

Міністерство освіти і науки України
Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II
Кафедра біології та хімії

Реєстраційний № _____

Кваліфікаційна робота
Вплив ізовалентного заміщення $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ на властивості
монокристалів сульфатів

КОБОЇ ДОМІНІКА СТЕПАНІВНА

Студентка IV-го курсу

Освітня програма: Середня освіта (Хімія)

Спеціальність: 014 Середня освіта (Хімія)

Рівень вищої освіти: бакалавр

Тема затверджена на засіданні кафедри

Протокол № 10 від 25 жовтня 2023 р.

Науковий керівник: **Філеп Михайло Йосипович**
к.х.н., ст. досл., доцент

Завідувач кафедрою: **Когут Ержебет Імріївна**
доктор філософії, доцент

Робота захищена на оцінку _____, „___” _____ 202_ року

Протокол № _____ / 202_

Міністерство освіти і науки України
Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II

Кафедра біології та хімії

Кваліфікаційна робота

**Вплив ізовалентного заміщення $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ на властивості
монокристалів сульфатів**

Рівень вищої освіти: бакалавр

Виконавець: студентка IV-го курсу

Кобої Домініка Степанівна

освітня програма Середня освіта (Хімія)

спеціальність 014 Середня освіта (Хімія)

Науковий керівник: **Філеп Михайло Йосипович**

к.х.н., ст. досл., доцент

Рецензент: **Сабов Мар'ян Юрійович**

к.х.н., доцент, доцент

Берегове

2024

Ukrajna Oktatási és Tudományügyi Minisztériuma
II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola

Biológia és Kémia Tanszék

**A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok
tulajdonságaira**
Szakdolgozat

Készítette: Kabai Dominika

IV. évfolyamos

014 Középfokú oktatás (Kémia)

szakos hallgató

Témavezető: Filep Mihály

a kémia tudományok kandidátusa, vezető kutató, docens

Recenzens: Szabó Marján

a kémia tudományos kandidátusa, docens, docens

Beregszász, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	8
I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Будова та властивості кристалів сульфатів калію, купруму (II).....	12
1.2. Солі Туттона.....	12
1.2.1. Загальна характеристика солей Туттона.....	12
1.2.2. Кристалічна структура та властивості сполук $X_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ (X-NH ₄ , K, Rb, Cs).....	13
II. МАТЕРІАЛІ І МЕТОДИ	20
2.1. Інструменти та матеріали, використані в дослідженні.....	20
2.2. Методи дослідження, які використовуються у роботі.....	20
2.2.1. Вимірювання рН	20
2.2.2. Рентгенівський фазовий аналіз	21
2.2.3. Диференціальний термічний аналіз.....	22
2.2.4. UV - VIS - NIR спектроскопія.....	23
III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	24
3.1. Вирощування монокристалів амоній – купрум (II) – сульфату.....	24
3.2. Вирощування монокристалів калій – купрум (II) – сульфату.....	27
3.3. Дослідження монокристалів $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$	31
3.4. Вирощування змішаних кристалів $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$	33
3.5. Вирощування змішаних кристалів $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$	39
IV. ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА МЕТОДИ У ВИКЛАДАННІ ХІМІЇ НА ТЕМУ «ВПЛИВ ІЗОХІМІЧНОГО ЗАМІЩЕННЯ $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ НА ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ СУЛЬФАТІВ»	46
4.1. Вплив ізовалентного заміщення $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ на властивості монокристалів сульфатів: Теми, педагогічно застосовні при викладанні хімії в 7 класі.....	46
4.2. Вплив ізовалентного заміщення $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ на властивості монокристалів сульфатів: Педагогічно застосовні теми в навчанні хімії у 8 класі.....	47
4.3. Вплив ізовалентного заміщення $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ на властивості монокристалів сульфатів: Теми, педагогічно застосовні в навчанні хімії в 9 класі.....	48
4.4. Вплив ізовалентного заміщення $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ на властивості монокристалів сульфатів: Теми, педагогічно застосовні в навчанні хімії в 11 класі.....	49
V. РЕЗЮМЕ	52

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	54
ПЕРЕЛІК РИСУНКІВ.....	57
ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ.....	59

TARTALOM

BEVEZETÉS.....	8
I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
1.1. A kálium-, réz(II)-szulfát kristály szerkezete és tulajdonságai.....	12
1.2. Tutton sók.....	12
1.2.1. A tutton sók általános jellemzése.....	12
1.2.2. A $X_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ (X-NH ₄ , K, Rb, Cs) vegyületek kristályszerkezete és tulajdonságai.....	13
II. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	20
2.1. A kutatás során felhasznált eszközök és anyagok.....	20
2.2. A szakdolgozatom során használt vizsgálati módszerek.....	20
2.2.1 pH mérő.....	20
2.2.2. Röntgen diffrakció	21
2.2.3. Differenciál termál analízis	22
2.2.4. UV – VIS – NIR spektroszkópia.....	23
III. EREDMÉNYEK.....	24
3.1. Ammónia – réz – szulfát hexahidrát egykristályok előállítása.....	24
3.2. Kálium – réz – szulfát hexahidrát egykristályok növesztése.....	27
3.3. $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok vizsgálata.....	31
3.4. A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok növesztése.....	33
3.5. A $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok növesztése.....	39
IV. PEDAGÓGIAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK ÉS MÓDSZEREK „A $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ IZOVEGYÉRTÉKES HELYETTESÍTÉS HATÁSAI A SZULFÁT EGYKRISTÁLYOK TULAJDONSÁGAIRA” TÉMAKÖRÉBEN A KÉMIA OKTATÁSÁBAN.....	46
4.1. A $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 7. osztály kémia oktatásában.....	46
4.2. A $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 8. osztály kémia oktatásában.....	47

4.3. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 9. osztály kémia oktatásában.....	48
4.4. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 11. osztály kémia oktatásában.....	49
V. ÖSSZEFOGLALÁS.....	51
IRODALOMJEGYZÉK.....	54
ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	57
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	59

BEVEZETÉS

A kémiában és az anyagtudományban a kristály olyan szilárd anyag, amelyben az alkotó atomok, molekulák vagy ionok rendszeresen rendezett, ismétlődő háromdimenziós mintázatban vannak elrendezve. Az egykristályoknak számos hasznos tulajdonságuk van, amelyek meghatározzák a felhasználási területét: optikai eszközök, szenzorok, félvezetői technika stb.

Az optikai szűrők kategorizálhatók a szűrő optikai viselkedése szerint, például a szalagos, rövid hullámhosszú (shortpass) vagy hosszú hullámhosszú (longpass), semleges sűrűségű vagy interferenciaszűrők, vagy a fény szűrésére használt módszerrel, átlátszó szubsztrátumként szolgálnak a fény elnyelésére vagy visszaverésére szolgáló bevonatokhoz. A „szűrő” kifejezés általában az optikai rendszerekben használt anyagra, amelyek bizonyos hullámhosszok továbbítására vagy továbbításának megakadályozására szolgálnak.

Az optikai szűrők számos optikai rendszer létfontosságú összetevői, mint például a száloptikai elosztók, a tükröződés gátló bevonatok, lézerekben és az optikai detektorok. A szűrőkben munkaelemként használt vegyületek számos szerves vegyület lehetnek: oxidok, kalkogénidok, halogénidok stb. Széles körbe az UV-fényszűrők vannak felhasználva a „nap-vak” (angolul „solar blind”) technológia alkalmazásával. A „nap-vak” technológia olyan technológiák halmaza, amelyek képeket készítenek a Nap interferenciája nélkül. Ez az ultraibolya fény hullámhosszának felhasználásával történik - a 240 és 280 nm között lévő hullámhosszok teljesen felszívódnak az ózonrétegben. Ennek a technológiának az elemei ultraibolya fényforrások, ultraibolya képdetektorok és szűrők, amelyek csak az ózon által blokkolt hullámhossztartományt továbbítják. A nap-vak képalkotás használható a korona kisülésének kimutatására. Az optikai UV-szűrő használható a látható fény és a közel ultraibolya fény blokkolására.

