komplexní sloučeniny jsou typické převážně tři postupy. Kationtové komplexy, zejména amminkomplexy, vznikají zpravidla přímou reakcí molekul ligandu s jednoduchou solí.



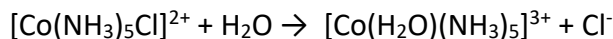
Druhý způsob se hodí pro přípravu aniontových komplexů a spočívá v rozpouštění jednoduchých solí v roztoku ligandu.



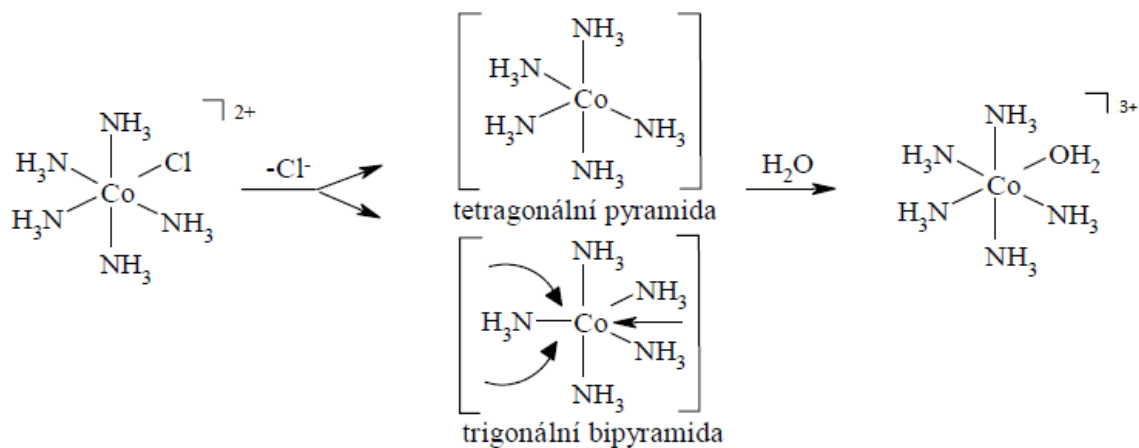
Další častou metodou přípravy komplexů jsou pochody oxidačně – redukční, kdy centrální atom oxidujeme nebo redukuje za přítomnosti ligandu, přičemž vzniká komplex. Někdy lze redukcí uskutečnit přímo nadbytkem ligandu (např. kyselinou šťavelovou). K přípravě komplexních sloučenin lze využít také srážecích a neutralizačních reakcí, tepelného rozkladu, nebo jiných speciálních postupů.

Z hlediska praktického využití jsou ovšem asi nejpoužívanější metodou přípravy komplexních sloučenin substituční reakce. Mezi takové reakce můžeme zařadit substituční reakce ve vodných roztocích (v aquakomplexech) nebo v nevodných rozpouštědlech. Jedním

z typů substitučních reakcí je kyselá hydrolyza neboli aquace, kdy jedním z podrobně prostudovaných systémů je hydrolyza sloučenin obsahující kation pentaammin-chlorokobaltitý, při které na místo složitější oxidace kobaltnatých solí v přítomnosti ligandu se využívá jejich záměna. [4]



Otázkou je, jak porozumět substituci, jestliže jde o nízkospinový a tedy i inertní komplex s konfigurací  $\text{Co}^{(\text{III})} t_{2g}^6$ . Teorie substitučních reakcí u komplexních sloučenin říká, že substituce může probíhat přes meziprodukty se sníženým, či zvýšeným koordinačním číslem. V případě výše zmíněného komplexu je srozumitelnější situace, kdy mají meziprodukty nižší koordinační číslo, u výše zmíněného komplexu koordinační číslo 5, pro které je odpovídajícím tvarem trigonální bipyramidy nebo tetragonální pyramidy. Tyto útvary vznikají zánikem jedné vazby mezi kobaltem a chloridovým ligandem. Oba předpokládané meziprodukty mají podle teorie valenčních vazeb jeden vakantní  $d$  – orbital, jsou labilní, a navíc díky jejich orientaci (v závislosti na geometrii částice  $\text{CoL}_5$  jde o orbitály  $dx^2-y^2$  nebo  $dz^2$ ) jsou vhodně orientovány pro přijetí elektronové páry od přistupujícího ligandu, a proto snadno dochází k regeneraci původního koordinačního čísla.

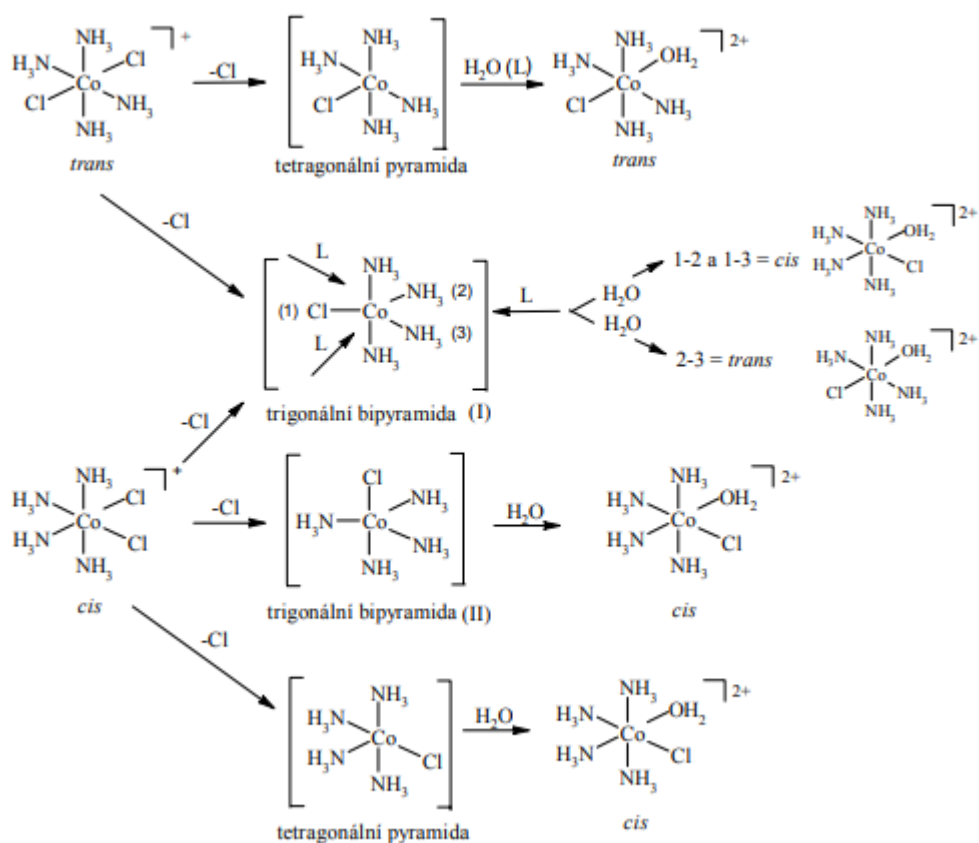


Obr. 1: Průběh substituční reakce u oktaedrického komplexů. [4]

Tím, že přeměna oktaedr  $\rightarrow$  tetragonální pyramida vyžaduje daleko menší reorganizaci struktury oproti trigonální bipyramidě, je tetragonální pyramida pravděpodobnějším meziproduktem. Složitější situace nastává, pokud komplexní sloučenina například kation tetraammin-dichlorokobaltitý  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$  existuje v podobě geometrických isomerů. Substituce v takovém případě probíhá opět přes nezachytitelné meziprodukty. S tím rozdílem,

že z hlediska prostorového uspořádání musíme uvažovat dvě trigonální bipyramidy. Z obr. 2 je patrné, že povaha vzniklých izomerů závisí na struktuře obou reakčních meziproductů. Substituce, které probíhají přes tetragonální pyramidu si vždy zachovávají původní geometrii, naopak substituce s trigonální bipyramidou vede jak k cis, tak i trans izomeru.

V ideálním případě, kdy rozhoduje hlavně statistický faktor, poskytuje izomer trans směs 66 % cis a 34 % trans, kdežto substituce izomeru cis vede k 83 % cis a 17 % trans. Pokud ovšem známe vzájemné zastoupení jednotlivých izomerů, můžeme zpětně usuzovat povahu řídicího meziproductu. Popsaný průběh substituční přeměny, který je popsán na kobaltitých komplexech a který je účelovým zjednodušením poměrně složité teorie nukleofilních reakcí, má ale všeobecnou platnost pro všechny oktaedrické komplexy.<sup>[4]</sup>



Obr. 2: Substituční reakce u oktaedrických geometrických izomerů a jejich průběh.<sup>[4]</sup>

U čtvercových komplexů má výměna ligandů specifický rys, který spočívá v závislosti poměru mezi izomery cis a trans ve výsledném produktu substituční reakce na povaze koordinovaných ligandů. Pomocí experimentálních metod bylo zjištěno, že ligandy jeví jistou

odstupňovanou schopnost usnadňovat substituci v poloze trans k ligandu X. Tento jev se nazývá *trans*-efekt a jeho velikost vystihuje následující pořadí ligandů.



*Trans*-efekt se využívá především k racionální syntéze izomerů platnatých komplexů.<sup>[4]</sup>

## 3.2 Vybrané komplexní sloučeniny u přechodných kovů 4. periody

### 3.2.1 Kyanokomplexy s vybranými přechodnými kovy

Kyanidové ligandy vytváří s přechodnými kovy koordinační sloučeniny, které můžeme označit jako kyanokomplexy. Byly jedny z prvních koordinačních sloučenin, které byly připraveny a studovány.<sup>[5]</sup> S kovy 4. periody vytváří kyanidový ligand komplexní sloučeniny ve více oxidačních stavech. Nejstabilnější jsou kyanokomplexy v oxidačním stupni +II a +III (tabulka 1).

Tabulka 1: Přehled binárních kyanokomplexů kovů 4. periody v různých oxidačních stavech.<sup>[6]</sup>

Oxidační číslo	VI.B	VII.B	VIII.B	VIII.B	VIII.B	I.B	II.B
0	$[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{6-}$				$[\text{Co}_2(\text{CN})_8]^{8-}$	$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{4-}$	
+I		$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{5-}$			$[\text{Co}(\text{CN})_4]^{3-}$	$[\text{Ni}_2(\text{CN})_6]^{4-}$	$[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$
+II	$[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{4-}$	$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{4-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$		$[\text{Co}_2(\text{CN})_{10}]^{4-}$	$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$	$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$
+III	$[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$	$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{3-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$		$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$		
+IV		$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{2-}$					

Kyanidový anion je velmi bazický ligand a silný nukleofil, který tvoří nejčastěji aniontové komplexy.<sup>[5]</sup> Ve spektrochemické řadě patří k nejsilnějším ligandům, kdy větší sílu štěpit ligandové pole má pouze karbonylový ligand.<sup>[7]</sup>

Z hlediska koordinační chemie je zvláštní tím, že má schopnost působit současně jako  $\sigma$ -donor i  $\pi$ -akceptor. Kyanidový ligand je izoelektronový s karbonylovým, či nitrosylovým ligandem, ale je silnějším  $\sigma$ -donor, jelikož má záporný náboj. Diagram molekulových orbitalů (obr. 3) ukazuje, že mezi orbitály uhlíku a dusíku tvořícími trojnou vazbu ( $3\sigma$  a  $2\pi$  orbitály) v kyanidovém aniontu existuje významný energetický rozdíl.<sup>[8]</sup> Nejvýše obsazený molekulový orbital je vazebný  $3\sigma$  orbital, protože energetický rozdíl způsobuje nezaplňený charakter na atomech uhlíku a dusíku, který umožňuje tvorbu  $\sigma$ -vazby mezi ligandem a kovovými ionty. Nejnížší nezaplňené molekulové orbitály jsou dva prázdné protivazebné  $2\pi^*$

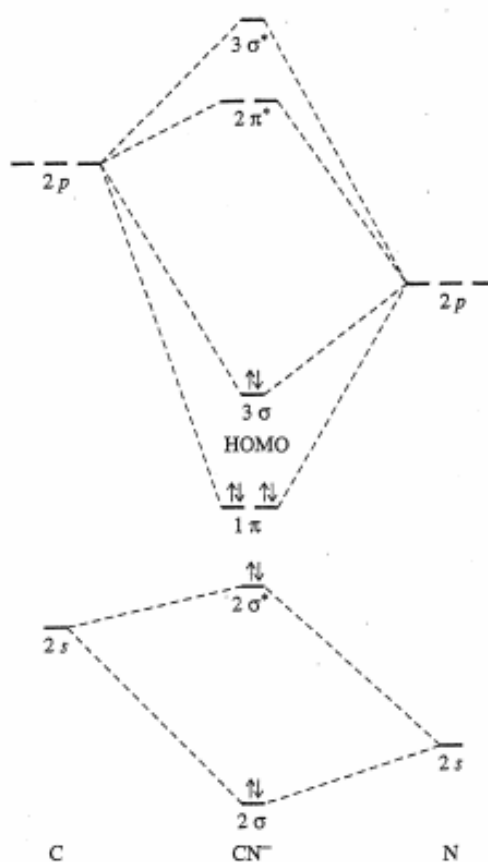
orbitaly, které mohou přijímat elektrony ze zaplněných  $d_{xy}$  a  $d_{yz}$  orbitalů kovu za vzniku  $\pi$ -vazby. Překryv orbitalů za vzniku  $\sigma$ - a  $\pi$ -vazby je znázorněn v obrázku 2. Zároveň má kyanidový ligand ambidentátní charakter. [9]

Tvorba silné  $\sigma$ -vazby zvyšuje hodnotu valenční vibrace vazby mezi atomem uhlíku a dusíku v kyanidovém iontu. To je pravděpodobně účinek snížené polarizace směrem k elektronegativnějšímu atomu dusíku, díky čemuž je vazba v  $CN^-$  symetričtější a silnější. Zvýšením oxidačního stavu kovového iontu má za účinek také zvýšení frekvence valenční vibrace u kyanidového aniontu. Kyanidový ligand také typicky působí i jako  $\pi$ -akceptor ( $NO$  a  $CO$  jsou silnější  $\pi$ -akceptory). Když dochází k zpětné donaci  $\pi$  elektronů, dochází ke snížení valenční vibrace u  $CN^-$ , jelikož dochází i k nárůstu elektronové hustoty v protivazebných  $2\pi^*$  orbitalech. Nižší kladný náboj na kovovém kationtu zesiluje  $\pi$ -vazbu, když porovnáme komplexní sloučeniny  $Hg^{II}(CN)_2$  a izoelektronový  $Au^I(CN)_2^-$ , tak u zlata v oxidačním čísle +I je mnohem silnější zpětná donace a  $\pi$ -vazba. [10]

Pro kyanokomplexy je typická řada tvarů. Pro koordinační číslo 2 jsou u kyanokomplexů běžné komplexy pouze s Ag a Cu v oxidačním stupni +I. Tvar těchto komplexů  $[M(CN)_2]^-$  je lineární. Kyanokomplexy v koordinačním čísle 3 jsou velmi vzácné a jediným známým příkladem je polymerní struktura  $[Cu(CN)_3]^{2-}$ . [11] Pro koordinační číslo 4 jsou obecně možné dvě různé geometrie: tetraedr a čtverec. U kyanokomplexů jsou možné obě geometrie, ale častější je čtvercové uspořádání, které je typické pro dvojmocné Ni, Pd, Pt. Koordinační číslo 5 je poměrně neobvyklé, ale u kyanokomplexů se vyskytuje u niklu v oxidačním čísle +II. [12] Pentakyanonikelnatanový anion může mít tvar jak čtvercové pyramidy, tak i trigonální bipyramidy. U koordinačního čísla 6 jsou známé dvě geometrie. Oktaedrický tvar  $[M(CN)_6]^{3-}$  se vyskytuje u Cr, Mn, Fe, Co ve více oxidačních stavech. [13,14] Hexakyanochromitan a hexakyanomanganitan draselný vykazují izomorfismus. Další možný tvar pro koordinační číslo 6 je trigonální prizma, který ale není u těchto sloučenin častým prostorovým uspořádáním. Pro některé přechodné kovy 5. nebo 6. periody (Mo, W, Re) jsou typická u kyanokomplexů i vyšší koordinační čísla, v tomto případě nejčastěji koordinační číslo 8. [15]

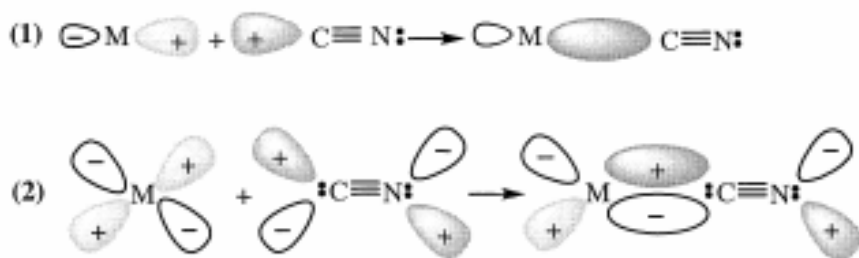
Kyanidový ligand není příliš schopný stabilizovat vysoké oxidační stavy přechodných kovů. Ligandy, které tuto schopnost mají jsou malé a vysoce elektronegativní ( $F^-$ ,  $O^{2-}$ ,  $O_2^{2-}$ ). Výjimku z nesubstituovaných kyanokomplexů tvoří sloučeniny pětimocného a šestimocného

rhenia, či pětímocného molybdenu a wolframu. Stabilita těchto sloučenin je pravděpodobně způsobena zvláštním stereochemickým uspořádáním ligandu kolem atomu kovu. Kromě těchto případů existují ještě další dvě komplexní sloučeniny, a to  $[\text{Mn}^{\text{IV}}(\text{CN})_8]^{4-}$  a  $[\text{V}^{\text{IV}}(\text{CN})_6]^{2-}$ . Ani jedna z těchto koordinačních sloučenin ale nebyla uspokojivě charakterizována. V nízkých oxidačních stavech vytváří kyanidový ligand stabilní komplexy například s niklem, či kobaltem. [16]



Obr. 3: Diagram molekulových orbitalů  $\text{CN}^-$  aniontu.



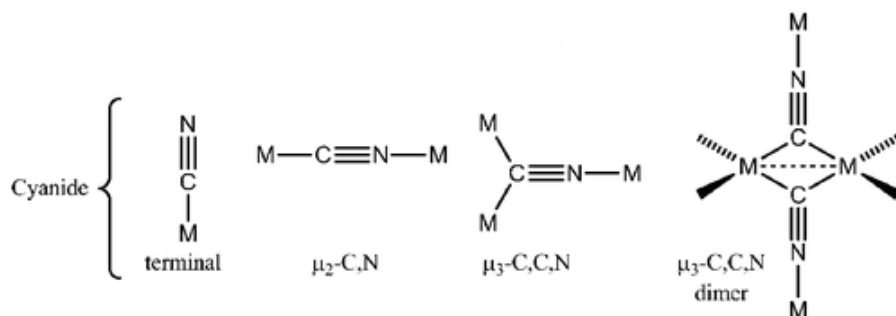


Obr. 4: Schéma znázorňující překrytí orbitalů mezi kyanidovým ligandem a kovem za vzniku  $\sigma$ -vazby (1) a  $\pi$ -vazby (2, zpětná donace).

Kyanokomplexy se obecně připravují přímou reakcí kyanidových solí s příslušnou solí daného kovu, většinou ve vodném roztoku. Pokud jsou na kovu přítomny další ligandy, jsou často nahrazeny kyanidovými ligandy.

