Primjena Wernerovih kompleksa u eksperimentalnoj nastavi kemije

Kolarić, Karolina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:785292

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Department of Chemistry, Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za kemiju
Diplomski studij kemije

Karolina Kolarić

PRIMJENA WERNEROVIH KOMPLEKSA U EKSPERIMENTALNOJ NASTAVI KEMIJE

Diplomski rad

Osijek, 2020.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za kemiju
Diplomski studij kemije

Karolina Kolarić

PRIMJENA WERNEROVIH KOMPLEKSA U EKSPERIMENTALNOJ NASTAVI KEMIJE

Diplomski rad

Mentor: doc. dr. sc. Tomislav Balić
Komentor: doc.dr.sc Elvira Kovač-Andrić

Osijek, 2020.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Odjelu za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku pod vodstvom doc. dr. sc. Tomislav Balić. Rad je predan na ocjenu Odjelu za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, radi stjecanja zvanja magistra edukacije kemije.

Zahvale

Ponajprije se zahvaljujem svojem mentoru doc. dr . sc Tomislavu Baliću na strpljenju, sugestijama, pomoći i vodstvu tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svojoj komentorici doc. dr. sc Elviri Kovač-Andrić na pomoći i savjetima prvestveno oko metodičkog dijela rada.

Zahvaljujem se svim ostalim docentima i asistentima te zaposlenicima Odjela za kemiju za savjete i odgovore na sva postavljena pitanja.

Hvala svim mojim prijateljima, susjedima i rodbini što ste vjerovali u moj uspjeh i bili mi podrška.

Dino, hvala ti na strpljenju i podršci tijekom svih ovih godina mojeg studiranja.

Hvala cijeloj mojoj obitelji , a posebno hvala mami i tati. Hvala na vjeri u mene i neumornoj podršci, na svim upućenim riječima, znam da je bilo teškom sa mnom tijekom ovih godina, ali uvijek ste bili tu. Prvi diplomski je gotov, sada vas molim za još malo strpljenja i podrške za iduća dva pa da to studentsko poglavlje uspješno privedemo kraju.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za kemiju
Diplomski studij kemije
Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Kemija

PRIMJENA WERNEROVIH KOMPLEKSA U EKSPERIMENTALNOJ NASTAVI KEMIJE

Karolina Kolarić

Izrada ovog diplomskog rada vođena je pretpostavkom slabog poznavanja Wernerove teorije i njegovih spojeva među studentima kemije. U sklopu diplomskog rada provedena je web anketa sastavljena od 15 pitanja na 100 ispitanika (studenti kemije i oni koji su završili studij unazad 5 godina) sa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i Sveučilišta u Zagrebu. Rezultati ankete statistički su obrađeni i pretpostavka se pokazala točnom- studenti slabo poznaju Wernerov rad, teoriju i spojeve. Čak 40% ispitanih studenada odgovorilo je da nije učilo o Werneru i njegovim spojevima. Konkretni odgovori na pitanja prepoznavanja spojeva također su ispod razine fakultetskog znanja. Kao drugi dio eksperimentalnog rada sintetizirana su 4 Wernerova kompleksna spoja prema dostupnom propisu za njihovu pripremu: *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$, *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$, $[Co(NH_3)_5Cl]Cl$ i $[Co(NH_3)_6]Cl_3$. Spojevi su okarakterizirani FT-IR analizom te su međusobno uspoređeni njihovi dobiveni spektri. Na temelju dobivenih rezultata ankete i eksperimentalnih podataka za sintezu spojeva, predložena je primjena navedena 4 spoja u eksperimentalnoj nastavi kemije u vidu izvođenja dvije vježbe u okviru 4-6 sati u dva praktikumska termina.

U metodičkom djelu rada obrađena je nastavna jedinica na temu: Kompleksni spojevi

Diplomski rad obuhvaća: 62 stranice, 31 sliku, 3 tablice, 29 literaturnih navoda,

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za kemiju, Ulica cara Hadrijana 8/A, Osijek.

Ključne riječi: izomeri, kobaltovi amini, koordinacijski broj, koordinacijska kemija, Werner

Mentor: doc. dr. sc. Tomislav Balić
Komentor: doc.dr.sc Elvira Kovač-Andrić

Ocjenitelji:

1. doc.dr.sc Martina Medvidović-Kosanović
2. doc.dr.sc Tomislav Balić
3. doc.dr.sc Elvira Kovač-Andrić

BASIC DOCUMENTATION CARD

Diploma Thesis

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Department of Chemistry
Graduate Study of Chemistry
Scientific Area: Natural Sciences
Scientific Field: Chemistry

Werner complexes in experimental chemistry laboratory exercise

Karolina Kolarić

Abstract

The development of this diploma thesis was guided by the assumption of poor knowledge of Werner's theory and his compounds among chemistry students. As part of the thesis, a web survey of 15 questions per 100 respondents (chemistry students and those who completed their studies 5 years ago) from the area of Josip Juraj Strossmayer University in Osijek and the University of Zagreb was conducted. The results of the survey were statistically processed and the assumption has been proved to be correct - students have little knowledge of Werner's work, theory and compounds. As many as 40% of the surveyed students answer that they did not learn about Werner and his compounds. Concrete answered to compound recognition questions are also below the level of faculty knowledge. As a second part of the experimental work, four Werner complex compounds were synthesized according to the available regulation for their preparation: *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]$ Cl, *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]$ Cl, $[Co(NH_3)_5Cl]$ Cl and $[Co(NH_3)_6]Cl_3$. The compounds were characterized by FT-IR analysis and their obtained spectra were compared to each other. Based on the obtained survey results and experimental data for the synthesis of compounds, it is proposed to apply these four compounds in the experimental teaching of chemistry in the form of performing two exercises within 4-6 hours in two practicum terms.

In the methodical part of this diploma thesis is the teaching unit: Complex compounds

Thesis includes: 62 pages, 31 figures, 3 tables, 29 references, original in Croatian

Thesis deposited in: Department of Chemistry library, Ulica cara Hadrijana 8/A, Osijek, Croatia.

Keywords: isomers, cobalt amines, coordination number, coordination chemistry, Werner

Mentor: Dr. Tomislav Balić Assistant Professor
Assistant mentor: Dr. Elvira Kovač Andrić Assistant Professor

Reviewers:

1. Ph.D., Martina Medvidović-Kosanović, Assistant Professor
2. Ph.D., Tomislav Balić, Assistant Professor
3. Ph.D., Elvira Kovač Andrić, Assistant Professor

Sadržaj

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA V

BASIC DOCUMENTATION CARD VI

§ 1. UVOD 1

§ 2. LITERATURNI PREGLED 2

2.1. Alfred Werner (1866-1919) 2

2.2. Wernerova istraživanja 4

2.2.1. Koordinacijska kemija-Wernerova teorija 5

2.2.2. Koordinacijska sfera 7

2.2.3. Koordinacijski broj (KB) 8

2.2.4. Stereokemija- izomeri 10

2.2.5. Primjeri kompleksnih spojeva kobalta 12

§ 3. EKSPERIMENTALNI DIO 14

3.1. Anketa 14

3.1.1. Provedena anketa 15

3.2. Sinteza kompleksnih spojeva 20

3.2.2. Priprava kompleksa 1) trans-[Co(NH3)4Cl2]Cl: 21

3.2.3. Priprava kompleksa 2) cis-[Co(NH3)4Cl2]Cl 21

3.2.4. Priprava kompleksa 3) [Co(NH3)5Cl]Cl2 22

3.2.5. Priprava kompleksa 4) [Co(NH3)6]Cl3 22

3.3. Spektroskopska analiza - FT-IR 23

§ 4. REZULTATI I RASPRAVA 24

4.1. Statistička obrada ankete 24

4.1.1. Usporedba odgovorenih pitanja 31

4.2. Spektroskopska analiza- FT-IR 34

§ 5. METODIČKI DIO 41

5.1. Priprema za nastavni sat 41

5.2. Radni listić –pokus 45

Objašnjenje pokusa 46

5.3. Radni listić- ponavljanje 46

5.4. Domaća zadaća – korelacija s drugim predmetima 49
§ 6. ZAKLJUČAK 50
§ 7. LITERATURNI IZVORI 51
§ 8. DODATAK LIV
§ 9. ŽIVOTOPIS LVI

§ 1. UVOD

Alfred Werner (1866.-1919.) naziva se ocem koordinacijske kemije. Njegova istraživanja donijela su mnoge rezultate i otkrića. Za svoju teoriju i istraživanja o koordinacijskim spojevima i koordinacijskom broju dobio je Nobelovu nagradu za kemiju 1913. godine. Svojim istraživanjima i eksperimentima razvio je grupu spojeva, takozvane Wernerove spojeve, također razvio je i teoriju koja i danas nosi naziv Wernerova teorija. Najpoznatiji spojevi koje je opisivao su različiti amini s metalnim centrima prijelaznih metala. Otkrio je da spojevi mogu nastajati s različitim koordinacijskim brojevima te da stereokemija nije ograničena samo na spojeve ugljika. Posebnost pripremljenih spojeva su njihove razlike u fizikalnim i kemijskim svojstvima.[1] Na temelju njegovih otkrića rađena su mnoga istraživanja i to područje postaje vrlo popularno. Učenje o Wernerovim spojevima predviđeno je tijekom srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja prema navedenim kurikulumima nastave.

Cilj rada je utvrđivanje poznavanja Wernerovih teorija i kompleksnih spojeva pomoću web ankete provedene među studentima kemije, analiza rezultata te priprema i optimizacija pripreme određenih Wernerovih spojeva za korištenje u laboratorijskoj nastavi kemije.

Za pisanje diplomskog rada provedena je i statistički obrađena web anketa na 100 ispitanika. Također sintetizirana su četiri Wernerova spoja s kobaltom. Na temelju dobivenih rezultata donijet je zaključak o poznavanju Wernerove teorije i spojeva te mogućnostima korištenja provedenih sinteza u eksperimentalnoj nastavi kemije.

§ 2. LITERATURNI PREGLED

2.1. Alfred Werner (1866-1919)

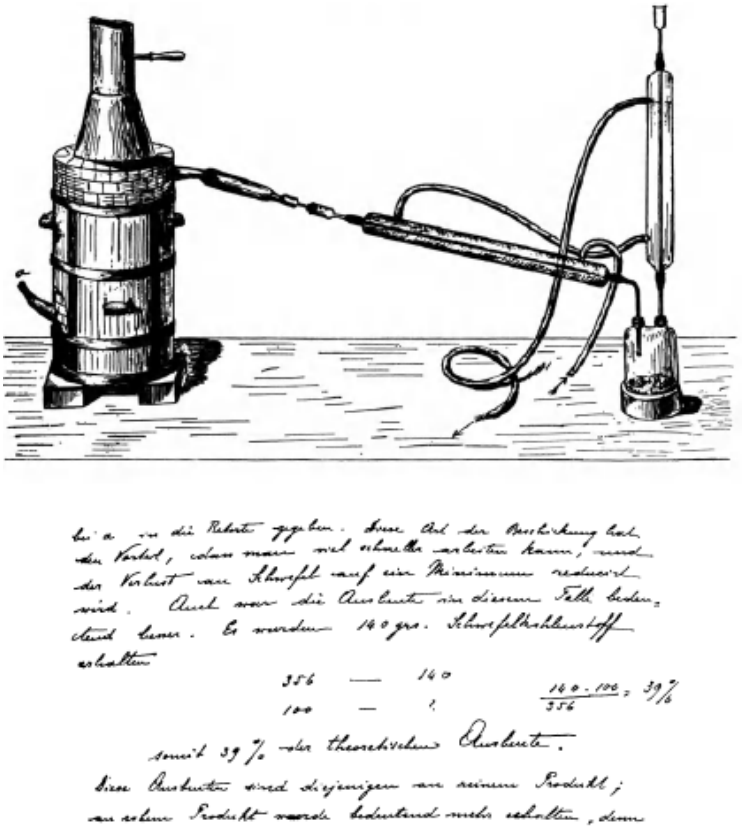
Alfred Werner (Slika 1.) rođen je 12. prosinca 1866. godine u Mülhausenu u Francuskoj, preminuo je 15. studenoga 1919. u Zürichu, Švicarska. Nakon što je 1878. završio *École des Frères*, upisao je *École Professionelle (Höhere Gewerbeschule)*, odnosno tehničku školu. To vrijeme je bilo presudno jer je već tada poraslo Wernerovo zanimanje za kemiju. Tu su začeci njegovih eksperimentalnih radova, počeo je eksperimentirati kod kuće s ne uvijek dobrim rezultatima. Alfredovi eksperimentalni pokušaji su bili ograničeni na staju u vrtu iza kuće u kojoj je bio njegov prvi laboratorij.[2]

Slika 1. Alfred Werner.[1]

1885. godine odlazi u Njemačku vojsku na obvezno jednogodišnje služenje kao jednogodišnji „dobrovoljac“ (*Einjährig-Freiwilliger*). Nakon otpuštanja iz vojske, preselio se u Švicarsku, gdje odmah upisuje zimski semestar kemije na prestižnom Švicarskom institutu, danas poznatom kao ETH u Zürichu, gdje je doktorirao 1890. Njegov doktorski rad sadržavao je 48 stranica s detaljnim opisima sinteze pet različitih spojeva, primjer originalnog zapisa prikazan je na slici 2. Nakon postdoktorskog studija u Parizu vraća se 1892. na ETH, a nakon toga 1893. prelazi na Sveučilište u Zürichu gdje postaje profesor (1895.) sa tek navršenih 29 godina. Werner je utemeljio modernu koordinacijsku kemiju temeljenu na teoriji koja je i

danas poznata kao Wernerova teorija. 1907. godina bila je najproduktivnija Wernerova godina te godine izdao je 28 radova. Za svoju pretpostavku o oktaedarskoj konfiguraciji kompleksa prijelaznih metala dodijeljena mu je 1913. Nobelova nagrada za kemiju. Bio je prvi i jedini anorganski kemičar kojem je dodijeljeno to priznanje punih 60 godina sve do 1973. Werner je bio prvi kemičar koji je svojim istraživanjima dokazao da stereokemija nije prisutna isključivo kod ugljika. Uz titulu prvog anorganskog kemičara dobitnika Nobelove nagrade Werner je i prvi švicarski kemičar koji je dobio navedenu nagradu.[1-3]

Već 1915. godine, u dobi od 49 Werner se suočava sa zdravstvenim problemima. Iste godine odlučuje prestati predavati na nekim od kolegija. Svi suradnici opisuju ga kao ekstremnog radoholičara koji bi rano ujutro stizao na fakultet, a odlazi kući kasno uvečer. Werner je umro 1919. u dobi od 53 godine od posljedica ateroskleroze.[2]



Slika 2. Izvadak iz doktorskog rada : *Diplom-Arbeit, Eidgenössisches Polytechnikum* (1888), str 15 :Aparatura za pripremu ugljikovog disulfida.[2]

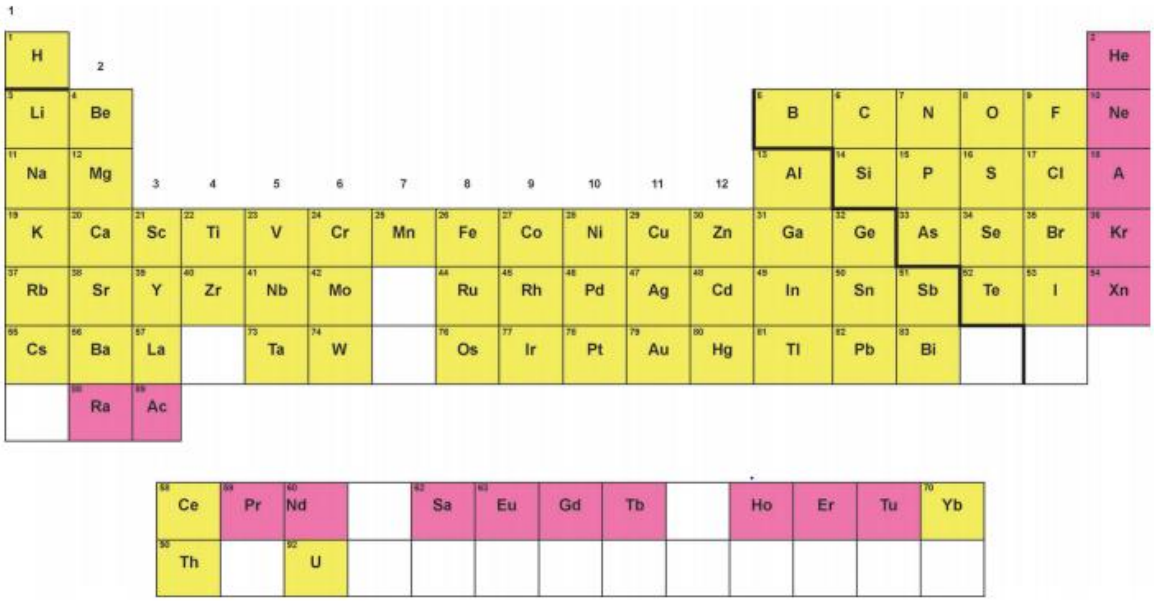
2.2. Wernerova istraživanja

Wernerova istraživanja kreću već u njegovoj ranoj mladosti, za vrijeme srednje škole. Prvi laboratorij je bio iza kuće na farmi gdje je živio sa svojim roditeljima. Njegova razmišljanja brzo su se razvijala i imao je mnoge ideje u svojim istraživačkim pothvatima. Jedna od njegovih dobrih navika bila je vođenje bilješki o svojim razmišljanjima i eksperimentima. Dio njegovih izvornih bilješki sačuvan je na fakultetima na kojima je boravio. U početku je bio organski kemičar, proučavao je veze u organskim spojevima. Jedno od zabilježenih razmišljanja i istraživanja bilo je o urei. Sva istraživanja objavljenja prije 1892. bila su isključivo u području organske kemije. Nakon objavljivanja teorije o koordinacijskim spojevima (zima 1892.), Wernerov životni cilj postaje eksperimentalni dokaz njegovih postulata.[2]

Objavio je mnogo radova, ukupno 174 istraživačka rada, 16 preglednih članaka i 46 objavljenih lekcija/predavanja u periodu 1890–1921. Uz to izdao je i dvije knjige *Lehrbuch der Stereochemie* (Knjiga o stereokemiji) i *Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie* (Nove ideje u anorganskoj kemiji). U svojim istraživanjima imao je i mnoge suradnike koji su dijelili podjednaku zainteresiranost za iste teme tako da je dosta radova objavio i u koautorstvu sa suradnicima. Suradnici su bili i njegovi studenti na fakultetu gdje je predavao. Na slici 3. prikazan je njegov istraživački tim 1911. godine. Mogu se primijetiti ženske suradnice što u tim godinama nije bio čest slučaj.[1-4]

Slika 3. Alfred Werner i njegov istraživački tim 1911. godine.[3]

Werner je kao glavni alat u svojim istraživanjima koristio tada poznat periodni sustav prikazan na slici 4. Ružičastom bojom u periodnom sustavu elemenata označeni su elementi čiji raspored je predložio u svom radu koji je objavio 1905. godine. Uvjeti u kojima je Werner istraživao i donosio zaključke nezamislivi su u vrijeme moderne kemije, dostupnih uređaja i metoda. Werner se dobro služio određenim fizikalno-kemijskim tehnikama poput polarimetrije i mjerenja vodljivosti. Međutim, Werner i njegovi studenti postigli su svoj uspjeh kroz besprijekorne i pažljive eksperimentalne tehnike. Tehnike koje su koristili bile su: ponovljive kristalizacije, određivanje razlike u boji ili topljivosti, reakcija ' niz epruveta' i druge.[3,4]



Slika 4. Periodni sustav elemenata iz 1890. na početku Wernerovog znanstvenog rada (elementi označeni žutom bojom). Raspored elemenata označenih ružičastom bojom objavljen je u Wernerovom radu 1905. godine.[11]

2.2.1. Koordinacijska kemija-Wernerova teorija

1892. godine Werner u radu „*Beitrag zur Konstitution anorganischer Verbindungen*“ prvi puta iznosi teoriju o koordinacijskim spojevima. U svojoj teoriji odbacuje pretpostavku koju je postavio Kekulé o valentnim i molekularnim spojevima te dodaje metal-amine, dvostruke soli i hidrate kao novu vrstu koordinacijskih spojeva temeljenu na pretpostavci postojanja

različitih koordinacijskih brojeva. Metalne amine podijelio je u dvije grupe: (i) spojevi s koordinacijskim brojem 6 i oktaedarskom konfiguracijom; (ii) spojevi s koordinacijskim brojem 4 i tetraedarskom konfiguracijom. Wernerov dokaz oktaedarske konfiguracije za kobalt(III) i slične ione temelji se na usporedbi broja izomera koji su pripremljeni s onima teorijski predviđenima za različite konfiguracije.