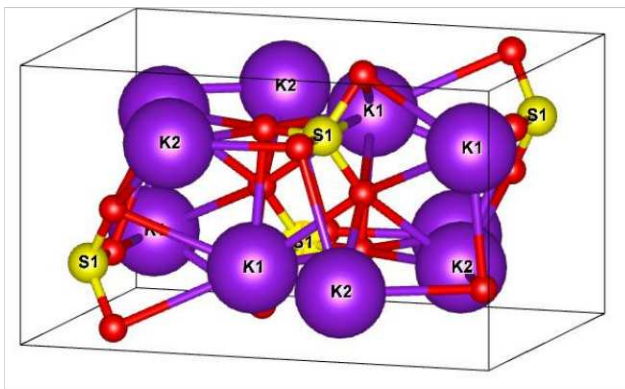
Mint UV-fényszűrőket a nikkell (II) szulfát hexahidrátot és más bonyolultabb szulfátokat (Tutton sók) alkalmazzák és kutatják. A legtöbb kutatás az UV-fényszűrők hatékonyságuk növelésére irányul: az áteresztés és stabilitási határok növelésére.

A munka során az optimális közeli körülményeket a $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok növesztésére lettek tanulmányozva és kidolgozva. A növesztett egykristályok szerkezeti, termikus és optikai tulajdonságai lettek megvizsgálva.

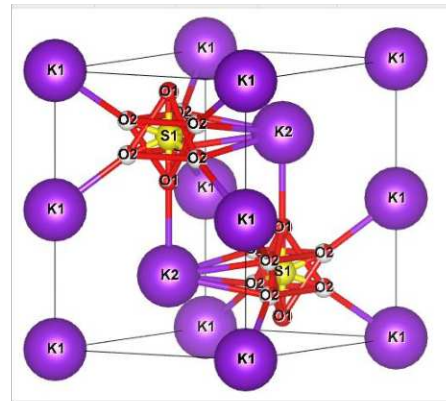
I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1 A kálium-, réz(II) - szulfát kristály szerkezete és tulajdonságai.

A kálium-szulfát (K_2SO_4) fehér színű szervesetlen vegyület. Olvadás pontja $1067^\circ C$. Kálium-szulfátnak három polimorf módosulata létezik – az α - K_2SO_4 , β - K_2SO_4 és γ - K_2SO_4 . Ezek az átalakulások $-273^\circ C$ ($\gamma \leftrightarrow \beta$) és $587^\circ C$ ($\beta \leftrightarrow \alpha$) vannak. β - K_2SO_4 rombos kristályrendszerben kristályosodik, TCS Pnma, rácsparmétere $a = 7,476 \text{ \AA}$, $b = 10,071 \text{ \AA}$, $c = 5,763 \text{ \AA}$, $Z=4$. $587^\circ C$ -nál magasabb az α - K_2SO_4 TCS $P6_3/mmc$, ennek a rácsparmétere $a = 5,92 \text{ \AA}$, $c = 8,182 \text{ \AA}$, $Z=2$. A α - K_2SO_4 jellemző, hogy az SO_4^{2-} tetraéder nem rendezettek (1.ábra). Az alacsony hőmérsékletű fázisnak (γ - K_2SO_4) a kristályrendszere monoklin. (BIN ANOOZ; BERTRAM; KLIMM, 2007)



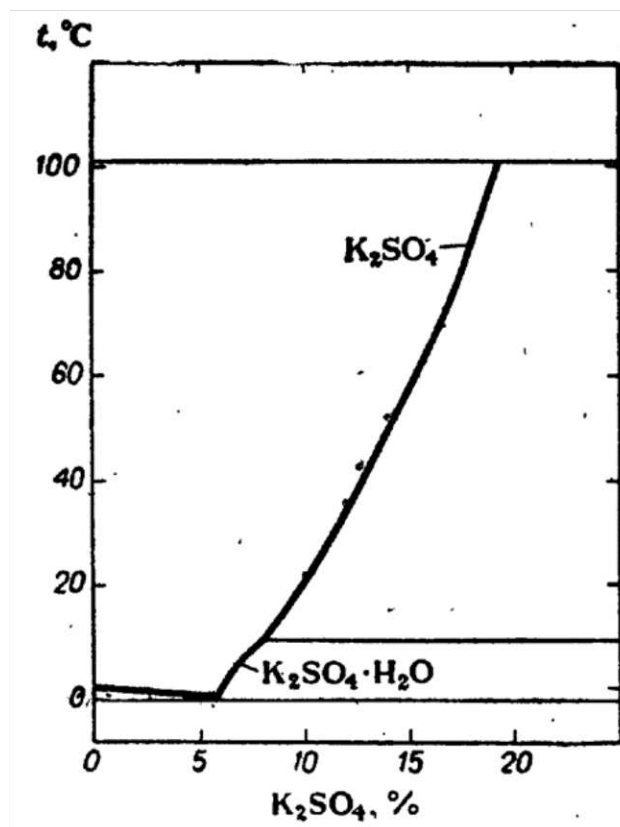
a. β - K_2SO_4 szerkezete (OJIMA; NISHIHATA; SAWADA, 1995)



b. α - K_2SO_4 szerkezete (ARNOLD et al., 1981)

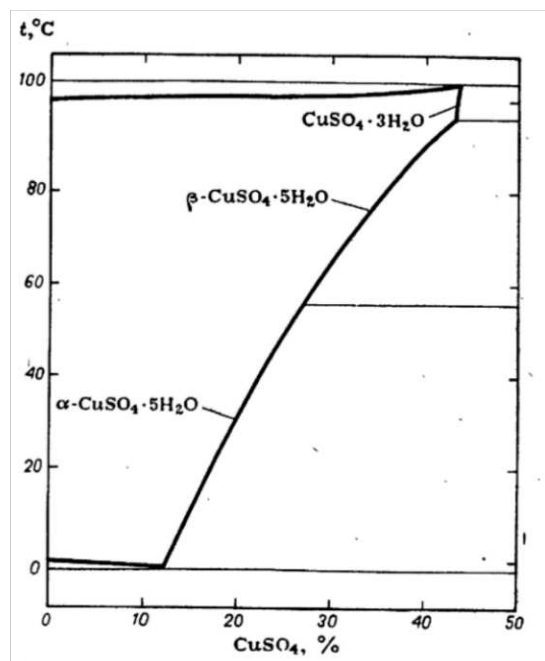
1. ábra A K_2SO_4 kristályszerkezet

K_2SO_4 vízben jól oldódik: $11,0g/100g$ ($20^\circ C$), $24,1g/100g$ ($100^\circ C$) (2. ábra). Kristályosodásnál képződhet egy monohidrát $K_2SO_4 \times H_2O$.



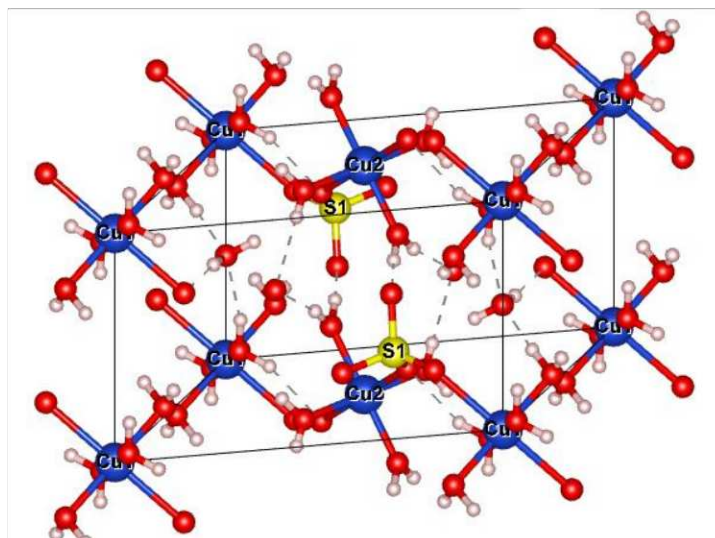
2. ábra K_2SO_4 - H_2O rendszer (KIRPA BRIGITTA, 2021)