Kyanidové anionty se velmi často používají jako ligandy pro vytváření koordinačních polymerů.<sup>[17]</sup> Mezi známé příklady patří berlínská modř ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ), kterou na počátku 18. století za pomoci náhody vytvořil německý malíř Diesbach, téměř o tři sta let později se tato sloučenina stala velmi studovanou oblastí koordinační chemie.<sup>[18,19]</sup>

V posledních letech byla snaha vytvořit supramolekulární materiál z různých stavebních jednotek.<sup>[20]</sup> Jedním z nejlepších možných příkladů v této oblasti jsou komplexy, ve kterých kyanidové anionty slouží jako můstky pro vytváření více rozměrných struktur.<sup>[21]</sup> V současnosti je hodně zkoumána organokovová chemie kyanokomplexů. Velkého využití nacházejí tyto koordinační sloučeniny v oblasti supramolekulární chemie pro stavbu různých 1D, 2D nebo 3D struktur. Kyanokomplexy vykazující polymerní struktury mohou napodobovat přirozeně se vyskytující minerály. Tyto sloučeniny jsou zajímavé jako iontoměniče, molekulární síta, či materiály pro skladování plynů. Kyanokomplexy mohou sloužit jako prekurzory homo a hetero bimetalických katalyzátorů. Nedávno se objevily kyanokomplexy různých stupňů dimenzionality obsahující paramagnetické atomy, které byly předmětem magnetických studií. V posledních několika letech se upnula pozornost fyziků na studium 1D magnetických systémů. Jejich experimenty potvrdily řadu teoreticky předpovídaných nových jevů, které nemají obdobu v klasickém 2D nebo 3D.<sup>[22]</sup>



Obr. 5: Koordináční módy kyanidového ligandu, kter může sloužit jako mstkujc. [22]

Často užívan postup spočívá ve spojení dvou stavebních bloků, obvykle jde o kyanokomplex přechodného kovu, jehož kyanidove ligandy se stvj mstkujcmi po navázání druhého komplexu s prázdnými koordináčnmi msty. Přestože je kyanidov anion monodentátní ligand a m jako donorov atom vždy uhlík, kyanokomplexy se obecn nepovažují za organokovove sloučeniny. [23]

### 3.2.2 Amminkomplexy s vybranými přechodnými kovy

Amoniak může v koordináčních sloučeninách vystupovat jako ligand, kter řadíme k  $\sigma$ -donorovm ligandům. Molekuly amoniaku mají vyrazn nukleofiln vlastnosti a jsou proto schopny tvořit s mnohými kationty více  mne stabilní koordináčn sloučeniny – amminkomplexy. V řadě amminkomplexů jsou ligandy amoniaku tak pevn poutány k centrálnímu iontu, že vznikl útvar ped svou stabilitou obdobn aquakomplex. [24] Amoniak, kter je vázán v koordináčních sloučeninách je vyrazn kyselejší neŹ volně molekula amoniaku. Ve spektrochemick řad patří ke stredn silnm ligandům. [6] U přechodných kovů 4. periody jsou stabilní zejména hexaamminkomplexy  $[M(NH_3)_6]$  ( $M = Co, Cr$  v oxidan stavu +III, v oxidačním stavu +II pak  $Ni, Cu$ ). [24]

Další trojmocn kationty přechodných kovů 4. a 5. periody, kter tvoří s amoniakem hexaamminkomplexy jsou  $Rh, Ir, Ru, Pd, Pt$ . Stabilní jsou u pechodn kovů také tetraammin komplexy, a to především u trojmocného  $Au$ , dvojmocn  $Pt$  a  $Pd$ . Koordináční sloučeniny dalších přechodných kovů 4. periody jako  $V, Mn, Fe$ , byly připraveny, ale jsou mne stabilní. [25]

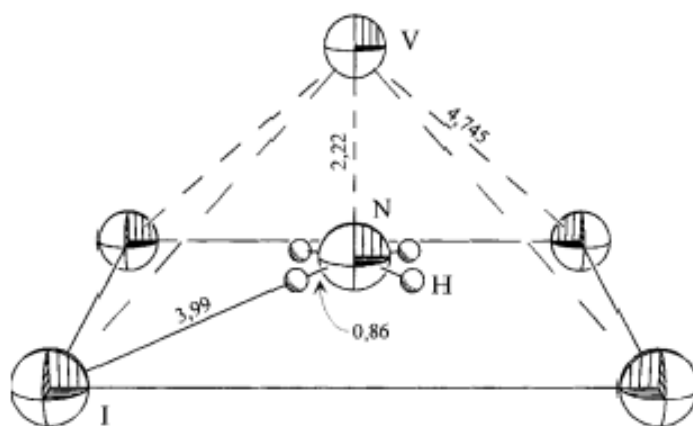
Z vodnch roztoků můžeme připravit i amminkomplexy dalších kovů tohoto typu v oxidačním stupni +II, například  $Cu, Zn, Cd, Co, Ni, Fe, Hg$ . Naproti tomu kationty alkalických kovů, kovů alkalických zemin,  trojmocn hliník tvoří amminkomplexy nestabiln. Jelikož aquakomplexy těchto kationtů jsou pomrne stal, nelze jejich amminkomplexy připravit

z vodných roztoků. Molekuly vody jsou v koordinační sféře poutány příliš pevně, proto není možná substituce amoniakem.<sup>[24]</sup>

Oktaedrické uspořádání  $[M(\text{NH}_3)_6]\text{X}_2$  ( $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ) je u 4. periody přechodných kovů typické pro V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni. Jodid hexaamminvanadnatý (Obr. 6) a chromnatý lze připravit reakcí jodidu vanadnatého, nebo chromnatého s kapalným amoniakem za nižších teplot.<sup>[25]</sup>

Obdobné komplexní sloučeniny Mn, Fe, Co se připravují reakcí chloridů daných kovů se superkritickým amoniakem při teplotách okolo 400 °C. Pro Co, Cr u oktaedrických amminokomplexů je ovšem více typické oxidační číslo +III, ve kterém jsou tyto kovy v komplexech stabilnější. Některé přechodné kovy 4. periody (Zn, Cu) vykazují tetraedrické uspořádání  $[M(\text{NH}_3)_4]\text{X}_2$  ( $\text{X} = \text{Br}, \text{I}$ ). Dají se připravit reakcí bromidů, či jodidů daného kovu s amoniakem.<sup>[26]</sup>

Obdobné komplexní sloučeniny Mn, Fe, Co se připravují reakcí chloridů daných kovů se superkritickým amoniakem při teplotách okolo 400 °C. Pro Co, Cr u oktaedrických amminokomplexů je ovšem více typické oxidační číslo +III, ve kterém jsou tyto kovy v komplexech stabilnější. Některé přechodné kovy 4. periody (Zn, Cu) vykazují tetraedrické uspořádání  $[M(\text{NH}_3)_4]\text{X}_2$  ( $\text{X} = \text{Br}, \text{I}$ ). Dají se připravit reakcí bromidů, či jodidů daného kovu s amoniakem.<sup>[26]</sup>



Obr. 6: Vzdálenost molekul  $\text{NH}_3$  v  $[\text{V}(\text{NH}_3)_6]\text{I}_2$  <sup>[25]</sup>

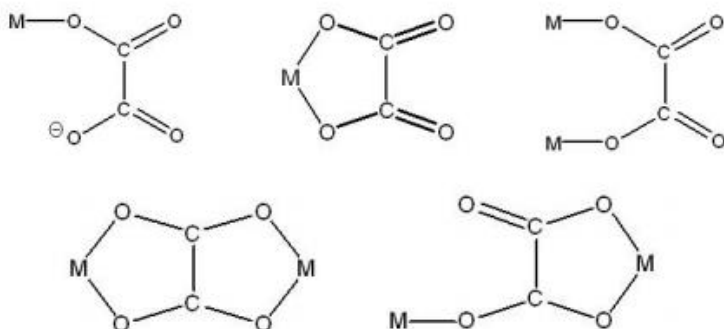
Syntéza amminokomplexů lze v mnohých případech uskutečnit přímo reakcí plynného amoniaku na příslušnou jednoduchou sůl v dobře dispergované tuhé fázi. Při přípravě amminokomplexů z vodných roztoků se zpravidla postupuje tak, že působí na roztok příslušné

soli koncentrovaným roztokem amoniaku, někdy za přítomnosti ammonné soli, jindy se používá plynný amoniak za současného chlazení reakční směsi ledem. Komplex pak lze vysrážet přidávkem alkoholu. Při dostatečné stabilitě komplexu se může použít i přidavku konc. kyseliny chlorovodíkové nebo je možnost sytit reakční směs plynným chlorovodíkem za chladu. Má-li centrální atom sklon k oxidaci, musí se provádět všechny operace v ochranné inertní atmosféře za nepřítomnosti vzduchu. Hexaamminkomplexy některých trojmocných a čtyřmocných prvků je možné proto připravit opatrnou oxidací příslušných amminkomplexů dvojmocných kovů, která se obvykle realizuje jednoduchým prosáváním vzduchu reakční směsí. Tímto způsobem je možné připravit především amminkomplexy kobaltu a platiny. U chromu, kobaltu a platinových kovů je však navázání molekul amoniaku spojeno s již uvedeným vytěsněním negativních koordinačních partnerů původního komplexu, a proto neprobíhají tyto pochody za vzniku výhradně čistých hexaammin sloučenin. Například při přípravě chloridu hexaamminkobaltitého vznikají vzhledem k stupňovitě probíhající záměně chloridových ligandů i produkty jako je chlorid pentaammin-chlorokobaltitý. Při přidavku aktivního uhlí je však přeměna chloridu kobaltnatého na chlorid hexaamminkobaltitý téměř kvantitativní. Podobně lze z příslušných pentaammin-chlorokomplexů kobaltu a chromu vytěsnit koordinované chloridové ligandy účinkem amoniaku za zvýšené teploty a tlaku. Obdobně lze připravit i hexaamminsloučeniny jiných kovů například rhodia, či iridia.<sup>[24]</sup>

Z hlediska využití amminkomplexů jsou obecně nejvýznamnější sloučeniny platiny a stříbra, které mají uplatnění ve zdravotnictví. Zřejmě nejznámějším a nejvíce využívaným amminkomplexem přechodného kovu je cisplatina ( $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ), která se používá jako účinná látka při léčbě celé řady nádorových onemocnění (rakovina vaječníků, prostaty, či varlat).<sup>[27]</sup>

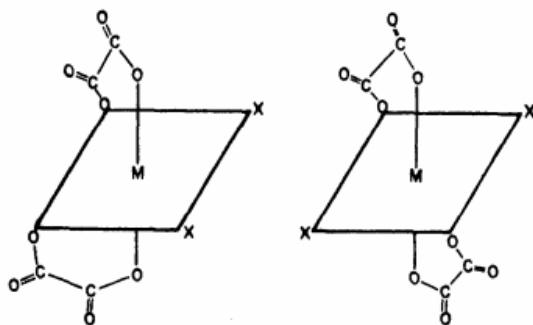
### 3.2.3 Oxalatokomplexy s vybranými přechodnými kovy

Šťavelový aniont je jako ligand poměrně univerzální, protože může působit jako monodentátní i bidentátní ligand (viz obr. 7). Je schopen tvořit můstkové vícejaderné komplexy.<sup>[28]</sup> Stabilní koordinační sloučeniny s oxalátovým/šťavelovým ligandem tvoří z přechodných kovů 4. periody několik prvků, které tvoří tris(oxalato)komplexy  $[\text{M}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$  ( $\text{M} = \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Co}$  v oxidačním stupni +III). Z hlediska prostorového uspořádání mají tvar oktaedru. Skupina těchto kovů tvořící se šťavelovým ligandem koordinační sloučeniny vykazující optickou chiralitu.<sup>[29]</sup>



Obr. 7: Možné koordinační módy šťavelanového ligandu v oxalatokomplexech. [29]

Další stabilní komplexy vytváří z kovů 4. periody Cu, Ni, a to zejména v oxidačním stupni +II. Pro bis(oxalato) komplexy některých kovů (Cr, Mn, Al, Fe, Ir) je typická *cis* a *trans* izomerie (viz obr. 8). Jako příklad můžeme uvést anion diaqua-bis(oxalato)chromitý. Cis izomer má menší stabilitu. [28]



Obr. 8: *Cis* a *trans* izomery bis(oxalato) komplexů typů  $[M(C_2O_4)_2X_2]$ . [28]

Tris-(oxalato) a bis-(oxalato) komplexy přechodných kovů 4. periody se obecně připravují reakcí solí kyseliny šťavelové se sloučeninami těchto kovů jako jsou jejich soli, oxidy nebo hydroxidy. [28] Byla dlouhodobě zkoumána fotochemie roztoků tris(oxalato)komplexů  $[M(C_2O_4)_3]^{3-}$  ( $M=Cr, Fe, Co$ ). U tris(oxalato)chromitanu byla prokázána zřejmá odolnost vůči fotochemickému rozkladu ultrafialovým i viditelným světlem. [30]

Koordinační módy oxalátového ligandu (Obr. 7) jsou rozmanité, a proto existuje celá řada vícejaderných komplexů. Ze strukturního hlediska jsou známy komplexy s iontovou, řetězovou a vrstevnatou strukturou. Přechodné kovy 4. periody jsou schopné tvořit s oxalátovým ligandem chelátové struktury (viz obr.7). [31]

Většina jednoduchých šťavelanů je velmi špatně rozpustná ve vodě, výjimkou jsou šťavelany alkalických kovů (Li, Na, K) a taky železa v oxidační stupni +III. Šťavelany dvojmocných kovů mají podobnou rozpustnost, přičemž nejvíce rozpustným je šťavelan hořečnatý a nejméně rozpustné jsou šťavelany vápenaté a olovnaté.<sup>[32]</sup>

Obecně hrají alkalické šťavelany důležitou roli nejen v přírodě, ale i v chemii. Draselné a sodné soli kyseliny šťavelové se nacházejí v mnoha rostlinách (jetel, šťovík, špenát, rebarbora).<sup>[33]</sup> Šťavelany nacházejí využití v průmyslu, či lékařství. Používají se například na odstraňování skvrn ve fotografii, k čištění a bělení přírodních vláken.<sup>[34]</sup> V analytické chemii se oxalatokomplexy používají pro detekci a stanovení některých kovů. Například pro detekci manganu se používá tris(oxalato) manganitan draselný.<sup>[35]</sup>

### 3.3 Koordinační chemie v RVP – G chemie

Chemie je v RVP – G (rámcově vzdělávacích programech pro gymnázia) rozdělena do čtyř modulů, a to konkrétně obecná chemie, anorganická chemie, organická chemie a biochemie. Vždy jsou popsány základní očekávané výstupy, které si má žák z daného modulu odnést. Mimo očekávaný výstup žáka je v každém modulu uveden i souhrn učiva, které modul obsahuje. Obecným problémem, nebo také výhodou (záleží, jak na to nahlížíme) RVP G – chemie je přílišná strohost tohoto kurikulárního dokumentu. Když se totiž podíváme na učivo jednotlivých modulů, tak zjistíme, že je uvedeno příliš obecně a není konkrétně uvedeno, co všechno má daná kapitola obsahovat. Modul anorganické chemie například obsahuje *učivo s – prvky a jejich sloučeniny*, ale už nikde neuvádí konkrétní sloučeniny, což dává určitou volnost pro jednotlivé školní vzdělávací programy. Když se podíváme například do RVP G – fyziky, tak najdeme učivo v jednotlivých modulech konkrétně rozepsáno, to u žádného modulu chemie neplatí.

Koordinační chemie jako učivo není konkrétně uvedena v žádném modulu, a to z toho důvodu, že má rozsah jak do obecné chemie, tak do anorganické chemie a částečně se může dotýkat i modulu biochemie.

Obecná chemie je modul, který má žákovi přinést základní poznatky chemie. Probíhá od začátku prvního ročníku čtyřletého gymnázia až do přelomu dubna a května téhož ročníku. Z hlediska koordinační chemie je důležitým učivem chemická vazba, která dává žákům základní

poznatky o struktuře látek a poprvé se žáci setkají s koordinačně – kovalentní vazbou neboli donor akceptorovou, která je pro pochopení koordinační chemie nezbytná. Do modulu obecné chemie se taky řadí výuka názvosloví, která je stěžejní i pro výuku koordinační chemie, kdy se právě názvosloví komplexů dává na gymnáziích poměrně velký význam a je mnohdy z koordinační chemie jednou z nejvíce vyučovaných látek.

Z modulu anorganické chemie by si měl žák odnést základní poznatky všech skupin periodického soustavy prvků a charakterizovat významné anorganické sloučeniny. Anorganická chemie se na čtyřletém gymnáziu probírá od konce prvního ročníku do dubna druhého ročníku. Z hlediska chemie koordinačních sloučenin je důležité učivo d– a f – prvky a jejich sloučeniny. V rámci učiva d– prvků by se měl žák setkat s vybranými komplexními sloučeninami například u železa, kobaltu, či niklu.

S koordinační chemií se mohou žáci teoreticky setkat i v modulu biochemie, jelikož například ve struktuře hemu, či chlorofylů najdeme koordinované kovy.<sup>[37]</sup>

### **3.4 Koordinační chemie ve školních vzdělávacích programech vybraných gymnázií**

Gymnázia byla vybrána na základně dotazníkového šetření, které zde bylo realizováno.

#### **3.4.1 Koordinační chemie v ŠVP – Gymnázia Olomouc-Hejčín**

Gymnázium Olomouc – Hejčín poskytuje všeobecné střední vzdělání v osmi letém, šesti letém a čtyř letém programu. U šesti letého studijního programu probíhá výuka částečně i v anglickém jazyce. Gymnázium dlouhodobě spolupracuje s Univerzitou Palackého, zejména s filozofickou a přírodovědeckou fakultou, což této škole umožnilo statut: "Fakultní škola Univerzity Palackého". V současnosti školu navštěvuje více než 1000 studentů, to z ní dělá jedno z největších gymnázií v České republice.<sup>[38]</sup>

Když se podíváme na učivo koordinační chemie do školního vzdělávacího programu, tak poprvé se s touto látkou žáci setkají v prvním ročníku v rámci obecné chemie v sekci učiva chemické vazby, kdy by měla být probrána koordinačně – kovalentní vazba. Téma by mělo být probráno podle ŠVP zhruba v půlce ledna. Mezi očekávané výstupy patří: *Žák dokáže popsat vznik vazby. Porovnat jednotlivé typy vazeb. Rozumí pojmu donor a akceptor.*

Během druhého ročníku je chemii koordinačních sloučenin v ŠVP věnována celá kapitola s názvem komplexní sloučeniny, která navazuje na učivo přechodných kovů a mělo by být probráno zhruba na konci ledna. Žák by měl dle ŠVP aplikovat poznatky z obecné chemie o koordinačně kovalentní vazbě. Dále se seznámí s pojmy centrální atom, ligand, koordinační číslo. Součástí této kapitoly je také názvosloví koordinačních sloučenin. Student se seznámí s významnými zástupci komplexních sloučenin. V šesti letém studijním programu je učivo ve ŠVP identické jen s tím rozdílem, že výuka od 3. ročníku probíhá kombinovaně s anglickým jazykem.

Nikde ve školních vzdělávacích programech chemie není uvedeno učivo, které se vyučuje v laboratorním cvičení (pokud se vůbec vyučuje) a není tak možné určit, zda se chemie koordinačních sloučenin vyučuje i praktickou formou.<sup>[39]</sup>

### **3.4.2 Koordinační chemie v ŠVP – Slovanského gymnázia Olomouc**

Slovanské gymnázium v Olomouci poskytuje stejně jako Gymnázium Olomouc – Hejčín všeobecné střední vzdělání v osmiletém, šestiletém a čtyřletém programu. Šestiletý studijní program probíhá dvojjazyčně, kdy druhým jazykem je francouzština. Slovanské gymnázium má úzkou vazbu na Univerzitu Palackého, zejména přírodovědeckou fakultu, která sídlí nedaleko.<sup>[40]</sup>

Chemie se vyučuje od prvního až do čtvrtého ročníku. V ŠVP nemá učivo koordinační chemie své pevné místo a nejsou uvedeny žádné očekávané výstupy, které by si měl žák osvojit. Názvosloví komplexních sloučenin je zařazeno k ostatnímu názvosloví anorganické chemie, a to stejné platí pro téměř celou koordinační chemii, kdy je zjevné, že na učivo komplexních sloučenin není kladen skoro žádný důraz. Tím že je učivo komplexů vloženo mezi ostatní témata, není jasné, co si má žák z učiva odnést.<sup>[41]</sup>



### 3.4.3 Koordinační chemie v ŠVP – Gymnázium Jana Pivečky a Střední odborná škola Slavičín

Gymnázium Jana Pivečky a Střední odborná škola Slavičín nabízí několik maturitních oborů, mimo osmiletý a čtyřletý gymnaziální program nabízí obory mechanik seřizovač a informační technologie. V rámci těchto dvou oborů je chemie vyučována v druhém ročníku a v ŠVP není koordinační chemie žádným způsobem zařazena.<sup>[42]</sup>

U gymnázia je školní vzdělávací program pro čtyřleté středoškolské studium identický s vyšším stupněm gymnázia u osmiletého programu, ale jsou vedeny jako dva samostatné dokumenty.

Chemie se na gymnáziu vyučuje první tři roky studia. V třetím a čtvrtém ročníku je možnost zvolit seminář z chemie. Koordinační chemie je na gymnáziu vyučována už během prvního ročníku studia, což je poněkud netradiční. Nejprve se žáci setkají s koordinačně – kovalentní vazbou při probírání chemické vazby zhruba v půlce prosince. Učivo okamžitě navazuje chemií komplexních sloučenin. Mezi očekávané výstupy patří: *žák využívá základní pojmy (donor, akceptor, ligand). Používá správné principy názvosloví koordinačních sloučenin. Pojmenuje vybrané vzorce koordinačních sloučenin a naopak.*

Do ŠVP je zařazeno i laboratorní cvičení z chemie komplexů, které je realizováno až ve třetím ročníku v rámci semináře z chemie.<sup>[43]</sup>

### 3.4.4 Koordinační chemie v ŠVP – Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži

Církevní gymnázium v Kroměříži nabízí jak všeobecné, tak i humanitně zaměřený studijní program. Celkově je na škole osmnáct tříd z toho dvanáct na čtyřletém gymnáziu a šest tříd na šestiletém gymnáziu (prima až sexta). V každém roce studia je i povinně vyučováno náboženství.<sup>[44]</sup>

Chemie se v Kroměříži na církevním gymnáziu vyučuje ve čtyřletém studijním programu první 3 roky studia. V šestiletém studijním programu prvních pět let studia. V posledním maturitním ročníku je možné si zvolit seminář z chemie.

S chemií koordinačních sloučenin se žáci setkají poprvé v prvním ročníku čtyřletého studia v rámci koordinačně – kovalentní vazby. Bohužel v ŠVP nejsou uvedeny žádné očekávané výstupy, které by si žák měl odnést z učiva chemické vazby. Chemie komplexních

sloučenin je probrána během druhého ročníku, ale není jí v ŠVP vyhrazena celá samostatná sekce, ve které by byly popsány očekávané výstupy, které by si měl žák z učiva odnést. Chemie komplexů je součástí sekce chemie přechodných kovů. Školní vzdělávací program Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži není volně dostupným dokumentem na stránkách školy.<sup>[45]</sup>

### 3.5 Rozbor učebnic určených pro gymnázia a SŠ z hlediska výuky komplexních sloučenin

Hlavním cílem rozboru učebnic byla porovnat kapitoly v učebnicích, do kterých byla zařazena chemie komplexních sloučenin. Učebnice se liší ve složitosti a množství informací. Udělat analýzu učebnic, tak aby byla objektivní, je dost problematické, a proto byl zvolen jednodušší způsob, kdy bylo vybráno několik kontrolních pojmů, na jejichž základě jsou učebnice porovnány, podle toho, jestli mají dané učivo zařazeno, či nikoliv.

Pro rozbor učebnic bylo vybráno osm učebnic přímo určených pro žáky středních škol nebo čtyřletých gymnázií, které jsou nejvíce používány. Učebnice se liší autory a rokem vydání, proto mezi nimi existují určité rozdíly. Konkrétně se jedná o učebnice:

1. Chemie pro čtyřletá gymnázia, 2. díl – A. Mareček, J. Honza <sup>[46]</sup>
2. Chemie pro gymnázia I (obecná a anorganická) – V. Flemr, B. Dušek <sup>[47]</sup>
3. Přehled středoškolské chemie – J. Vacík a kol. <sup>[48]</sup>
4. Chemie obecná a anorganická pro gymnázia – J. Vacík <sup>[49]</sup>
5. Chemie obecná a anorganická – V. Šrámek <sup>[50]</sup>
6. Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření – J. Blažek <sup>[51]</sup>
7. Učebnice středoškolské chemie a biochemie – P. Peč a D. Pečová <sup>[52]</sup>
8. Chemie pro střední školy – J. Banýr <sup>[53]</sup>

Tabulka 2: Porovnání učebnic chemie pro SŠ z hlediska výuky chemie komplexních sloučenin (A. Mareček a J. Honza, V. Flemr a B. Dušek, J. Vacík a kol., J. Vacík).