Osnovni postulat Wernerove teorije je postojanje dva različita tipa veze prisutne u koordinacijskim spojevima:

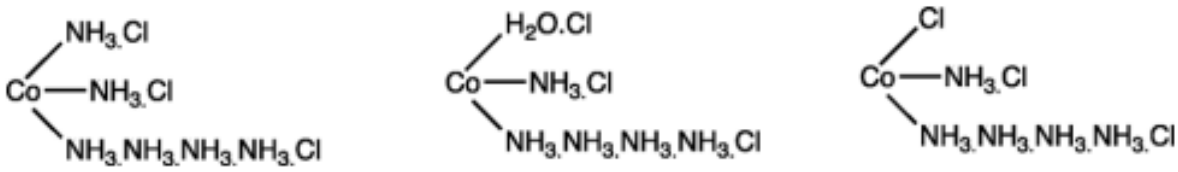
a) primarna valencija (njem. *Hauptvalenz*) – odgovara joj oksidacijski stupanj centralnog atoma; neovisna o sekundarnoj valenciji

b) sekundarna valencija (njem. *Nebenvalenz)* – koordinacijski broj metala, neovisan o primarnoj valenciji, fiksni broj.

Kekulé se nije slagao s Wernerovim tvrdnjama o postojanju dvije vrste valencije i pobijao je to uvođenjem pojma atomski spoj. Postojanje PCl_5 i razliku u odnosu na PCl_3 objašnjavao je zapisom $PCl_3 \times Cl_2$. Kekulé je sintetizirao i $CuSO_4 \times 5H_2O$ čiji zapis je služio za prikazivanje valencije središnjem metalnog atoma, međutim nije davao konkretne informacije o strukturi.

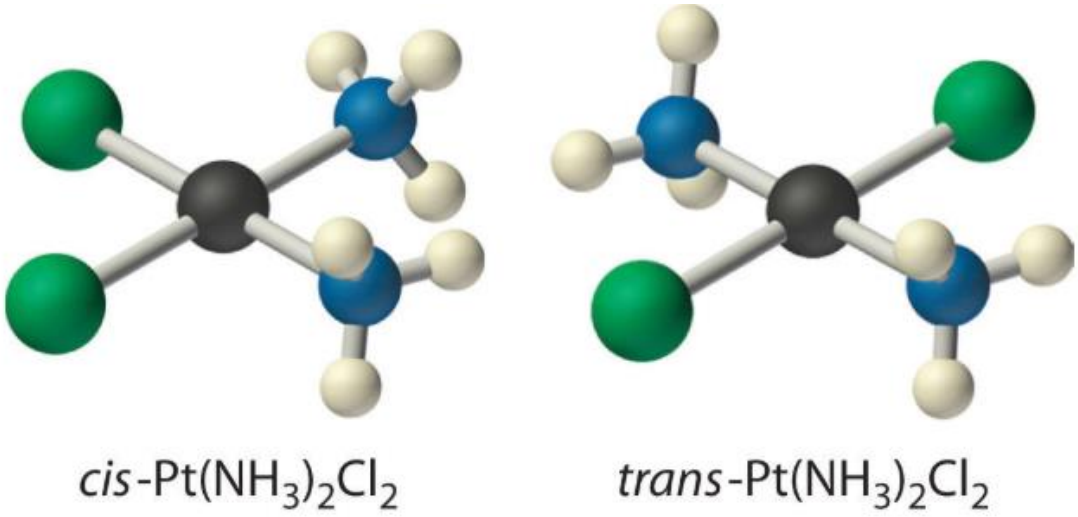
Nadalje, bitan postulat teorije je postojanje koordinacijske veze - veze između metala i liganda.[2-4,5-9]

Osim Kekuléa, Poul Jørgensen također je imao drugačiji pogled od Wernera. On je iznio svoju lančanu teoriju koja je prikazana na slici 5. Njegovu teoriju je Werner uspješno pobio uz uvođenje pojmova koordinacijske veze i koordinacijskog broja koji je za navedeni metal kobalt iznosio 6.[3]



Slika 5. Jørgensenov prikaz $[Co(NH_3)_6]Cl_3$,$[Co(NH_3)_5(H_2O)]Cl_3$ i $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$.[11]

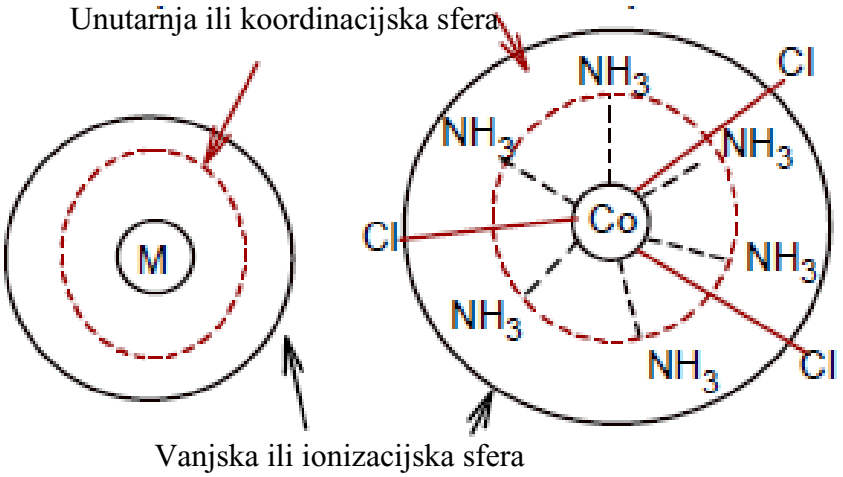
Kompleksni spojevi platine bili su jedna od vrsta spojeva koje je Werner istraživao. Sintetizirao je 5 različitih kompleksa $PtCl_4$ s amonijakom za koje se može napisati opći izraz $PtCl_4 \cdot nNH_3$ (n = 2–6). Dva sintetizirana izomera platine prikazana su na slici 6.



Slika 6. *cis* i *trans* kompleksi platine.

2.2.2. Koordinacijska sfera

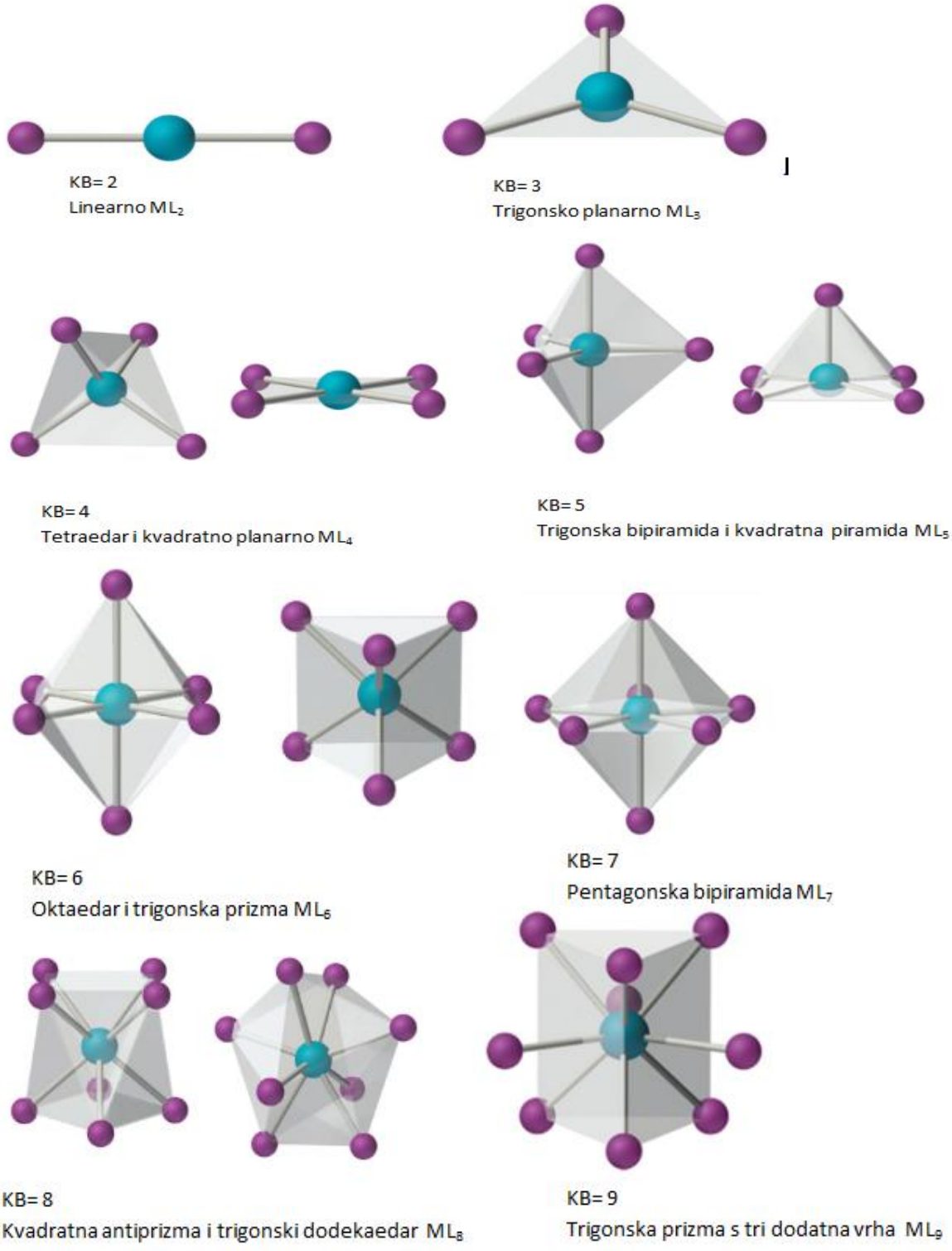
Werner između ostalih teorija iznosi i teoriju postojanje dvije koordinacijske sfere prva ili unutarnja i druga ili vanjska koordinacijska sfera. Te sfere su zamišljene kao dvije koncentrične kružnice oko centralnog metalnog atoma. Na slici 7 primjer je kompleksnog spoja kobalta gdje su sa crnim (vanjska) i crvenim (unutarnja) krugovima označena područja sfera. Prva koordinacijska sfera odnosi se na atome i ligande direktno vezane na centralni metalni atom dok se druga koordinacijska sfera odnosi na molekule i ione koji su se na različite načine vezali za prvu koordinacijsku sferu. Druga koordinacijska sfera može se sastojati od iona (posebno u nabijenim kompleksima), molekula (posebno onih koji se vodikovom vezom vežu za ligande u prvoj koordinacijskoj sferi) i dijelova liganda.[2,3,10,20] Između koordinacijskih sfera može doći do izmjene liganada ili otapala pri čemu nastaju različiti izomeri.



Slika 7. Prikaz unutarnje (crveno) i vanjske (crno) koordinacijske sfere kompleksnog spoja $[Co(NH_3)_6]Cl_3$.

2.2.3. Koordinacijski broj (KB)

Sekundarna valencija odnosno koordinacijski broj je broj veza koje centralni atom stvara s ligandima. Koordinacijski brojevi mogu biti 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12. Oni koji se najčešće pojavljuju su KB=4 i KB=6. Različiti koordinacijski brojevi omogućavaju različit prostorni raspored atoma, na slici 8 prikazano je nekoliko mogućih koordinacijskih poliedara.[12] Ovisno o koordinacijskom broju postoji više vrsta koordinacijskih poliedara i geometrija. Vrste koordinacijskih poliedara i geometrija ovisno o koordinacijskom broju za brojeve od 2 do 9 prikazane su na slici 8.



Slika 8. Prikaz mogućih geometrija za koordinacijski broj od 2 do 9.[12]

2.2.4. Stereokemija- izomeri

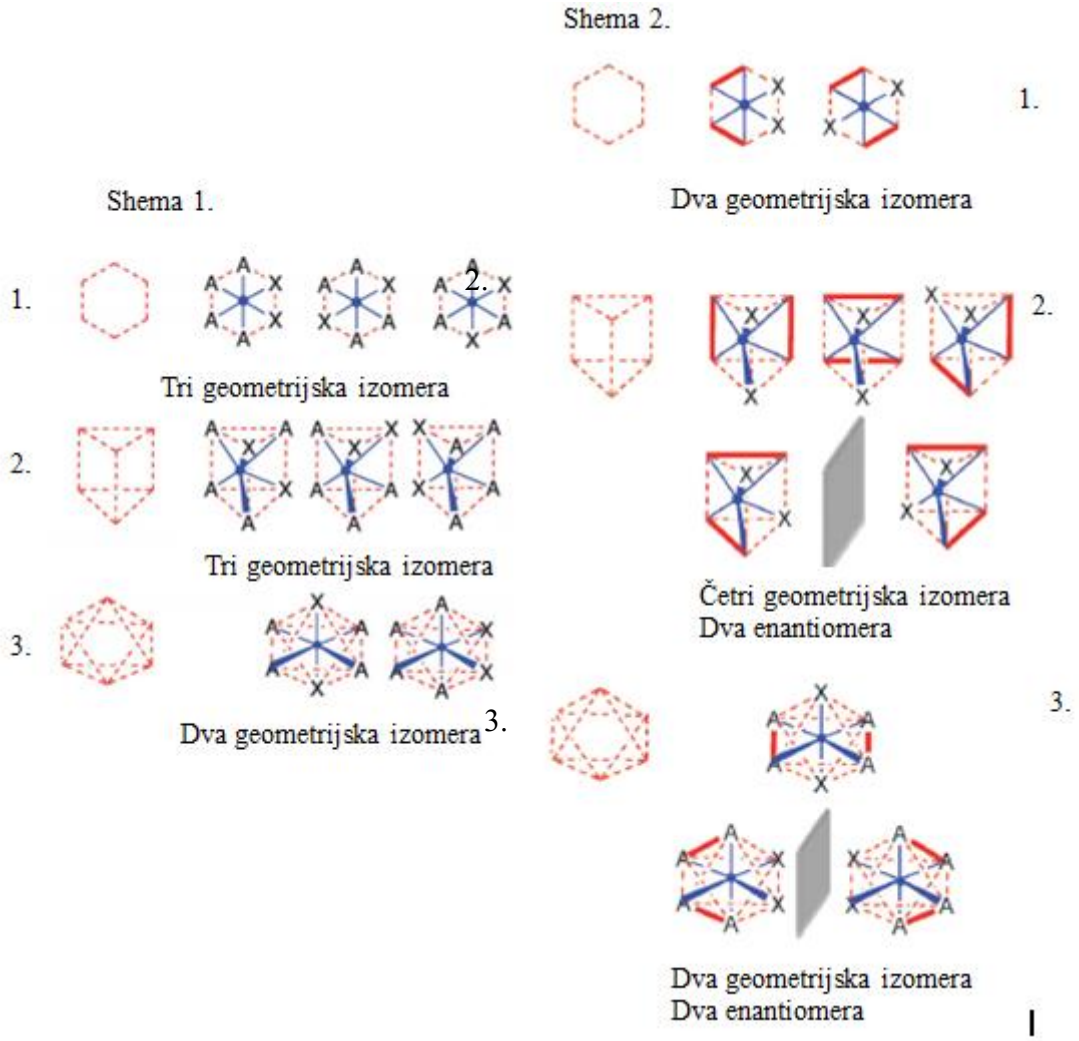
Od samih početaka Wernerova razmišljanja obuhvaćala su i stereokemiju. Jedan od njegovih prvih radova "*Ober räumliche Anordnung der Atome in stickstoffhaltigen Molekülen"* u kojem uz koautora kolegu Hantzsch-a govori o stereokemiji ugljika i dušikovog atoma u amonijaka i danas je popularan.[2,4] U tom radu razjašnjene su mnoge pretpostavke geometrijske izomerije i postavljena je čvrsta podloga za daljnji razvoj Wernerove teorije.