A **réz-szulfát** $CuSO_4 \times n H_2O$ kémiai képlettel rendelkező szervesetlen vegyület, ahol az $n = 0 - 5$ között mozoghat (3. ábra). A pentahidrát ($n = 5$) a leggyakoribb forma. A pentahidrát ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), a leggyakrabban előforduló só, világoskék. Exotermikusan feloldódik vízben, $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ komplex ion keletkezésével, amely oktaéderez geometriával rendelkezik. $CuSO_4 \times 5H_2O$ egy kongruensen oldódó vegyület, a kristályosodás hőmérsékleti tartománya a só vizes oldataiban 0-96 °C. A monoklinika trihidrát $CuSO_4 \times 3H_2O$ stabil vegyület 96°C fölött. Vízmentes $CuSO_4$ oldódása a vízben: 20,5g/100g (20 °C), 76,7,1g/100g (96°C). (C. A. BEEVERS, H. LIPSON, 1934)



3. ábra CuSO₄-H₂O rendszer (DAVID SIBARANI, HANNU SIPPOLA et al., 2022)

A szilárd pentahidrát szerkezete olyan szerkezetet mutat, amelyben a réz ismét oktaéder koordinációval rendelkezik, és négy víz ligandumhoz van kötve. A [Cu(H₂O)₄] poliédereket szulfácionok kötik össze, hogy láncokat képezzenek (4. ábra). A CuSO₄×5H₂O TCS P-1, rácsparaméterei: $a = 6.1224 \text{ \AA}$, $b = 10.7223 \text{ \AA}$, $c = 5.9681 \text{ \AA}$, $\alpha = 82.35^\circ$, $\beta = 107.33^\circ$, $\gamma = 102.60^\circ$, \AA^3 , $Z = 2$.



4. ábra A CuSO₄ × 5H₂O kristályszerkezete (BACON G)

CuSO₄×5H₂O egyik spektrális jellemzője lehetővé teszi, hogy optikai sávú szűrőként használják, 0,28-0,57 μm átviteli sávon.

1.2. Tutton sók

1.2.1. A tutton sók általános jellemzése

A Tutton sók az $M_2M'(SO_4)_2(H_2O)_6$ (szulfátok) képlettel rendelkező sók családja. Ezek az anyagok kettős sók, ami azt jelenti, hogy két különböző kationt tartalmaznak, M^+ és M'^{2+} kristályosodott ugyanabban a rendszeres ionrácsban. Az egyértékű kation lehet kálium, rubídium, cézium, ammónium (NH_4^+), vagy tallium. A nátrium- vagy lítiumionok túl kicsik. A divalens kation lehet magnézium, vanádium, króm, mangán, vas, kobalt, nikkel, réz, cink vagy kadmium. A szulfát és a szelenát mellett a divalens anion lehet króm (CrO_4^{2-}), tetrafluororerilát (BeF_4^{2-}), hidrogénfoszfát (HPO_4^{2-}) vagy monofluorfoszfát (PO_3F^{2-}). Tutton sói kristályosodik a monoklin tér csoport $P2_1/a$, két formál molekula egységet tartalmaz $Z=2$. A robusztusság a tetraéderionok és kationok közötti kiegészítő hidrogénkötés eredménye, valamint a fém aquo komplexgel való kölcsönhatásuk $[M(H_2O)_6]^{2+}$. Szilárd anyagokban és oldatokban az M'^{2+} ion fém aquo komplexként létezik $[M'(H_2O)_6]^{2+}$. A Tutton sóihoz kapcsolódnak a timsók, amelyek szintén kettős sók, de $MM'(SO_4)_2(H_2O)_{12}$ képlettel. A tuttoni sókat egykor "hamis timsóknak" nevezték.

A Tutton-só típusához tartozó komplex szulfátok kristályszerkezetét háromféle poliéder alkotja: $[SO_4]$ tetraéderek, $[KO_7]$ sapkás oktaéderek és kissé deformált $[MeO_6]$ oktaéderek. Mivel a Me ionokat körülvevő összes oxigénatom a H_2O molekulák része, a koordinációs oktaédert $[Me(H_2O)_6]$ -ként kell ábrázolni. Az adott $[Me(H_2O)_6]$ oktaéderek csak csúcsokkal kapcsolódnak csak négy $[KO_7]$ poliéderhez. A $[Me(H_2O)_6]$ oktaéderek két csúcsa szabad és két $[SO_4]$ csoporthoz kapcsolódik csak hidrogénkötések révén. Az azonos magasságban elhelyezkedő $[KO_7]$ poliéderek csúcsaikon keresztül kapcsolódnak egymáshoz, és tengely mentén alkotnak láncokat. A különböző magasságú $[KO_7]$ poliéder az $[SO_4]$ és $[Me(H_2O)_6]$ csoportokon keresztül kapcsolódik egymáshoz. Az összes $[SO_4]$ tetraédert körülveszik és összekapcsolják a $[KO_7]$ csoportokkal. Az $[SO_4]$ tetraéderek közvetlenül nem érintkeznek a kristályszerkezetben. A $[Ni(H_2O)_6]$ és $[SO_4]$ poliéderek csak hidrogén kötésen keresztül kapcsolódnak.

Néhány Tutton só rácsparamétere (BOSI; BELARDI; BALLIRANO, 2009)

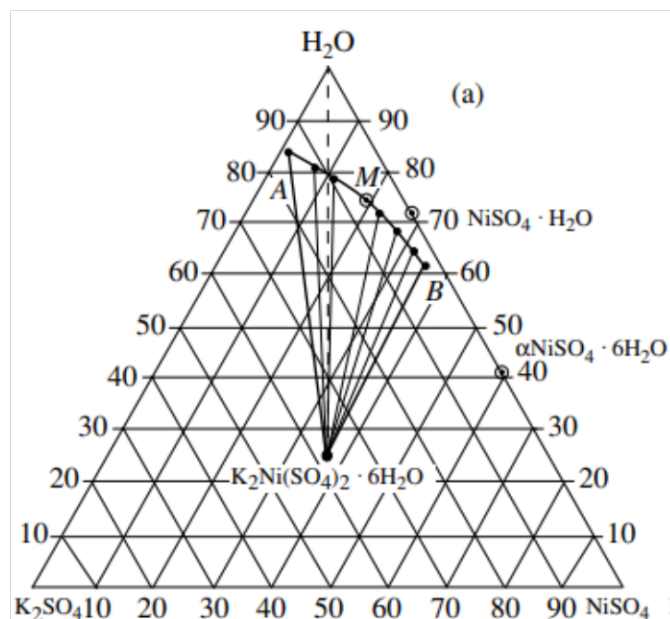
Vegyület	Rácsparaméterek			
	a, Å	b, Å	c, Å	β°
$\text{K}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,0049	12,1904	6,1368	105,04
$\text{K}_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,0609	12,2156	6,1586	104,84
$\text{K}_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,0449	12,2213	6,1592	104,77
$\text{Rb}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,1340	12,4082	6,2209	106,06
$\text{Cs}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,2592	12,7672	6,3581	107,00
$(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,195	12,469	6,244	106,98
$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,0095	12,2484	6,1335	104,88
$\text{K}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	9,0822	12,2786	6,1765	104,56

A Tutton-sók történelmi jelentőségük voltak, mert magas tisztasággal állíthatóak elő, és megbízható reagensekként és spektroszkópos szabványokként szolgáltak.

1.2.2. A $\text{X}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (X-NH₄, K, Rb, Cs) vegyületek kristályszerkezete és tulajdonságai

A XIX. század végén jelentek meg a $\text{M}_2\text{M}'(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_6$ kettős sók kristályok és oldataik tulajdonságainak tanulmányozása, de nem volt addig hasznos míg fel nem találták a „solar blind” technológiát. A Tutton-sók között legtöbbit a kálium és a nikkal alapú vegyületek vannak kutatva.

$\text{K}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ – világoskék szín kristályok. (VLADIMIR IVANOVSKI et al., 2008)



5. ábra K_2SO_4 – $NiSO_4$ – H_2O rendszer fázisegyensúlyát mutatja 55 °C-on.