<b>Chemie pro čtyřletá gymnázia, 2. díl – A. Mareček, J. Honza</b>		<b>Chemie pro gymnázia I (obecná a anorganická) – V. Flemr, B. Dušek</b>	
<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>	<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>
Centrální atom, ligand	Ano	Centrální atom, ligand	Ne
Koordinační číslo	Ano	Koordinační číslo	Ne
Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ano	Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ne
Teorie krystalového pole	Ano	Teorie krystalového pole	Ne
Štěpení d-orbitalů	Ano	Štěpení d-orbitalů	Ne
Spektrochemická řada ligandů	Ano	Spektrochemická řada ligandů	Ne
Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne	Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne
Názvosloví	Ne	Názvosloví	Ne
Laboratorní úloha	Ne	Laboratorní úloha	Ne
<b>Přehled středoškolské chemie – J. Vacík a kol.</b>		<b>Chemie obecná a anorganická pro gymnázia – J. Vacík</b>	
<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>	<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>
Centrální atom, ligand	Ano	Centrální atom, ligand	Ano
Koordinační číslo	Ano	Koordinační číslo	Ano
Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ano	Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ano
Teorie krystalového pole	Ne	Teorie krystalového pole	Ne
Štěpení d-orbitalů	Ne	Štěpení d-orbitalů	Ne
Spektrochemická řada ligandů	Ne	Spektrochemická řada ligandů	Ne
Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ano	Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ano
Názvosloví	Ano	Názvosloví	Ano
Laboratorní úloha	Ne	Laboratorní úloha	Ne

Poznámka: Autoři Mareček a Honza vydali také sbírku příkladů z chemie, kde je názvosloví komplexních sloučenin zpracováno.

Tabulka 3: Porovnání učebnic chemie pro SŠ z hlediska výuky chemie komplexních sloučenin (V. Šrámek, J. Blažek, Peč a D. Pečová, J. Banýr).

<b>Chemie obecná a anorganická – V. Šrámek</b>		<b>Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření – J. Blažek</b>	
<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>	<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>
Centrální atom, ligand	Ano	Centrální atom, ligand	Ne
Koordinační číslo	Ano	Koordinační číslo	Ne
Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ne	Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ne
Teorie krystalového pole	Ne	Teorie krystalového pole	Ne
Štěpení d-orbitalů	Ne	Štěpení d-orbitalů	Ne
Spektrochemická řada ligandů	Ne	Spektrochemická řada ligandů	Ne
Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne	Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne
Názvosloví	Ano	Názvosloví	Ne
Laboratorní úloha	Ne	Laboratorní úloha	Ne
<b>Učebnice středoškolské chemie a biochemie – P. Peč a D. Pečová</b>		<b>Chemie pro střední školy – J. Banýr</b>	
<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>	<b>Pojem/učivo</b>	<b>Zařazeno</b>
Centrální atom, ligand	Ne	Centrální atom, ligand	Ne
Koordinační číslo	Ne	Koordinační číslo	Ne
Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ne	Komplexy oktaedrické a tetraedrické	Ne
Teorie krystalového pole	Ne	Teorie krystalového pole	Ne
Štěpení d-orbitalů	Ne	Štěpení d-orbitalů	Ne
Spektrochemická řada ligandů	Ne	Spektrochemická řada ligandů	Ne
Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne	Využití a výskyt komplexních sloučenin	Ne
Názvosloví	Ne	Názvosloví	Ano
Laboratorní úloha	Ne	Laboratorní úloha	Ne

Z tabulky 2 je patrné, že chemie komplexních sloučenin je v učebnici Chemie pro čtyřletá gymnázia, 2. díl od autorů Mareček, Honza zpracována poměrně důkladně a z hlediska učiva jde až za rámec střední školy. Student na gymnáziu má díky této učebnici šanci se seznámit s náročnějším učivem jako je například teorie krystalového pole, či štěpení d – orbitalů. V kapitole zabývají se komplexními sloučeninami naopak chybí názvosloví, kterému ale autoři věnují značný prostor v samostatné sbírce příkladů, která slouží jako doplněk k 3dílné sérii učebnic chemie pro čtyřletá gymnázia.

Chemie pro gymnázia I (obecná a anorganická) od autorů Flemr a Dušek je ze všech analyzovaných učebnic druhou nejnovější. Bohužel ale chemii komplexních sloučenin nemá žádným způsobem zařazenou (viz tabulka 2).

Přehled středoškolské chemie od Vacíka se chemii komplexních sloučenin věnuje, ale v daleko menším rozsahu, než je tomu v případě učebnice od Marečka a Honzy. Učivo se zaměřuje pouze na základní pojmy a se složitějším učivem, jako je teorie krystalového pole, či štěpení d – orbitalů se zde čtenář neseťká. Na druhou stranu se zmiňuje, kde se komplexní sloučeniny vyskytují (hemoglobin, vitamín B-12) a jaké mohou mít využití (viz tabulka 3).

Učebnice Chemie obecná a anorganická pro gymnázia je od stejného autora, jako Přehled středoškolské chemie a na kapitole věnující se chemii komplexních sloučenin je to znát. V obou případech je obsah a struktura učiva velmi podobná.

Chemie obecná a anorganická od Šrámka se chemií komplexních sloučenin zabývá jen okrajově, jsou představeny základní pojmy a názvosloví. Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření a Učebnice středoškolské chemie a biochemie se chemií koordinačních sloučenin žádným způsobem nezabývá (viz tabulka 3). Jiří Banýr ve své učebnici Chemie pro střední školy zpracoval pouze kapitolu, která se zabývá názvoslovím komplexních sloučenin

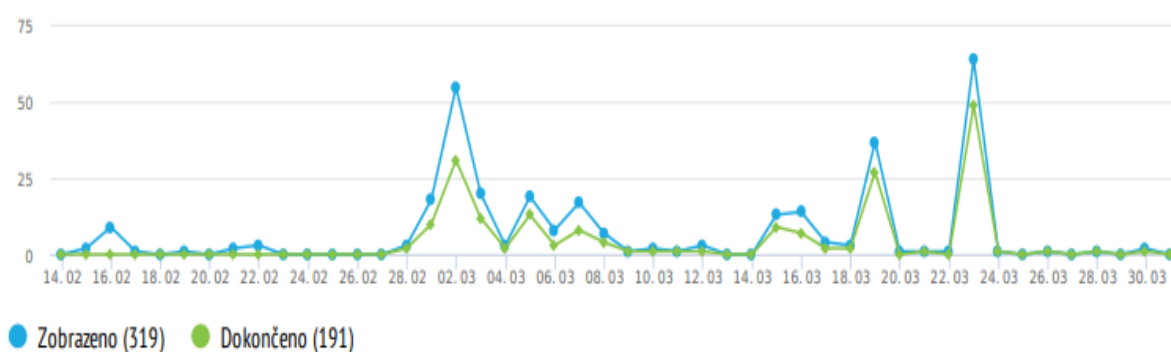
Z analýzy učebnic tedy vyplývá, že z hlediska hloubky učiva je nejlépe zpracovaná Chemie pro čtyřletá gymnázia, 2. díl od Marečka a Honzy, kde autoři zpracovali kapitolu týkající se chemie komplexních sloučenin i s určitým přesahem pro běžného studenta gymnázia. Toho může využívat student, který plánuje na VŠ studovat chemii. Naopak ale chybí alespoň náznak toho, k čemu se komplexní sloučeniny využívají a kde se běžně vyskytují, jak to uvádí například J. Vacík ve svých učebnicích. V žádné z uvedených učebnic se žádným způsobem nevyskytuje laboratorní návod pro přípravu některé z komplexních sloučenin.

## 4. Praktická část práce

### 4.1 Dotazníkové šetření – Chemie komplexních sloučenin ve výuce na SŠ

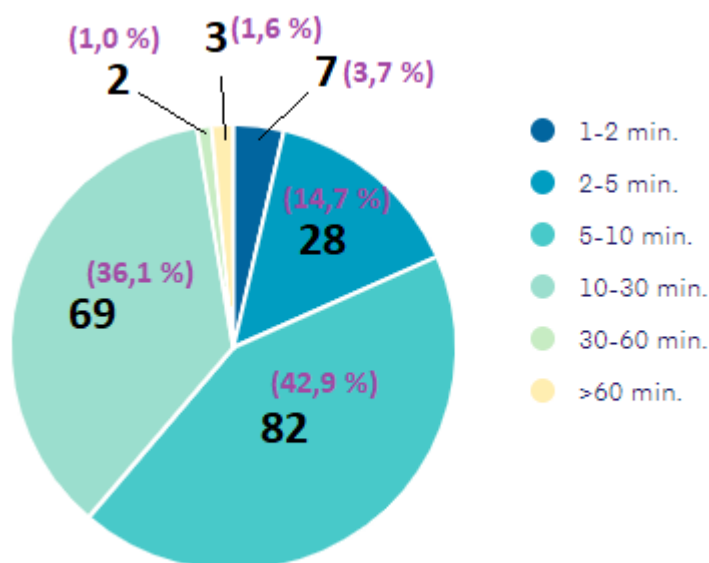
Dotazník je zaměřený na výuku chemie komplexních sloučenin na střední škole a byl určen žákům od druhého do čtvrtého ročníku SŠ. Pro potřeby dotazníkového šetření byly zvoleny čtyři vybraná gymnázia, u kterých byly v rámci teoretické části práce zkoumány jejich ŠVP s ohledem na výuku chemie komplexních sloučenin. Konkrétně se jedná o Gymnázium Olomouc – Hejčín, Slovanské gymnázium Olomouc, Gymnázium Jana Pivečky Slavičín a Arcibiskupské gymnázium Kroměříž. Dotazník obsahuje dvacet jedna otázek, které jsou zaměřeny jak na vědomosti, tak i vztah žáků k chemii komplexních sloučenin. Dotazníkové šetření bylo provedeno online pomocí aplikace survio.com a dotazník je součástí příloh.<sup>[54]</sup>

Dotazníkové šetření probíhalo od 15. 2. do 30. 3. 2021. Největší intenzita respondentů byla v třech časových obdobích, a to od 1. 3. do 4. 3., kdy dotazník vyplňovali žáci Gymnázia Olomouc – Hejčín. Z obr. 10 vyplývá, že velká část dotázaných žáků Hejčínského gymnázia v tomto období dotazník nedokončila, konkrétně 24 respondentů z 55, kteří si dotazník zobrazili. Druhé velmi aktivní období bylo od 18. 3. do 20.3., kdy bylo znovu osloveno Slovanské gymnázium Olomouc, kvůli do té doby nedostatečnému množství respondentů z této školy. Počet nevyplněných dotazníků byl ze všech zobrazených dotazníků v tomto období daleko menší než v předchozím případě, a to 14 respondentů z 39 zobrazených dotazníků. Třetí a nejvýznamnější období z hlediska respondentů bylo od 22. 3. do 24. 3. V tomto čase byl dotazník vyplněn zejména žáky druhého ročníku Arcibiskupského gymnázia Kroměříž, kdy drtivá většina žáků, která si dotazník zobrazila ho také dokončila.



Obr. 9: Vyplňování dotazníku napříč časovým obdobím sběru odpovědí. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Celkově si dotazník zobrazilo 319 respondentů a dokončilo jej 191 s tím, že jedna odpověď byla pro špatné vyplnění vyřazena. Dotazník si tedy pouze zobrazilo 128 žáků. Celková úspěšnost vyplnění dotazníku byla 59,9 %. Časovou náročnost dotazníku nám ukazuje obr. 10.



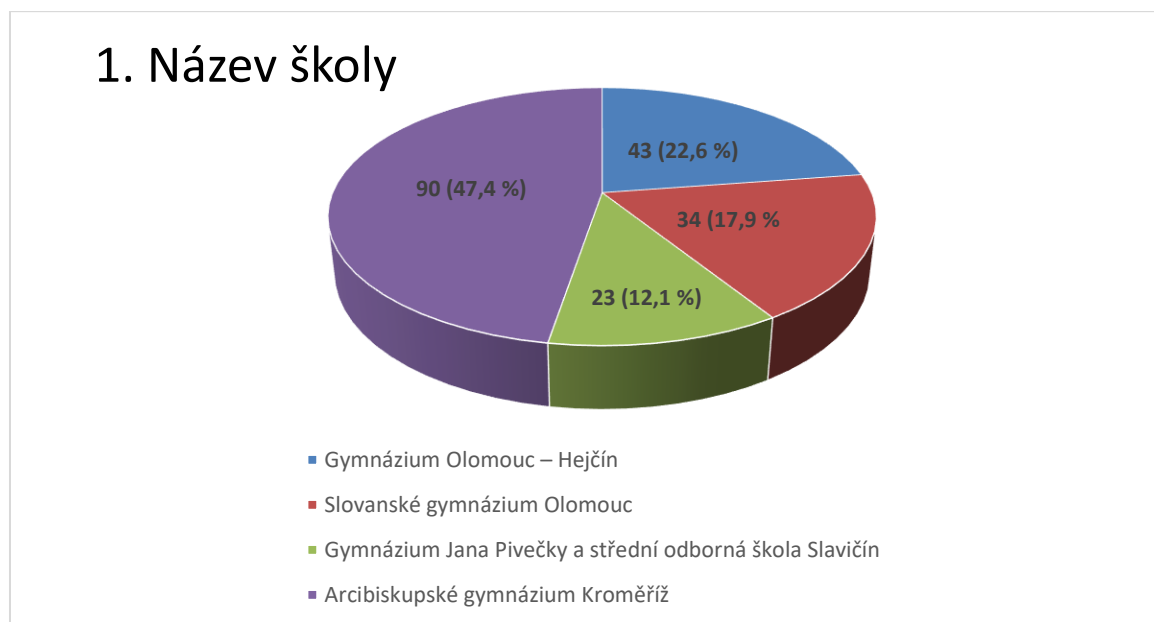
Obr. 10: Čas vyplňování dotazníku. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Odhadovaná časová náročnost dotazníkového šetření byla okolo 5-10 minut. Necelé polovině respondentů trvalo vyplňování dotazníku 5-10 minut. Dalších 28 žáků vyplnilo dotazník v rozmezí 2-5 minut. Z toho lze konstatovat, že 110 respondentů (57,6 %) zvládlo dotazník vyplnit v očekávaném čase. Druhá časově nejpočetnější skupina vyplňovala dotazník



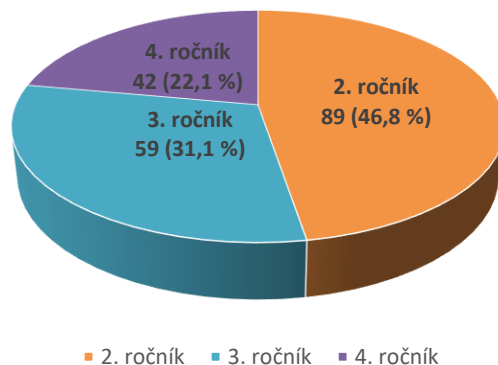
10-30 minut. V rozmezí 1-2 minut vyplnilo dotazník 7 studentů, dá se předpokládat, že otázky prošli jen velmi rychle a pořádně nad nimi nepřemýšleli.

První otázka se týká školy, kterou daný respondent navštěvuje (obr. 11). Nejvíce dotázaných studentů bylo z Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži, konkrétně 90 (47,4 %) žáků. Počet respondentů z Gymnázia Olomouc – Hejčín a Slovanského gymnázia Olomouc je vyrovnaný a tvoří dohromady dalších 40,5 % všech účastníků. Nejmenší procento dotázaných žáků bylo z Gymnázia Jana Pivečky a SOŠ Slavičín, a to pouze 12 %, což činí 22 respondentů. V rámci dotazníkového šetření jde o nejmenší gymnázium, takže je menší počet vyplněných dotazníků pochopitelný.



Obr. 11: Grafické zpracování otázky číslo jedna. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

## 2. Ročník studia



Obr. 12: Grafické zpracování otázky číslo dva. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Druhá otázka dotazníku zjišťuje ročník studia respondentů. Téměř polovina dotázaných žáků (46,8 %) navštěvuje druhý ročník střední školy, ve kterém se chemie komplexních sloučenin učí nejčastěji. Nejmenší počet respondentů je z posledního, čtvrtého, ročníku (22,1 %), ve kterém už se chemie často vyučuje pouze v rámci semináře, což může být důvodem menšího počtu respondentů.

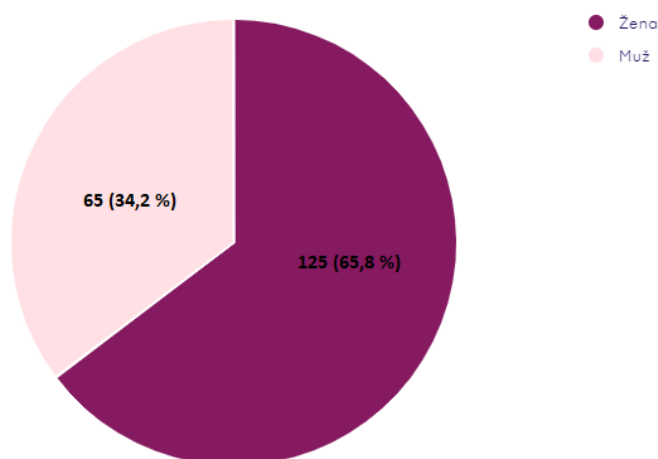
## 3. Město/obec



Obr. 13: Grafické zpracování otázky číslo tři. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Cílem třetí otázky bylo zjistit odkud respondenti dotazníkového šetření pocházejí. Z grafického vyjádření můžeme vidět, že většina studentů, která se dotazníku zúčastnila je z Kroměříže, nebo Olomouce.

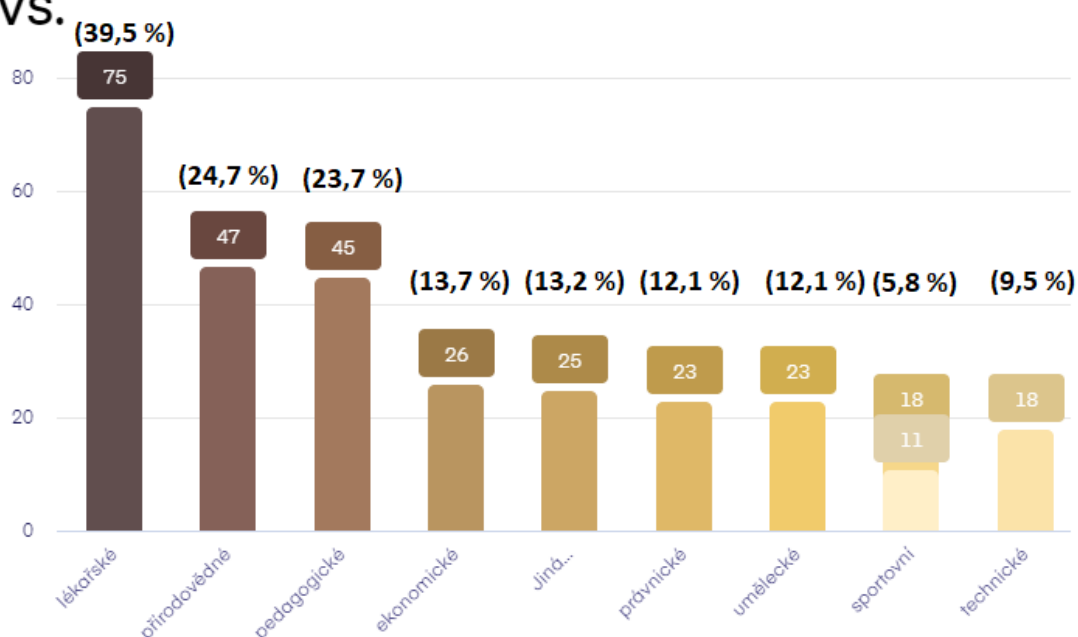
#### 4. Pohlaví



*Obr. 14: Grafické zpracování otázky číslo čtyři. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)*

Čtvrtá otázka měla za cíl zjistit pohlaví respondentů a z obr. 14 je patrné, že dvě třetiny z dotázaných žáků byly dívky. Vzhledem k tomu, že na gymnáziích je obecně větší procento dívek než chlapců, není toto číslo překvapující.

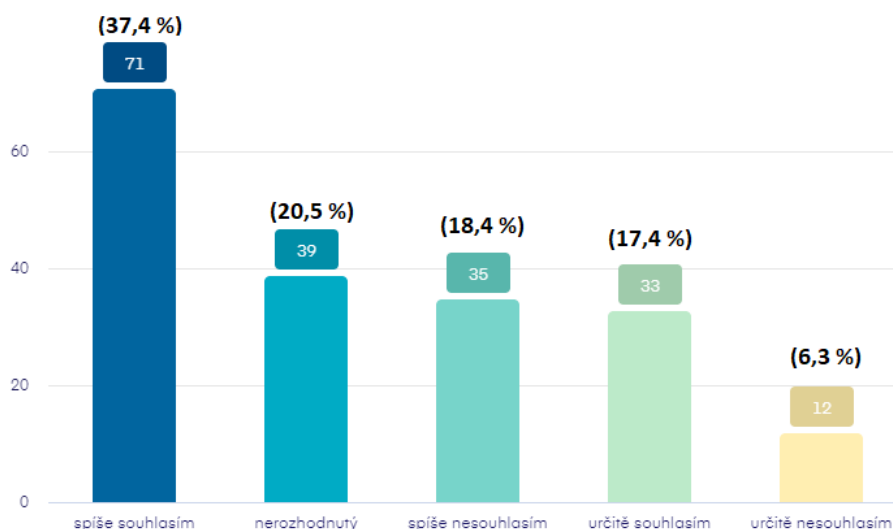
## 5. Vyberte zaměření Vašeho plánovaného studia na VŠ.



Obr. 15: Grafické zpracování otázky číslo pět. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Z otázky číslo pět vyplývá, že většina dotázaných plánuje studovat lékařské nebo přírodovědné obory. Můžeme tedy konstatovat, že je chemie pro tyto žáky velmi důležitý předmět, který by měli nadále rozvíjet. Je nutné zdůraznit, že v otázce číslo pět mohli žáci vybrat více odpovědí. Poměrně velká část žáků odpověděla, že by je zajímalo pedagogické zaměření. To lze přisoudit i rostoucím platům pedagogů s cílem navýšit prestiž povolání učitele. Do odpovědi „jiné“ žáci uváděli nejčastěji zaměření matematické, či studium psychologie, antropologie, nebo teologie. Nejmenší zájem mají respondenti o studium technických oborů.