- **Stereoizomeri :**
  - Geometrijski izomeri
    - *cis* i *trans*
    - *fac* i *mer* -facijalni i meridionalni izomeri
      Primjer: *mer*-$[CoCl_3(NH_3)_3]$; *fac*-$[CoCl_3(NH_3)_3]$
  - Optički izomeri- izomeri kod kojih se pojavljuje razlika u reaktivnosti u odnosu na druge "kiralne" reagensime i zakretanje ravnine polariziranog svjetla

- **Strukturni izomeri :**
  - Koordinacijski izomeri- izomeri koji su mogući samo kod soli koje sadrže kompleksni anion i kation – dolazi do „izmjene" liganada između dva metalna centra. Primjer: $[Pt(NH_3)_4][PtCl_6]$; $[PtCl_2(NH_3)_4][PtCl_4]$
  - Ionizacijski izomeri – izomeri kod kojih dolazi do zamjene anionskog liganda unutar prve koordinacijske sfere s anionom izvan koordinacijske sfere
    Primjer: $[CoBr(NH_3)_5]SO_4$; $[Co(SO_4)(NH_3)_5]Br$
  - Solvatacijski (Hidratacijski) – izomeri kod kojih dolazi do izmjene otapala i liganda između prve koordinacijske sfere i liganada izvan koordinacijske sfere.
    Primjer : $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$; $[CrCl(H_2O)_5]Cl_2 \cdot H_2O$
  - Vezni izomeri- izomeri kada jedan ili više liganada mogu koordinirati metalni ion na više načina. Primjer takvih liganada su HCN ili NO_2

Werner je pretpostavljao da kompleksni spojevi koordinacijskog broja 6 mogu biti: planarno heksagonski, u obliku trigonske prizme i oktaedarski. Na slici 9. Shema 1 vidljiv je prikaz koliko izomera svake vrste je Werner očekivao, međutim za početno istraživani spoj

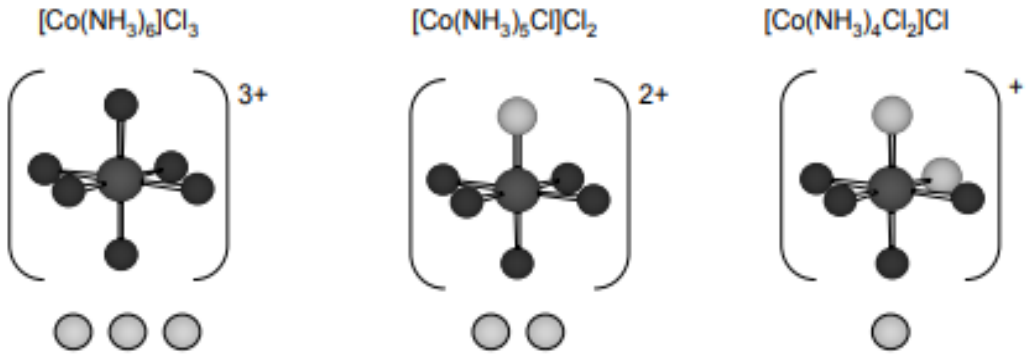
$[M(NH_3)_4Cl_2]$ otkrio je samo dva izomera *cis* i *trans*. Idući korak u njegovim istraživanjima bio je sinteza drugog spoja sa koordinacijom 6, $\{M(en)_2X_2\}$. Sinteza tog spoja pokazala je stvarno postojanje navedenih izomera (Slika 9. Shema 2.) te je poslužila je kao dokaz za Wernerove pretpostavke.



Slika 9. Shema 1 očekivani broj izomera za različite geometrije za koordinaciju 6 kompleksnih spojeva formule {M(NH3)4X2}. Metal–ligand veze prikazane su plavom bojom. Shema 2 očekivani broj izomera za različite geometrije za koordinaciju 6 kompleksnih spojeva formule {M(en)2X2}. Metal-ligand veze prikazane su plavo, podebljano crveno prikazane su veze kelatnog liganda. Enantiomeri su odijeljeni sivom zrcalnom ravninom. Broj 1. Označava heksagonsko planarnu, broj 2. Trigonsko prizmatsku i broj 3. oktaedarsku geometriju.[10]

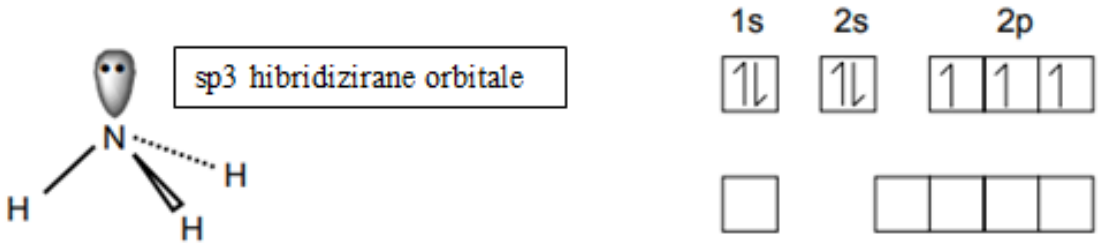
2.2.5. Primjeri kompleksnih spojeva kobalta

Werner je u svojim istraživanjima koristio kobaltove amine pomoću kojih je prikazao razlike u primarnoj i sekundarnoj valenciji. Kobaltova primarna valencija odnosno oksidacijsko stanje je 3, dok je njegova sekundarna valencija odnosno kordinacijski broj jednak 6. Sintezom kobaltovih spojeva je i potvrdio svoju teoriju. Tipovi spojeva koje su on i njegova istraživačka skupina proučavali su $[Co(NH_3)_6]A_3$, $[Co(NH_3)_5A]A_2$, $[Co(NH_3)_4A_2]A$ i $[Co(NH_3)_3A_3]$ gdje je A anionska vrsta najčešće halid ili nitrit. Na slici 10. Prikazana su tri navedena spoja s kloridom kao anionom.[3,13-16]



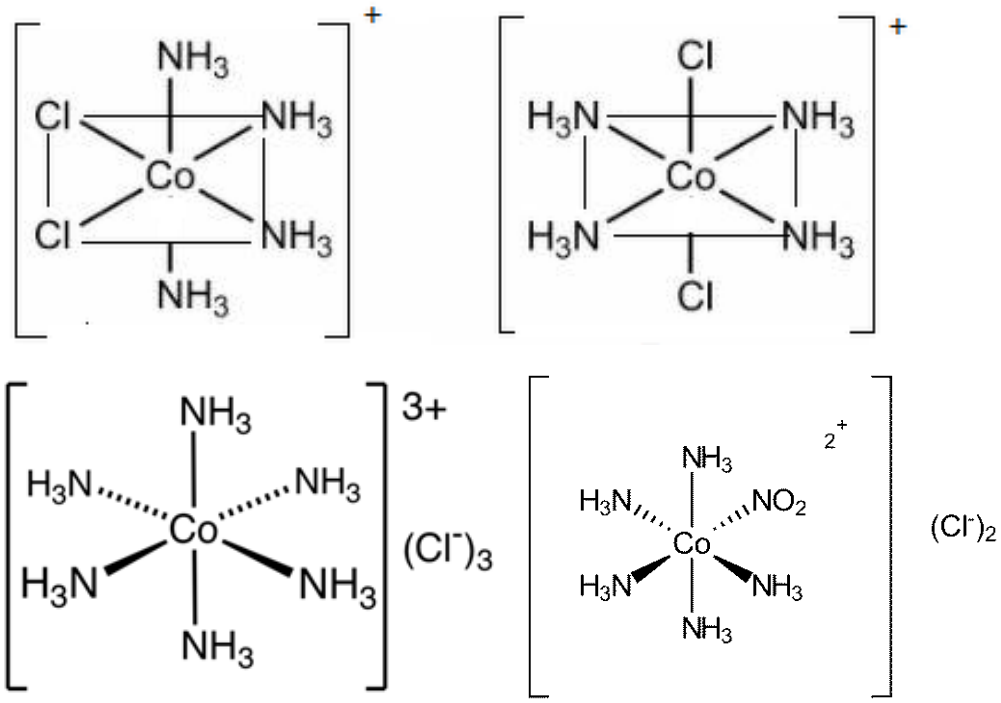
Slika 10. Tri vrste kompleksnih spojeva kobalta(III) s kloridom kao anionom.[16]

Kobaltova elektronska konfiguracija je [Ar] $3d^7 4s^2$ što znači da kobalt(III) ima konfiguraciju valentne ljuske $3d^6$. Kod amonijaka imamo sp^3 (Slika 11.) hibridizirane orbitale koje su u kobaltovim kompleksnim spojevima povezuju sigma vezama s kobaltom. Izvorno su soli $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ opisane kao *luteo* (latinski: žuti) kompleks kobalta. Ostali slični kompleksi također su imali nazive boja, poput *purpureo* (latinski: ljubičasta) za pentamminski kompleks kobalta i *praseo* (grčki: zeleno) i *violo* (latinsko: ljubičica) za dva izomerna tetramminskog kompleksa.[17]



Slika 11. Prikaz orbitala amonijaka.

Navedeni kobaltovi kompleksni spojevi (Slika 12.) bili su dio Wernerovih i Jørgensenovih rasprava o točnosti postavljenih modela o povezivanju unutar spojeva. Dobivenim kompleksima mjerili su vodljivost. Glavna razlika između njihova dva modela nastaje kod kompleksa $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$. Prema modelima Jørgensenovih struktura, kompleks će uvijek dovesti do dva, tri ili četiri iona u otopini. Suprotno tome, Wernerov model predviđa molekularnu vrstu koja ne provodi struju odnosno u kojoj su svi nitrito ligandi koordinirani na metal. Provedena mjerenja vodljivosti spoja $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$ dokazala su Wernerovu pretpostavku te su bila pokriće za prevladavanje Wernerove koordinacijske teorije nad Jørgensenovom.[18-20,22]



Slika 12. Primjer kompleksnih spojeva kobalta koje je pročavao Werner.

§ 3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Anketa

Anketa (franc. *enquête:* ispitivanje, istraživanje < pučki lat. **inquaesita* za klas. lat. *inquisita:* istražena), organizirano ispitivanje ili prikupljanje podataka o nekom političkom, socijalnom, ekonomskom ili drugom pitanju, raspoloženju javnoga mišljenja i sl.[23]

Uzorak: anketa je provedena sa studentima kemije i onima koji su u posljednjih 5 godina završili studij kemije na Odjelu za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i na Prirodoslovno matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Sadržaj ankete: anketa se sastoji od ukupno 15 pitanja. Pitanja su koncipirana u dvije skupine: 1) pitanja o mjestu i razini studija te upisanim smjerovima

2) pitanja o konkretnom poznavanju Wernerove teorije i kompleksnih spojeva.

Cilj istraživanja: prikupiti 100 odgovora ispitanika te statistički obraditi odgovore o poznavanju Wernerovih spojeva i teorije.

Hipoteza: pretpostavka je da studenti u prosjeku slabo poznaju Wernerovu teoriju i spojeve te da će točnost odgovorenih pitanja u prosjeku biti niska.

Dobiveni rezultati ankete statistički su obrađeni i prikazani na grafovima uz korištenje programa Excel. U obradi će se koristiti metode analize i komparacije.

3.1.1. Provedena anketa

Wernerovi kompleksni spojevi

Ispunjavanje ove ankete je dobrovoljno, rezultati će biti obrađeni na razini skupina. Ova anonimna anketa izrađena je za potrebe pisanja diplomskog rada „Primjena Wernerovih kompleksnih spojeva u eksperimentalnoj nastavi kemije“ na Odjelu za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
Anketa se odnosi na studente kemije i one koji su studij kemije završili unutar 5 godina.
Molim Vas da prilikom ispunjavanja budete iskreni i odgovarate na pitanja bez korištenja ikakve pomoći.

1. Odaberite lokaciju Vašeg studija:

- Zagreb
- Osijek

2. Koja ste razina studija?

- Preddiplomski studij
- Diplomski studij
- Završen studij kemije unazad 5 godina

Preddiplomski studij

3. Koja ste godina studija?

- Prva godina preddiplomskog studija
- Druga godina preddiplomskog studija
- Treća godina preddiplomskog studija

4.Koja ste godina studija?

- Prva godina diplomskog studija
- Druga godina diplomskog studija

5. Koje smjerove ste upisali/završili na diplomskom studiju? *

☐ analitička kemija
☐ organska kemija
☐ biokemija
☐ fizikalna kemija
☐ anorganska kemija
Drugi: ☐ _____

Znanje o Werneru i njegovim spojevima

6. Ako ste položili kolegije iz područja anorganske kemije, koju ocjenu ste dobili? (ako je više kolegija, koja je prosječna ocjena)

○ 5 (izvrstan)
○ 4 (vrlo dobar)
○ 3 (dobar)
○ 2 (dovoljan)
○ nisam položio/la kolegije iz područja anorganske kemije

7. Jeste li tijekom dosadašnjeg školovanja učili o

Alfredu Werneru?

- Da
- Ne

8. Odaberite točnu definiciju, koordinacijski spojevi su:

- Koordinacijski spojevi su spojevi u kojima metali imaju ulogu donora .
- Koordinacijski spojevi su spojevi u kojima postoje koordinacijske veze.
- Koordinacijski spojevi su spojevi prijelaznih metala .
- Drugo: _____

9. Koordinacijski broj (KB)je:

- Broj veza koje centralni atom stvara s ligandima
- Broj atoma u strukturi nekog spoja
- Broj koji je jednak oksidacijskom stanju metala

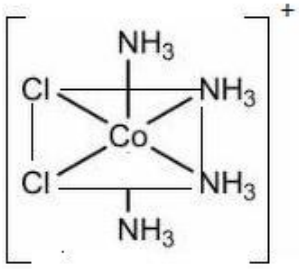
10. Primarna valencija je

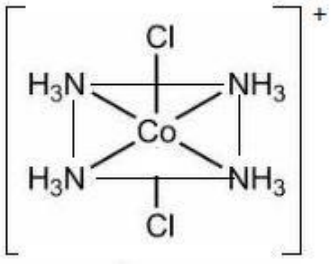
- Prva valencija
- Odgovara joj oksidacijski stupanj centralnog atoma
- Oksidacijski stupanj liganda
- Ovisna o sekundarnoj valenciji

11. Ocijenite Vaše poznavanje o slijedećim pojmovima. 1 - nisam nikad čuo/la za pojam 2 - čuo/la sam za pojam 3- znam definiciju pojma 4- znam definiciju pojma i mogu navesti primjer.

	1	2	3	4
optički izomer	⬭	⬭	⬭	⬭
strukturni izomer	⬭	⬭	⬭	⬭
ionizacijski izomer	⬭	⬭	⬭	⬭
solvatacijski (hidratni) izomer	⬭	⬭	⬭	⬭
koordinacijski izomer	⬭	⬭	⬭	⬭
vezni izomeri	⬭	⬭	⬭	⬭
geometrijski izomeri	⬭	⬭	⬭	⬭
koordinacijska sfera	⬭	⬭	⬭	⬭
koordinacijaska veza	⬭	⬭	⬭	⬭

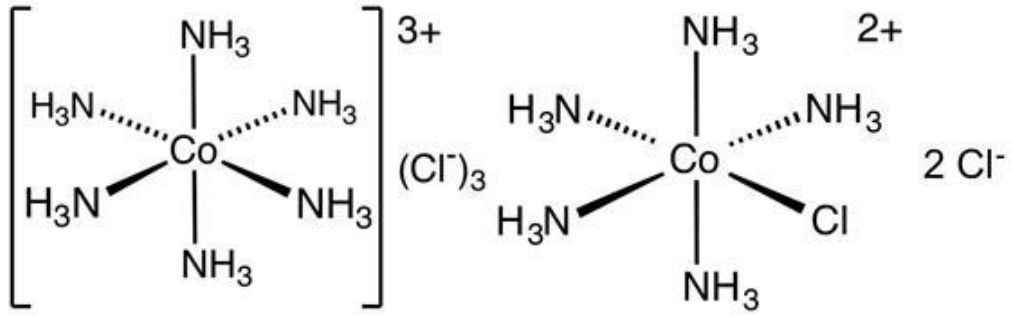
12. Odaberite točan odgovor. Na slici su prikazani_____ .





⬭ optički izomeri
⬭ hidratacijski izomeri
⬭ *cis- trans* izomeri
⬭ ionizacijski izomeri

13. Odaberite točan odgovor. Spojevi prikazani na slici su:



- to su različiti spojevi
- ionizacijski izomeri
- solvatacijski izomeri
- koordinacijski izomeri
- vezni izomeri
- izomeri, ne znam koje vrste

14. U koju skupinu izomera spadaju *cis*-*trans* izomeri?

- vezni izomeri
- geometrijski izomeri
- koordinacijski izomeri

15. Kojom ocjenom biste ocijenili svoje znanje o kompleksnim spojevima?

1	2	3	4	5
○	○	○	○	○

This content is neither created nor endorsed by Google.
Google Forms

3.2. Sinteza kompleksnih spojeva

Za sintezu kompleksnih spojeva u ovom radu korištene su soli (Tablica 1). i otopine (Tablica 2). Postupak sinteze pojedine vrste spoja prikazan je u nastavku.

3.2.1. Korištene kemikalije

Tablica 1. Popis korištenih soli.

ŠIFRA SPOJA	NAZIV SPOJA	M_r/gmol^{-1}	KEMIJSKA FORMULA	T_t/°C
M1	amonijev karbonat	96,09	$(NH_4)_2CO_3$	58
M2	kobaltov(II) nitrat heksahidrat	182,943	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	100
M3	amonijev klorid	53,491	NH_4Cl	338

Tablica 2. Popis korištenih otopina.