2. táblázat

$K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ vegyület kristályosodási mezőinek határai

Rendszer	Szilárd fázis	T, °C	Az oldat összetétele tömegszázalékban	
			K_2SO_4	$NiSO_4$
K_2SO_4 – $NiSO_4$ – H_2O	$K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$			
		25	8,26	0,33
		40	13,15	0,51
		55	14,76	1,20

Ahhoz, hogy megkapjuk $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályt a következő arányban kell összeönteni a K_2SO_4 és a $NiSO_4$ vizes oldatokat:

3. táblázat

$K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ kristály növesztéséhez használt kiindulási oldatok optimális koncentrációja, kezdeti hőmérsékletétől lassú hűtéssel

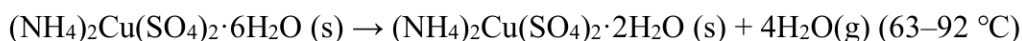
Kristály neve	Kezdeti hőmérséklet, T, °C	Az anyaoldat összetétele, M, tömegszázalékban		
		K_2SO_4	$NiSO_4$	H_2O
$K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$				
	25	9,93	15,60	79,59
	40	7,66	16,93	75,41
	55	8,53	18,10	73,37

Ha a 3. táblázatban leírtak alapján keverték össze az oldatokat és 60 °C-on folyamatosan kevergették, akkor a következő egyenletet kapták:

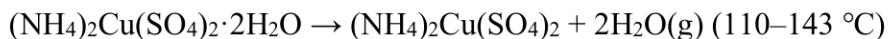


A kapott sötétzöld oldatot leszűrték és egy teflonplatformos kristályosítóba öntötték és az azonos összetételű oldatból természetesen kristályokat. A kristályokat termosztált kamrába helyezték. Az oldat lassú hűtését 55 °C-ról végezték 25°C-ra. $\text{K}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kristály növekedése azzal kezdődik meg, hogy az oldat elveszti sötétzöld színét, a kristály színe pedig világoskék lett. (SOBOLEVA; KIRPICHNIKOVA, 1999)

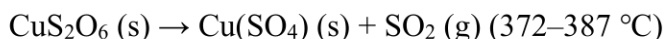
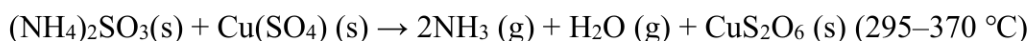
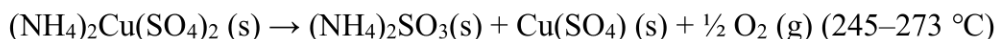
$(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – kék színű kristályok. (SANTUNU GHOSH et al., 2019) Két lépésben történik a termikus bomlása. Az első lépésben négy vízmolekula elvesztésének tulajdonítják, és 63 és 92 °C között helyezkedik el, teljes veszteségtömege 17,5%. Dehidratációs reakciója:



A bomlás második lépése 110 °C-on kezdődik, 143 °C-nál ér véget, teljes tömegvesztessége:

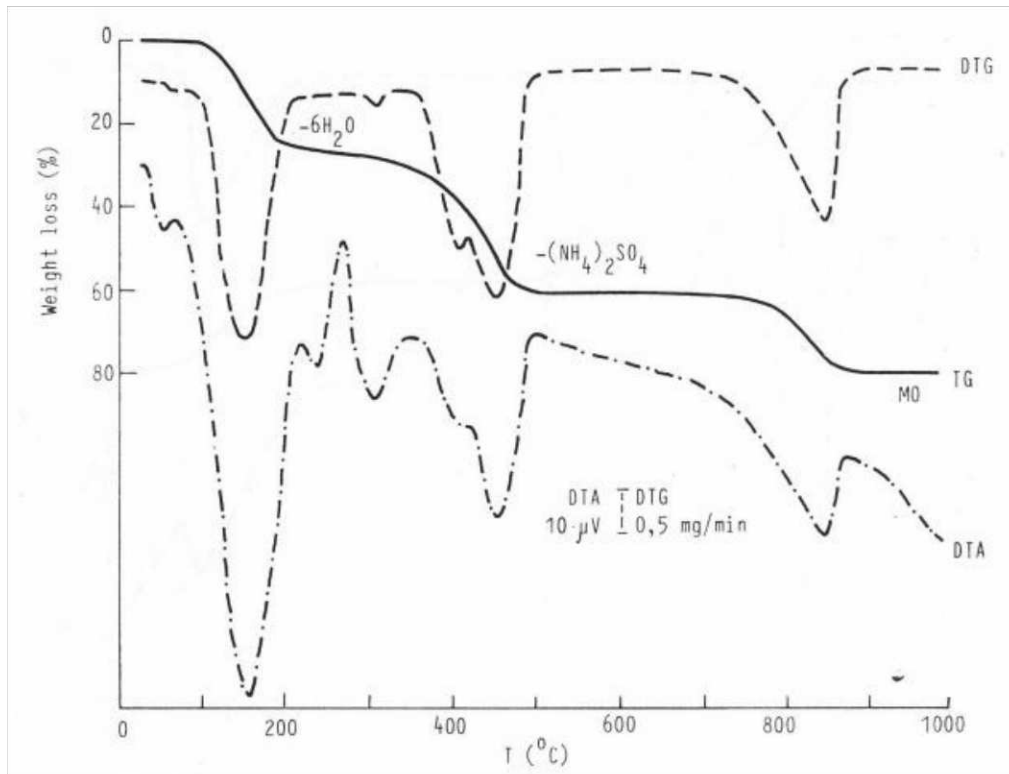
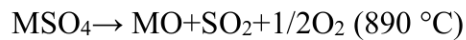
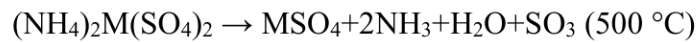


A vízmentes vegyület $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ melegítésénél következő séma szerint bomlik (BEJAOUI et al., 2019):



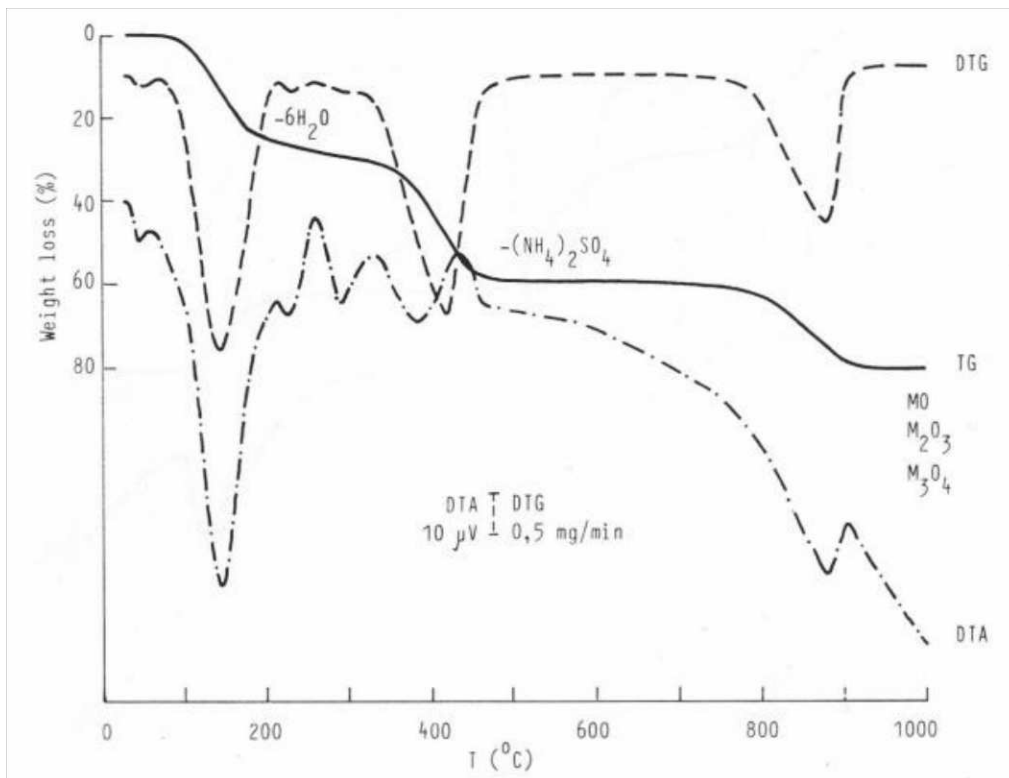
A $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ahol M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn lehet, megvizsgálták a termikus bomlását argonatmoszférában. 25 °C kezdődött a folyamat. Az első lépésben a minta elvesztette 26,0 %-át a súlyának, ami vízvesztésnek felel meg. Ezt a lépést kísérte az erős DTA endoterm hatás 165 °C-on és DTG hatás ugyanazon a hőmérsékleten. A 220-500 °C közötti hőmérsékleti intervallumban további 34,4 % súlyvesztés következik be, ami betudható a fém-szulfátok képződésének. A DTA görbe két exoterm csúcsot mutat 270 és 350 °C-on, és két endoterm csúcsot 410 és 454 °C-on. Ebben a hőmérsékleti tartományban az ammónium szulfát lebomlik. Az exoterm csúcsok bizonyos fémek (Mn, Fe) részleges oxidációjával magyarázhatók. Az utolsó lépésben 500 – 900 °C között a minta tömegének 19,6 %-át veszíti el, a teljes tömegvesztés a három lépésben 80,0 %. A fémszulfátok bomlását endoterm DTA-csúcs és DTG-minimum kíséri 850 °C-on.