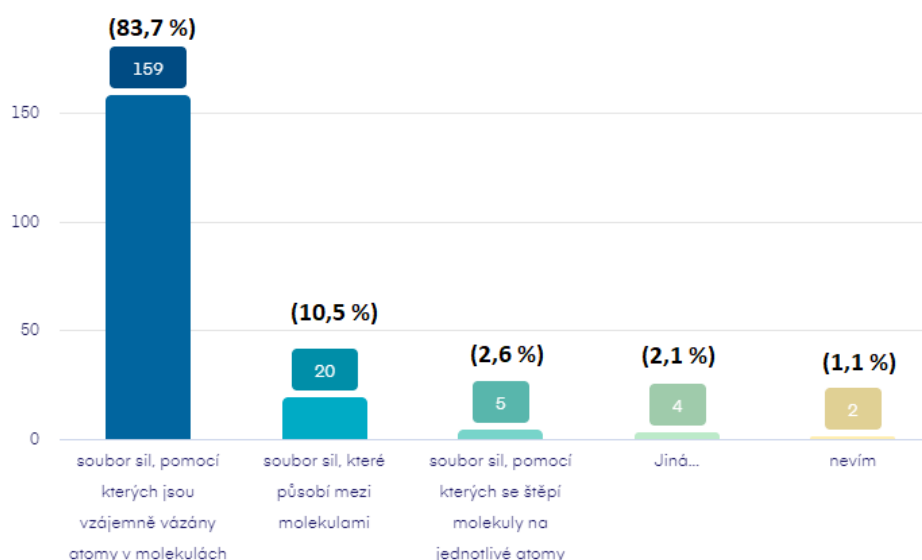
## 6. Můj vztah k chemii je pozitivní



Obr. 16: Grafické zpracování otázky číslo šest. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Šestá otázka dotazníku měla za úkol zjistit vztah respondentů k chemii jako k vyučovacím předmětu. Většina dotázaných vyjádřila kladný vztah k chemii. S pozitivním vztahem k chemii určitě souhlasí pouze 33 (17,4 %) respondentů. Negativní postoj k chemii vyjádřilo 47 (24,7 %) žáků. Jestli má k chemii kladný vztah není rozhodnuto 39 (20,5 %) dotázaných.

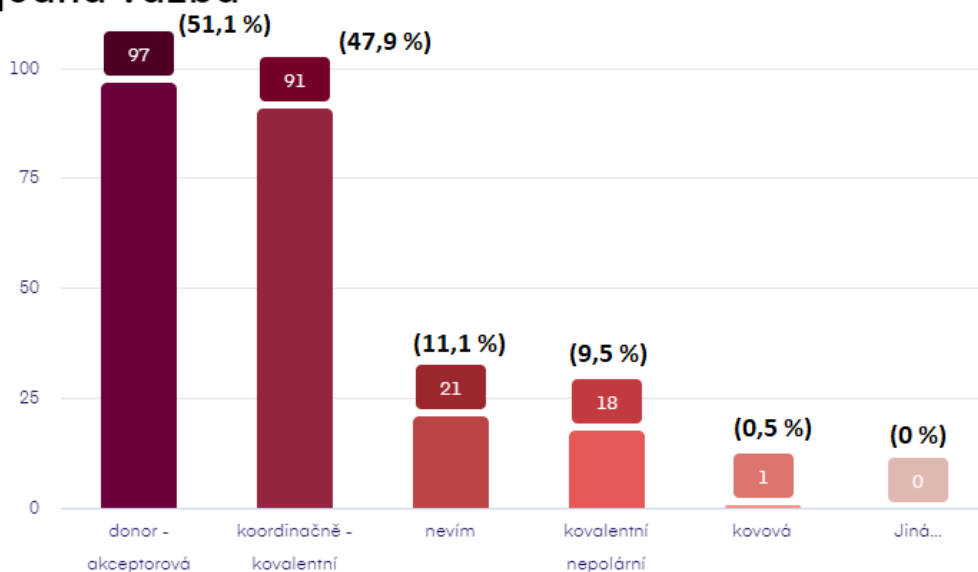
## 7. Chemická vazba je



Obr. 17: Grafické zpracování otázky číslo sedm. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Sedmá otázka dotazníku je první otázkou z jedenácti, které se zaměřují na teoretické vědomosti žáků. Tato otázka se zabývá tím, co je to chemická vazba. S učivem chemické vazby se žáci setkávají už na začátku prvního ročníku studia. Správně odpověděla drtivá většina, konkrétně 159 (83,7 %) z dotázaných. Z obr. 17 tedy vyplývá, že pro respondenty dotazníku byla otázka velmi jednoduchá.

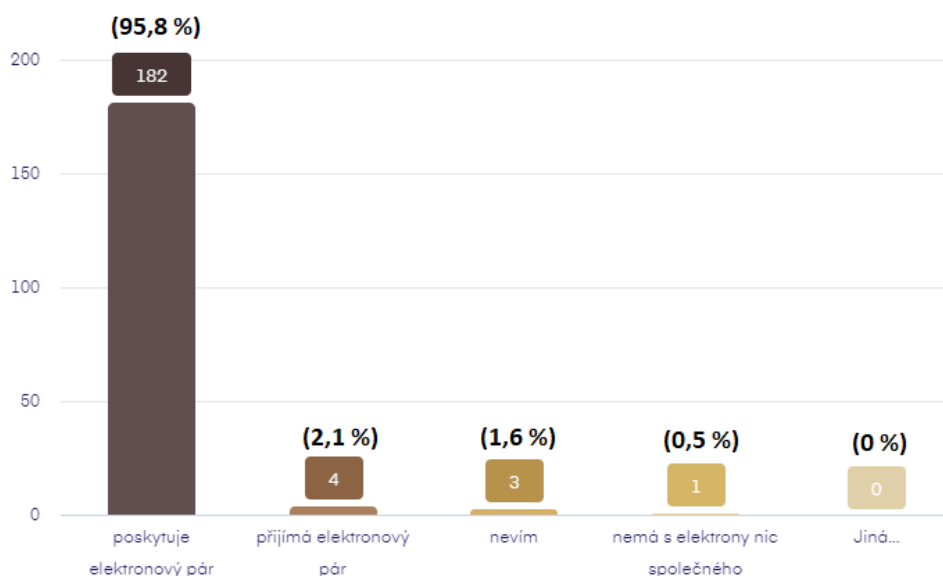
## 8. V komplexních sloučeninách se nachází alespoň jedna vazba



Obr. 18: Grafické zpracování otázky číslo osm. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

V další otázce měli žáci za úkol určit typ vazby, který se nachází v komplexních sloučeninách. Respondenti mohli vybírat více správných odpovědí. Většina odpovědí byla správných, a to, že v komplexních sloučeninách se nachází alespoň jedna koordinačně – kovalentní vazba, nebo donor – akceptorová. Poměrně velký počet žáků na otázku odpovědělo, že neví, konkrétně 21 (11,1 %) z dotázaných. Otázka obsahuje dalších 19 špatných odpovědí.

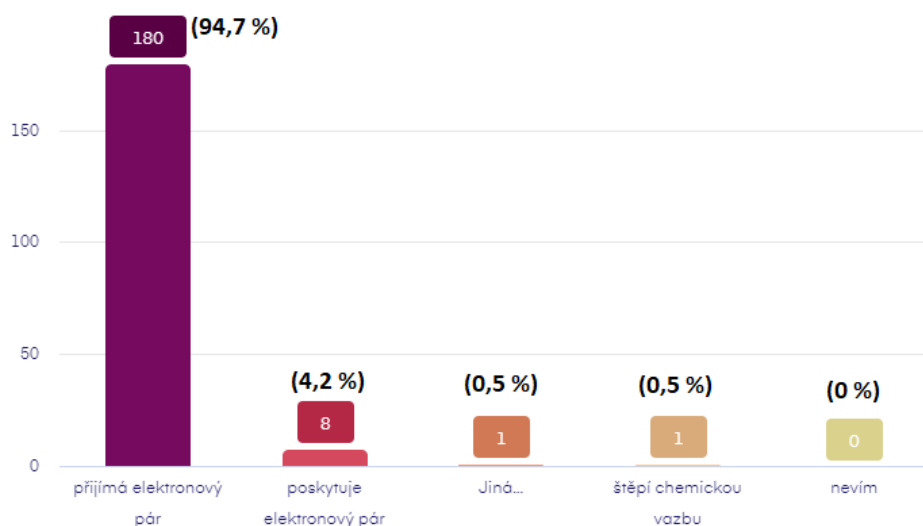
## 9. Donor



Obr. 19: Grafické zpracování otázky číslo devět. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

V otázce devět měli respondenti určit, co je to donor a téměř všichni dotázaní žáci (95,8 %) odpověděli správně. Pouze 5 žáků odpovědělo špatně a další 3 (1,6 %) označili odpověď nevím.

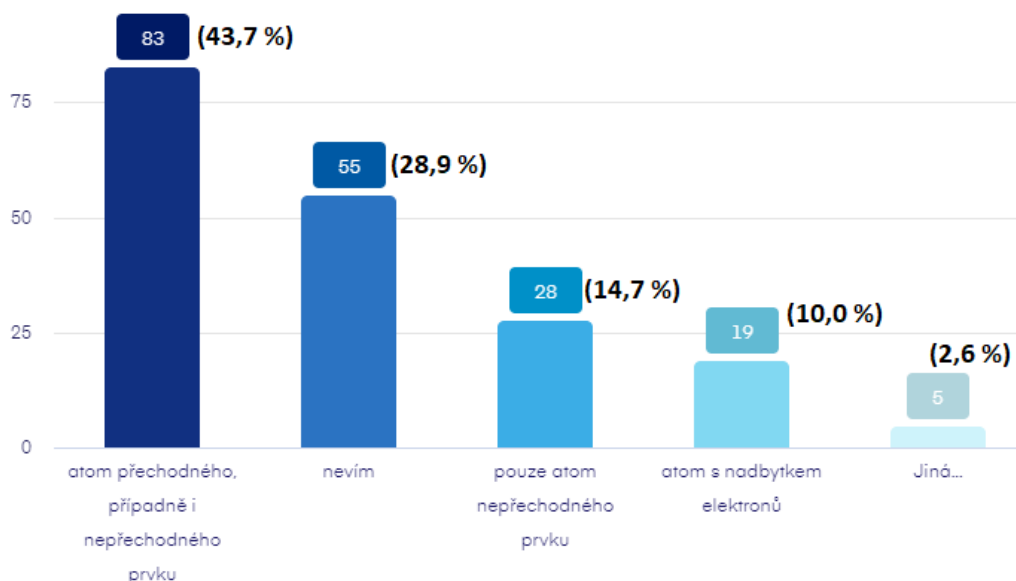
## 10. Akceptor



Obr. 20: Grafické zpracování otázky číslo deset. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Na otázku, co je to akceptor, odpověděli skoro všichni dotázaní žáci (94,7 %) stejně jako v předchozím případě, správně. Pouze 10 respondentů odpovědělo špatně. Z obr. 20 a 21 tak vyplývá, že obě otázky byly pro žáky příliš jednoduché.

## 11. Centrálním atomem komplexní sloučeniny může být

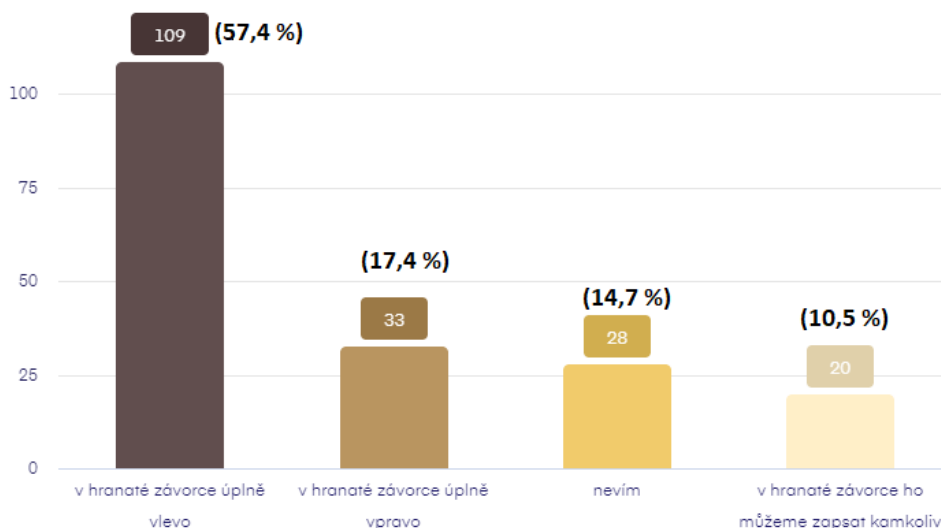


Obr. 21: Grafické zpracování otázky číslo jedenáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Jedenáctá otázka je zaměřena na centrální atom komplexní sloučeniny a respondent měl určit, jaké částice mohou být v komplexní sloučenině centrálním atomem. Necelá polovina žáků (43,7 %) odpověděla správně, tedy že centrálním atomem komplexní sloučeniny může být atom přechodného, případně i nepřechodného prvku. Velká část dotázaných uvedla, že správnou odpověď neví (28,9 %). Špatnou odpověď uvedlo 47 žáků, dalších 5 (2,6 %) pak uvedlo jinou odpověď. Otázka jedenáct má daleko menší úspěšnost než předchozí dvě otázky, kde odpovídali téměř všichni správně.



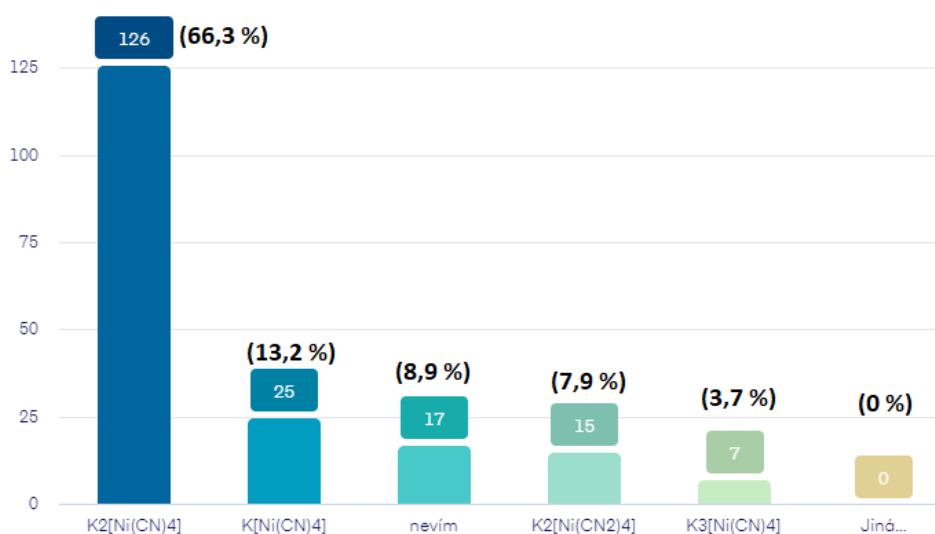
## 12. Centrální atom se v komplexní sloučenině nebo částici zapisuje



Obr. 22: Grafické zpracování otázky číslo dvanáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Ve dvanácté otázce měli žáci určit, kde se v komplexní sloučenině zapisuje centrální atom. Více než polovina respondentů (57,4 %) odpověděla správně, a to, že v hranaté závorce zapisujeme centrální atom úplně vlevo. Špatnou odpověď označilo 53 žáků. Dalších 28 (14,7 %) odpovědělo, že neví.

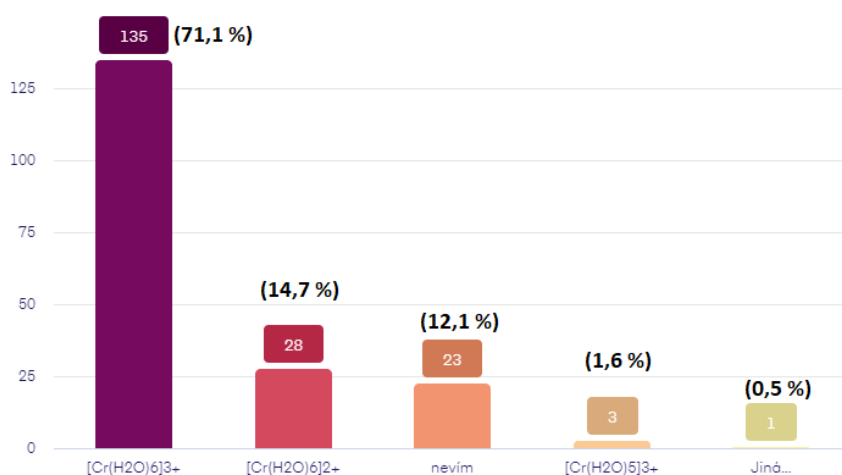
## 13. Vzorec tetrakyanonikelnatanu draselného je



Obr. 23: Grafické zpracování otázky číslo třináct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Otázky třináct až šestnáct se zabývají názvoslovím komplexních sloučenin. V otázce třináct měli žáci určit vzorec tetrakyanonikelnatanu draselného. Většina z nich (66,3 %) neměla s touto otázkou problém a odpověděla správně. Pouze 47 dotázaných žáků označilo špatnou odpověď. Dalších 17 (8,9 %) respondentů na otázku neznalo odpověď a označili tak možnost nevím.

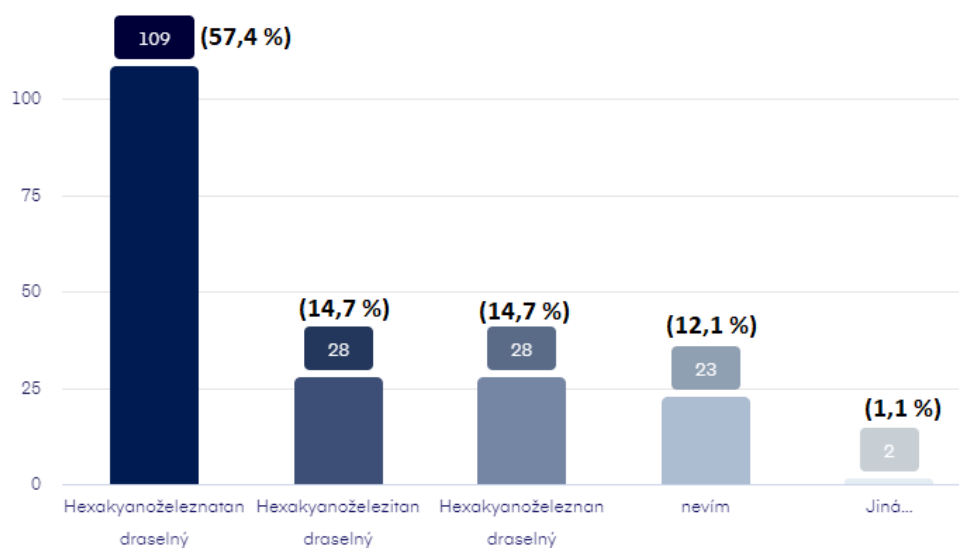
#### 14. Vzorec hexaaquachromitého kationtu je



Obr. 24: Grafické zpracování otázky číslo čtrnáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

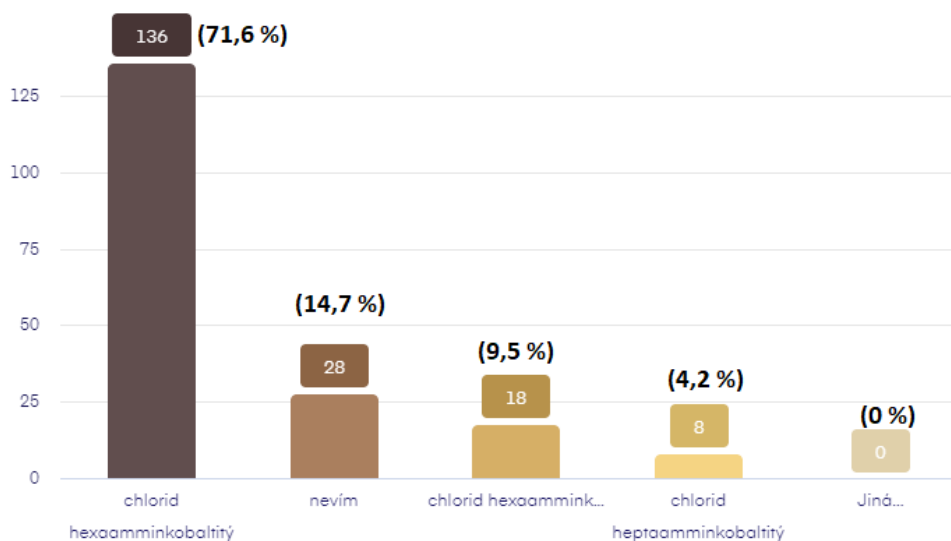
Na otázku čtrnáct odpověděla většina respondentů správně. Konkrétně 135 (71,1 %) z dotázaných žáků. Cílem otázky bylo správně určit vzorec hexaaquachromitého kationtu. Pouze 32 odpovědí bylo chybných. Dalších 23 (12,1 %) se vyjádřilo, že odpověď neznají.

## 15. Název $K_4[Fe(CN)_6]$ je



Obr. 25: Grafické zpracování otázky číslo patnáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

## 16. Název $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ je

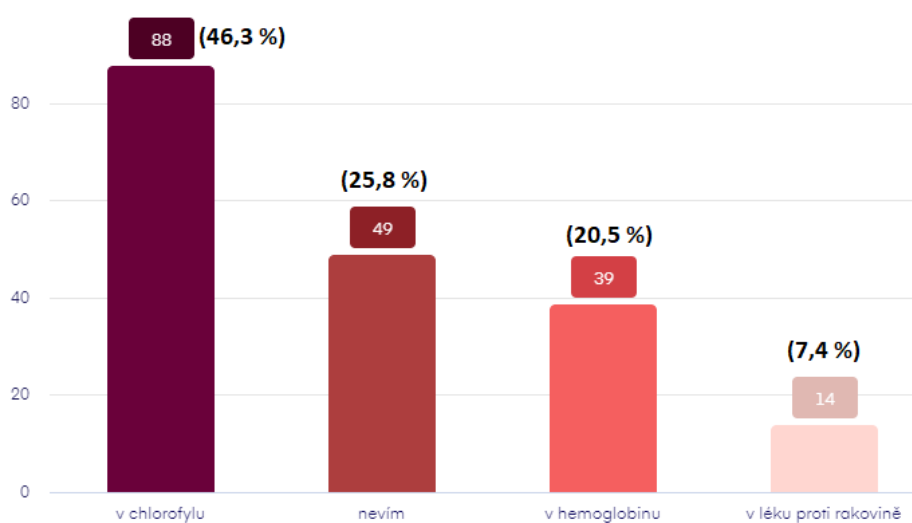


Obr. 26: Grafické zpracování otázky číslo šestnáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

V otázce patnáct a šestnáct měli žáci ze vzorce komplexní sloučeniny určit její název. V patnácté otázce se jednalo o komplexní sloučeninu  $K_4[Fe(CN)_6]$ . Správný název hexakvanoželeznatan draselný určilo 109 žáků (57,4 %). Dalších 58 respondentů uvedlo špatnou odpověď. Možnost nevím zvolilo 23 z dotázaných žáků.