ŠIFRA SPOJA	NAZIV SPOJA	M_r/gmol^{-1}	KEMIJSKA FORMULA	Maseni udio/ %
O1	vodikov peroksid	34,0147	H_2O_2	30
O2	Amonijak	17,031	NH_3	konc.
O3	klorovodična kiselina	36,46	HCl	konc.
O4	Methanol	32,04	CH_3OH	konc
O5	destilirana voda	18,01528	H_2O	-

3.2.2. Priprava kompleksa 1) trans-[Co(NH3)4Cl2]Cl:

Prvi korak u sintezi navedenog kompleksa je sinteza prekursora.
Sinteza $[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3$ prekursora:

Odvagano je 20 g amonijevog karbonata i otopljeno u 60 ml destilirane vode u čaši od 150 ml. U otopinu je dodano 60 ml koncentrirane otopine amonijaka. U posebnoj čaši otopljeno je 15 g kobalt(II) nitrata heksahidrata u 30 ml destilirane vode, uz miješanje otopina je dodana u otopinu amonijevog karbonata. Dodano je 8 ml koncentriranog vodikovog peroksida - po nekoliko mililitara. U praznu čašu od 1000 ml dodano je 90 ml destilirane vode i označena razina vodena vanjskoj strani čaše. Otopina kobalta dodana je u označenu čašu i zagrijavana na grijaćoj ploči dok volumen nije dosegao označenu liniju. Tijekom grijanja temperatura je provjeravana termometrom i bila je oko 100 °C). Tijekom zagrijavanja, dodavano je malo po malo 5 g amonijevog karbonata, s odmakom nekoliko minuta između dodavanja. Otopina je vruća filtrirana preko Buchnerovog lijevka. Dobiveni filtrat ohlađen je u ledenoj kupelji nekoliko minuta pri čemu nastaju kristali koji su ponovno filtrirani i isprani s nekoliko mililitara ledene vode. Dobiveni crveni prekursor koristi se u idućem koraku sinteze *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$.

Za sintezu *trans* kompleksa grijača ploča zagrijana je na 80°C. Otopljen je 1 g pripremljenog prekursora u 5 ml destilirane vode u tikvici od 50 ml. Otopina je grijana 3 minute na 50-60 °C s miješanjem na magnetskoj miješalici. Dodano je 3 ml koncentrirane HCl u jednom dodavanju. Otopina je dalje grijana na 80 °C tijekom 5 minuta, uz snažno miješanje. Tijekom zagrijavanja pojavljuje tamnozeleni talog. Otopinu je brzo ohlađena u ledenoj kupelj do postizanja sobne temperature. Dobiveni kristali profiltrirani su preko Buchnerova ljevka i sušeni nekoliko minuta na zraku.

3.2.3. Priprava kompleksa 2) cis-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$

Za sintezu *cis* kompleksa ponovljen je prethodni postupak za trans kompleks uz razliku u vremenu grijana u zadnjem koraku koje je bilo 15 minuta umjesto 5 minuta. U tom koraku iz zelenog kristalnog taloga nastaje ljubičasti talog.

3.2.4. Priprava kompleksa 3) $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$

200 ml destilirane vode zagrijano je do 80 °C u čaši od 1000 ml na grijaćoj ploči koja služi kao vodena kupelj. Odmjereno je i označeno 35 ml u čaši od 250 ml u čašu je odvagano 4 g amonijevog klorida i polako dodano 25 ml otopine amonijaka uz miješanje. Dodano je 8 g kobalt(II) klorida heksahidrata u reakcijsku čašu i miješano pomoću magnetske miješalice. Polako je dodano 7 mL 30% -tne otopine vodikovog peroksida uz miješanje dok nije prestalo „vrenje otopine“. Nakon toga dodano je 5 ml HCl uz miješanje, dodano je ukupno 25 ml HCl-a s razmakom od 1 minute između dodavanja. Čaša s pripremljenom otopinom stavljena je u vruću vodenu kupelj i zagrijavana na 80 °C 30 minuta. Otopina je ohlađena na sobnu temperaturu u hladnoj vodi. Nakon hlađenja na sobnu temperaturu, prenesena je u ledenu kupelj do temperature ispod 10 °C. Otopina je filtrirana Buchnerovim lijevkom. Dobiveni talog vraćen je u čašu i filter papir je ispran destiliranom vodom. Destilirana voda je dodana do oznake koja je na 35 ml. U otopinu je dodano 25 ml amonijaka i 60 ml HCl-a. Otopina je grijana u vodenoj kupelji na 80 °C 30 minuta te je nakon toga 2 minute hlađena u kupelji sobne temperature. Nakon 2 minute hlađenje je nastavljeno u ledenoj kupelji. Dobiveni kristali filtrirani su Buchnerovim lijevkom i sušeni nekoliko minuta.

3.2.5. Priprava kompleksa 4) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$

Zagrijano je 200 ml vode do 60° C u čaši od 1000 ml na grijaćoj ploči. Odmjereno je 100 ml vode u čašu od 250 ml i zabilježena je razina tekućine. U osušenu čašu dodano je 10 g amonijevog klorida i 40 ml destilirane vode uz miješanje. Dodano je 8 g kobalt(II) klorida heksahidrata i 40 ml amonijaka uz miješanje približno 30 sekundi. Nakon toga dodano je 0,8 g aktivnog ugljena. U otopinu je polako dodavano 17 ml 30% otopine vodikovog peroksida, uz miješanje između svakog dodavanja. Otopina u čaši postavljena je u vruću vodenu kupelj na 60 °C i zagrijavana 30 minuta uz miješanje. Nakon zagrijavanja otopina je hlađena u vodenoj kupelji do sobne temperature nakon čega je hlađenje nastavljeno na ledenoj kupelji do pada temperature ispod 10 °C. Dobiveni kristali filtrirani su Buchnerovim lijevkom. Dobiveni talog s filter papirom prebačen je nazad u čašu i ispran destiliranom vodom, destilirana voda je dodavana do oznake od 100 ml koja je napravljena na početku. U otopinu je dodano 5 ml HCl i promiješano. Čaša je zagrijavana na grijaćoj ploči uz miješanje magnetnom miješalicom. Vruća otopina filtrirana je Buchnerovim lijevkom, a čaša je isprana

malom količinom destilirane vode i osušena. Tekući filtrat vraćen je natrag u čašu i dodano je 15 ml HCl. Čaša je zatim hlađena u ledenoj kupelji uz povremeno miješajnje do temperature ispod 10 °C na kojoj je zadržana 5 minuta. Dobiveni kristali filtrirani su Bucherovim lijevkom i sušeni u struji zraka nekoliko minuta.

3.3. Spektroskopska analiza - FT-IR

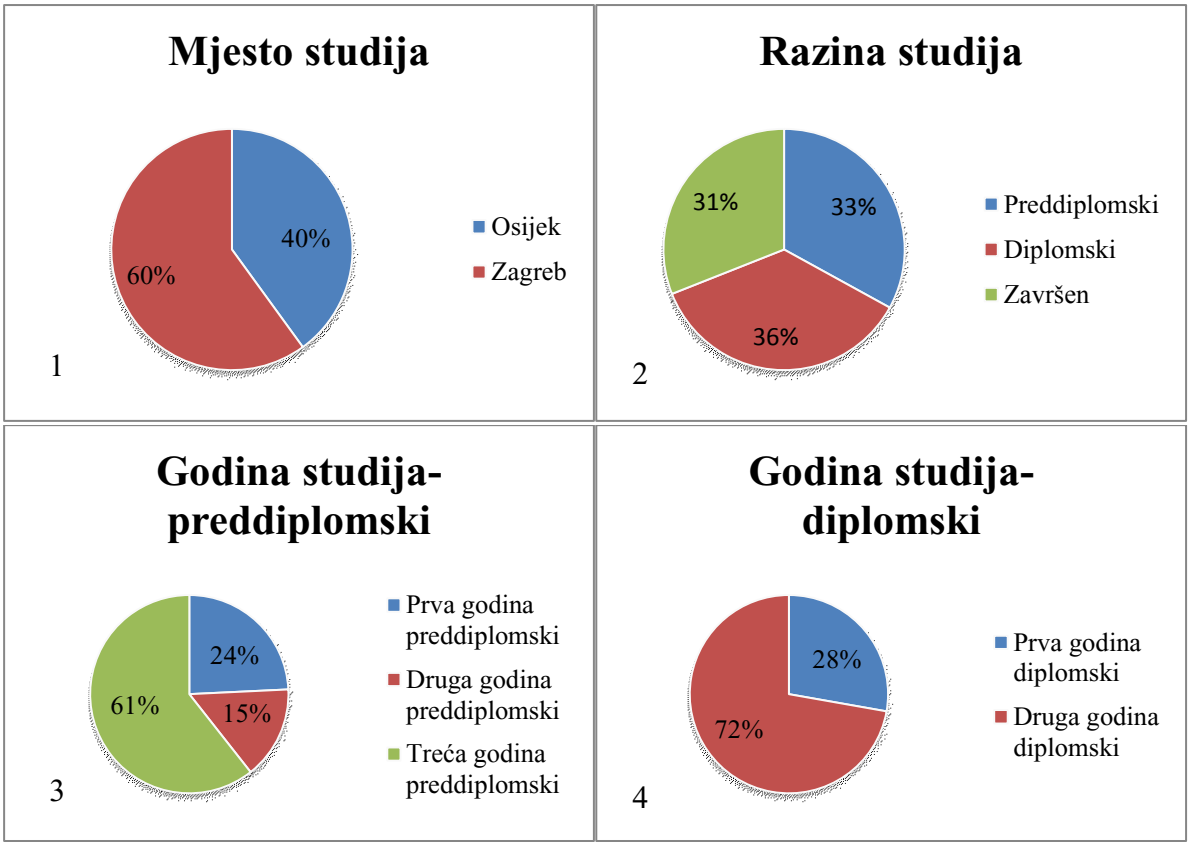
Infracrvena (lat. *infra* – ispod, kratica IR od eng. *Infrared*) spektroskopija temelji se na apsorpciji infracrvenog svjetla na određenim valnim duljinama tijekom prolaska kroz uzorak. Infracrveno zračenje je elektromagnetsko zračenje valnih duljina između 0,7 μm i 500 μm. Od 1950-ih kada je otkrivena metoda spektroskopije zabilježen je napredak na području spektroskopske analize, a najznačajniji napredak je primjena Fourierovih transformacija odnosno razvoj FT-IR spektroskopije.

Metoda se temelji na principu apsorpcije infracrvenog zračenja pri čemu se pobuđuju molekulske vibracije kod kojih se svi atomi gibaju istovremeno i u fazi te dolazi do promjene relativnih položaja atoma u molekuli. Vibracije u molekuli mogu biti vibracije istezanja i savijanja.. Vibracije istezanja mogu biti simetrične i asimetrične, a vibracije savijanja mogu biti savijanje u ravnini (njihanje) i izvan nje (mahanje). Za svaku navedenu vibraciju očitava se određena frekvencija koja ovisi o masi atoma i jačini veze između atoma. Izvor svjetlosti u FT-IR uređaju je polikromatski i mijenjanjem optičkog puta svjetlosti dolazi do interferencije na određenim frekvencijama. Interferogram kao funkcija pomaka preračuna se Fourierovom transformacijom u infracrveni spektar koji je funkcija frekvencije. Priprema uzorka za analizu ovisi o agregatnom stanju uzorka. Kruti uzorak melje se i homogenizira u tarioniku gdje se miješa s kalijevim bromidom,, tekući uzorci nanose se između optičkih pločica u nevodenim otapalima, a plinoviti se stavljaju u posebne dizajnirane plinske kivete.

Sintetizirani spojevi analizirani su FT-IR (*Fourier transformed infrared spectroscopy*- infracrvena spektroskopija s fourierovim transformacijama) spektroskopijom. Za sva četiri spoja snimanje je provedeno na uređaju Shimadzu FTIR 8400S pri valnoj duljini od 4000 cm^{-1} – 400 cm^{-1} pri sobnoj temperaturi. Uzorci su pripremljeni mljevenjem u tarioniku i miješanjem s kalijevim bromidom. Prvo je snimljen spektar čistog kalijevog bromida te onda uzorci.

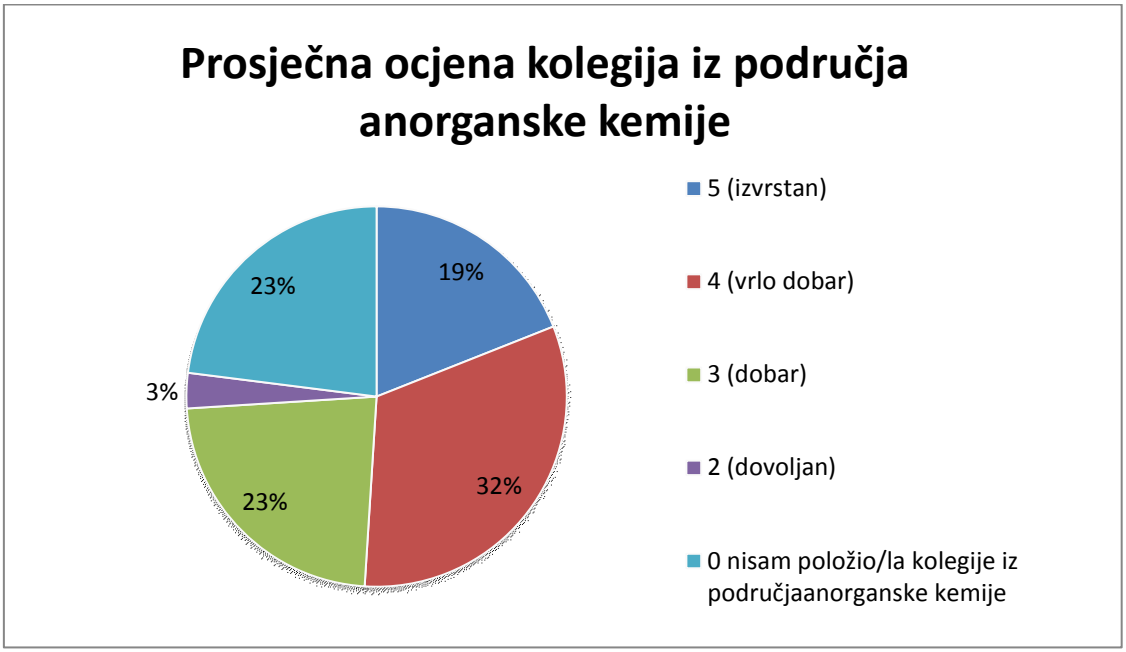
§ 4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Statistička obrada ankete

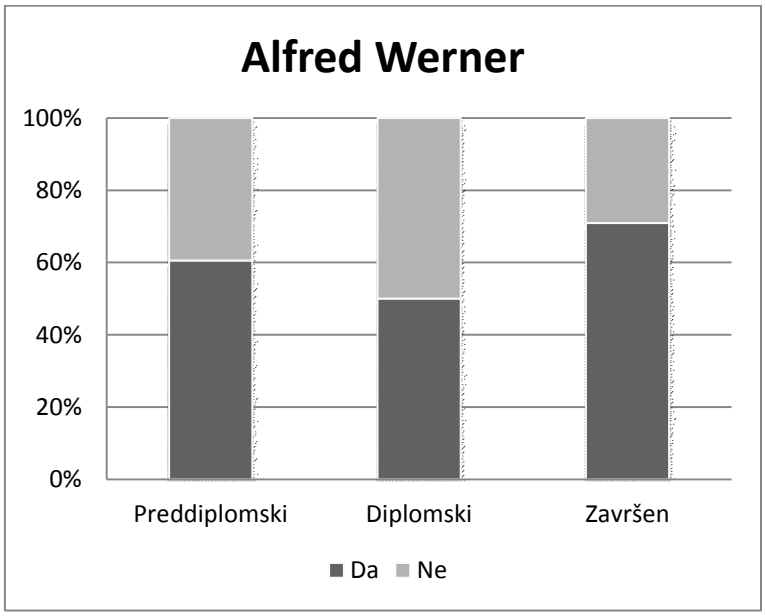


Slika 13. Graf 1 postotak odgovora prema mjestu studija; Graf 2 Postotak odgovora prema razini studija; Graf 3 postotak odgovora prema godini studija-preddiplomski studij; Graf 4 postotak odgovora prema godini studija- diplomski studij.

Ukupan broj anketiranih iznosi 100. 40% ispitanih studira ili je studij završilo na Sveučilištu u Osijeku dok je 60 % anketiranih na Sveučilištu u Zagrebu. (Slika 13., Graf 1). 33% ispitanih trenutno je na preddiplomskom studiju, 36% na diplomskom studiju dok je 31% završio studij unazad 5 godina. (Slika 13., Graf 2). Od 33 ispitanih na preddiplomskom studiju, 24% je na prvoj godini, 15% na drugoj godini i 61% na trećoj godini studija. (Slika 13., Graf 3). Od 36 ispitanih na diplomskom studiju 28% je prva godina diplomskog i 72% druga godina diplomskog studija (Slika 13., Graf 4)



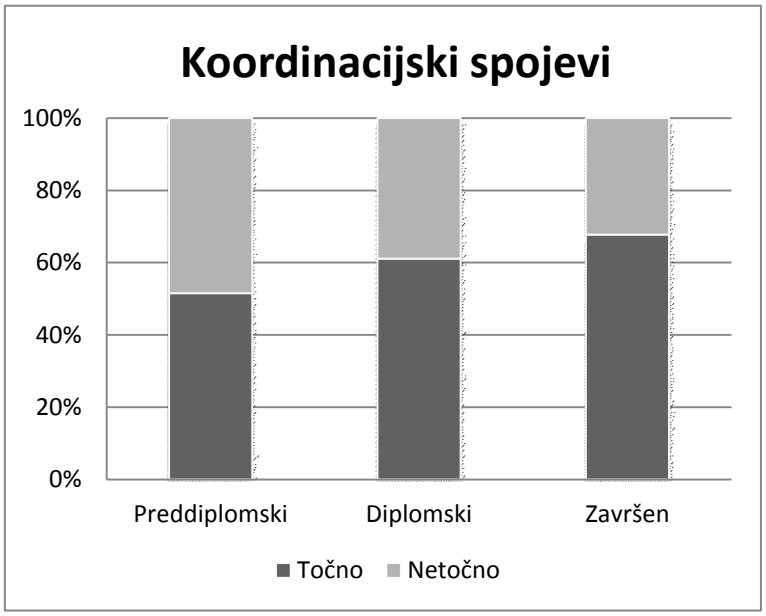
Slika 14. Graf s odgovorima na pitanje: „Ako ste položili kolegije iz područja anorganske kemije, koju ocjenu ste dobili? (ako je više kolegija, koja je prosječna ocjena)".