A termikus bomlását a következő képen lehet leírni:



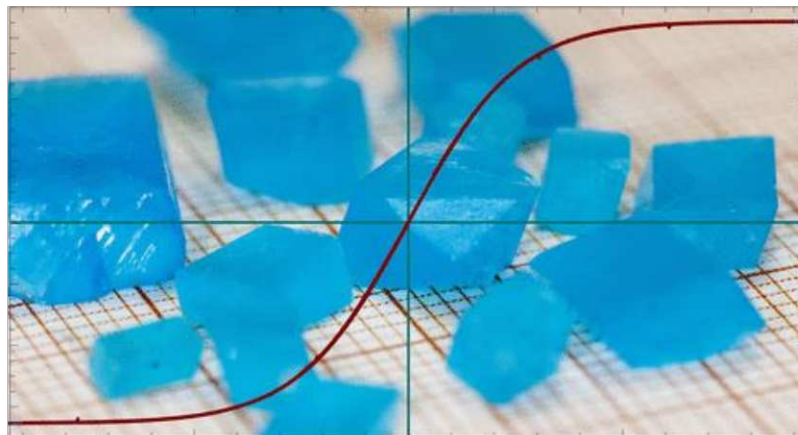
6. ábra. $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ TG,DTA és DTG görbái (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) argonatmoszférában

A levegő atmoszférájában vizsgálták a $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ ahol M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn lehet. Az első lépésben a minta 26,3%-át veszíti a súlyából. A 215 és 500 °C közötti hőmérsékleti intervallumban, ahol további 32,8%-os súlyvesztés következett be, fém-szulfátok keveréke képződik; azonban a Fe^{2+} és Mn^{2+} magasabb vegyértékűre oxidálódik. A DTA görbe exoterm hatást mutatott 260, 331 és 432 °C hőmérsékleten és a minimumot a DTG görbe 420 °C-on mutatta. 500 és 925 °C- között a minta 21,0 %-át veszítette el a súlyából, ezt a lépést csúcsok kísérik a DTA és DTG görbékben 883 °C-on, a megfigyelt teljes súlycsökkenés a lebontás három lépésében 80,1%, és a végtermék fém(2+) és (3+)-oxidok szilárd oldata lett.



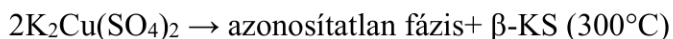
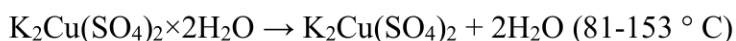
7. ábra. $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ TG,DTA és DTG görbái (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) a levegő atmoszférájában (SLIVNIK; RAHTEN; GANTAR)

$\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – átlátszó, zöldeskék színű, üveges, monoklin rendszer, pontcsoport 2/m. (DARREN C. PEETS et al., 2022)



8. ábra $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok

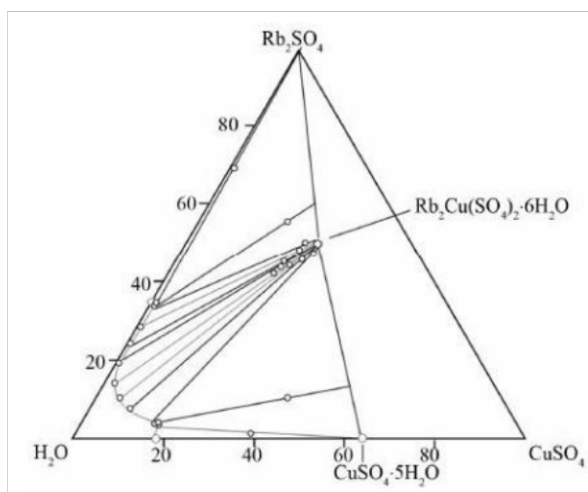
A $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ jól oldódik vízben, emiatt a kristályok is könnyen feloldódnak a vízben, így a vegyület ionjai szétválnak. A rézion (Cu^{2+}) jelenléte lehetővé teszi a $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ oxidációs-redukációs reakciók részvételét. A réz oxidált formában (Cu^{2+}) található meg a vegyületben. Rácsparaméterek: $a = 6.159 \text{ \AA}$, $b = 12.131 \text{ \AA}$, $c = 9.086 \text{ \AA}$, $\beta = 104^\circ 27'$, $Z=2$.(MAJZLAN et al., 2016). A só bomlásának a lépései:



A $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ tehát különböző hőmérsékleteken dehidratálódik és bomlik, miközben kristályszerkezete is átalakul. Az ilyen bomlási lépések fontosak a vegyület termikus tulajdonságainak megértésében, különösen ipari alkalmazások során.

$\text{Rb}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ -egyes kristályainak EPR spektrumát 17 és -158°C közötti hőmérséklet tartományban vizsgálták. $\sim -33^\circ\text{C}$ alatt szokatlan finom szerkezet fordul elő a H mágneses mező bizonyos tájolásai esetében, amely nyolc egyenlően elhelyezkedő vonalból áll, amikor H körülbelül a z molekuláris tengely mentén van, és öt egyenlően elhelyezkedő vonalból, amikor H a $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ ion y molekuláris tengelye mentén fekszik. A finom szerkezet nagyrészt a négy szomszédos réz (II) ionnal rendelkező mágneses dipólcsatlakozással magyarázható, amelyek mindegyike a központi réz (II) ionon az EPR-vonalak megközelítőleg egyenlő felosztását eredményezi; az ötsoros minta akkor fordul elő, amikor a rézmaggal való hiperfinom kölcsönhatás kicsi, míg a nyolc vonalminta hiperfinom kölcsönhatásból származik, amely lényegében megegyezik a mágneses dipólus kölcsönhatásokkal. (HITCHMAN, 1977)

$\text{Rb}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ $P2_1/c$ monoklin tércsoportban kristályosodik ki. A kristályszerkezetek izolált oktaéderekből épülnek fel $[\text{M}''(\text{H}_2\text{O})_6]$. A rubídium-kettős-szulfátok széles koncentráció-tartományokban kristályosodnak ki, ezzel jelezve, hogy erős komplex képződési folyamatok hármás megoldásokban fordulnak elő.