V následující otázce měli žáci pojmenovat komplex  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ . Většina (71,6 %) určila správnou odpověď chlorid hexaamminkobaltitý. Špatnou odpověď určilo pouze 26 z dotázaných. Dalších 28 žáků odpovědělo možnostmi neví. Obecně se na gymnáziích z chemie komplexních sloučenin nejvíce probírá názvosloví, takže poměrně velká úspěšnost u otázek, které byly zaměřeny tímto směrem není nijak překvapující a mohla by naopak být ještě trochu vyšší.

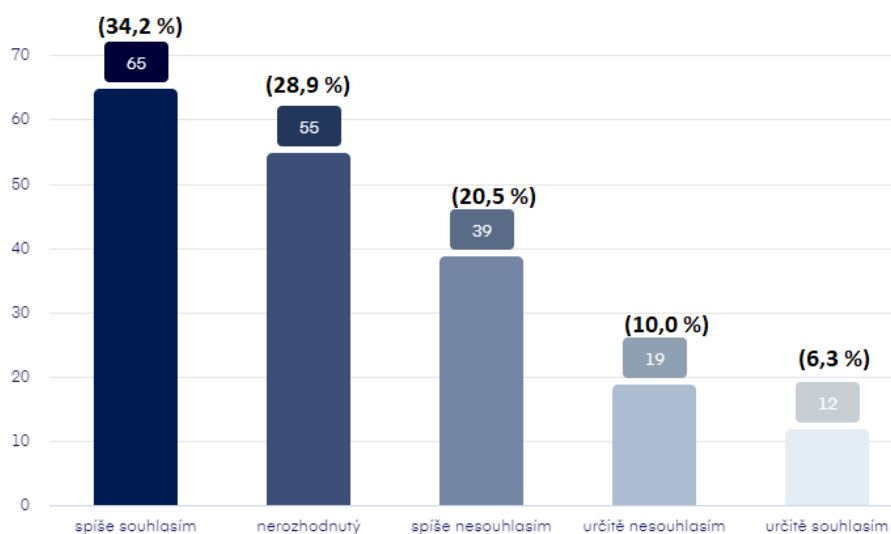
### 17. Ve které komplexní sloučenině je centrálním atomem Mg?



Obr. 27: Grafické zpracování otázky číslo sedmnáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Otázka sedmnáct měla za úkol ověřit, zda mají žáci povědomí o struktuře známých komplexních sloučenin, se kterými se běžně setkávají během studia na gymnáziu v rámci biologie nebo chemii. Správně odpověděla méně než polovina (46,3 %) respondentů. Velká část z dotázaných uvedla odpověď neví, konkrétně šlo o 49 žáků. Dalších 54 dotázaných uvedlo špatnou odpověď. Vzhledem k úspěšnosti odpovědí lze konstatovat, že otázka byla pro žáky složitá.

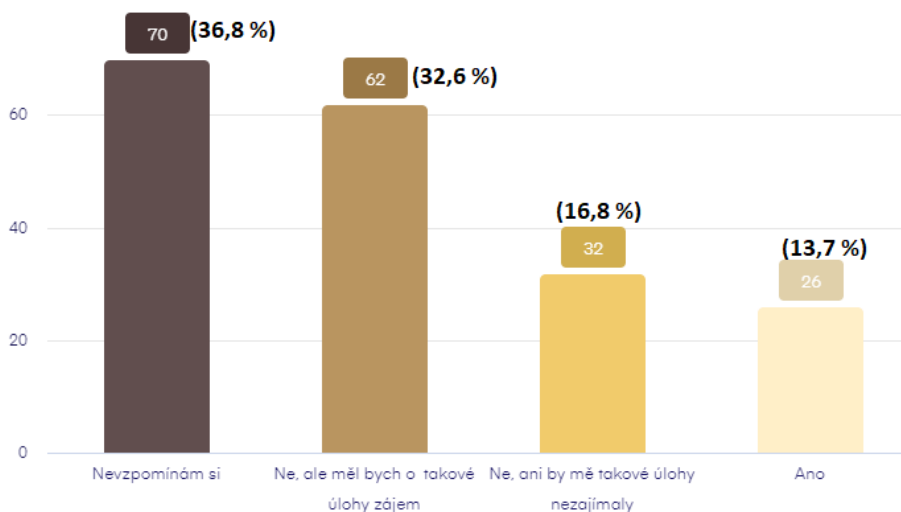
## 18. Výuka komplexních sloučenin mě bavila



Obr. 28: Grafické zpracování otázky číslo osmnáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Otázky osmnáct až dvacet jedna jsou zaměřeny na vztah žáků k chemii komplexních sloučenin. Osmnáctá otázka měla za cíl zjistit, jestli žáky výuka komplexů bavila. Pozitivní vztah k chemii komplexních sloučenin vyjádřilo celkově 77 z dotázaných, ale pouze 12 (6,3 %) z nich určitě souhlasilo s tím, že je tato látka bavila, zbylých 65 žáků (34,2 %) s tímto tvrzením spíše souhlasilo. Neutrální stanovisko vyjádřilo 55 (28,9 %) respondentů. Negativní postoj si ke komplexům vybuodovalo 58 žáků. Z obrázku 28 je tedy patrné, že výuka komplexních sloučenin nebavila ani polovinu z dotázaných žáků a velká část z nich měla neutrální postoj.

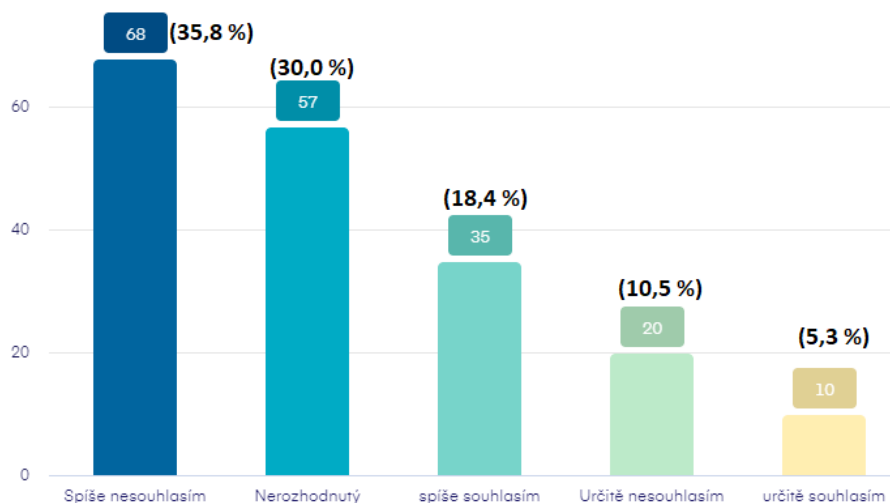
## 19. S komplexními sloučeninami jsem se setkal i v rámci laboratorního cvičení



Obr. 29: Grafické zpracování otázky číslo devatenáct. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Devatenáctá otázka byla vytvořena, aby zjistila, kolik z dotázaných žáků se během svého studia setkalo v rámci laboratorního cvičení s úlohami z chemie komplexních sloučenin. Nejčastější odpověď byla nevzpomínám si a uvedlo ji 70 žáků (36,8 %). Necelá třetina respondentů (32,6 %) pak uvedla, že se s takovými úlohami během studia nesešla, ale měla by o ně zájem. Dalších 32 z dotázaných (16,8 %) uvedlo, že se s komplexy v rámci laboratorního cvičení nesešli a ani by o takové úlohy zájem neměli. Pouze 26 žáků odpovědělo, že se během laboratorního cvičení setkalo s úlohou, která se týkala komplexů.

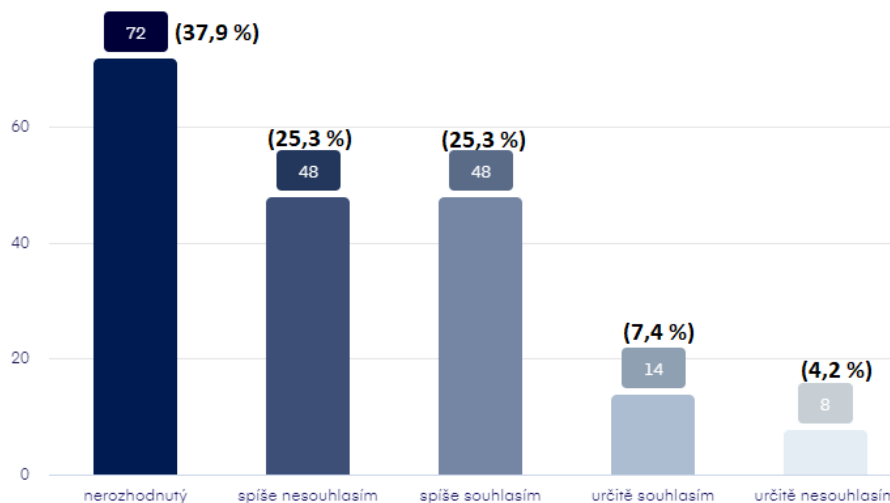
## 20. Problematika komplexních sloučenin je pro středoškoláka příliš složitá



Obr. 30: Grafické zpracování otázky číslo dvacet. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

Ve dvacáté otázce odpovídali žáci, zda je dle jejich názoru chemie komplexů pro středoškoláky příliš složitým učivem. Necelá polovina ze všech dotázaných (35,8 %) s tímto tvrzením spíše nesouhlasila. Dalších 57 respondentů (30,0 %) vyjádřilo neutrální postoj a nebylo v této otázce rozhodnuto. S tvrzením, že je pro středoškoláka chemie komplexních sloučenin příliš složitá naopak souhlasilo celkově 45 žáků, z toho pouze 10 (5,3 %) z nich označilo odpověď určitě souhlasím.

## 21. Chemii komplexních sloučenin by mělo být věnováno během výuky více času



Obr. 31: Grafické zpracování otázky číslo dvacet jedna. (zdroj dat: vlastní šetření, vlastní zpracování)

V poslední otázce měli žáci zhodnotit, jestli by mělo být ve výuce na střední škole věnováno chemii komplexních sloučenin více času. Nejvíce respondentů, konkrétně 72 (37,9 %) bylo v této otázce nerozhodnutých. Negativní postoj k možnému většímu probírání komplexů projevila necelá třetina žáků, z toho pouze 8 (4,2 %) z nich označilo možnost určitě nesouhlasím. Naopak pozitivní postoj k možnému časovému navýšení během výuky komplexů vyjádřilo o něco více žáků, 14 (7,4 %) z nich by s navýšením určitě souhlasilo.

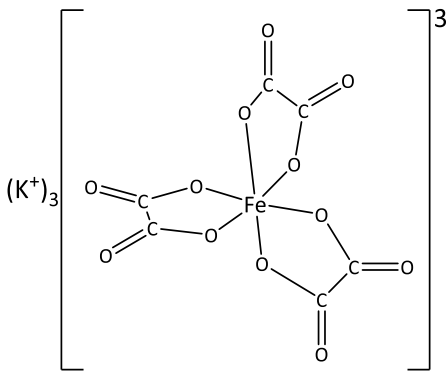



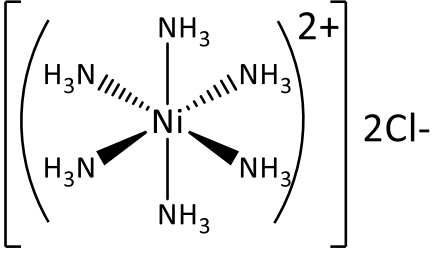
## 4.1 Pracovní listy pro výuku laboratorního cvičení z chemie komplexních sloučenin na SŠ


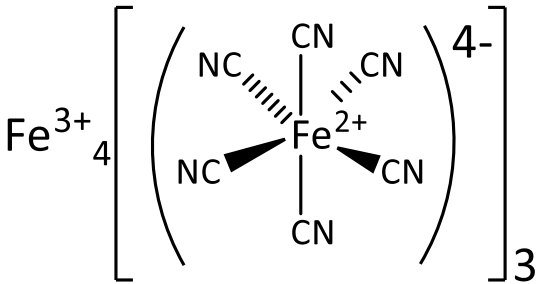
Na většině gymnázií probíhají během studia chemie laboratorní cvičení. Některé školy je mají koncipována jako součást běžné výuky pro všechny studenty, kdy má chemie hodinovou dotaci tři hodiny týdně a z toho jedna hodina je vyčleněna pro laboratorní cvičení. Jiná gymnázia mají tato cvičení až v rámci semináře z chemie pro studenty, kteří si chemii sami vyberou jako předmět, který chtějí dále rozvíjet.

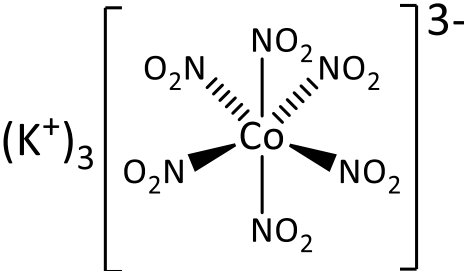

Při výuce chemie komplexních sloučenin bývá kladen největší důraz na názvosloví a pro studenty jsou pak komplexy často velmi abstraktní pojem. Pro laboratorní cvičení na úrovni střední školy není dostupných mnoho pokusů, či syntéz, které by mohly studentům tuto část chemie více přiblížit. To je také důvodem pro vytvoření pracovních listů, které se zabývají přípravou vybraných komplexních sloučenin, které lze připravit i v podmínkách středoškolské laboratoře. Bylo vybráno pět komplexů, jejichž příprava není časově náročná a dostupnost chemikálií by neměla být i pro gymnázia problémem.

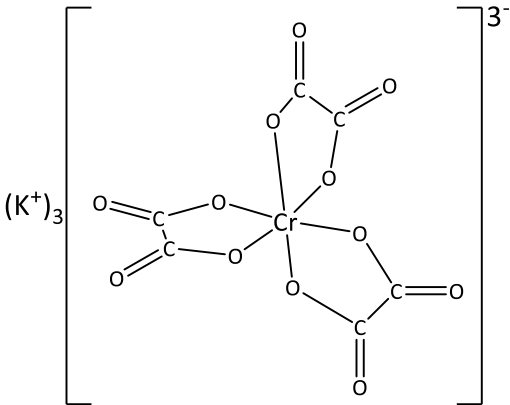

Pracovní listy jsou zaměřené na přípravu tris (oxalato) želežitanu draselného,<sup>[55]</sup> chloridu hexaminnikelnatého,<sup>[56]</sup> hexakynoželeznatanu želežitého (Berlínská modř),<sup>[57]</sup> hexanitro kobaltitanu draselného a tris (oxalato) chromitanu draselného.<sup>[58, 59]</sup> Mimo postup přípravy pracovní listy obsahují vlastnosti a využití daných komplexů, časovou náročnost přípravy a v neposlední řadě i doplňující otázky.

<b>Tris(oxalato) železitan draselný – <math>K_3[Fe(C_2O_4)_3]</math></b>		
<p><b>Vlastnosti</b></p> <p>Světle zelená krystalická látka, rozpustná ve vodě, nerozpustná v organických rozpouštědlech. Je vysoce světlocitlivý, jeho zelené krystaly se po expozici světlem pokrývají světle žlutou vrstvou práškovitého <math>FeC_2O_4</math>.</p>		
<p><b>Chemikálie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O</math></li> <li>• <math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math></li> <li>• <math>K_2C_2O_4 \cdot H_2O</math></li> <li>• <math>H_2O</math> (destilovaná)</li> </ul>	<p><b>Laboratorní postup přípravy</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. V 20 ml horké vody rozpustíme 1,3 g dihydrátu kyseliny šťavelové a smícháme ho s roztokem 2,8 g zelené skalice ve 20 ml vody. Vzniká žlutá sraženina <math>FeC_2O_4 \cdot 2H_2O</math>, kterou po ochlazení zfiltrujeme za sníženého tlaku na fritě, promyjeme vodou a ethanolem a sušíme na vzduchu.</li> <li>2. Navážíme 2,0 g dihydrátu šťavelanu železnatého, který za míchání přidáme k teplému roztoku 3,0 g monohydrátu šťavelanu draselného ve 12 ml vody. Pak přidáme kapátkem 15 ml peroxidu vodíku a teplotu reakční směsi udržujeme na 40 °C (kontrolujeme teploměrem).</li> <li>3. Vysráží se <math>Fe_2O_3 \cdot x H_2O</math>. Sraženinu rozpustíme přidáním stechiometrického množství 10% roztoku <math>H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O</math> po kapkách do horké reakční směsi. Roztok za tepla zfiltrujeme a k filtrátu přidáme ethanol (zhruba 1/3 filtrátu).</li> <li>4. Vyloučený krystalický produkt zfiltrujeme za sníženého tlaku na fritě promyjeme směsí ethanolu a vody (1:1, 20 ml). Produkt vysušíme volně na vzduchu, ale ve tmě.</li> <li>5. Krystalický produkt je důležité uchovávat v nádobce obalené několika vrstvami alobalu.</li> </ol>	
<p><b>Pomůcky</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kádinky (150 ml)</li> <li>• Skleněné tyčinky</li> <li>• Hodinové sklíčko</li> <li>• Lžička</li> <li>• Frita</li> <li>• Odsávací baňka</li> <li>• Alobal</li> <li>• Kapátko (Pasteurova pipeta)</li> <li>• Odměrný válec (20-25ml)</li> <li>• Teploměr</li> <li>• Nálevka</li> <li>• Filtrační papír</li> </ul>	<p><b>Rovnice</b></p> $H_2C_2O_4 + FeSO_4 \rightarrow FeC_2O_4 \cdot 2H_2O + H_2SO_4$ $6 FeC_2O_4 + 3 H_2O_2 + 6 K_2C_2O_4 + (x-3) H_2O \rightarrow 4K_3[Fe(C_2O_4)_3] + Fe_2O_3 \cdot x H_2O$ $Fe_2O_3 \cdot x H_2O + 3 H_2C_2O_4 + 3 K_2C_2O_4 \rightarrow 2 K_3[Fe(C_2O_4)_3] + (x-3) H_2O$	
<p><b>Využití</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tris(oxalato)železitan draselný se používá jako jedna z látek pro modrotisk (kyanotypie).</li> </ul>		
<p><b>Bezpečnostní předpisy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nepotřísnit se se kyselinou a opatrně pracovat s peroxidem vodíku.</li> <li>•</li> </ul>	<p><b>Časová náročnost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 minut.</li> </ul>	
<p><b>Doplňující otázky</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Z jakého důvodu se do reakce přidává peroxid vodíku?</li> <li>2. K čemu se používá kyselina šťavelová?</li> <li>3. Jaký je tvar tris(oxalato)železitanového aniontu?</li> <li>4. Pokuste se napsat chemickou rovnici rozkladu tris(oxalato)železitanu draselného světlem na šťavelan železnatý.</li> </ol>		

Chlorid hexaaminnikelnatý - $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	
<p><b>Vlastnosti</b></p> <p>Modrofialový krystalický prášek, rozpustný ve zředěném amoniaku, nerozpustný v alkoholu, etheru a koncentrovaném amoniaku. V horké vodě se rozkládá za uvolnění amoniaku.</p>	
<p><b>Chemikálie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{NH}_4\text{Cl}</math></li> <li>• <math>\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}</math></li> <li>• <math>\text{H}_2\text{O}</math> (destilovaná)</li> <li>• <math>\text{NH}_3</math></li> <li>• <math>\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}</math></li> </ul>	<p><b>Laboratorní postup přípravy</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. V 10 ml horké vody rozpustíme 4 g chloridu amonného.</li> <li>2. Navážíme 5 g hexahydrátu chloridu nikelnatého a rozpustíme ho ve 4 ml vody.</li> <li>3. Oba roztoky smícháme a přidáme 10 ml koncentrovaného roztoku amoniaku. Pozorujeme vznik tmavě modrého roztoku, který dáme na 40 minut do ledu.</li> <li>4. Vyloučí se nám modro-fialová mikrokrystalická látka, kterou zfiltrujeme za sníženého tlaku na fritě a promyjeme 2 ml koncentrovaného amoniaku a 10 ml ethanolu.</li> </ol>
<p><b>Pomůcky</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kádinky (50ml)</li> <li>• Skleněná tyčinka</li> <li>• Hodinové sklo</li> <li>• Lžička</li> <li>• Frita</li> <li>• Odsávací baňka</li> <li>• Odměrný válec</li> </ul>	<p><b>Rovnice</b></p> $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6 \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
<p><b>Využití</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chlorid hexaaminnikelnatý může sloužit pro přípravu bezvodého chloridu nikelnatého.</li> </ul>	
<p><b>Bezpečnostní předpisy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S amoniakem pracujeme v digestoři.</li> </ul>	<p><b>Časová náročnost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 minut</li> </ul>
<p><b>Doplňující otázky</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proč je nutné pracovat s amoniakem v digestoři?</li> <li>2. Jaký tvar má hexaaminnikelnatý kation?</li> <li>3. Jaké další komplexní sloučeniny niklu znáš?</li> </ol>	

<b>Hexakynoželznatan železitý (Berlínská modř) - <math>\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3</math></b>		
<p><b>Vlastnosti</b></p> <p>Tmavě modrá látka nerozpustná ve vodě. Má tendenci vytvářet koloidy.</p>		
<p><b>Chemikálie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• <math>\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}</math></li> <li>• <math>\text{H}_2\text{O}</math> (destilovaná)</li> <li>• <math>\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]</math></li> </ul>	<p><b>Laboratorní postup přípravy</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. V první kádince si připravíme roztok 12,5 g hexahydrátu chloridu železitého v 40 ml horké vody.</li> <li>2. V druhé kádince si připravíme roztok 7,5 g hexakynoželznatanu draselného (žlutá krevní sůl) v 80 ml horké vody.</li> <li>3. Do roztoku žluté krevní soli postupně přikapáváme roztok hexahydrátu chloridu železitého. V kádince se vytvoří modrá sraženina Berlínské modři.</li> <li>4. Sraženinu odsajeme za sníženého tlaku na Büchnerově nálevce a několikrát ji promyjeme malým množstvím vody a ethanolu v poměru 1:1. Získanou komplexní sloučeninu dáme na hodinové sklo a necháme sušit do dalšího cvičení.</li> </ol>	
<p><b>Pomůcky</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kádinky (100ml)</li> <li>• Skleněná tyčinka</li> <li>• Hodinové sklo</li> <li>• Lžička</li> <li>• Büchnerova nálevka</li> <li>• Filtrační papír</li> <li>• Odsávací baňka</li> <li>• Odměrný válec</li> <li>• Kapátko (Pasteurova pipeta)</li> </ul>	<p><b>Rovnice</b></p> $3 \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 4 \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	
<p><b>Využití</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berlínská modř nachází největší využití jako pigment. V medicíně se používá jako protijed při otravě thaliem.</li> </ul>		
<p><b>Bezpečnostní předpisy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berlínská modř velmi barví. Pracujeme proto opatrně.</li> </ul>		<p><b>Časová náročnost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 minut.</li> </ul>
<p><b>Doplňující otázky</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jaký další název má Berlínská modř?</li> <li>2. K čemu se dříve Berlínská modř používala?</li> <li>3. Co je to Turnbullova modř?</li> <li>4. Kdo jako první připravil Berlínskou modř?</li> </ol>		