Slika 15. Graf pitanja br. 7 „Jeste li tijekom dosadašnjeg školovanja učili o Alfredu Werneru?".

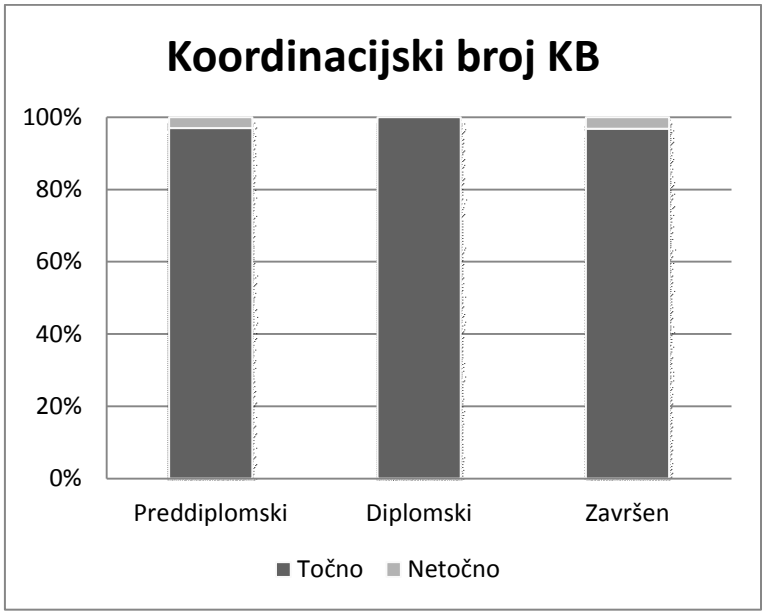
Na Slici 14. Prikazan je graf s udjelima odgovora o prosječnoj ocjeni dobivenoj iz položenih kolegija anorganske tematike. 23% ispitanika odgovara da do sada nije položilo takve kolegije, 3% da im je prosječna ocjena dovoljan (2), 23% odgovara da im je prosječna ocjena

dobar (3), 32% vrlo dobar (4) i 19% izvrstan (5). Na slici 15. prikazan je udio odgovora po razini studija na pitanje: „Jeste li tijekom dosadašnjeg školovanja učili o Alfredu Werneru?" Odgovor „Da" dalo je 61% studenata preddiplomskom studija, 50% diplomskog studija 71% onih koji su završili studij unazad 5 godina. Na temelju ukupnog broja odgovora čak 40% ispitanika odgovara sa „Ne" na postavljeno pitanje što je zapravo iznenađujući postotak jer bi se Wernerova teorija trebala spominjati već i na kolegijima Opće kemije.



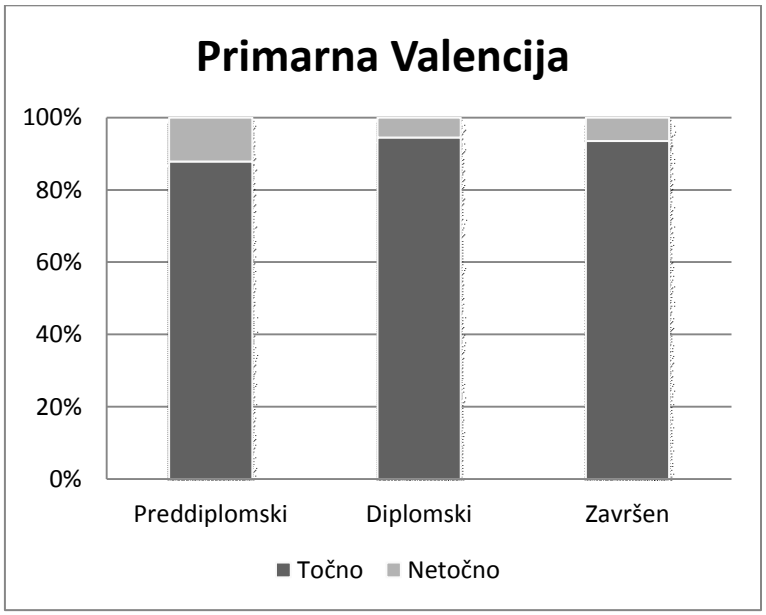
Slika 16. Graf statistička obrada odgovora br 8. : „Odaberite točnu definiciju, koordinacijski spojevi su: ".

Točan odgovor na 8. pitanje dalo je 52% studenata preddiplomskog studija, 61% studenata diplomskog studija i 68% onih koji su studij završili unazad 5 godina. U pitanju je bila ponuđena mogućnost upisa svojeg odgovora, 4 ispitanika su ponudila svoj točan i detaljan odgovor na postavljeno pitanje.



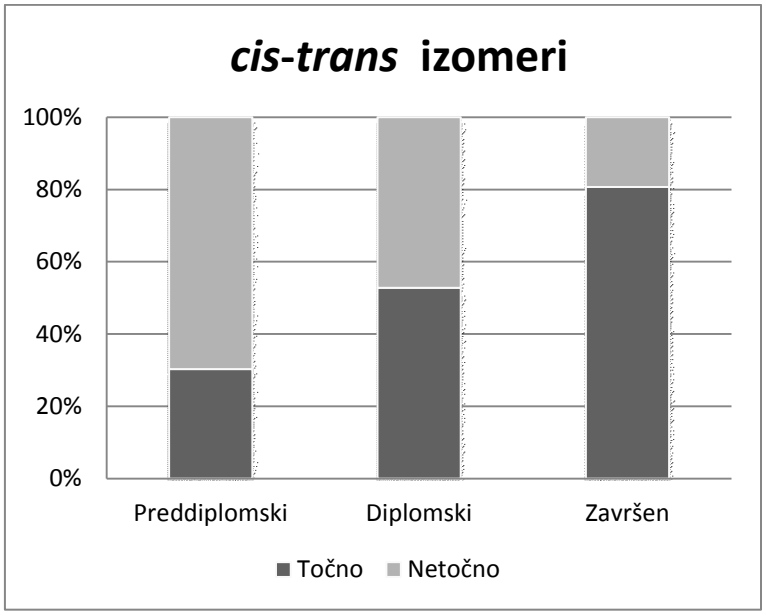
Slika 17. Graf odgovora na pitanje broj 9. : „Koordinacijski broj je".

Na pitanje o koordinacijskom broju koje se nalazilo na broju 9. Točan odgovor dalo je iznenađujuće puno ispitanika, ukupno 98%. Student preddiplomskog studija 97%, student diplomskog studija 100% te studenti koji su unazad 5 godina završili studij 97%.



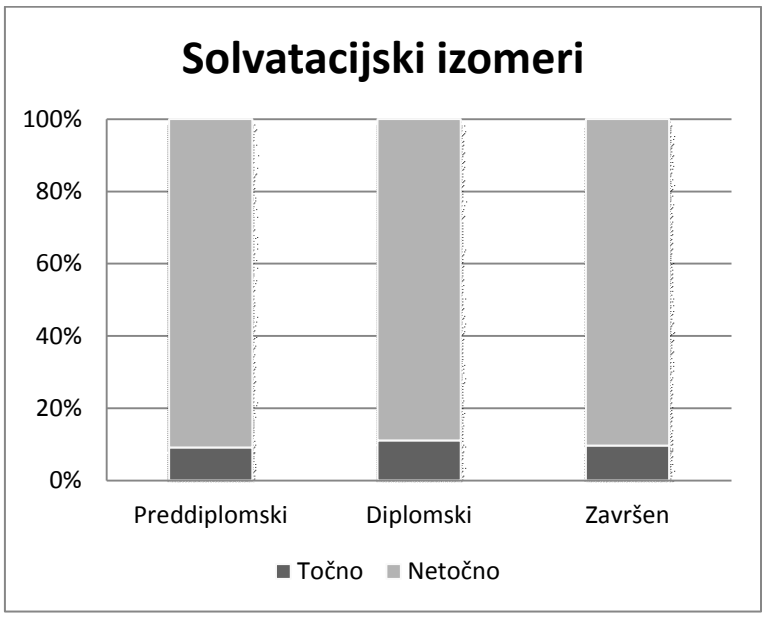
Slika 18. Graf odgovora na pitanje broj 10.: „Primarna valencija je:"

Na pitanje broj 10. o primarnoj valenciji točan odgovor dalo je: 88% ispitanika preddiplomskog studija, 94% ispitanika diplomskog studija, 94% ispitanika koji su unazad 5 godina završili studij kemije.



Slika 19. Graf odgovora na pitanja broj 12. „Na slici su prikazani____".

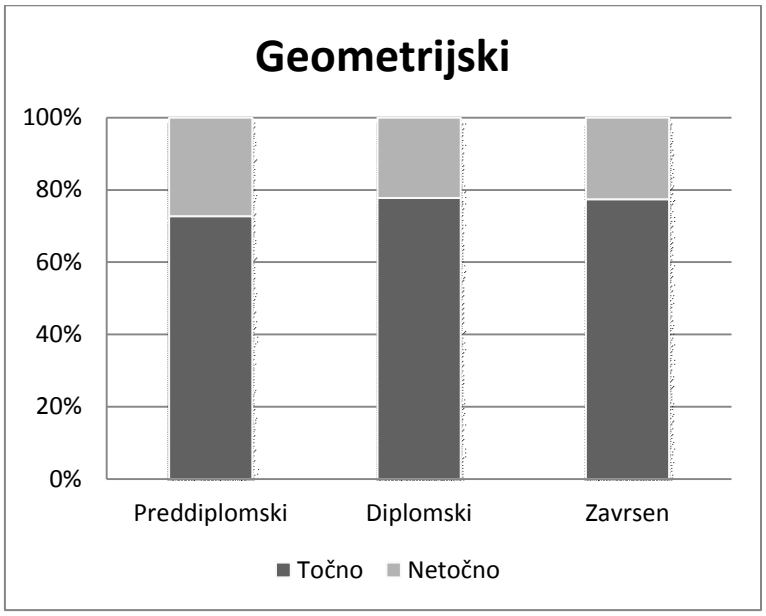
Na pitanje broj 12. sa slikovnim prikazom dva izomera iznenađujuće su slabi odgovori, ukupno je točno odgovorilo 54% ispitanika. Od studenata preddiplomskog studiju točan odgovor je odabralo njih 30%, od studenata diplomskog studija točan odgovor je odabralo 53% posto, dok 81% sa završenim studijem ima točan odgovor.



Slika 20. Graf odgovora na pitanje broj 13. „ na slici su prikazani".

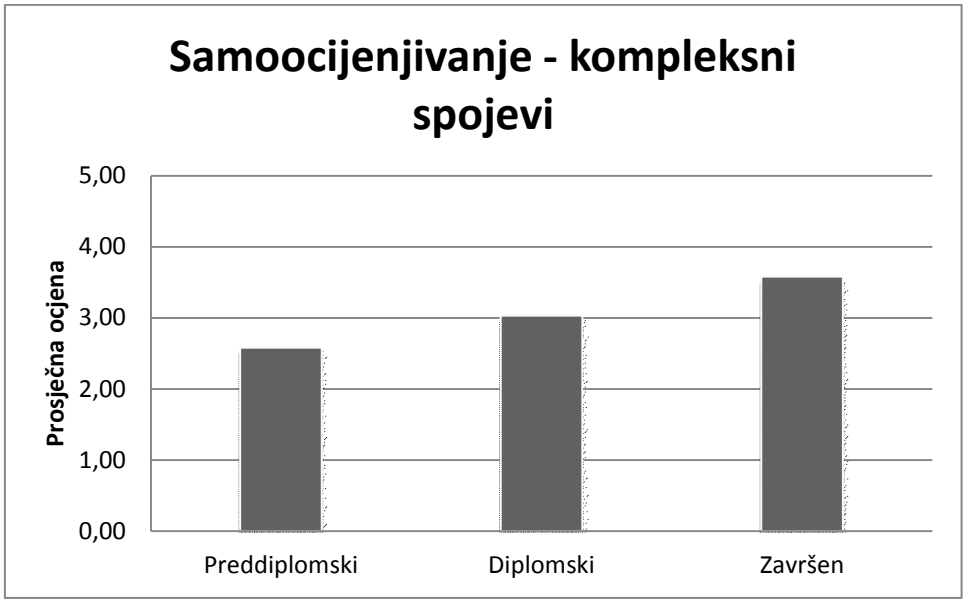
Na pitanje broj 13. najmanje studenata odgovara točnim odgovorom. 9% studenata preddiplomskog studija, 11% studenata diplomskog studija i 10% onih koji su studij završili unazad 5 godina odgovara točno na postavljeno pitanje. Kada se gleda ukupan broj točnih

odgovora, 11% je točnih odgovora i 11% je odgovora koji prepoznaju da su to izomeri, ali ne znaju koje vrste.



Slika 21. Graf odgovora na pitanje broj 14. „U koju skupinu izomera spadaju *cis-trans* izomeri?“ Točan odgovor je u geometrijske izomere.

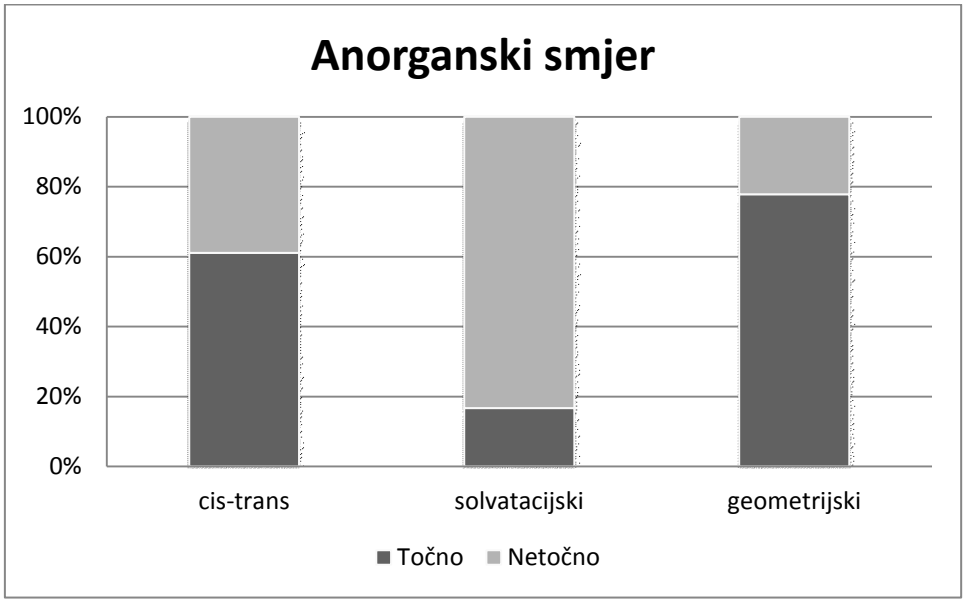
Na slici 21. na grafu prikazana je raspodjela točnih odgovora na 14. pitanje. Točan odgovor dali su sljedeći ispitanici: 73% studenata preddiplomskog studija, 78% studenata diplomskog studija i 77% onih koji su studij završili unazad 5 godina. Takav rezultat je vrlo loš s obzirom na jednostavnost postavljenog pitanja.



Slika 22. Graf odgovora na pitanja broj 15. "Kojom ocjenom biste ocijenili svoje znanje o kompleksnim spojevima?".

Slika 22. prikazuje prosječne ocjene kojima su studenti procijenili svoje znanje o kompleksnim spojevima odgovarajući na pitanje broj 15. Kojom ocjenom biste ocijenili svoje znanje o kompleksnim spojevima? Studenti preddiplomskog studija ocjenjuju svoje znanje prosječnom ocjenom 2,58; studenti diplomskog studija 3,03; oni koji su unazad 5 godina završili studij 3,58. Iz navedenog vidimo da se studenti ukupno najviše ocjenjuju prosječnom ocjenom 3 te je ukupna raspodjela svih ispitanika bez podjele u grupe po razini studija raspoređena po Gaussovoj krivulji.

4.1.1. Usporedba odgovorenih pitanja

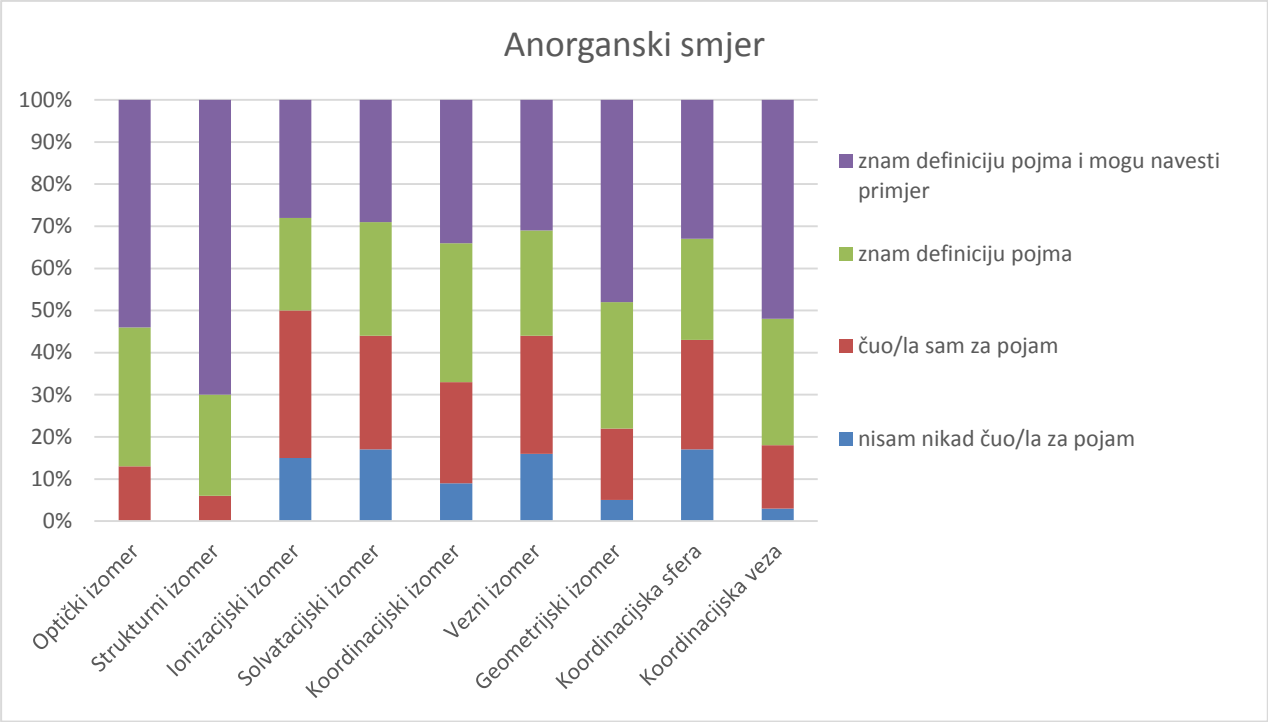


Slika 23. Odgovori ispitanika koji su upisali ili završili anorganski smjer na 3 pitanja (12. Točan odgovor: *cis*-*trans* izomeri.; 13. Točan odgovor: solvatacijski izomeri.; 14.Točan odgovor: geometrijski izomeri)

Prema odgovorima studenata prve i druge godine diplomskog studija te onih koji su unutar 5 godina završili studij i pri tome kao jedan od smjerova odabrali anorgansku kemiju možemo sumirati sljedeće (Slika 23.):

Točan odgovor na pitanje broj 12. gdje je trebalo prepoznati da se radi o *cis*-*trans* izomerima navedenih spojeva daje samo 61%. Pitanje broj 13. gdje je trebalo prepoznati da se radi o solvatacijskim izomerima točno odgovara samo 17%. Točan odgovor na pitanje broj 14. daje 78% ispitanika.