9. ábra. Az $\text{Rb}_2\text{SO}_4\text{-CuSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ háromkomponensű rendszer oldhatósági diagramja 25°C -nál. (KARADJOVA; STOILOVA, 2013)

Cs₂Cu(SO₄)₂×6H₂O – ragyogó zöldeskék színű, monoklin kristályszerkezetű vegyület, amely a P2₁/a tércsoportba tartozik, Z=2. Oldhatóságát a háromkomponensű rendszerben vizsgálták, amely arra utal, hogy oldhatósági tulajdonságai különböző oldószerekben és hőmérsékleteken részletesen tanulmányozva vannak. A dehidratációra számított entalpiák (ΔH_{deh}) értéke 420,2 kJ mol⁻¹, amely azt jelzi, hogy a hidratált kristály vízvesztése jelentős energiabefektetést igényel. A rácsparaméterek: a : b : c = 0,727 : 1 : 0,496, $\beta = 107^\circ$, amely megerősíti a monoklin kristályszerkezet jellemzőit. (WILDNER; MARINOVA; STOILOVA, 2016)

Ebben a komplexumban erős axiális deformáció figyelhető meg, amely a rézion (Cu²⁺) jelenlétének tulajdonítható. A Cu²⁺ ionok koordinációja és az azt körülvevő ligandok elrendeződése a kristályszerkezetben hozzájárul az anyag kémiai és fizikai tulajdonságaihoz. A réz oxidált formában (Cu²⁺) található meg a vegyületben, ami lehetővé teszi a Cs₂Cu(SO₄)₂×6H₂O számára, hogy oxidációs-redukciós reakciókban vegyen részt. Ez különösen fontos lehet olyan környezetekben, ahol a vegyület redox-aktivitása befolyásolja a rendszer viselkedését.

Alapvetően stabil anyag, amely normál körülmények között nem hajlamos a bomlásra. Azonban extrém körülmények, például nagyon magas hőmérséklet vagy erős oxidálószer jelenléte hatására lebomolhat. Ez a bomlási hajlam fontos szempont lehet a vegyület ipari vagy kutatási alkalmazása során, mivel az ilyen körülmények között bekövetkező változások befolyásolhatják a vegyület hatékonyságát és biztonságosságát. (S. K. HOFFMANN et al.; 1999)

II. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kutatás során felhasznált eszközök és anyagok

Az alábbi táblázatban ismertetem a szakdolgozatom során felhasznált kísérleti anyagokat és főbb tulajdonságaikat.

4. táblázat

Kísérleti anyagok és főbb tulajdonságaik

Vegyszer	Összegképlet	Molekulatömeg (g/mol)	Tisztasági fok
Kálium - szulfát	K_2SO_4	174,251	p. a.
Réz – szulfát – pentahidrát	$CuSO_4 \times 5H_2O$	249,685	p. a.
Kénsav	H_2SO_4	98,071	p. a.
Ammónium - szulfát	$(NH_4)_2SO_4$	132,14	p. a.
Nikkel(II) – szulfát – hexahidrát	$NiSO_4 \times 6H_2O$	262,9	p. a.

A felhasznált H_2SO_4 koncentrációja 2 M-os volt.

2.2. A szakdolgozatom során használt vizsgálati módszerek

2.2.1. pH mérő

A pH-mérő egy eszköz, amely a megoldások savasságát vagy lúgosságát méri. A pH-skála 0-tól 14-ig terjed, ahol a 7-es érték semleges, az ennél kisebb értékek savasak, míg a nagyobb értékek lúgosak. A savas oldatokban több a pozitív töltésű hidrogénion (H^+), míg a lúgos oldatokban több a negatív töltésű hidroxidion (OH^-).

A pH jelentése a "hidrogén ereje", és azt a hidrogénionok koncentrációja alapján számolják ki egy folyadékban. Az ilyen hidrogénionok pozitív töltést hordoznak, így egy sok hidrogénionot tartalmazó savas oldat könnyen vezeti az elektromos áramot. A pH-mérők éppen ezt a vezetési képességet mérik, hogy meghatározzák a pH értéket.

A pH-mérők működési elve a potenciometria. Ez az oldat elektromos potenciáljának (feszültségének) mérése. Az oldat áramvezetési képességét elektromos potenciálnak nevezzük. Az elektromos potenciál kulcsfontosságú a pH-mérő elveinek és alkalmazásainak megértéséhez.

A pH-mérő két elektródát használ az elektromos potenciál mérésére, amelyeket a folyadékba merítenek, hogy létrehozzanak egy elektromos áramkört. Az egyik elektróda, amelyet referencia elektródának neveznek, egy ismert elektromos potenciállal rendelkező anyagot tartalmaz. A másik elektróda, amelyet érzékelő elektródának hívnak, az elemzett oldatba kerül. Az elektromos potenciál a referencia elektróda és az érzékelő elektróda összehasonlításából eredő különbség.

Az oldatok pH-ját WTW inoLab Multi 9620 IDS pH-mérővel volt meghatározva és beállítva.

2.2.2. Röntgendiffrakció

A röntgendiffrakció az anyagok kristályos szerkezetét vizsgálja. Az anyagra irányított röntgensugarak szóródásának mintázata alapján meghatározható a kristályrács paraméterei és a kristályos fázisok jelenléte is.

A röntgensugárzás szórása az atomokból olyan diffrakciós mintát készít, amely információkat tartalmaz az atomi elrendeződésről a kristályban. Porröntgenben a diffrakciós képet a porból kapjuk. A pordiffrakció gyakran könnyebb és kényelmesebb, mint az egykristály diffrakció, mivel nem egyedi kristályokat igényel. A diffrakciós kép ábrázolja az intenzitás változását a hullámhossztól. A Bragg törvény írja le az általános kapcsolatot a beeső röntgensugarak hullámhossza, a sugár beesési szöge és az atomok kristályrácssíkjai közötti távolságot. A pordiffraktométer (XRD) számos előnnyel rendelkezik, mint például a roncsolásmentes természet, magas érzékenység, megbízhatóság, mélységprofilozás, egyszerű minta előkészítés, a rendszer felhasználóbarát, működőképes eljárás kényelmes, gyors, hatékony felbontás, alacsony karbantartási költség, megfelelő automatizálás, egyszerű adatértelmezés, amely mindkettőre használható, azaz kvalitatív és kvantitatív elemzésre, az alkalmazások széles körében. A kristályosodás tanulmányozására használják, azonosítsa a kristályos fázisokat, a rácsok közötti távolságot síkjai, létskálái, preferenciális sorrendje és epitaxiális növekedése kristallitok. Mivel minden anyagnak egyedi diffrakciós mintázata van így az anyagok és vegyületek azonosíthatók egy adatbázis segítségével. Megtekinthető a minta százalékos tisztasága diffrakciós mintázattal, figyelembe véve az arányt és az összetételt a jelen lévő szennyeződésektől. (CHAUHAN, 2014)

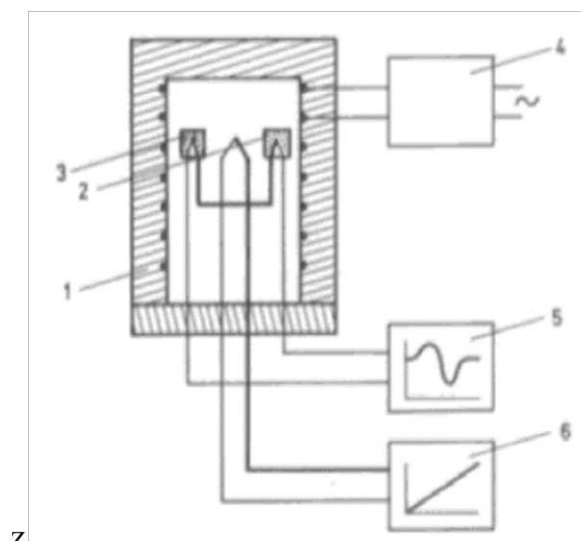
A minták XRD elemzését egy hibrid foton számláló detektorral felszerelt AXRD Benchtop pordiffraktométeren (Proto Manufacturing Limited) végeztük. A kísérleti pordiffraktogramot Bragg-Brentano geometriában $\theta / 2\theta$ módban, $\text{CuK}\alpha$ (Ni-szűrő) sugárzással gyűjtöttük. A minták vizsgálata a $10\text{-}60^\circ$ 2θ szög tartományban történt, $0,5$

másodperc lépésenkénti számlálási idővel, és az adatgyűjtést dinamikus ROI alkalmazásával végeztük. A fázis analízist és a rácsparaméter számítását a PDAnalysis (Proto Manufacturing) és az Expo 2014 (ALTOMARE et al., 2013) programok segítségével végeztük.