<b>Hexanitrokobaltitan draselný - <math>K_3[Co(NO_2)_6]</math></b>		
<p><b>Vlastnosti</b></p> <p>Látka intenzivně žluté barvy, ve vodě málo rozpustná, nerozpustná v běžných organických rozpouštědlech.</p>		
<p><b>Chemikálie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>CoCl_2 \cdot 6H_2O</math></li> <li>• <math>NaNO_2</math></li> <li>• <math>CH_3COOH</math></li> <li>• <math>KCl</math></li> <li>• <math>H_2O</math> (destilovaná)</li> </ul>	<p><b>Laboratorní postup přípravy</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rozpustíme 3 g hexahydrátu chloridu kobaltnatého v nejmenším možném množství vody.</li> <li>2. V horké vodě rozpustíme 6 g dusitanu sodného a oba roztoky smícháme.</li> <li>3. Necháme vychladnout a přidáme několik kapek (asi 1 ml) ledové kyseliny octové (působí jako pufr).</li> <li>4. Reakční směs mícháme 30 minut (probíhá oxidace vzdušným kyslíkem).</li> <li>5. V posledním kroku přidáme několik kapek nasyceného roztoku chloridu draselného. Vznikne žlutá sraženina hexanitrokobaltitanu draselného, kterou odfiltrujeme za sníženého tlaku na fritě a usušíme volně na vzduchu.</li> </ol>	
<p><b>Pomůcky</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kádinky (50ml)</li> <li>• Skleněná tyčinka</li> <li>• Hodinové sklo</li> <li>• Kapátko</li> <li>• Lžička</li> <li>• Frita</li> <li>• Odsávací baňka</li> </ul>	<p><b>Rovnice</b></p> $CoCl_2 + 7 NaNO_2 + 2 CH_3COOH \rightarrow Na_3[Co(NO_2)_6] + 2 NaCl + 2 CH_3COONa + NO + H_2O$ $Na_3[Co(NO_2)_6] + 3 KCl \rightarrow K_3[Co(NO_2)_6] + 3 NaCl$	
<p><b>Využití</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hexanitrokobaltitan draselný se používá k důkazu draselných iontů. Pod názvem kobaltová žluť nebo aureolin slouží jako pigment v malířství, k malování na sklo a porcelán, ale i například k nástřiku aut.</li> </ul>		
<p><b>Bezpečnostní předpisy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S ledovou kyselinou octovou pracujeme v digestoři.</li> </ul>		<p><b>Časová náročnost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 minut.</li> </ul>
<p><b>Doplňující otázky</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jaký triviální název má hexanitrokobaltitan draselný?</li> <li>2. Co je to pufr?</li> <li>3. Jaká je rozpustnost hexanitrokobaltitanu sodného ve vodě, ve srovnání s hexanitrokobaltitanem draselným?</li> <li>4. Jak se jmenuje biologicky velmi významná komplexní sloučenina kobaltu?</li> </ol>		

<b>Tris (oxalato) chromitan draselný – <math>K_3[Cr(C_2O_4)_3]</math></b>		
<p><b>Vlastnosti</b></p> <p>Černozelená ve vodě dobře rozpustná krystalická látka. Nerozpustná v organických rozpouštědlech.</p>		
<p><b>Chemikálie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O</math></li> <li>• <math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math></li> <li>• <math>K_2C_2O_4 \cdot H_2O</math></li> <li>• <math>H_2O</math> (destilovaná)</li> <li>• <math>K_2Cr_2O_7</math></li> <li>• <math>CH_3CH_2OH</math></li> </ul>	<p><b>Laboratorní postup přípravy</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. K roztoku 2,3 g monohydrátu šťavelanu draselného a 5,5 g dihydrátu kyseliny šťavelové v 60 ml destilované vody přidáme po malých dávkách 1,9 g práškového dichromanu draselného.</li> <li>2. Během reakce roztok stále promícháváme. Po skončení reakce roztok odpaříme na vodní lázni na třetinu původního objemu.</li> <li>3. Roztok necháme volně krystalizovat do příštího cvičení, kdy následně vzniklé krystalky promyjeme 5 ml ethanolu a dáme na hodinové sklo.</li> </ol>	
<p><b>Pomůcky</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kádinky (150 ml)</li> <li>• Skleněná tyčinka</li> <li>• Hodinové sklo</li> <li>• Odpařovací miska</li> <li>• Vaříč</li> <li>• Lžička</li> <li>• Odměrný válec</li> </ul>	<p><b>Rovnice</b></p> $K_2Cr_2O_7 + 7 H_2C_2O_4 + 2 K_2C_2O_4 \rightarrow 2 K_3[Cr(C_2O_4)_3] + 6 CO_2 + 7 H_2O$	
<p><b>Využití</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tris(oxalato) chromitan draselný bývá používán k popisu cirkulárního dichroismu.</li> </ul>		
<p><b>Bezpečnostní předpisy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichroman draselný navažuje vyučující.</li> </ul>	<p><b>Časová náročnost</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 minut.</li> </ul>	
<p><b>Doplňující otázky</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jaké jsou bezpečnostní rizika dichromanu draselného?</li> <li>2. Má nějaké zdravotní rizika kyselina šťavelová?</li> <li>3. K čemu se používá dichroman draselný?</li> <li>4. Vyhledej v literatuře, co je dichroismus?</li> </ol>		

## 4.3 Příprava komplexních sloučenin

Tabulka 4: Seznam použitých chemikálií

Chemikálie	čistota	dodavatel
$K_2Cr_2O_7$	p. a.	Lachema
$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$	p. a.	Penta
$K_2C_2O_4 \cdot H_2O$	p. a.	Lachema
$KMnO_4$	p. a.	Lachema
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	p. a.	Lachema
$H_2O_2$	p. a.	Lachner
$CoCO_3$	p. a.	Lachema
$PbO_2$	p. a.	Penta
$CH_3COOH$	p. a.	VWR Chemicals
$KCr(SO_4)_2 \cdot 7H_2O$	p. a.	Lachema
KOH	p. a.	Mach chemikálie s. r. o
KCN	p. a.	Lachner
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	p. a.	Penta
$HNO_3$	p. a.	Lachner
$H_3PO_4$	p. a.	Penta
$K_4[Fe(CN)_6]$	p. a.	Lachema
HCl	p. a.	VWR Chemicals
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	p. a.	Penta
$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	p. a.	Lachema
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	p. a.	Lachema
$ZnCl_2$	p. a.	Lachema
$CH_3CH_2OH$	p. a.	Penta
$K_2CO_3$	p. a.	Mach chemikálie s. r. o

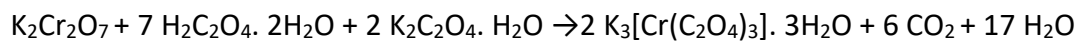
### 4.3.1 Oxalatokomplexy

#### 4.3.1.1 Trihydrát tris(oxalato)chromitanu draselného – $K_3[Cr(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$

##### Postup přípravy <sup>[59]</sup>

1. Do kádinky o objemu 150 ml jsem připravil roztok 1,25 g monohydrátu šťavelanu draselného a 3,02 g dihydrátu kyseliny šťavelové v 70 ml destilované vody a nechal míchat na magnetické míchačce.
2. Postupně jsem přidával 2,0 g práškového dichromanu draselného a nechal dalších 20 minut míchat.
3. Roztok jsem na vodní lázni odpařil na polovinu objemu a nechal deset dní volně krystalizovat.
4. Výsledné krystalky jsem zvažil.

##### Rovnice



##### Výsledek

Bylo připraveno 4,23 g zelenočerné krystalické látky, která je rozpustná ve vodě.

Výtěžnost 57,1 %.

#### 4.3.1.2 Trihydrát tris(oxalato)manganitanu draselného – $K_3[Mn(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$

##### Postup přípravy <sup>[60]</sup>

1. V kádince o objemu 150 ml jsem si připravil roztok 4,05 g dihydrátu kyseliny šťavelové v 25 ml vody a nechal míchat na magnetické míchačce.
2. Roztok jsem zahřál na 70 °C.
3. Pomalu jsem přidával 0,85 g manganistanu draselného a nechal míchat do vyčeření roztoku.
4. Po vyčeření roztoku jsem přidal 1,02 g pevného uhličitanu draselného. Nakonec jsem přidal ještě 0,40 g manganistanu draselného.
5. Reakční směs jsem ochladil v ledu a přefiltroval. K filtrátu jsem přidal 20 ml ethanolu.
6. Kádinku s roztokem jsem zabalil do alobalu a nechal roztok dva dny krystalizovat v lednici.



7. Výsledné krystalky jsem za tmy promyl ethanolem a následně vysušil v exikátoru. Zvážil a uchoval ve vialce, která byla zabalena v alobalu a uchována ve tmě.

#### **Rovnice**



#### **Výsledek**

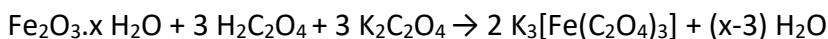
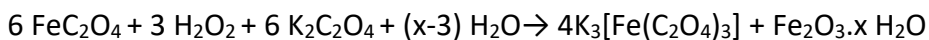
Bylo připraveno 2,31 g světle fialové krystalické látky, která je velmi citlivá na světlo na teplo. Výtěžnost 74,5 %.

### **4.3.1.3 Trihydrát tris(oxalato)železitanu draselného – $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$**

#### **Postup přípravy <sup>[58]</sup>**

1. V 25 ml horké vody jsem rozpustil 3,31 g dihydrátu kyseliny šťavelové a smíchal ho s roztokem 4,81 g zelené skalice ve 50 ml destilované vody.
2. Vznikla žlutá sraženina dihydrát šťavelanu železnatého, kterou jsem po ochladil, zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl vodou a 5 ml ethanolu.
3. Navážil jsem 6,63 g dihydrátu šťavelanu železnatého, který jsem za neustálého míchání na magnetické míchačce přidával do roztoku 8,04 g monohydrátu šťavelanu draselného v 25 ml vody.
4. Kapátkem jsem postupně přidával 15 ml koncentrovaného roztoku peroxidu vodíku a reakční směs udržoval na zhruba 40 °C.
5. Došlo k vysrážení hnědého oxidu železitého, který jsem rozpustil přidáním 10 % roztoku dihydrátu kyseliny šťavelové. Roztok jsem za tepla zfiltraval a k filtrátu přidal ethanol (zhruba 1/3 filtrátu).
6. Vyloučený krystalický produkt jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl směsí ethanolu a vody (1:1) v tmavé části digestoře (produkt je citlivý na světlo).
7. Trihydrát tris(oxalato)železitanu draselného jsem zvážil a následně vložil do vialky, kterou jsem zabalil do alobalu a uchoval ve stole.

### Rovnice



### Výsledek

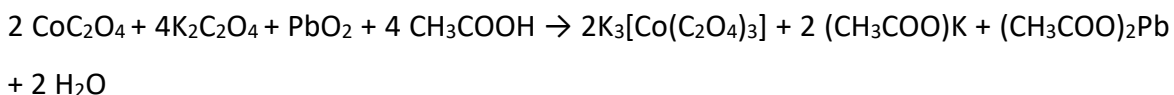
Bylo připraveno 4,61 g světle zelené krystalické látky. Výtěžnost 76,4 %.

### 4.3.1.4 Trihydrát tris(oxalato)kobaltitanu draselného – $\text{K}_3[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

#### Postup přípravy <sup>[61]</sup>

1. Navážil jsem 12,5 g dihydrátu kyseliny šťavelové, kterou jsem rozpustil ve 100 ml destilované vody. Roztok jsem za stálého míchání zahříval 10 minut na magnetické míchačce a přidal 12,1 g uhličitanu kobaltnatého.
2. V 250 ml horké vody jsem rozpustil 36,2 g šťavelanu draselného a oba roztoky smíchal dohromady. Za neustálého míchání jsem reakční směs přivedl k varu.
3. Roztok jsem ochladil na 40 °C a za intenzivního míchání pomalu přidával 11,8 g oxidu olovičitého.
4. Postupně jsem přikapával 12,5 ml ledové kyseliny octové. Hodinu jsem nechal reakční směs míchat. Došlo ke změně zbarvení z červené na tmavě zelenou.
5. Trihydrát tris(oxalato)kobaltitanu draselného jsem vysrážel přidáním 20 ml ethanolu.
6. Vyloučený krystalický produkt jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl směsí ethanolu a vody (1:1). Produkt jsem vysušil v exsikátoru, zvážil a dal do vialky, kterou jsem obalil alobalem.

### Rovnice



## Výsledek

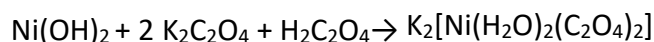
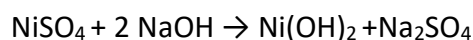
Bylo připraveno 25,89 g tmavě zelené krystalické látky, která je citlivá na teplo a světlo. Výtěžnost 58,9 %.

### 4.3.1.5 Tetrahydrát diaqua-bis(oxalato)nikelnatanu draselného – $K_2[Ni(H_2O)_2(C_2O_4)_2] \cdot 4H_2O$

#### Postup přípravy <sup>[62]</sup>

1. Nejprve jsem si musel připravit hydroxid nikelnatý. Ten jsem vysrážel reakcí 3,02 g heptahydrátu síranu nikelnatého v 25 ml destilované vody s roztokem 2,05 g hydroxidu sodného v 15 ml vody.
2. Vytvořila se zelenomodrá sraženinu, kterou jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku, promyl vodou.
3. Připravil jsem si roztok 1,39 g dihydrátu kyseliny šťavelové v 15 ml vody a smíchal ho s roztokem 2,21 g monohydrátu kyseliny šťavelové v 15 ml vody. Reakční směs jsem míchal na magnetické míchačce a postupně přivedl až k varu.
4. Do roztoku jsem přidal 2,5 g hydroxidu nikelnatého a nechal míchat dalších 30 minut.
5. Roztok jsem ochladil ledem a za studena přefiltroval přes filtrační papír, abych se zbavil přebytečného hydroxidu nikelnatého.
6. Filtrát jsem nechal volně odpařovat 14 dní. Výsledné tyrkysově modré krystalky jsem zvažil.

#### Rovnice



## Výsledek

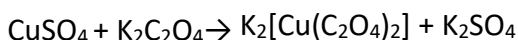
Bylo připraveno 2,48 g tyrkysově modré krystalické látky. Výtěžnost 81,4 %.

#### 4.3.1.6 Bis(oxalato)měďnatan draselný – $K_2[Cu(C_2O_4)_2]$

##### Postup přípravy <sup>[63]</sup>

1. Připravil jsem roztok 12,5 g pentahydrátu síranu měďnatého v 25 ml vody a za magnetického míchání přivedl k varu.
2. Za intenzivního míchání jsem postupně přidával horký roztok 36,8 g šťavelanu draselného ve 100 ml vody.
3. Vzniklý roztok jsem ochladil na 10 °C v ledové lázni.
4. Vyloučené modré krystaly jsem zfiltrval na fritě za sníženého tlaku a promyl studenou vodou.
5. Produkt jsem vysušil pod infralampou a zvažil.

##### Rovnice



##### Výsledek

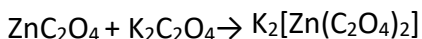
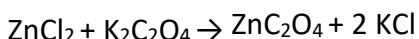
Bylo připraveno 11,23 g modré krystalické látky. Výtěžnost 91,1 %.

#### 4.3.1.7 Bis(oxalato)zinečnatan draselný – $K_2[Zn(C_2O_4)_2]$

##### Postup přípravy <sup>[64]</sup>

1. Z chloridu zinečnatého jsem si pomocí monohydrátu šťavelanu draselného připravil šťavelan zinečnatý, který jsem zfiltrval na fritě za sníženého tlaku a následně vysušil na vzduchu.
2. Připravil jsem roztok 4,05 g monohydrátu šťavelanu draselného v 15 ml destilované vody.
3. Roztok jsem míchal na magnetické míchačce a přivedl k varu.
4. Pomalu jsem začal přidávat roztok 3,33 g šťavelanu zinečnatého v 10 ml destilované vody.
5. Horký roztok jsem odpařil zhruba na polovinu objemu a nechal týden volně krystalizovat.
6. Výsledné krystaly jsem zvažil.

### Rovnice



### Výsledek

Bylo připraveno 4,23 g bílé krystalické látky. Výtěžnost 63,8 %.

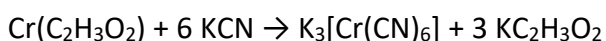
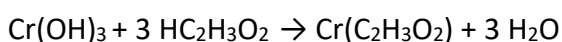
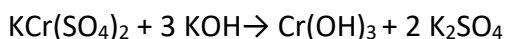
## 4.3.2 Kyanokomplexy

### 4.3.2.1 Hexakyanochromitan draselný – $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]$

#### Postup přípravy <sup>[65]</sup>

1. Připravil jsem si roztok 20,02 g síranu draselno-chromitého ve 100 ml horké destilované vody. Roztok jsem poté kvůli možným nečistotám zfiltraval a nechal reagovat s roztokem 4,21 g hydroxidu draselného v 25 ml destilované vody.
2. Vzniklý šedozelený hydroxid chromitý jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl vodou.
3. Do kádinky jsem nalil 100 ml 98% kyseliny octové a začal ji zahřívat na magnetické míchačce.
4. Do horké kyseliny octové jsem postupně přidával ještě vlhký hydroxid chromitý a reakční směs za neustálého míchání přivedl k varu.
5. Roztok jsem odpařil zhruba na polovinu a přidal horký roztok 37,07 g kyanidu draselného v 150 ml destilované vody.
6. Reakční směs jsem nechal za varu 2 hodiny míchat.
7. Ještě za horka jsem roztok dvakrát přefiltraval a filtrát nechal volně krystalizovat.
8. Vznikla žlutá krystalická látka, která ale obsahovala velké množství nečistot. Byla tedy potřeba hexakyanochromitan draselný třikrát rekrystalizovat.
9. Výsledné žluté krystalky jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku, promyl diethyletherem, nechal uschnout na vzduchu a zvažil.

### Rovnice



## Výsledek

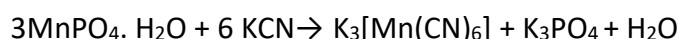
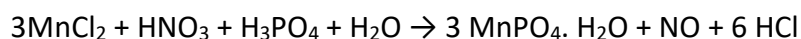
Bylo připraveno 15,34 g světle žluté krystalické látky. Produkt byl třikrát rekrystalizován. Výtěžnost 33,2 %.

### 4.3.2.2 Hexakyanomanganitan draselný – $K_3[Mn(CN)_6]$

#### Postup přípravy <sup>[66]</sup>

1. Připravil jsem roztok 34,21 g tetrahydrátu chloridu manganatého v 80 ml destilované vody, který jsem za neustálého míchání na magnetické míchačce přivedl téměř k varu.
2. Do roztoku jsem přidal 30,03 g kyseliny fosforečné a 10,04 g koncentrované kyseliny dusičné.
3. Roztok jsem odpařil téměř do sucha a výsledný monohydrát fosforečnanu manganitého jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku, promyl vodou vysušil exsikátoru.
4. Připravil jsem roztok 30,8 g kyanidu draselného v 80 ml vody a za míchání ho zahřál na 80 °C. Snížil jsem teplotu a postupně přidával 11,25 g monohydrátu fosforečnanu manganitého.
5. Reakční směs jsem další hodinu míchal na magnetické míchačce.
6. Roztok jsem nechal 14 dní volně krystalizovat. Vyloučila se černo červená krystalická látka, kterou jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku, promyl vodou a ethanolem. Černé nečistoty byly rozpustné ve vodě a na fritě zůstaly pouze tmavě červené krystaly, které jsem promyl diethyletherem.
7. Hexakyanomanganitan draselný jsem vysušil v exsikátoru a zvažil.

#### Rovnice



## Výsledek

Bylo připraveno 2,89 g tmavě červených krystalů s tvarem malých jehliček. Výtěžnost 38,8 %.

### 4.3.2.3 Hexakynoželezitan draselný – $K_3[Fe(CN)_6]$

#### Postup přípravy <sup>[67]</sup>

1. 6,51 g hexakynoželezitanu draselného jsem rozpustil v 50 ml destilované vody, zfiltraval a okyselil 2 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové.
2. K roztoku jsem přidával za stálého chlazení a míchání na magnetické míchačce 1,53 g manganistanu draselného.
3. Přebytek kyseliny chlorovodíkové jsem zneutralizoval uhličitanem vápenatým (kontrola pH papírkem).
4. Směs jsem zfiltraval a filtrát zahustil na vodní lázni zhruba na třetinu původního objemu.
5. Filtrát jsem nechal několik dní volně krystalizovat.
6. Vyloučené krystaly jsem promyl ethanolem, vysušil volně na vzduchu a zvažil.

#### Rovnice



#### Výsledek

Bylo připraveno 4,11 g červené krystalické látky. Produkt byl rekrystalizován a nechán volně krystalizovat několik dní, aby došlo k vytvoření větších krystalů. Výtěžnost 70,9 %.

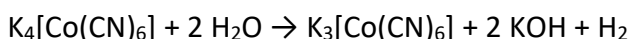
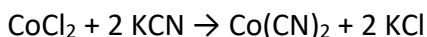
### 4.3.2.4 Hexakyanokobaltitan draselný – $K_3[Co(CN)_6]$

#### Postup přípravy <sup>[68]</sup>

1. Připravil jsem roztok 24,06 g hexahydrátu chloridu kobaltnatého v 250 ml destilované vody, který jsem zahříval a za míchání přidával po kapkách roztok 30,61 g kyanidu draselného v 100 ml destilované vody.
2. Vznikla červenohnědá sraženina kyanidu kobaltnatého, kterou jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl vodou.
3. V další kádince jsem připravil roztok 30,03 g kyanidu draselného v 75 ml destilované vody, který jsem za míchání zahříval a postupně přidával vysrážený kyanid kobaltnatý.
4. Reakční směs jsem míchal, dokud se kyanid kobaltnatý nerozpustil.