Točnost odgovora na postavljena pitanja konkretnog korištenja znanja o kompleksnim spojevima za ispitanike anorganskog smjera je puno manja od očekivanog.



Slika 24. Prikaz odgovora studenata anorganskog smjera diplomskog studija na pitanje broj 11. U pitanju se vrši samoprocjena znanja o navedenim pojmovima.

Prema odgovorima studenata prve i druge godine diplomskog studija te onih koji su unutar 5 godina završili studij i pri tome kao jedan od smjerova odabrali anorgansku kemiju možemo sumirati sljedeće (Slika 24.):

- optički izomer: 0% navodi da nisu čuli za taj pojam,13% navodi čuo/la sam za pojam; 33% navodi da zna definiciju pojma, dok 54% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- sturkturni izomer: 0% navodi da nisu čuli za taj pojam, 6% navodi čuo/la sam za pojam; 24% navodi da zna definiciju pojma, dok 70% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- ionizacijski izomer: 15% navodi da nisu čuli za taj pojam, 35% navodi čuo/la sam za pojam; 22% navodi da zna definiciju pojma, dok 28% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- solvatacijski izomer: 17% navodi da nisu čuli za taj pojam, 27% navodi čuo/la sam za pojam; 27% navodi da zna definiciju pojma, dok 29% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer

- koordinacijski izomer: 9% navodi da nisu čuli za taj pojam, 24% navodi čuo/la sam za pojam, 33% navodi da zna definiciju pojma, dok 34% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- vezni izomer: 16% navodi da nisu čuli za taj pojam, 28% navodi čuo/la sam za pojam, 25% navodi da zna definiciju pojma, dok 31% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- geometrijski izomer: 5% navodi da nisu čuli za taj pojam, 17% navodi čuo/la sam za pojam, 30% navodi da zna definiciju pojma, dok 48% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- koordinacijska sfera: 17% navodi da nisu čuli za taj pojam, 26% navodi čuo/la sam za pojam, 24% navodi da zna definiciju pojma, dok 33% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer
- koordinacijska veza: 3% navodi da nisu čuli za taj pojam, 15% navodi čuo/la sam za pojam, 30% navodi da zna definiciju pojma, dok 52% navodi da zna definiciju pojma i može navesti primjer

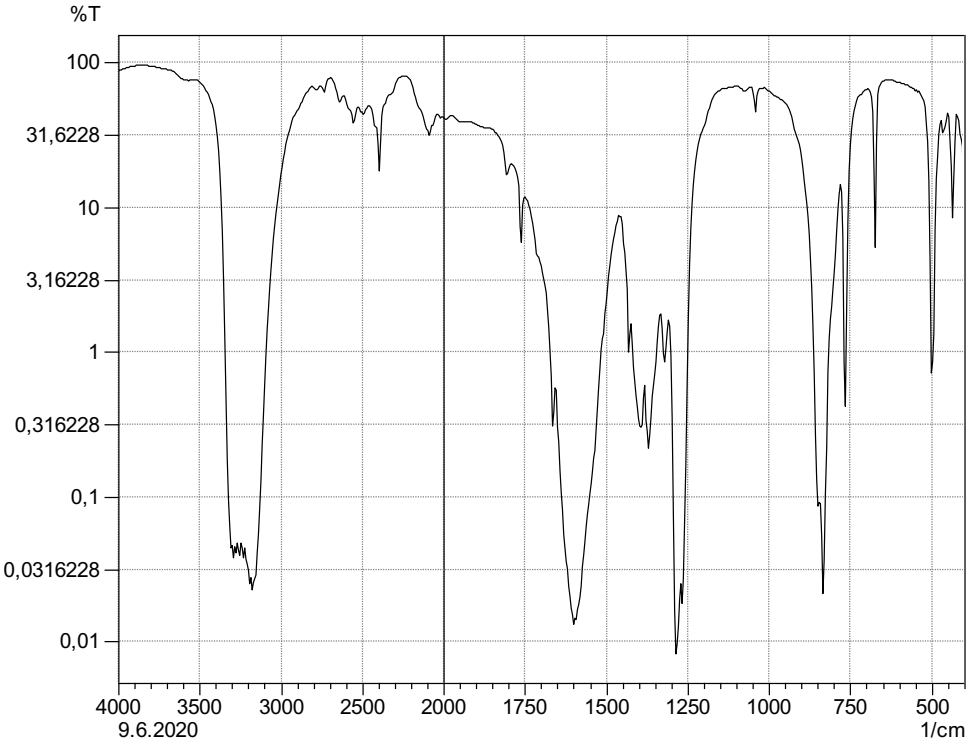
Prema samoprocjeni poznavanja ispitivanih pojmova možemo zaključiti da velik postotak ispitanika ne zna ni definiciju ispitivanih pojmova. Iznenađuje činjenica da se radi o ispitanicima diplomskog ili završenog studija anorganskog smjera i pretpostavka je da bi oni te pojmove trebali poznavati.

Primjeri na kojima je ispitivano konkretno poznavanje izomera bili su Wernerovi kompleksni spojevi koji su i sintetizirani u ovom radu. Prepoznavanje vrsta izomera na ukopnoj razini ispitanika je vrlo slabo.

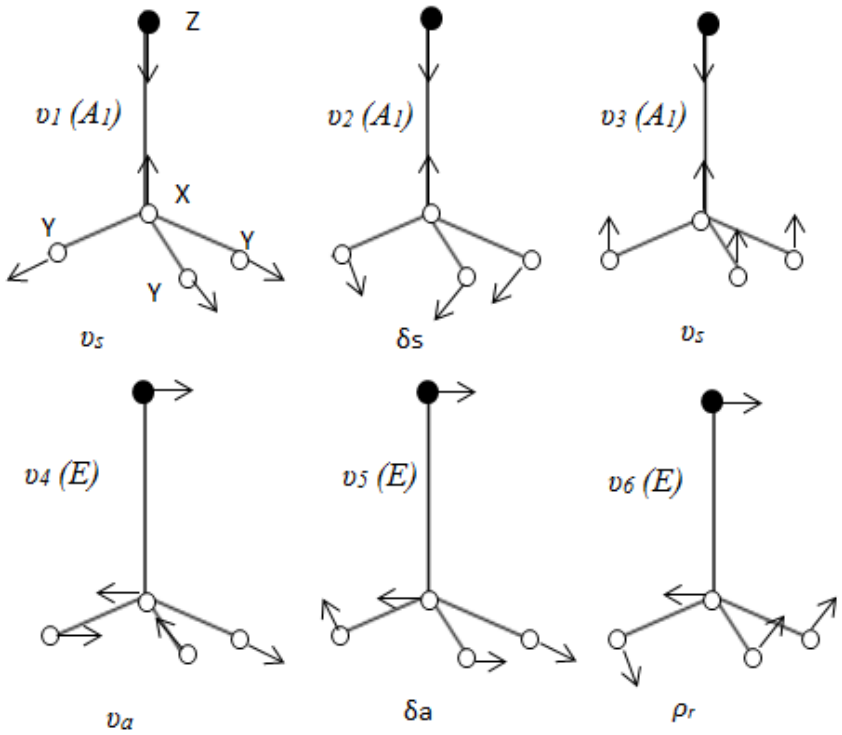
Na temelju dobivenih rezultata ankete, predlaže se uvođenje dvije praktikumske vježbe u kojima bi se sintetizirali i analizirali Wernerovi spojevi te obradila Wernerova teorija na primjerima sintetiziranih spojeva. Te praktikumske vježbe mogle bi se izvesti u dva praktikumska termina iz Praktikuma anorganske u vremenskom okviru 4-6 sati.

4.2. Spektroskopska analiza- FT-IR

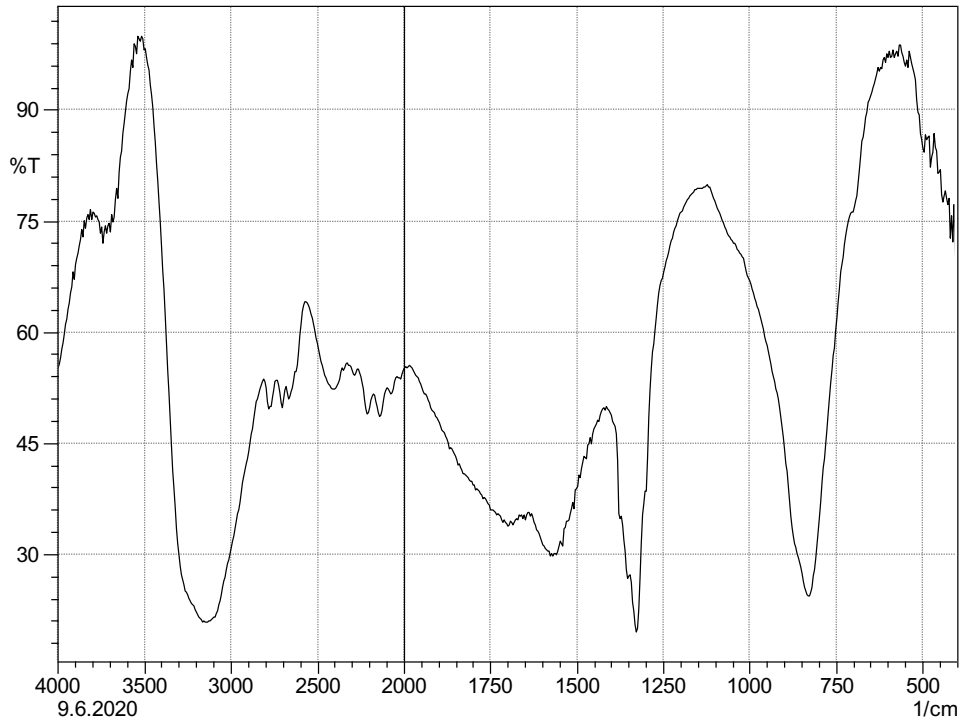
U FT-IR spektru prekursora (Slika 25.) uočavaju se vibracije tipične za koordiniranu amino skupinu, bidentantno koordinirani karbonatni anion i nekoordiniranu nitratnu skupinu. Amonijak koordiniran na metalni kation pokazuje nekoliko tipičnih maksimuma u spektru: (i) asimetrične (υ_a) i simetrične istezne vibracije (υ_s) pri 3295 cm^{-1} i 3167 cm^{-1}. Istezne N-H vibracije podložne su pomacima ovisno o načinu koordinacije na metalni kation te prisustvu aniona, odnosno vodikovih veza između amonijaka i aniona; (ii) deformacijske vibracije (δ_a) pri 1650 cm^{-1} do 1550 cm^{-1}. U slučaju spoja $[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3$ ove vibracije su preklopljene s vibracijama koordiniranog karbonatnog aniona; (iii) deformacijske simetrične vibracije (δ_s) pri 1290 cm^{-1}; te (iv) vibracije njihanja (ρ_r) pri 950 cm^{-1} do 590 cm^{-1}. Vibracije njihanja pojavljuju se u vrlo širokom rasponu valnih brojeva te su najosjetljivije na prisustvo različitih vodikovih veza. Načini vibracija koordiniranih molekula amonijaka prikazani su na slici 26. Vibracije tipične za bidentantno koordinirani karbonatni anion nalaze se pri 1593 cm^{-1} (asimetrična istezna vibracija) i 1287 cm^{-1} (simetrična istezna vibracija ($\Delta\upsilon$ = 306 cm^{-1}). Također u spektru se mogu uočiti vibracije tipične za nekoordiniranu nitratnu skupinu pri 1392 cm^{-1} i 1371 cm^{-1}. Uobičajeno se kod nitratnog aniona opaža samo jedna vibracija, a u slučaju ovog spoja postoje dvije vibracije zbog povezivanja nitratnog aniona vodikovim vezama s molekulama karbonatnog aniona i molekulama amonijaka. Slabe Co-N istezne vibracije opažaju se pri 499 cm^{-1}, 464 cm^{-1} i 435 cm^{-1}.



Slika 25. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3$.

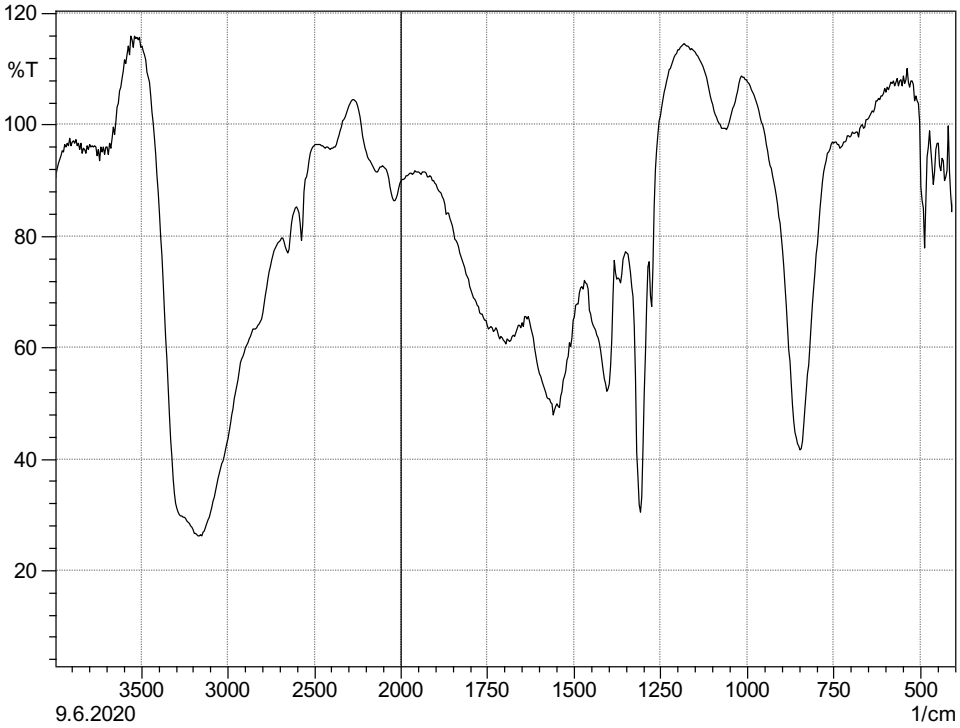


Slika 26. Normalni modovi vibracije Tetraedra ZXY3 molekula. prikaz smjerova dan je za M-NH_3 grupu



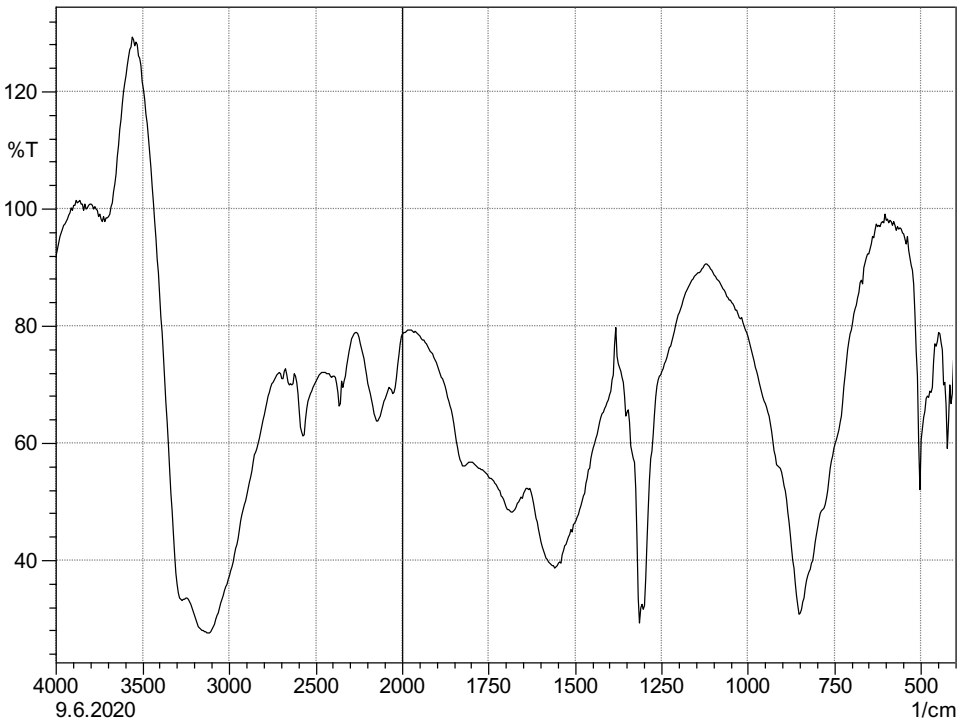
Slika 27. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_6]Cl_3$

U spektru spoja $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ (Slika 27.) mogu se uočiti iste vibracije kao kod prethodno opisanog prekursora. Vibracije karbonatnog i nitratnog aniona nisu uočene kod ovog spoja. Asimetrične i simetrične istezne vibracije N-H te vibracije njihanja skupina pomaknute su u odnosu na spektar prekursora prema nižim valnim brojevima (3240 cm^{-1}, 3160 cm^{-1} i 829 cm^{-1}) uslijed stvaranja vodikovih veza između molekula amonijaka i kloridnog aniona. Co-N vibracije nalaze pri 496 cm^{-1} , 476 cm^{-1} i 442 cm^{-1}.