2.2.3. Differenciál termál analízis

A differenciális hő elemzés (DTA) a különbségen alapul, a vizsgált anyag és az inert referenciaminta hőmérsékletének egyidejű változása a fűtés vagy hűtés alatt. Amikor a minta hőmérséklete megváltozik, előfordulhatnak entalpiaváltozással járó folyamatok, mint például az olvadás, a kristályszerkezet átrendeződése, párolgás, dehidratációs reakciók, disszociáció vagy bomlás, oxidáció vagy redukció. Ilyen átalakulások hő felvételével vagy felszabadulásával jár, aminek következtében a hőmérséklet minta és szabvány kezd eltérni. Ezzel a módszerrel akár javítható is a minta hőmérsékletének kismértékű változása, a készülék kialakítása miatt, nevezetesen az a tény, hogy a mintából és a szabványból származó rögzítő hő elemek egymás felé vannak kötve. A DTA-módszer segítségével termodinamikai és kinetikai vizsgálat is elvégezhető. Ez a módszer közvetlenül méri a kémiai és fázis átalakulásokat, valamint az anyagok hőkapacitását. A DTA adatok felhasználhatók fázisdiagramok felépítésére: általában az izobár típusának meghatározására szolgálnak a keresztmetszetek a kristályos fázis egyensúlyi tartományában - olvadás. A DTA-val mért eredményeknek a csúcsaiból meg lehet határozni a mintában található szennyeződések.

(DAVID HARVEY, 2024)



10. ábra DTA készülék modellje

1 – Kemence; 2,3 – Minta tartók; 4 – Szabályozó; 5 – A kemence felvevő hőeleme; 6 – A kemence erősítő hőeleme; (A. D. MICHEALS, 2013)

A differenciál termál analízis (DTA) technológia fő ismertetőjele, hogy gyors rajta a mérés, kis mennyiségű minta is elegendő hozzá.

A DTA vizsgálat során chromel-alumel termoelemet (K típus) használtunk hőmérséklet-érzékelőként. A mintákat 12°C/perc felfűtési sebességgel 25°C és 900°C között melegítettük. A mintatartó kvarcüvegből készült, és a referencia anyag előégetett Al₂O₃ volt.

2.2.4. UV – VIS – NIR spektroszkópia

Ultraibolya-látható-közeli infravörös spektroszkópia (UV-VIS-NIR) lefedi a 200–2500 nm hullámhossz-tartományt vagy hullámszámokban 50 000–4000 cm⁻¹. Ez a tartomány általában három részre oszlik:

- UV: 200–400 nm vagy 50 000–25 000 cm⁻¹
- VIS: 400–800 nm vagy 25 000–12 500 cm⁻¹
- NIR: 800–2500 nm vagy 12 500–4000 cm⁻¹

Az UV-VIS régiókban általában, de nem kizárólag, elektronikus átmeneteket vizsgál, míg a NIR régióban - találunk általában az alapvető rezgési átmeneteket.

Az UV – VIS - NIR spektroszkópiát általában az analitkoncentrációk vagy az oldatban lévő komponens kémiai átalakításának meghatározására használják. A technika méri a fény abszorpcióját a kívánt optikai tartományban. A mintát egy küvettába adagolják, és az optikai fényforrás és a detektor közötti útvonalba helyezik. A Beer-Lambert törvény szerint, állandó fény út hosszal és ismert abszorpciós együtthatóval (hullámhossztól függően) a szóban forgó vegyület koncentrációja meghatározható az adott hullámhosszon elnyelt fényből. Az UV – VIS – NIR spektroszkópia a szilárd minták elemzése és felhasználható. A szilárd minta abszorbanciájának kiszámítása: az abszorbanciát a minta által elnyelt eseménysugár százalékos aránya határozza meg, azaz a sugár azon része, amely nem tükröződik és nem továbbítódik (SCHOONHEYDT, 2010)

A minták elő lettek készítve UV-VIS-NIR spektroszkópiai vizsgálatra csiszolással és polírozással. A minták csiszolva lettek ≈0,5 mm vastagságig, majd polírozva lettek gyémánt pasztán míg el nem érték a kívánt optikai minőséget.

A méréseket InSpect UV-1700 spektrofotométerrel végeztük a UV-VIS-NIR tartományban, 190 és 1100 nm között.

III. EREDMÉNYEK

3.1. Ammónia – réz – szulfát hexahidrát egykristályok előállítása

A $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok növesztését vizes oldatokból történő kristályosítással (lassú bepárlással) állítottuk elő. A kristályok szobahőmérsékleten pH függésében növekedtek. Az oldatok kívánt pH-ját H_2SO_4 oldattal állítottuk be. 3-nál magasabb pH-nál az oldatokban csapadékképződés és színváltozás figyelhető meg. Az oldatokat $0,5 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációban készítettük és a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : \text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ sztöchiometrikus arányban volt jelen. Ebben a koncentrációban kinőtt kristályok nem megfelelőek számunkra optimálisan a kristályok átlátszósága szempontjából. A $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok első kialakulására 120 nap kellett. Az összes kinőtt kristály kicsik és homályosak voltak.



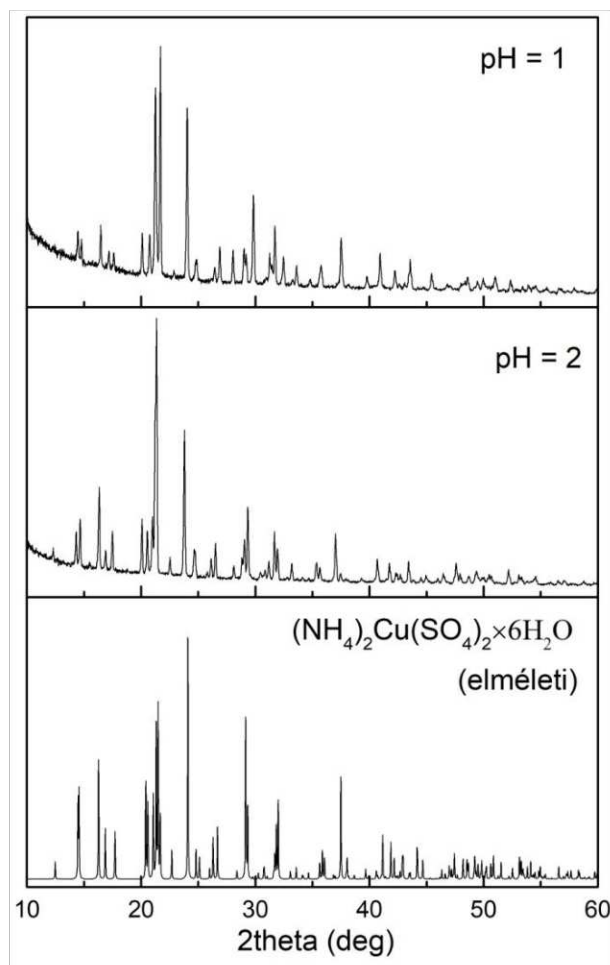
a)

b)

11. ábra A $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok $0,5 \text{ M}$ koncentrációban: a) $\text{pH}=1$; b) $\text{pH}=2$

A $0,5 \text{ M}$ koncentrációban nőtt kristályokat XRD módszerrel azonosítottuk. (12. ábra)

A PDF-2 adatbázisban szereplő $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ kártyával összehasonlítva az általunk előállított $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ pordiffraktogramjával megállapíthatjuk, hogy sikerült egyfázisú mintát előállítanunk. A diffraktogramon megfigyelt csúcsok pozíciói és intenzitásai megegyeznek az adatbázisban található referenciaértékekkel, ami arra utal, hogy az előállított kristályok szerkezete megegyezik a tiszta $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ szerkezetével.