- Vzniklý roztok jsem zahřál až k varu a teplotu za neustálého míchání udržoval 30 minut.
- Roztok jsem za horka zfiltraval a filtrát odpařil na rotační vakuové odparce. Vyloučila se světle žlutá krystalická látka, kterou jsem na fritě promyl studenou vodou a vysušil v exsikátoru.
- Hexakyanokobaltitan draselný jsem zvažil.

**Rovnice**



**Výsledek**

Bylo připraveno 8,71 g světle žluté krystalické látky. Výtěžnost 56,7 %.

**4.3.2.5 Tetrakyanonikelnatan draselný –  $\text{K}_2[\text{Ni(CN)}_4]$**

**Postup přípravy <sup>[69]</sup>**

- Připravil jsem roztok 25,01 g heptahydrátu síranu nikelnatého v 60 ml destilované vody.
- Postupně jsem za magnetického míchání přidával po malých částech 30,08 g kyanidu draselného.
- Vznikl žlutý roztok a současně bílá sraženina. Roztok jsem přefiltroval a přidal 5 ml ethanolu.
- Filtrát jsem odpařil na rotační vakuové odparce. Vyloučily se světle oranžové krystalky, které jsem dvakrát promyl na fritě ethanolem.
- Získaný tetrakyanonikelnatan draselný jsem vysušil v exsikátoru a zvažil.

**Rovnice**



**Výsledek**

Připraveno bylo 16,71 g světle oranžové krystalické látky. Výtěžnost 71,6 %.

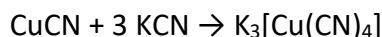


#### 4.3.2.6 Tetrakyanoměďnan draselný – $K_3[Cu(CN)_4]$

##### Postup přípravy <sup>[70]</sup>

1. Roztok 5,10 g pentahydrátu síranu měďnatého v 20 ml destilované vody jsem míchal a zahříval na magnetické míchačce. Přidal jsem roztok 5,08 g kyanidu draselného v 20 ml destilované vody. Vzniklý kyanid měďný zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl vodou.
2. Připravil jsem roztok 4,12 g KCN v 25 ml horké destilované vody a za míchání přidával 3,60 g kyanidu měďného.
3. Reakční jsem hodinu míchal a odpařil na polovinu objemu.
4. Roztok jsem za horka přefiltroval a nechal několik dní volně krystalizovat.
5. Výsledné bílé krystaly jsem zvažil.

##### Rovnice



##### Výsledek

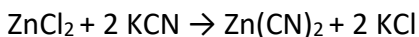
Bylo připraveno 2,37 g bílé krystalické látky. Výtěžnost 20,8 %.

#### 4.3.2.7 Tetrakyanozinečnan draselný – $K_2[Zn(CN)_4]$

##### Postup přípravy <sup>[71]</sup>

1. Připravil jsem roztok 10,1 g chloridu zinečnatého v 20 ml destilované vody a za míchání postupně přidával roztok 8,03 g kyanidu draselného v 25 ml destilované vody.
2. Získanou sraženinu kyanidu zinečnatého jsem zfiltraval na fritě za sníženého tlaku a promyl ethanolem.
3. Připravil jsem si horký roztok 6,01 g kyanidu draselného v 30 ml destilované vody, do kterého jsem za neustálého míchání postupně přidával 4,85 g kyanidu zinečnatého.
4. Reakční směs jsem ještě za horka zfiltraval a nechal několik dní volně odpařovat. Vyloučené krystalky jsem promyl ethanolem, vysušil na vzduchu a zvažil.

### Rovnice



### Výsledek

Bylo připraveno 4,72 g bílé krystalické látky. Výtěžnost 30,4 %.

## 4.4 Výroba dvou sbírek komplexních sloučenin využitelných při výuce chemie na SŠ/VŠ

Jedním z hlavních cílů diplomové práce je příprava ucelené sbírky komplexních sloučenin, která by se dala využít jako didaktická pomůcka při výuce chemie na SŠ/VŠ. Připravil jsem dvě řady komplexních sloučenin a pro každou z nich vyrobil didaktickou pomůcku ve formě ucelené sbírky (obr. 33 a obr. 34). Chemie komplexních sloučenin se učí na gymnáziích často bez laboratorního cvičení a důraz je kladen hlavně na názvosloví. Pro žáky jsou tak komplexní sloučeniny hodně abstraktním učivem. K lepšímu pochopení učiva může posloužit laboratorní cvičení, kdy si žák může některou z komplexních sloučenin sám připravit, ale ne vždy má učitel přístup do laboratoře, proto jako alternativa může sloužit vhodná didaktická pomůcka. Níže uvádím pracovní postup přípravy didaktické pomůcky, kterou jsem navrhnul a vytvořil.

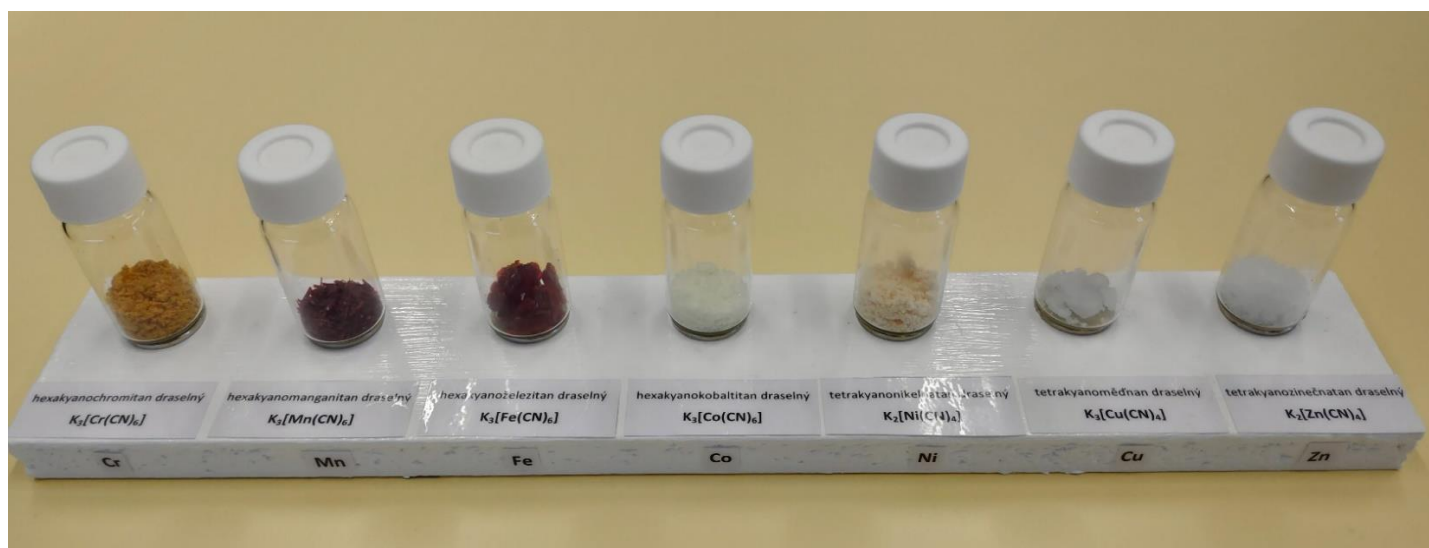
### Pracovní postup

1. Vybral jsem si vhodné dřevěné desky, které jsem změřil a nařezal na stejnou velikost.
2. Desky jsem na zadní straně rozdělil na sedm stejných částí, do středu každé části jsem tužkou vyznačil značku.
3. Do vyznačených značek jsem vyvrtal díry, do kterých jsem vložil neodymové magnety válcového tvaru (průměr 20 mm, výška 6 mm).
4. Magnety jsem do desek připevnil pomocí tavící pistole.
5. Obě desky jsem třikrát natřel bílou akrylovou barvou a nechal pořádně zaschnout.
6. Na čtrnáct šroubovacích vialek o objemu 20 ml jsem zespodu přilepil tenké neodymové magnety (průměr 25 mm, výška 2 mm).

7. Připravil jsem si popisky mnou připravených oxalatokomplexů, kyanokomplexů a jejich centrálních atomů, ty jsem pak vytiskl a zalaminoval.
8. Popisky jsem nastříhal a nalepil na obě desky.
9. Do vialek jsem vložil připravené oxalatokomplexy a kyanokomplexy.
10. Díky použitým magnetům vialky na desce pevně drží, ale v případě potřeby je možné vialky od desky jednoduše oddělat, sloučeninu si z blízka prohlédnout a vrátit zpět. (obr. 32 a obr. 33)



Obr. 32: Sběrka oxalatokomplexů s přechodnými kovy 4. periody (Cr<sup>III</sup>, Mn<sup>III</sup>, Fe<sup>III</sup>, Co<sup>III</sup>, Ni<sup>II</sup>, Cu<sup>II</sup>, Zn<sup>II</sup>)



Obr. 33: Sběrka kyanokomplexů s přechodnými kovy 4. periody (Cr<sup>III</sup>, Mn<sup>III</sup>, Fe<sup>III</sup>, Co<sup>III</sup>, Ni<sup>II</sup>, Cu<sup>I</sup>, Zn<sup>II</sup>),

## 5. Diskuse

Současný trend ve výuce komplexních sloučenin je takový, že bývá kladen velký důraz především na názvosloví těchto sloučenin a už mnohem menší pozornost je věnována praktickému využití, vlastnostem komplexních sloučenin. Provedené dotazníkové šetření mělo za úkol zjistit, v jakém stavu je výuka koordinačních sloučenin na gymnáziích a zda je pravda, že se žák v laboratorním cvičení s komplexními sloučeninami téměř nesetká. Většina komentářů k výsledkům dotazníkového šetření je pod jednotlivými graficky zpracovanými otázkami. V rámci diskuse jsou rozebrány pouze nejzajímavější výsledky šetření.

Struktura dotazníku byla rozdělena na několik typů otázek, první typ otázek sloužil k tomu zjistit z jaké je respondent školy, jaké má pohlaví a co by případně chtěl studovat. Téměř polovina respondentů (47,4 %) byla z Arcibiskupského gymnázia v Kroměříži. Gymnázium Olomouc – Hejčín i Slovanské gymnázium Olomouc jsou z hlediska počtu žáků větší školy. Otázkou je, co má největší vliv na to, zda žák dotazník vyplní, či nikoliv. Z obr. 9 je patrné, že téměř každý respondent z Kroměříže, který dotazník otevřel, tak ho taky dokončil, to se o žácích zbylých škol říct nedá, zejména u žáků z Hejčína v prvním sledovaném období byl počet nevyplněných dotazníků výrazný (24 respondentů z 55). Největší vliv na případné vyplnění dotazníků má dle komunikace s vyučujícími skutečnost, jestli žákům dají dotazník vyplnit v hodině, či ve volném čase. S tím souvisí i časová náročnost dotazníku, která byla odhadována na 5-10 minut. V požadovaném čase zvládlo dotazník vyplnit 110 respondentů (57,6 %). Druhá časově nejpočetnější skupina vyplňovala dotazník 10-30 minut (viz obr. 10). Největší vliv na časovou náročnost může mít stejně jako v předchozím případě skutečnost, jestli žák vyplňuje dotazník v hodině a snaží se zbytečně nezdržovat, nebo ho vyplňuje ve volném čase a u toho dělá další činnost. Největší počet respondentů byl z 2. ročníku a to 89 žáků (46,8 %). To souvisí se ŠVP jednotlivých škol, kdy všechna vybraná gymnázia kromě Gymnázia Jana Pivečky mají chemii komplexních sloučenin zařazenou v rámci ŠVP do druhého ročníku, GJP má učivo zařazeno v ročníku prvním. Dalším výrazným faktorem je bezesporu oslovený vyučující, který předával dotazník žákům ve třídách, kde učí (obr. 12). Nejvíce z dotázaných žáků má v plánu studovat na lékařských a přírodovědeckých fakultách, což vzhledem k současné prestiži povolání není překvapující (obr. 15). Pozitivní vztah k chemii vyjádřilo 83 žáků (43,7 %) což je skoro polovina respondentů. Chemie na gymnáziu nepatří

k nejoblíbenějším předmětům, ale na druhou stranu k těm velmi potřebným vzhledem k plánované volbě vysokoškolského studia.

Další skupina otázek se zabývala chemickou vazbou. U těchto otázek byla úspěšnost žáků velmi dobrá. U otázek, co je to donor a akceptor byla úspěšnost u obou otázek přes 90 %. Dalo by se polemizovat, zda tyto otázky nebyly až příliš jednoduché vzhledem k úspěšnosti. Následovala skupina otázek, která se zabývala názvoslovím komplexních sloučenin. V drtivé většině ŠVP u gymnázií nalezneme důraz na názvosloví koordinačních sloučenin, není proto překvapující, že výsledky těchto otázek měly velmi dobrou úspěšnost (57,4 % - 71,6 %).

V dotazníku se taky nachází otázka, která měla za cíl zjistit povědomí žáků o struktuře známých komplexních sloučenin s nimiž se žák setká nejen v chemii, ale i biologii. Úkolem žáků bylo určit, ve které z uvedených komplexních sloučenin (chlorofyl, hemoglobin, léku proti rakovině) se nachází jako centrálním atom hořčík. Správnou odpověď znalo 88 žáků, což není ani polovina z celkového počtu 190 respondentů (viz obr. 27). Druhá nejčastější odpověď byla nevíím (49 žáků.) Z toho může vyplývat, že koordinační chemie se učí bez většího důrazu na kontext a důležitost těchto sloučenin např. v přírodě. Žák by měl sloučeniny nejenom umět správně pojmenovat, ale chápat jejich význam a naučit se propojovat informace z více předmětů.

Ve zbytku otázek měl žák určit, zda ho chemie komplexních sloučenin bavila a věnoval by této problematice více času a také jestli během výuky bylo realizováno laboratorní cvičení. Pozitivní vztah k chemii komplexních sloučenin mělo celkově 77 žáků, ale pouze 12 z nich označilo odpověď určitě souhlasím. Dalších 55 respondentů bylo nerozhodnutých. Z obr. 28 tedy vyplývá, že ani polovinu z dotázaných žáků chemie komplexních sloučenin buď nebavila, nebo je učivo žádným způsobem nezaujalo. Obě možné varianty nejsou pozitivním zjištěním a je otázkou, proč tomu tak je. V další otázce měli žáci odpovědět, zda se během laboratorního cvičení setkali s úlohami z chemie komplexních sloučenin. Více než třetina žáků (36,8 %) uvedla, že si nevzpomíná. Další necelá třetina žáků (32,6 %) pak uvedla, že se s takovými úlohami nesečkali, ale měli by o ně zájem. Zbylí respondenti se s takovými úlohami nesečkali a ani by o to neměli zájem (viz obr. 29). Otázkou tedy je, zda se na vybraných gymnáziích v rámci laboratorního cvičení vůbec reálně vyučuje chemie komplexních sloučenin a, nebo to jen učitelé dostatečně nezdůrazní, že jde o tyto sloučeniny. V ŠVP má laboratorní cvičení zaměřené na komplexní sloučeniny z vybraných škol uvedeno pouze Gymnázium Jana Pivečky

a SOŠ Slavičín. S tím dozajista souvisí i skutečnost, jestli žáky chemie komplexních sloučenin bavila. Praktická výuka chemie má totiž svůj smysl, žáky dokáže vždy zaujmout daleko více než frontální výklad učitele, či procvičování pomocí pracovních listů. Pokusy v laboratoři mohou často tvořit pomyslné misky vah v tom, jestli učivo žáky baví, či nikoli. Tvrdím, že je pro středoškolačka chemie komplexních sloučenin příliš složitá nesouhlasila necelá polovina žáků (46,3 %). Další 57 respondentů (30 %) bylo v této otázce nerozhodnutých (viz obr. 30). Z toho vyplývá, že chemie komplexních sloučenin není pro žáky až tak složitým učivem, což by způsobovalo, že učivo žáky nebaví.

Z výsledků dotazníkového šetření vychází, že určitá neatraktivnost učiva je spíše způsobená jednak formou výuky (absence praktické výuky v laboratoři), tak i zbytečným důrazem na názvosloví, kdy se žák učí procvičovat velké množství vzorečků, aniž by například znal, kde se komplexní sloučeniny vyskytují, jak vypadají a proč jsou důležité.

V učebnicích chemie pro SŠ chybí úlohy do laboratorního cvičení z hlediska přípravy některé z komplexních sloučenin. Pro možnost praktické výuky těchto sloučenin na SŠ jsem vypracoval 5 pracovních listů, které by mohly být využity ve výuce na středních školách s cílem lepšího pochopení a osvojení učiva praktickou cestou. Pracovní listy mohou učitelům na SŠ usnadnit přípravu na laboratorní cvičení. Každý pracovní list obsahuje návod na přípravu jedné běžné komplexní sloučeniny (viz. kap. 4.1), který je doplněn strukturním vzorcem dané sloučeniny, jejími vlastnostmi, její reálnou fotografií a využitím. Dále je k dispozici seznam chemikálií a pomůcek a jsou uvedeny i chemické rovnice popisující probíhající reakce. Nakonec jsou ještě doplněny bezpečnostní pokyny, časová náročnost a velmi důležité doplňující otázky. Jedná se tedy o hotový kompletní návod, který učitel chemie může rovnou použít v laboratorním cvičení.

V rámci experimentální práce byly připraveny dvě série komplexních sloučenin, a to konkrétně oxalatokomplexy a kyanokomplexy s vybranými přechodnými kovy 4. periody (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn). Návod na přípravu těchto sloučenin jsem vyhledal v různých vysokoškolských skriptech, které se většinou již nepoužívají. [2, 55, 56, 59, 60] Dalším důležitým zdrojem, kde je možné nalézt velké množství návodů pro syntézy komplexních sloučenin byl soubor knih *Inorganic Syntheses*, které jsou vydávány od roku 1939. [61, 65, 68, 69, 70] Z této série knih jsem čerpal zejména v případě příprav kyanokomplexů. Návod na přípravu tetrahydrátu diaqua-bis(oxalato)nikelnatanu draselného a tetrakyanoměďnatanu draselného jsem našel

přímo v odborných člancích. [62, 70] Při syntéze kyanokomplexů jsem musel dávat pozor, kvůli nebezpečí otravy kyanovodíkem. Některé oxalatokomplexy vykazují zajímavé vlastnosti díky svojí citlivosti na teplo a světlo. Mezi nejzajímavější připravené oxalatokomplexy patří tris(oxalato)manganitan draselný. Tato světlefialová krystalická látka byla ze všech připravených látek nejméně stabilní, z důvodu vysoké citlivosti na teplo a světlo. Manganité kationty ( $Mn^{3+}$ ) jsou obecně málo stabilní. Pokud necháme tris(oxalato)manganitan draselný na světle, tak se rozkládá na bílý prášek, kdy přechází mangan z oxidačního čísla +III na +II. Pokud chceme rozkladu předejít, tak je nutné tris(oxalato)manganitan draselný uchovat ve tmě a nevystavovat ho teplu a světlu, případně je i vhodné umístit tuto komplexní sloučeninu do prostředí inertní atmosféry. Pokud chceme stabilizovat mangan v oxidačním čísle +III, tak bychom mohli pomocí substituce oxalato ligandu jiným vhodným ligandem (například acetylacetonátovým). Dalším oxalatokomplexem citlivým na světlo je tris(oxalato)železitan draselný, který je daleko stabilnější než tris(oxalato)manganitan draselný, ale i tak byla potřeba ho nechat zabalený v alobalu ve vialce a uschovaný ve stole ve tmě, jinak by docházelo k jeho rozkladu na žlutý šťavelan železnatý. Určitou citlivost na teplo a světlo vykazoval i jeje tris(oxalato)kobaltitan draselný, ale ze zmíněných oxalatokomplexů má nejvyšší stabilitu. Zajímavým komplexem z hlediska optických vlastností je je tris(oxalato)chromitan draselný u kterého lze studovat cirkulární dichroismus.

Příprava takové ucelené sbírky, tj. dvou sérií komplexů se stejnými ligandy, ve kterých se mění centrální atom od Cr po Zn, může sloužit jako didaktická pomůcka k demonstraci a porovnání některých vlastností obou typů připravených komplexů ať už v rámci každé série zvlášť nebo mezi oběma sériemi.

Nejdříve je možné diskutovat složení komplexů. Pro první sérii oxalatokomplexů – centrální atomy Cr-Co vytváří tris(oxalato)komplexy, zatímco Ni-Zn pouze bis(oxalato)komplexy. Pro druhou sérii kyanokomplexů lze pozorovat analogický trend – centrální atomy Cr-Co vytváří hexakyanokomplexy, zatímco Ni-Zn pouze tetrakyno komplexy. Toto snížení koordinačního čísla může být vysvětleno snižujícím se iontovým poloměrem kovů, který v periodě zleva doprava klesá, a postupným zaplňováním d-orbitalů elektrony. Na dalším místě lze určitě porovnat barvu komplexů, která se v každé sérii mění. Připravené oxalatokomplexy (obr. 32) jsou barevnější než kyanokomplexy (obr. 33), mají daleko širší škálu barev. Výsledná barva komplexu je ovšem ovlivněna celou řadou faktorů – především



elektronovou konfigurací centrálního atomu, silou ligandového pole – tj. velikostí štěpení d-orbitalů, přenosem náboje z centrálního atomu na ligand a naopak atd., tj. výsledná barva je komplexním výsledkem a diskuse každé barvy zvlášť by vyžadovala hlubší interpretaci UV-VIS spekter, což je již nad rámec této práce. Na druhou stranu v jednoduchosti lze shrnout, že určitě se projeví, jak silné ligandové pole oba ligandy vytváří. Ve spektrochemické řadě ligandů patří šťavelový anion k ligandům, které vytvářejí slabé ligandové pole, a proto jsou jeho komplexy vysokospinové. Naopak kyanidový anion jako ligand vytváří velmi silné ligandové pole a jeho komplexy jsou tak nízkospinové. Obsazování d-orbitalů elektrony vysokospinových komplexů se řídí Hundovým pravidlem, tím pádem často obsahují nepárové elektrony, a proto bývají velmi často paramagnetické. Když se podíváme na barvu připravených oxalatokomplexů (obr. 33), tak všechny připravené komplexy jsou svojí barevností poměrně výrazné. Výjimku vytváří bis(oxalato)zinečnatán draselný, který má zcela zaplněnou valenční vrstvu (tabulka 5) a proto je diamagnetický a bezbarvý. Ze stejného důvodu jsou bezbarvé/bílé poslední dva ( $\text{Cu}^I$  a  $\text{Zn}^{II}$ ) kyanokomplexy z druhé série. U kyanokomplexů jsou vlastně barevně výrazné pouze první tři komplexy série (obr. 34), které jsou paramagnetické. Dále by bylo možné v rámci výuky koordinační chemie na VŠ diskutovat i magnetické vlastnosti (velikost efektivního magnetického momentu), z čehož by vyplynul počet nepárových elektronů, který by potvrdil předpokládanou elektronovou konfiguraci. Porovnání vždy dvou komplexů stejného centrálního atomu s jinými ligandy může být také zajímavé, avšak vyžadovalo by opět náročnější rozbor. V případě série oxalatokomplexů je dále možné upozornit na izomerii koordinačních sloučenin – tris(oxalato)komplexy vytváří optické izomery ( $\Delta$ ,  $\Lambda$ ), komplex s  $\text{Ni}^{II}$  vytváří dva geometrické izomery *cis*- a *trans*- (izolovaný byl komplex s *trans*-geometrií).