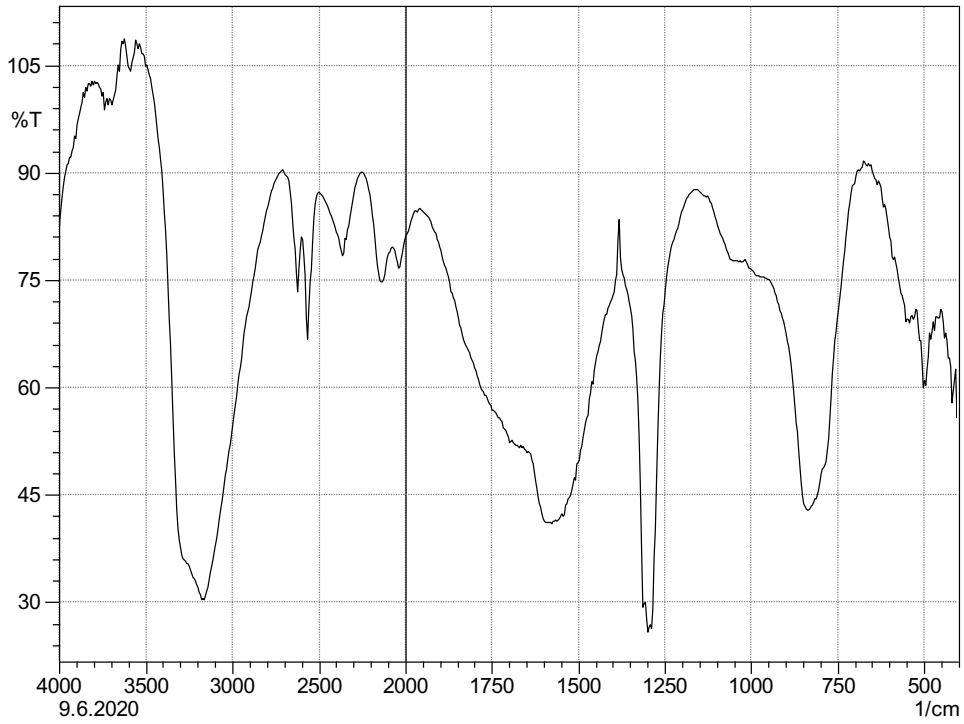


Slika 28. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$.

IR spektar pentaaminskog kompleksa $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ (Slika 28.) vrlo je sličan prethodno opisanom spektru. U ovom spoju jedna molekula amonijaka zamijenjena je s kloridnim anionom u koordinacijskoj sferi. Pri takvoj zamjeni dolazi do suptilne promjene u simetriji kompleksnog iona koja je uzrokovana zamjenjenim ligandom (promjena O_h simetrije u C_{4v} simetriju). Takva simetrijska promjena očituje se u području vibracija Co-N skupina u valnom području od 500 cm^{-1}do 400 cm^{-1}. Pored promjena u ovom valnom području može se uočiti i pomak vibracije njihanja N-H veze prema višim valnim brojevima (pri 848 cm^{-1}) uslijed promjena načinu povezivanja molekula i iona vodikovim vezama. Co-N vibracije u spektru pentaminskog kompleksa se nalaze pri 497 cm^{-1}, 475 cm^{-1} i 410 cm^{-1}.

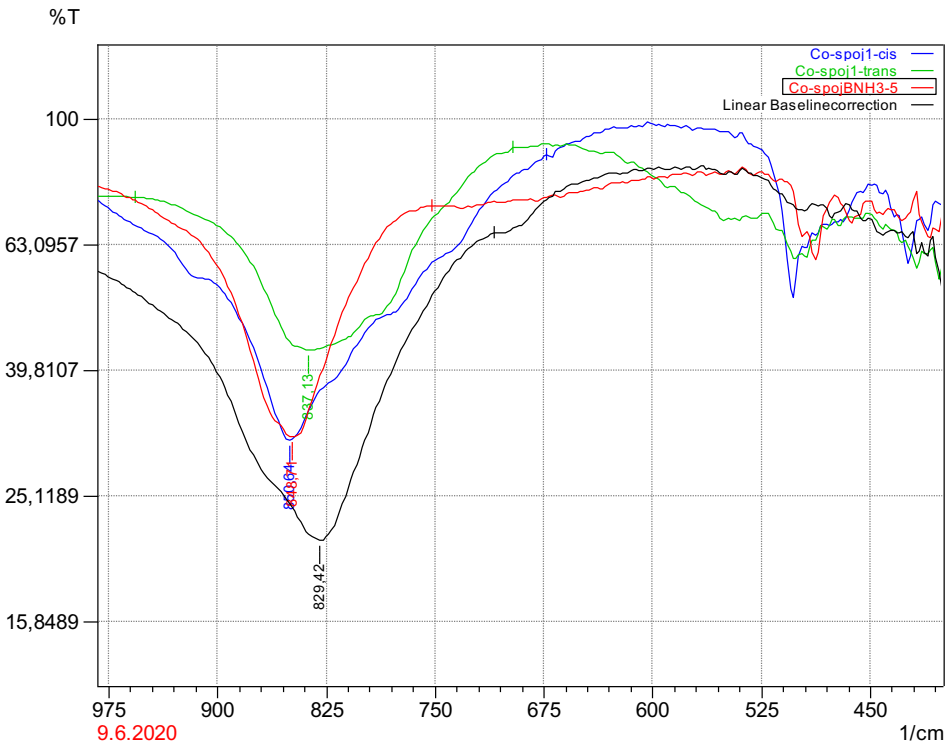


Slika 29. FT-IR spektar *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$



Slika 30. FT-IR spektar *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$

U kompleksu $[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ dolazi do zamjene još jedne molekule liganda za anion klora u koordinacijskoj sferi. Time se nadalje smanjuje simetrija kompleksnog iona iz C_{4v} u D_{4h} simetriju (*trans* forma – Slika 30.) odnosno C_{2v} simetriju (*cis* forma- Slika 29.). Kao i u prethodnom slučaju i kod ovog spoja dolazi do malih promjena u Co-N isteznim vibracijama. U slučaju *trans* izomera spoja u promatranom valnom području od 505 cm^{-1} do 400 cm^{-1} opaža se jedna srednje jaka vibracija pri 501 cm^{-1} dok u slučaju *cis* izomera dolazi do cijepanja iste vibracije na tri vibracije pri 503 cm^{-1}, 469 cm^{-1} i 424 cm^{-1}. Također mogu se uočiti određene promjene u položaju N-H vibracija ovisno o vodikovim vezama.



Slika 31. FT-IR spektri *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ (zeleno), *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ (plavo), $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ (crveno) i $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ (crno) u valnom području od 975 cm^{-1} do 400 cm^{-1}.

Na slici 31. prikazani su preklopljeni FT-IR spektri spojeva u valnom području od 975 cm^{-1} do 400 cm^{-1}. Osim malih razlika u položaju Co-N vibracija mogu se uočiti i pomaci vibracije njihanja (ρ_r) koje su osjetljive na postojanje vodikovih veza između molekula amonijaka i kloridnih aniona. Pomak ove vibracije ide u nizu $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ > *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ > *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ =$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ što ukazuje na postojanje vodikovih veza različite jakosti u ovim spojevima te je ujedno parametar koji omogućava detekciju ovih spojeva pomoću FT-IR spektroskopije. U smislu metodičkog pristupa u

nastavi kemije metoda FT-IR spektroskopije za detekciju i opisivanje molekulske građe prethodno opisanih spojeva nije u potpunosti primjenjiva iz nekoliko razloga: (i) pomake u vibracijama u spektrima vrlo je teško odrediti, posebno kada se radi o Co-N vibracijama, (ii) pomaci ovise o količinama uzoraka te o postavkama instrumenta (rezolucija) i tehnici snimanja (DRIFT, KBr pastila) te (iii) tumačenje spektara zahtijeva poznavanje molekulske simetrije i kristalne građe spojeva. Iz tog razloga detekciju i tumačenje građe ovih spojeva potrebno je uz FT-IR spektroskopiju obraditi komplementarnim metodama, poput UV-VIS spektroskopije, Ramanove spektroskopije te rendgenske strukturne analize na praškastim uzorcima.

Tablica 3. Izdvojene vibracije molekula

Spoj	Skupina	Vibracije / cm^{-1}
$[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3$	Co-N	499, 464 i 435
trans-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$	Co-N	501
cis-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$	Co-N	503, 469 i 424
$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	Co-N	497, 475 i 410
$[Co(NH_3)_6]Cl_3$	Co-N	496, 476 i 442

§ 5. METODIČKI DIO

5.1. Priprema za nastavni sat

Priprema za nastavni sat iz kemije

Datum:

Razred:

Ime i prezime učitelja/nastavnika kemije: Karolina Kolarić

Nastavna cjelina/tema: Kiseline, baze i soli

Nastavna jedinica: Kompleksni spojevi

Cilj : Potaknuti učenike na povezivanje znanja o prijelaznim metalima s novim pojmom kompleksni spojevi. Nakon provedenog pokusa navesti učenike na zaključivanje o svojstvima kompleksnih spojeva.

Potrebna predznanja i vještine: Poznavati svojstva prijelaznih metala i njihovu elektronsku konfiguraciju. Poznavati elektronske strukture plemenitih plinova, poznavanje pojma elektronski par.

Razrada postignuća (ishoda) i zadaci/aktivnosti za provjeru njihove usvojenosti

POSTIGNUĆA IZ PIP-A	***ISHODI UČENJA I POUČAVANJA***	***RAZINA ISHODA (prema Crooksu, 1988):***	***PLANIRANI ZADACI/AKTIVNOSTI ZA PROVJERU USVOJENOSTI ISHODA UČENJA I POUČAVANJA***	***OSTVARENOST PLANIRANIH ZADATAKA/AKTIVNOSTI ZA PROVJERU USVOJENOSTI ISHODA UČENJA I POUČAVANJA***
1. povezati elektronsku strukturu prijelaznih metala i nastajanje kompleksnih	*1.1. Obrazložiti nastajanje kompleksnog spoja*	*2. konceptualno razumijevanje i primjena*	*-opiši na koji način prijelazni metal postiže strukturu plemenitog plina* *-prikaži Lewisovom simbolikom: NO_3^-, NH_3, Cl^-, F^- i usporedi ih*	

spojeva			*-opiši građu kompleksnog spoja* *- objasni što se događa vezanjem liganda na metalni centar*	
2. povezati strukturu kompleksnih spojeva s koordinacijskim brojem i vrstama liganada	*2.1 obrazložiti različite kordinacijske brojeve i prepoznati različite vrste liganada* *2.2 objasnite razliku u geometriji kompleksnih spojeva*	*2.konceptualno razumijevanje i primjena* *2. konceptualno razumijevanje i primjena*	*-navedi razliku između elektron akceptora i elektron donora* *-navedi po čemu razlikujemo ligande i koje vrste postoje prema načinu vezanja s centralnim atomom* *-napiši koordinacijske brojeve sljedećih spojeva:* $[FeCl_4]^-$ = $[Fe(NH_3)_6]^{3+}$ = *-nabroji koje geometrijske oblike mogu imati kompleksni ioni* *-može li spoj koji ima koordinacijski broj 6 imati linearan geometrijski oblik*	
3. međupredmetno povezivanje : primjer hemoglobin i klorofil	*3.1 objasnite građu klorofila i hemoglobina*	*2. konceptualno razumijevanje i primjena*	*-koji su centralni metalni atomi u hemoglobinu i klorofilu*	

Tijek nastavnog sata

ETAPE NASTAVNOG SATA	Aktivnosti učitelja/nastavnika	Aktivnosti učenika	Sociološki oblici rada
Uvodni dio (5min)	- razgovorom i pitanjima ponoviti znanje o elektronskim strukturama općenito, ponoviti znanje o prijelaznim metalima	- aktivno sudjelovanje u ponavljanju - odgovaranje na pitanja	Frontalni rad – razgovor
Središnji dio	- upoznati građu i nastajanje kompleksnog spoja - objasniti popunjavanje orbitale i postizanje elektronske konfiguracije plemenitog plina - pokusom prikazati svojstva kompleksnih spojeva - rješavanje listića uz pokus - objasniti koordinacijski broj i geometriju spojeva - potaknuti učenike na zaključak o kompleksnim spojevima i njihovoj građi	- donošenje zaključaka o novim pojmovima - povezivanje novih pojmova s prethodno naučenima - pisanje u bilježnicu	Frontalni i individualni rad - razgovor - pisanje
Završni dio	- ponavljanje naučenog gradiva pomoću zadataka za ponavljanje - podijeliti učenike u dvije grupe i zadati zadaću: opišite i objasnite građu klorofila (1.skupina učenika) i hemoglobina (2. skupina učenika)	- rješavanje radnog listića - provjera radnog listića - donošenje zaključaka	Frontalni i individualni rad -razgovor -grupno rješavanje

Materijalna priprema

Udžbenik, PowerPoint prezentacija, laptop i projektor, aparatura i posuđe za izvedbu pokusa, radni listić

Plan učeničkog zapisa

Kompleksni spojevi

-centralni metalni ion najčešće prijelazni metal

- prijelazni elementi pripadaju d-bloku

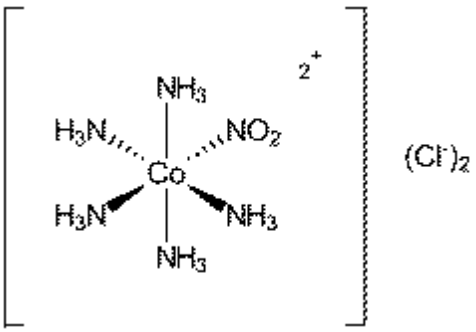
- primjer elektronske konfiguracije:

Fe: [Ar] $3d^6$ $4s^2$

Svaki kompleksni spoj sastoji se od **centralnog metalnog iona i liganada** – **iona ili molekula koji se vežu na centralni ion**.

- Kompleksnim spojevima određujemo kordinacijskli broj
- Koordinacijski broj je: Ukupan broj elektronskih parova kojima se centralni ion veže s ligandima
- Kordinacijski broj može biti od 2 do 8 i o njemu ovisi geometrijski raspored odnosno oblik molekula
- Primjer kompleksnog spoja kobalta

Mogući geometrijski oblici kompleksnih spojeva:
-linearan
-trigonski, trigonska piramida
-tetraedar, kvadrat
-oktaedar, trigonska prizma



Vrste liganada:
-monodentatni
-bidentatni
-polidentatni

Korištena metodička i stručna literatura za pripremu nastavnog sata:

Udžbenici i radne bilježnice odobreni od strane Ministarstva znanosti i obrazovanja.

https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m04/j04/istrazi/index.html.

5.2. Radni listić –pokus

POKUS- NEVIDLJIVO PISMO

1. **Pribor i kemikalije :** kobaltov(II) klorid heksahidrat, stakleni štapić, papir, plamenik, porculanska pločica

2. **Postupak :** stakleni štapić uronite u razrijeđenu otopinu kobaltovog(II) klorida heksahidrata, mokrim štapićem pišite po papiru. Papir po kojem ste pisali zagrijavajte na porculanskoj pločici plamenikom i zabilježite opažanja**.**

3. **Skica aparature:**

4. **Opažanja:**

5. **Jednadžba reakcije u kojoj dolazi do promjene boje:**

6. **Zaključak:**

Objašnjenje pokusa

Kobaltov(II) klorid heksahidrat je svjetloružičaste boje. Pisanjem otopinom kobaltova(II) klorida slova se slabo vide na bijelom papiru. Zagrijavanjem papira na porculanskoj pločici dolazi do dehidratacije kobaltova(II) klorida heksahidrata i boje se mijenja iz ružičaste u plavu. Laganim hlađenjem papira plava boja polako blijedi i prelazi ponovno u ružičastu.

Jednadžbe reakcije:

$CoCl_2 \cdot 6H_2O\ (s) \rightleftarrows CoCl_2 \cdot 2H_2O\ (s) + 4H_2O\ (l)$

5.3. Radni listić- ponavljanje

RADNI LISTIĆ- kompleksni spojevi

1. Dopuni:

Prijelazni metali grade_____ u kojima postižu elektronsku konfiguraciju_____ _____. Kompleksni spoj sastoji se od: _____ i _____. Ligandi mogu donirati: _____, _____ ili _____ elektronskih parova.

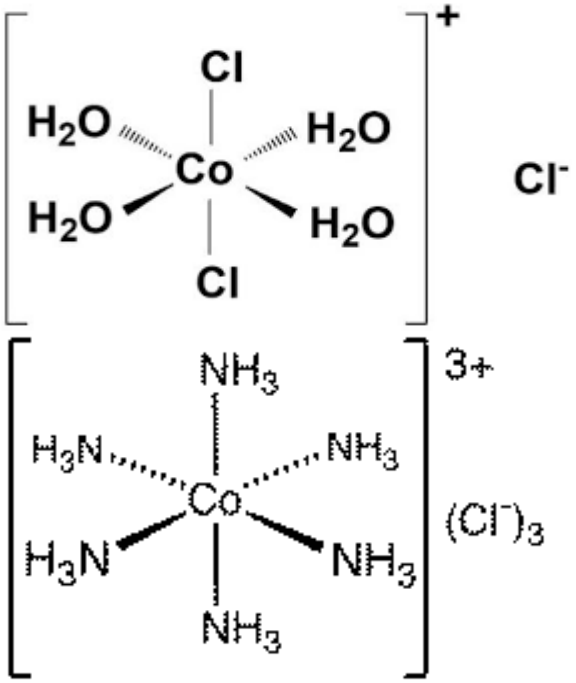
2. Zaokruži točno/ netočno:

a) Prijelazni elementi pripadaju s bloku periodnog sustava. točno/ netočno
b) Monodentatni ligand donira dva elektronska para. točno/ netočno
c) Kompleksni spojevi su najčešće obojani. točno/ netočno
d) Najzastupljeniji koordinacijski broj je broj 6. točno/ netočno

3. Odredi koordinacijski broj kod sljedećih spojeva i odredi kojoj vrsti pripadaju ligandi:

$[FeCl_4]^-$

$Fe(NO_3)_3$



4. Objasni razliku između monodentatnih, bidentatnih i polidentatnih liganada.

_____

_____

_____

_____

5. Objasni građu kompleksnog spoja.

_____

_____

_____

_____

5.3.1. Rješenje radnog listića

1. Dopuni:

Prijelazni metali grade spojeve u kojima postižu elektronsku konfiguraciju plemenitog plina. Kompleksni spoj sastoji se od: centralnog metalnog iona i liganda. Ligandi mogu donirati: jedan, dva ili više elektronskih parova.