Tabulka 5: Oxidační stavy přechodných kovů 4. periody, které tvoří centrální atomy připravených komplexů

Oxalatokomplexy							
Oxidační číslo centrálního atomu	Cr <sup>+III</sup>	Mn <sup>+III</sup>	Fe <sup>+III</sup>	Co <sup>+III</sup>	Ni <sup>+II</sup>	Cu <sup>+II</sup>	Zn <sup>+II</sup>
Elektronová konfigurace valenční vrstvy centrálního atomu	3d <sup>3</sup>	3d <sup>4</sup>	3d <sup>5</sup>	3d <sup>6</sup>	3d <sup>8</sup>	3d <sup>9</sup>	3d <sup>10</sup>
Kyanokomplexy							
Oxidační číslo centrálního atomu	Cr <sup>+III</sup>	Mn <sup>+III</sup>	Fe <sup>+III</sup>	Co <sup>+III</sup>	Ni <sup>+II</sup>	Cu <sup>+I</sup>	Zn <sup>+II</sup>
Elektronová konfigurace valenční vrstvy centrálního atomu	3d <sup>3</sup>	3d <sup>4</sup>	3d <sup>5</sup>	3d <sup>6</sup>	3d <sup>8</sup>	3d <sup>10</sup>	3d <sup>10</sup>

## 5. Závěr

V diplomové práci se zabývám problematikou výuky koordinační chemie na SŠ. V rámci teoretické části diplomové práce jsem popsal základní charakteristiky komplexních sloučenin se zaměřením na jejich syntézu a vypracoval rešerši dostupné literatury zabývající se přípravou a vlastnostmi jednoduchých kyanokomplexů, amminokomplexů a oxalatokomplexů iontů přechodných kovů, tj. komplexních sloučenin s takovými ligandy, kterým jsem se následně věnoval i v rámci praktické části práce. Dílčím cílem bylo také zdokumentovat postavení koordinační chemie v rámcově vzdělávacích programech a školních vzdělávacích programech vybraných gymnázií. Byla provedena jednoduchá analýza středoškolských učebnic z pohledu výuky teorie koordinačních sloučenin.

V praktické části diplomové práce jsem realizoval u vybraných gymnázií dotazníkové šetření na téma Chemie komplexních sloučenin ve výuce na SŠ. Pro praktickou výuku na střední škole jsem vypracoval pět pracovních listů, které slouží pro přípravu komplexních sloučenin v podmínkách středoškolské laboratoře. Hlavním výsledkem práce ovšem byla reálná příprava dvou ucelených sérií kyanokomplexů a oxalatokomplexů s vybranými přechodnými kovy 4. periody ( $\text{Cr}^{\text{III}}$ ,  $\text{Mn}^{\text{III}}$ ,  $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{Co}^{\text{III}}$ ,  $\text{Ni}^{\text{II}}$ ,  $\text{Cu}^{\text{II}}$ ,  $\text{Zn}^{\text{II}}$ ), kdy tyto dvě série produktů byly zpracovány do podoby dvou didaktických pomůcek, které mohou být využitelné při výuce chemie komplexních sloučenin na SŠ i VŠ.

Dotazníková šetření jsou důležitá jako vhodný nástroj pro evaluaci výuky na školách. Výsledky dotazníkového šetření ukazují pohled žáků gymnázia na problematiku výuky komplexních sloučenin na středních školách. V budoucnu je možnost se dané problematice věnovat daleko podrobněji a na větším vzorku gymnázií. Pro výuku na SŠ a především na VŠ by bylo možné připravit další obdobné sbírky komplexních sloučenin s jinými ligandy nebo je rozšířit o další přechodné kovy. Co se týká praktického využití připravených pracovních listů, tak je v budoucnu plánováno zařadit/začlenit tyto materiály do projektu Univerzity Palackého s názvem Pokusnice. Tato aplikace se snaží učitelům chemie zjednodušit laboratorní výuku na základních a středních školách tím, že jim dává k dispozici hotové návody laboratorních cvičení a potřebný soupis chemikálií. Tím bude možné rozšířit povědomí o laboratorní výuce v oblasti komplexních sloučenin na SŠ.

## 6. Seznam použité literatury

1. Cídllová, Mokrá a Valová. *Obecná chemie* [online]. Masarykova Univerzita. Brno, **2018** [cit. 2021-02-15]. Dostupné z:  
[https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna\\_chemie/web/skripta/Obecna-chemie.pdf](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna_chemie/web/skripta/Obecna-chemie.pdf)
2. Podlaha a Podlahová. *Cvičení z preparativní anorganické chemie*. 4. Praha, **1993**.
3. N. N. Greenwood – A. Earnshaw, *Chemie prvků 2. díl*, 1. vydání **1993**. ISBN 80-85427-38-9
4. Jursík F.: *Anorganická chemie kovů*. 1. vyd. **2002**. ISBN 80-7080-504-8
5. A.G. Sharpe, *The Chemistry of Cyano Complexes of the Transition Metals*, Academic Press, London, **1976**.
6. Haber, V. *Koordinační chemie I*. 2. Praha: SPN-státní pedagogické nakladatelství, **1977** [cit. 2021-5-19].
7. R. Tsuchida (**1938**). Absorption Spectra of Co-ordination Compounds. *Chem. Soc. Jpn.* **13** (5). doi:10.1246/bcsj.13.388
8. Miessler, G.L: Tarr, D. A. *Inorganic Chemistry*, 2, Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, **1999**
9. Constable, E.C.; Housecroft, C.E. Coordination chemistry: The scientific legacy of Alfred Werner. *Chem. Soc. Rev.* **2013**, 42, 1429–1439.
10. Golub, A.M, Köhler, H: Skopenko, V. V. *Chemistry of Pseudohalides*, Elsevier, Amsterdam, **1986**
11. C. Kappenstein, U. Schubert, J. Chem. Soc. Chem. Commun. (**1980**) 1116.
12. C. Kappenstein, R.P. Hugel, *Inorg. Chem.* 16 (**1977**) 250.
13. D.J. Chesnut, A. Kusnetzow, R. Birge, J. Zubieta, Solid state coordination chemistry: ligand influences on the structures of one-dimensional copper(I) cyanide–organodiimine solids, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 18 (**2001**), pp. 2581-2586
14. M. Ohba, H. Ōkawa, N. Fukita, Y. Hashimoto, Bimetallic magnetic material [Ni(diamine)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]X with two-dimensional network extended by Fe(III)-CN-Ni(II) linkages, *J. Am. Chem. Soc.*, 119 (5) (**1997**), pp. 1011-1019
15. W. Meske, D. Babel, *Z. Anorg. Allg. Chem.* 625 (**1999**) 51.

16. Dunn, "Modern Coordination Chemistry," ed. Lewis and Wilkins, Interscience Publ., Inc., New York, **1960**, p. 267.
17. Dunbar, K. R. and Heintz, R. A., "Chemistry of Transition Metal Cyanide Compounds: Modern Perspectives", *Progress in Inorganic Chemistry*, **1997**, 45, 283-391.
18. Verdaguer, M.; Bleuzen, A.; Marvaud, V.; Vaissermann, J.; Seuleiman, M.; Desplanches, C.; Sculler, A.; Train, C.; Garde, R.; Gelly, G.; et al. Molecules to build solids: high TC molecule-based magnets by design and recent revival of cyano complexes chemistry. *Coord. Chem Rev.* **1999**, 192, 1023–1047.
19. Verdaguer, M.; Girolami, G.S. Magnetic Prussian Blue Analogs. In *Magnetism: Molecules to Materials, V*; Miller, J.S., Drillon, M., Eds.; Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA: Weinheim, Germany, **2005**; Volume 3, pp. 283–346.
20. T. Iwamoto, Supramolecular chemistry in cyanometallate systems *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, 6 (**1996**), pp. 643-690
21. E. Colacio, M. Ghazi, H. Stoeckli-Evans, F. Lloret, J.M. Moreno, C. Perez, Cyano-bridged bimetallic assemblies from hexacyanometalate,  $[M(CN)_6]_3-(M=Mn^{III}$  and  $Fe^{III})$ , and  $[M(N_4\text{-macrocycle})]_2+(M=Fe^{III}$ ,  $Ni^{II}$  and  $Zn^{II})$  building blocks
22. Syntheses, Multidimensional Structures, and Magnetic Properties, *Inorganic chemistry*, 40 (19) (**2001**), pp. 4876-4883
23. Pike, R. D., Structure and Bonding in Copper(I) Carbonyl and Cyanide Complexes (**2012**). *Organometallics*. 31 (22), 7647–7660. 10.1021/om3004459
24. Klikorka, Klazar, Votinský a Horák. *Úvod do preparativní anorganické chemie*. 4. Praha: Nakladatelství technické literatury, **1982**.
25. Eßmann, Ralf; Kreiner, Guido; Niemann, Anke; Rechenbach, Dirk; Schmieding, Axel; Sichla, Thomas; Zachwieja, Uwe; Jacobs, Herbert (**1996**). "Isotype Strukturen einiger Hexaamminmetall(II)-halogenide von 3d-Metallen:  $[V(NH_3)_6]I_2$ ,  $[Cr(NH_3)_6]I_2$ ,  $[Mn(NH_3)_6]Cl_2$ ,  $[Fe(NH_3)_6]Cl_2$ ,  $[Fe(NH_3)_6]Br_2$ ,  $[Co(NH_3)_6]Br_2$ , und  $[Ni(NH_3)_6]Cl_2$ ". *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. **622**: 1161–1166. doi:10.1002/zaac.19966220709
26. Essmann, R. (**1995**). "Influence of coordination on N-H...X- hydrogen bonds. Part 1.  $[Zn(NH_3)_4]Br_2$  and  $[Zn(NH_3)_4]I_2$ ". *Journal of Molecular Structure*. **356**: 201–6. doi:10.1016/0022-2860(95)08957-W
27. Drewinko B, Gottlieb JA. Action of *cis*-dichlorodiammineplatinum (II) (NSC-119875) at the cellular level. *Cancer Chemother Rep.* **1975**; 59:665-73. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1203891?dopt=AbstractPlus>

28. Helmut W. Schmalke, Philippe Schneuwly, and Hans Rudolf Oswald. Photochemical synthesis and structure of a 3-dimensional anionic polymeric network of an iron(II) oxalato complex with tris(2,2'-bipyridine)iron(II) cations, *Inorganic Chemistry* **1993** 32 (10), 1888-1892, DOI: 10.1021/ic00062a004
29. Bailar, Jr., John C.; Jones, Eldon M. (1939). *Trioxalato Salts (Trioxalatoaluminate, -ferriate, -chromiate, and-cobaltiate)*. *Inorg.Synth.* Inorganic Syntheses. **1**. pp. 35–38. doi:10.1002/9780470132326.ch13
30. Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1988). *Advanced inorganic chemistry*. New York: Wiley.
31. Cunningham, G. E., Buri.by, R. W., and Friend,. T.: Nature 166, 1103 (1952)
32. C. A. Parker and C. G. Hatchard. Photodecomposition of Complex Oxalates—Some Preliminary Experiments by Flash Photolysis. *The Journal of Physical Chemistry* **1959** 63 (1), 22-26. DOI: 10.1021/j150571a009
33. Bailar, J. C., Jr. (Editor): *The Chemistry of the Coordination Compounds*. Reinhold Publishing Corporation, New York (1956).
34. Dinnebier, Robert & Vensky, Sascha & Panthöfer, Martin. (2003). Crystal and Molecular Structures of Alkali Oxalates: First Proof of a Staggered Oxalate Anion in the Solid State. *Inorganic chemistry*. **42**. 1499-507. 10.1021/ic0205536.
35. Robert E. Dinnebier, Sascha Vensky, Martin Panthöfer, and Martin Jansen. Crystal and Molecular Structures of Alkali Oxalates: First Proof of a Staggered Oxalate Anion in the Solid State. *Inorganic Chemistry* **2003** 42 (5), 1499-1507. DOI: 10.1021/ic0205536
36. Lochman, G.: Chem. Ztg. **57**, 214 (1933)
37. *Rámcový vzdělávací program pro obor gymnázia* [online]. Praha: VÚP, **2007** [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/file/159>
38. *Gymnázium Olomouc-Hejčín* [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.gytool.cz/>
39. GYMNÁZIUM OLOMOUC – HEJČÍN. *Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání* [online]. Olomouc, **2009**, s. 272-275 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.gytool.cz/soubory/skolni-vzdelavaci-program.pdf>
40. *Slovanské gymnázium Olomouc* [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.sgo.cz/>
41. SLOVANSKÉ GYMNÁZIUM OLOMOUC. *Školní vzdělávací program* [online]. s. 167-175 [cit.2021-03-05].Dostupné z: [https://www.sgo.cz/uploads/page/20/doc/%C5%A0VP\\_vy%C5%A1%C5%A1%C3%AD\\_gymn%C3%A1zium.pdf](https://www.sgo.cz/uploads/page/20/doc/%C5%A0VP_vy%C5%A1%C5%A1%C3%AD_gymn%C3%A1zium.pdf)

42. GJP a SOŠ Slavičín [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.gjpsosslavicin.cz/>
43. GYMNÁZIUM JANA PIVEČKY A STŘEDNÍ ODBORNÁ ŠKOLA SLAVIČÍN. *Školní vzdělávací program* [online]. s. 120-126 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.gjpsosslavicin.cz/wp-content/uploads/2020/07/gymnazium-4-lete-1.pdf>
44. *Arcibiskupské gymnázium v Kroměříži* [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.agkm.cz/>
45. ARCIBISKUPSKÉ GYMNÁZIUM V KROMĚŘÍŽI. *Školní vzdělávací program* [online]. [cit. 2021-03-05].
46. Mareček A., Honza J., *Chemie pro čtyřletá gymnázia 2. díl*, **1998**, nakladatelství Olomouc, Olomouc, 239.
47. Flemr V., Dušek B., *Chemie pro gymnázia I (obecná a anorganická)*, **2007**, SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., Praha, 120.
48. Vacík J., Barthová J., Pacák J., Strauch B., Svobodová M., Zemánek F., *Přehled středoškolské chemie*, **1999**, SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., Praha, 368.
49. Vacík J., *Chemie I (obecná a anorganická) pro gymnázia*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, **1995.**, 245
50. Šrámek, V. *Chemie obecná a anorganická*. Olomouc, **2011**. ISBN 978-80-7182-099-4.
51. Blažek, J. *Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření*. Olomouc: SPN, **1999**. ISBN 80-7235-104-4.
52. Peč, P. a D. Pečová. *Učebnice středoškolské chemie a biochemie*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, **2001**. ISBN 80-7182-034-2.
53. Banýr, J. *Chemie pro střední školy*. Olomouc: SPN, **2001**. ISBN 978-80-85937-46-6.
54. [www.survio.com](https://www.survio.com/)[online]. Brno, 2012 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.survio.com/cs/>
55. Rohovec. *(L)UČEBNICE anorganické chemie* Praha: Karolinum, **2003**, s. 111. ISBN 80-246-0562-7.
56. Podlaha a Podlahová. *Cvičení z preparativní anorganické chemie*. 4. Praha, **1993**, s. 121-122.

57. Louise Samain, Fernande Grandjean, Gary J. Long, Pauline Martinetto, Pierre Bordet and David Strivay. Relationship between the Synthesis of Prussian Blue Pigments, Their Color, Physical Properties, and Their Behavior in Paint Layers. *The Journal of Physical Chemistry C* **2013** 117 (19), 9693-9712. DOI: 10.1021/jp3111327
58. Rohovec. *(L)UČEBNICE anorganické chemie* Praha: Karolinum, **2003**, s. 84. ISBN 80-246-0562-7.
59. Kameníček, J., M. Klečková, F. Kašpárek a R. Pastorek. *Praktická cvičení z anorganické chemie. 2.* Olomouc, **2007**, s. 52. ISBN 978-80-244-1627-4.
60. Antal, P., I. Bártová a Z. Smékal. *Cvičení z anorganické chemie.* Olomouc, **2020**, s. 95. ISBN 978-80-244-5829-8.
61. Bergham a Fox. *Inorganic syntheses: vol.1.* 1. New York, Londýn, **1939**, s. 37.
62. M. Narsimhulu, B. Raju, A. Saritha, D. Narayana Rao, A new room-temperature ultraviolet emission material:  $K_2[Ni(C_2O_4)_2(H_2O)_2] \cdot 4H_2O$ , **2015**. doi.org/10.1016/j.physb.2015.05.019.
63. Podlaha a Podlahová. *Cvičení z preparativní anorganické chemie. 4.* Praha, **1993**, s. 126
64. Metler, V. *Journal of the American Chemical Society: vol. 56.* **1934**
65. Bigelow, J. *Inorganic syntheses: vol.2.* 1. New York, Londýn, **1946**, s. 203.
66. Lower, J. A. Fernelius, C. W. *Inorganic syntheses: vol.2.* 1. New York, Londýn, **1946**, s. 213.
67. Kameníček, J., M. Klečková, F. Kašpárek a R. Pastorek. *Praktická cvičení z anorganické chemie. 2.* Olomouc, **2007**, s. 55. ISBN 978-80-244-1627-4.
68. Bigelow, J. *Inorganic syntheses: vol.2.* 1. New York, Londýn, **1946**, s. 225-226.
69. Fernelius, C. W. Urbage, J. *Inorganic syntheses: vol.2.* 1. New York, Londýn, **1946**, s. 227-228.
70. Ibrahim, Siebel, Fisher a Dieter, *Inorganic chemistry: vol. 37,* Hamburk, **1998**
71. Podlaha a Podlahová. *Cvičení z preparativní anorganické chemie. 4.* Praha, **1993**, s.122



## 7. Přílohy

### Chemie komplexních sloučenin ve výuce na SS

1 Název školy

2 Ročník

3 Město/obec

4 Pohlaví

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

Muž  Žena

5 Vyberte zaměření Vašeho plánovaného studia na VŠ.

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu nebo více odpovědí*

lékařské  umělecké  právnické  ekonomické  sportovní  sportovní  přírodovědné  
 pedagogické  technické  
 Jiná...

### 6 Můj vztah k chemii je pozitivní

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- určitě souhlasím  
  spíše souhlasím  
  nerozhodnutý  
  spíše nesouhlasím  
  určitě nesouhlasím

### 7 Chemická vazba je

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- soubor sil, pomocí kterých se štěpí molekuly na jednotlivé atomy  
  soubor sil, pomocí kterých jsou vzájemně vázány atomy v molekulách  
  soubor sil, které působí mezi molekulami  
  nevím
- Jiná...

### 8 V komplexních sloučeninách se nachází alespoň jedna vazba

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu nebo více odpovědí*

- koordinačně - kovalentní  
  kovalentní nepolární  
  donor - akceptorová  
  kovová  
  nevím
- Jiná...

### 9 Donor

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- poskytuje elektronový pár  
  přijímá elektronový pár  
  nemá s elektrony nic společného  
  nevím
- Jiná...

### 10 Akceptor

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- poskytuje elektronový pár  
  přijímá elektronový pár  
  štěpí chemickou vazbu  
  nevím
- Jiná...

### 11 Centrálním atomem komplexní sloučeniny může být

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- pouze atom nepřechodného prvku  
  atom s nadbytkem elektronů  
  atom přechodného, případně i nepřechodného prvku  
  nevím
- Jiná...

12 Centrální atom se v komplexní sloučenině nebo částici zapisuje

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- v hranaté závorce úplně vlevo   
  v hranaté závorce úplně vpravo   
  v hranaté závorce ho můžeme zapsat kamkoliv   
  nevím

13 Vzorec tetrakyanonikelnatanu draselného je

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- $K_2[Ni(CN)_4]$    
   $K_2[Ni(CN)_4]$    
   $K_3[Ni(CN)_4]$    
   $K[Ni(CN)_4]$    
  nevím
- Jiná...

14 Vzorec hexaaquachromitého kationtu je

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$    
   $[Cr(H_2O)_5]^{3+}$    
   $[Cr(H_2O)_6]^{2+}$    
  nevím
- Jiná...

15 Název  $K_4[Fe(CN)_6]$  je

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- Hexakynoželezitan draselný   
  Hexakynoželeznan draselný   
  Hexakynoželeznatan draselný   
  nevím
- Jiná...

16 Název  $[Co(NH_3)_6]Cl_3$  je

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- chlorid hexaaminkobaltnatý   
  chlorid hexaaminkobaltitý   
  chlorid heptaaminkobaltitý   
  nevím
- Jiná...

17 Ve které komplexní sloučenině je centrálním atomem Mg?

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- v hemoglobinu   
  v chlorofylu   
  v léku proti rakovině   
  nevím

18 Výuka komplexních sloučenin mě bavila

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- určitě souhlasím    spíše souhlasím    nerozhodnutý    spíše nesouhlasím    určitě nesouhlasím

19 S komplexními sloučeninami jsem se setkal i v rámci laboratorního cvičení

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- Ano    Ne, ani by mě takové úlohy nezajímaly    Ne, ale měl bych o takové úlohy zájem    Nevzpomínám si

20 Problematika komplexních sloučenin je pro středoškoláka příliš složitá

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- Určitě nesouhlasím    Spíše nesouhlasím    Nerozhodnutý    spíše souhlasím    určitě souhlasím

21 Chemii komplexních sloučenin by mělo být věnováno během výuky více času

Nápověda k otázce: *Vyberte jednu odpověď*

- určitě nesouhlasím    spíše nesouhlasím    nerozhodnutý    spíše souhlasím    určitě souhlasím