2. Zaokruži točno/ netočno:

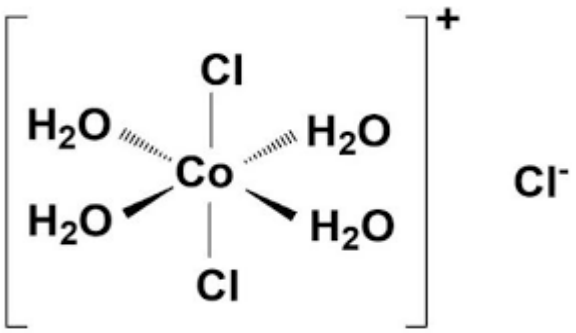
a) Prijelazni elementi pripadaju s bloku periodnog sustava. točno/ **netočno**
b) Monodentatni ligand donira dva elektronska para. točno/ **netočno**
c) Kompleksni spojevi su najčešće obojani. **točno**/ netočno
d) Najzastupljeniji koordinacijski broj je broj 6. **točno**/ netočno

3. Odredi koordinacijski broj kod sljedećih spojeva i odredi kojoj vrsti pripadaju ligandi:

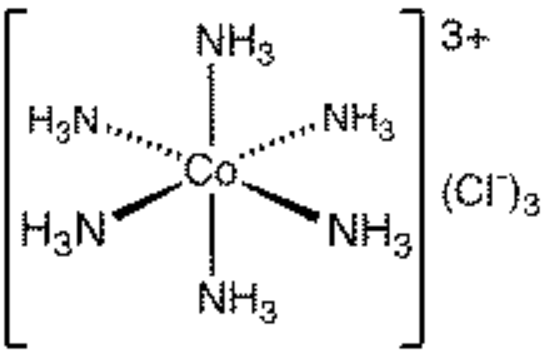
$[FeCl_4]^-$
KB= 4
ligand je monodentatni

$Fe(NO_3)_3$

KB=3
ligand je monodentatni



KB= 6
ligand je monodentatni



KB=6
ligand je monodentatni

4. Objasni razliku između monodentatnih, bidentatnih i polidentatnih liganada.

Monodentatni ligandi doniraju centralnom ionu jedan elektronski par, bidentatni ligandi doniraju dva elektronska, a polidentatni više od dva.

5. Objasni građu kompleksnog spoja.

_Kompleksni spoj je građen od centralnog metalnog atoma i liganda. Ligandi mogu biti ioni ili molekule vezane na taj centralni atom.

5.4. Domaća zadaća – korelacija s drugim predmetima

Za domaću zadaću u ovoj nastavnoj cijelini učenici su podijeljeni u dvije grupe. Svaka od grupa dobiva svoju temu koju treba istražiti do idućeg sata kemije. Teme su klorofil i hemoglobin. U ovim temama postiže se korelacija s predmetom biologija. Učenici trebaju opisati ulogu navedenih kompleksnih spojeva, njihovu građu i strukturu, odrediti koji atomi su centralni atomi te pokušati odrediti koordinacijski broj. Uz navedeno trebaju ponoviti i navesti glavne uloge klorofila i hemoglobina koje su učili na biologiji.

§ 6. ZAKLJUČAK

Alfred Werner, kemičar koji se naziva ocem koordinacijske kemije, objavio je mnoge znanstvene radove o svojoj teoriji kompleksnih spojeva. Istraživao je kompleksne spojeve i njihov strukturni raspored, odnosno slaganje u prostoru. Svojim dugogodišnjim istraživanjima raznih kompleksnih spojeva potvrdio je svoje pretpostavke o: dvije valencije, koordinacijskom broju i stereokemiji spojeva koja nije ograničena samo na spojeve ugljika. Svojim otkrićima i zaključcima otvorio je vrata za mnoga istraživanja kompleksnih spojeva koja se provede i danas u sve većem broju.

U ovom diplomskog radu glavno polazište bili su Wernerovi kompleksi na čiju temu je provedena web anketa. Anketa je sastavljena od 15 pitanja i provedena na 100 ispitanika (studenti kemije i oni koji su završili studij unazad 5 godina) s područja Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i Sveučilišta u Zagrebu. Rezultati ankete statistički su obrađeni. Obrada rezultata potvrdila je pretpostavku slabog poznavanja Wernerovih spojeva i teorije. Sintetiziran je jedan prekursor i četiri spoja: *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$, *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$, $[Co(NH_3)_5Cl]Cl$ i $[Co(NH_3)_6]Cl_3$. Navedeni spojevi okarakterizirani su FT-IR spektroskopijom gdje su uočene određene razlike u vibracijama pojedinih molekula. Preklapanjem dobivenih spektara može se uočiti razlika između dobivenih spojeva, međutim za bolje uočavanje razlika potrebno je dodatno analizirati navedene spojeve.

§ 7. LITERATURNI IZVORI

1. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1913/werner/facts/>/ (12.03.2020)

2. Kauffman G.B., *"Alfred Werner - Founder of Coordination Chemistry"*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, New York, 1966.

3. Barry N. E., Sadler P. J., *100 years of metal coordination chemistry: from Alfred Werner to anticancer metallodrugs*, Pure and Applied Chemistry, 86, 12, 2014., stranice 1897.-1910.; doi: https://doi.org/10.1515/pac-2014-0504

4. Kauffman G.B., *"Inorganic Coordination Compounds",* Heyden & Son, Philadelphia, Rheine, 1981.

5. https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch12/complex.php (17.03.2020.)

6. Greenaway A. M., Lancashire R. J., *Cobalt(III)ammines-"Werner" complex: An undergraduate experiment,* Journal of Chemiical Education, 59, 5, 1982., stranica 419.

7. Warner L.G., Busch D. H., Kirschner S., *Coordination Chemistry: Papers Presented in Honor of Professor John C. Bailar, Jr.*, Argonnte, Illinois, 1969.

8. Williams G. M., Olmsted III J., Breksa III A. P., *Coordination Complexes of Cobalt*, J. Chem. Educ., 66, 1989, stranice 1043.-1045.

9. Wilkinson R., Gillard R., Mc Cleverty J.A., *Comprehensive Coordination Chemistry. The Synthesis, Reactions, Properties and Applications of Coordination Compounds (7 Bände)*, Pergamon Press, 5, 1987., Oxford; ISBN 0-08-026232-5.

10. Greenaway A. M., Lancashire R. J., *Cobalt(III) ammines-"Werner" complexes: An undergraduate experiment*, Journal of Chemical Education, 59, 5, 1982., stranica 419.

11. Constable E. C., Housecroft C. E., *Coordination chemistry: the scientific legacy of Alfred Werner*, Chem. Soc. Rev., 42, 4, 2013., stranice 1429.–1439.

12. https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Modules_and_Websites_(Inorganic_Chemistry)/Coordination_Chemistry/Structure_and_Nomenclature_of_Coordination_Compounds/Coordination_Numbers_and_Geometry (07.04.2020.)

13. Kauffman G. B., *"Classics in Coordination Chemistry - Part 1"*, Dover Publications Inc., N.Y., 1968.

14. Greenaway A. M., Lancashire R. J., *Cobalt(III) Ammines - "Werner" Complexes*, J. Chem. Educ., 59, 1982, stranice 419.-420.

15. Yasui T., Ama T., Kauffman G. B., *The Resolution of a Completely Inorganic Coordination Compound*, J. Chem. Educ., 66, 1989, stranice 1045.-1048.

16. Filipović I., Lipanović S., *Opća i anorganska kemija II dio*, Školska knjiga, Zagreb, 1987.

17. Averill B., Eldredge P., *General Chemistry: Principles, Patterns, and Application*, FlatWorld, 2011.; ISBN 13: 9781453322307

18. Huheey J. E., *Inorganic Chemistry*, treće izdanje, Harper Collins, 1983., stranica 360.

19. Bjerrum J., McReynolds J. P., *Hexamminecobalt(III) Salts*, Inorganic Syntheses, vol 2, 1983., stranice 216.–221.; doi:10.1002/9780470132333.ch69

20. Yildiz Y., *General aspects of the Cobalt Chemistry,*2017. doi:10.5772/intechopen.71089

21. Shook, R. L., Borovik, A. S.,*Role of the Secondary Coordination Sphere in Metal-Mediated Dioxygen Activation,* Inorganic Chemistry*,* 49, 8, 2010., stranice 3646.–3660.; doi:10.1021/ic901550k

22. https://chemeasylearn.blogspot.com/2018/04/werners-theory-in-light-of-modern.html-- (15.05.2020.)

23. Created by Erica Gunn, Simmons College (erica.gunn@simmons.edu) and posted on VIPEr(www.ionicviper.org) on January 12, 2015. Copyright Erica Gunn 2015.

24. https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=2842) (14.06.2020.)

25. Silberberg M. S., *Chemistry; The Molecular Nature of Matter and Change* ,McGrawHill, vol 5, New York, 2009.

26. https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m04/j04/istrazi/index.html (27.06.2020.)

27. https://chemeasylearn.blogspot.com/2018/04/werners-theory-in-light-of-modern.html-- (28.06.2020.)

28. http://eskola.chem.pmf.hr/odgovori/odgovor.php3?sif=2105 (28.6.2020)

29. Sikirica, M. Metodika nastave kemije, priručnik za nastavnike kemije. Školska knjiga, Zagreb, 2003.

§ 8. DODATAK

Popis slika:

Slika 1. Alfred Werner.[1] 2
Slika 2. Izvadak iz doktorskog rada : *Diplom-Arbeit, Eidgenössisches Polytechnikum* (1888), str 15 :Aparatura za pripremu ugljikovog disulfida.[2] 3
Slika 3. Alfred Werner i njegov istraživački tim 1911. godine.[3] 4
Slika 4. Periodni sustav elemenata iz 1890. na početku Wernerovog znanstvenog rada (elementi označeni žutom bojom). Raspored elemenata označenih ružičastom bojom objavljen je u Wernerovom radu 1905. godine.[11] 5
Slika 5. Jørgensenov prikaz $[Co(NH_3)_6]Cl_3$,$[Co(NH_3)_5(H_2O)]Cl_3$ i $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$.[11] 6
Slika 6. *cis* i *trans* kompleksi platine. 7
Slika 7. Prikaz unutarnje (crveno) i vanjske (crno) koordinacijske sfere kompleksnog spoja $[Co(NH_3)_6]Cl_3$. 8
Slika 8. Prikaz mogućih geometrija za koordinacijski broj od 2 do 9.[12] 9
Slika 9. Shema 1 očekivani broj izomera za različite geometrije za koordinaciju 6 kompleksnih spojeva formule {M(NH3)4X2}. Metal–ligand veze prikazane su plavom bojom. Shema 2 očekivani broj izomera za različite geometrije za koordinaciju 6 kompleksnih spojeva formule {M(en)2X2}. Metal-ligand veze prikazane su plavo, podebljano crveno prikazane su veze kelatnog liganda. Enantiomeri su odijeljeni sivom zrcalnom ravninom. Broj 1. Označava heksagonsko planarnu, broj 2. Trigonsko prizmatsku i broj 3. oktaedarsku geometriju.[10] 11
Slika 10. Tri vrste kompleksnih spojeva kobalta(III) s kloridom kao anionom.[16] 12
Slika 11. Prikaz orbitala amonijaka..... 12
Slika 12. Primjer kompleksnih spojeva kobalta koje je pročavao Werner..... 13
Slika 13. Graf 1 postotak odgovora prema mjestu studija; Graf 2 Postotak odgovora prema razini studija; Graf 3 postotak odgovora prema godini studija-preddiplomski studij; Graf 4 postotak odgovora prema godini studija- diplomski studij. 24
Slika 14. Graf s odgovorima na pitanje: „Ako ste položili kolegije iz područja anorganske kemije, koju ocjenu ste dobili? (ako je više kolegija, koja je prosječna ocjena)”. 25

Slika 15. Graf pitanja br. 7 „Jeste li tijekom dosadašnjeg školovanja učili o Alfredu Werneru?“. 25
Slika 16. Graf statistička obrada odgovora br 8. : „Odaberite točnu definiciju, koordinacijski spojevi su: ”. 26
Slika 17. Graf odgovora na pitanje broj 9. : „Koordinacijski broj je”. 27
Slika 18. Graf odgovora na pitanje broj 10.: „Primarna valencija je:“ 27
Slika 19. Graf odgovora na pitanja broj 12. „Na slici su prikazani____“. 28
Slika 20. Graf odgovora na pitanje broj 13. „ na slici su prikazani“. 28
Slika 21. Graf odgovora na pitanje broj 14. „U koju skupinu izomera spadaju *cis-trans* izomeri?“ Točan odgovor je u geometrijske izomere. 29
Slika 22. Graf odgovora na pitanja broj 15. “Kojom ocjenom biste ocijenili svoje znanje o kompleksnim spojevima?“. 30
Slika 23. Odgovori ispitanika koji su upisali ili završili anorganski smjer na 3 pitanja (12. Točan odgovor: *cis-trans* izomeri.; 13. Točan odgovor: solvatacijski izomeri.; 14.Točan odgovor: geometrijski izomeri) 31
Slika 24. Prikaz odgovora studenata anorganskog smjera diplomskog studija na pitanje broj 11. U pitanju se vrši samoprocjena znanja o navedenim pojmovima. 32
Slika 25. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3$ 35
Slika 26. Normalni modovi vibracije Tetraedra ZXY3 molekula. prikaz smjerova dan je za M-NH_3 grupu 35
Slika 27. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ 36
Slika 28. FT-IR spektar $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$. 37
Slika 29. FT-IR spektar *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ 38
Slika 30. FT-IR spektar *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ 38
Slika 31. FT-IR spektri *trans*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ (zeleno), *cis*-$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$ (plavo), $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ (crveno) i $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ (crno) u valnom području od 975 cm^{-1} do 400 cm^{-1} 39

Popis Tablica:

Tablica 1. Popis korištenih soli. 20
Tablica 2. Popis korištenih otopina. 20
Tablica 3. Izdvojene vibracije molekula 40

§ 9. ŽIVOTOPIS

Osobni podatci

Ime i prezime: Karolina Kolarić

Datum rođenja: 18.studeni 1992.

Mjesto rođenja: Čakovec

Obrazovanje

1999.–2007. Osnovna škola:
Područna škola Turčišće, Turčišće
Osnovna škola Domašinec, Domašinec

2007.–2011. Srednja škola: Gimnazija Josipa Štolcera Slavenskog, Čakovec

2011.–2018. Preddiplomski studij Preddiplomski studij kemije, Prirodoslovno matematički fakultet Zagreb, koji je nastavljen i završen na Odjelu za kemiju Sveučilišre Josipa Jurja Strossmajera u Osijeku

2018.-2020. Diplomski studij:
Nastavnički smjer kemija, Odjel za kemiju, Osijek
Istraživački smjer kemija, Odjel za kemiju, Osijek
Bilinogojstvo, smjer Zaštita bilja, Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek

Nagrade i priznanja

2013. Posebna Rektorova nagrada (Sveučilište u Zagrebu) za manifestaciju Otvoreni dan Kemije.

2017. Rektorova nagrada (Sveučilište u Zagrebu) za ogranizaciju Simpozija studenata kemičara

Sudjelovanja u popularizaciji znanosti

2011.-2016. Dan i noć na PMF-u: Otvoreni dan kemije

2014. i 2016. Čarolije u kemiji

2012., 2014.,2016. Smotra sveučilišta u Zagrebu- radionice

2019. Smotra Sveučilišta J.J Strossmayera, radionica na Odjelu za kemiju

Sudjelovanja na znanstvenim skupovima

1.Gregorović, Ingrid; Kolarić, Karolina; Borovina, Mladen; Đaković, Marijana

Halogen interactions in selected beta-diketonato complexes // 24th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting : Book of Abstracts / Popović, Stanko ; Meden, Anton (ur.). Zagreb ; Ljubljana: Croatian Crystallographic Association ; Slovenian Crystallographic Society, 2016. str. 27-27 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

2. Kolarić, Karolina; Gregorović, Ingrid; Borovina, Mladen; Đaković, Marijana

Crystal structures of selected beta-diketonato complexes containing unusually close NO2···NO2 contacts // 24th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting : Book of Abstracts / Popović, Stanko ; Meden, Anton (ur.).Zagreb; Ljubljana: Croatian Crystallographic Association ; Slovenian Crystallographic Society, 2016. str. 36-36 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

4. Kolarić,Karolina; Gregorović, Ingrid; Borovina, Mladen; Đaković, Marijana

NO2···NO2 interakcije u metalo-organskoj sredini, stabilizirajuće ili destabilizirajuće? // Knjiga sažetaka 3. Simpozij studenata kemičara Zagreb, Hrvatska, 2016. str. 54-54 (predavanje, domaća recenzija, sažetak, znanstveni)

4. Palfi, Maja; Kolarić, Karolina; Amić, Ana

Antioksidacijska aktivnost kvercetina: HAT vs SPLET mehanizam // Knjiga sažetaka 5. Simpozij studenata kemičara Zagreb, Hrvatska, 2018. str. 54-54 (poster, domaća recenzija, sažetak, znanstveni

5. Penić, Petra; Kolarić, Karolina; Amić, Ana

Istraživanje kvalitete površinske vode sliva Karašice-Vučice // XIII. Susret mladih kemijskih inženjera Knjiga sažetaka Zagreb, 2020. str. 96-96 (poster, domaća recenzija, sažetak, znanstveni)

OSTALO

2013. /2014. Demonstrature- Praktikum opće kemije 1, Prirodoslovno matematički fakultet

2016. Organizacija projekta „Edukativno putovanje“ Kemijski odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet

2014., 2015., 2016. Suejdlovanje u organizacijskom odboru Simpozija studenata kemičara