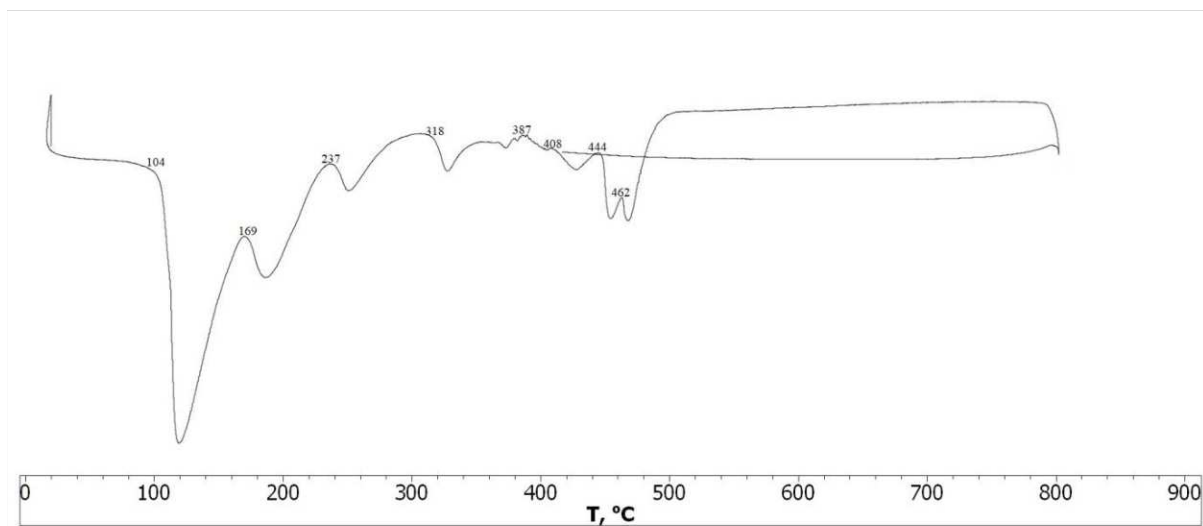
12. ábra $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok pordiffraktogramjai pH=1 és 2 -nél 0,5 M koncentráción

5. táblázat

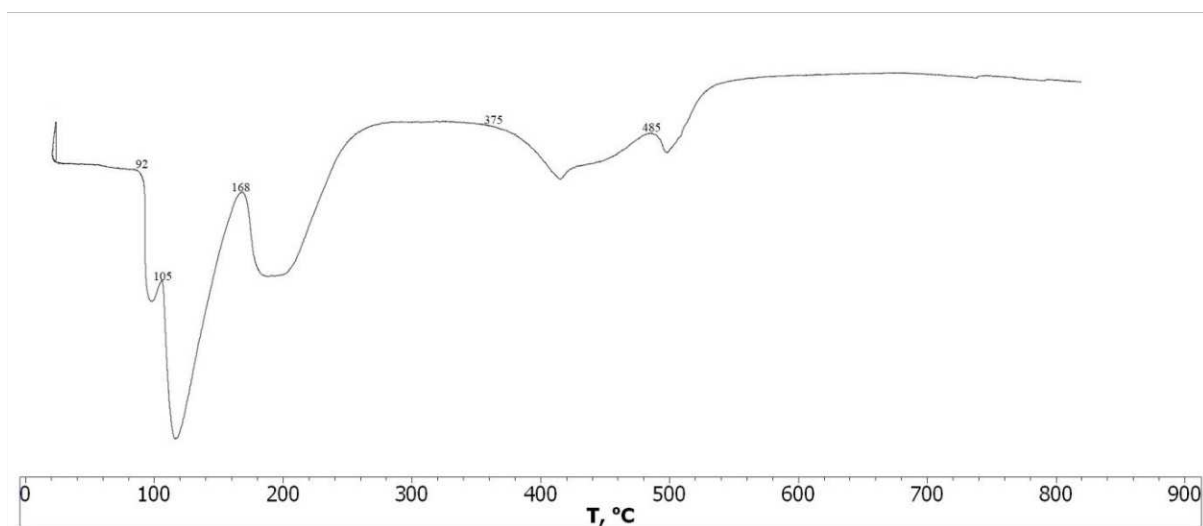
$(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok paraméterei

$(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ minta	Rácsparaméterek					TCs
	a, Å	b, Å	c, Å	β , °	V, Å ³	
pH = 1	9,2045	12,3753	6,2878	106,12	688,07	P12 ₁ /a1
pH = 2	9,1265	12,2168	6,1870	105,03	666,23	P12 ₁ /a1

A következő vizsgálati módszerünk a differenciál termál analízis (DTA) lett. (13.ábra). A DTA vizsgálat tömegmérés elemzés kísért a hevítés előtt és után.



pH = 1



pH = 2

13. ábra $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok DTA görbéi pH=1 és 2 -nél 0,5 M koncentráción

Az $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ dehidratációja pH=1 esetén 104°C -on, míg pH=2 esetén már 92°C -on megkezdődött. Ebből arra következtethetünk, hogy a pH növelése a dehidratáció kezdeti hőmérsékletét alacsonyabb értékre tolja. Ez arra utal, hogy lúgosabb környezetben a vegyület stabilitása csökken, ami a dehidratáció korábbi megindulását eredményezi. Továbbá, ez az eredmény azt sugallja, hogy a pH érték finomhangolása révén szabályozható a vegyület termikus viselkedése és stabilitása.

A $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ bomlása bonyolult mechanizmus szerint valósul meg. Ez bizonyítja a tömegváltozás, ami mindkét mintába 800°C volt mérve (6. táblázat), de különböző értékek voltak elérve.

(NH₄)₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O egykristályok tömegváltozásai

(NH ₄) ₂ Cu(SO ₄) ₂ × 6H ₂ O minta	Tömegváltozás	Tömegváltozás, %
pH = 1	0,565	74,44
pH = 2	0,143	37,73

3.2. Kálium – réz – szulfát hexahidrát egykristályok növesztése

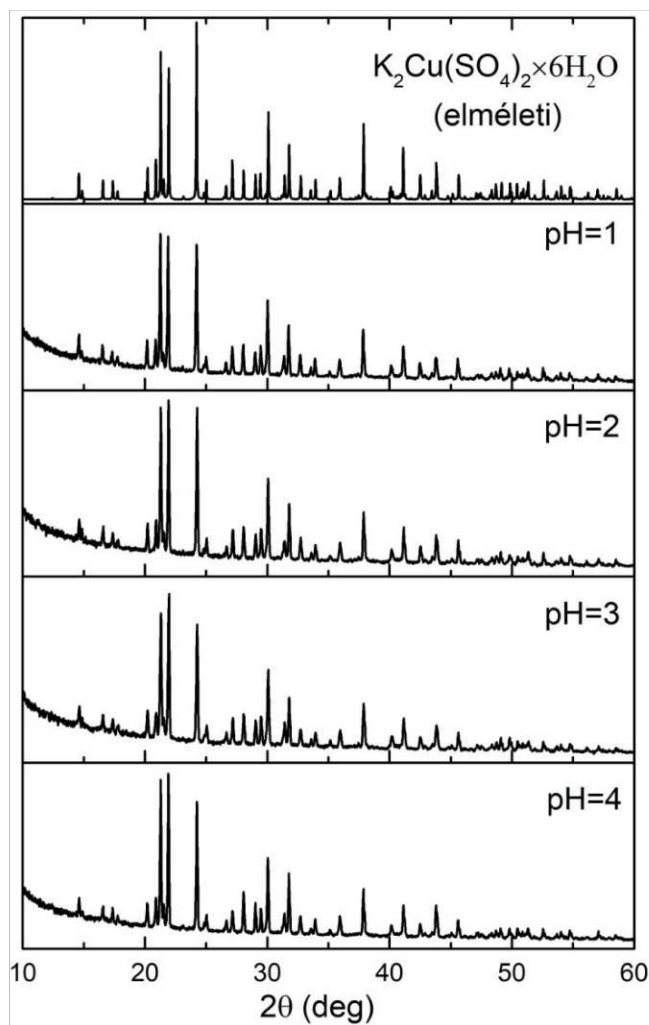
A K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O egykristályok növesztését vizes oldatokból történő kristályosítással (lassú bepárlással) állítottuk elő. A kristályok szobahőmérsékleten pH függésében növekedtek. Ennek érdekében négy oldatot készítettünk (pH=1 és 4 között), ahol a CuSO₄ : K₂SO₄ sztöchiometrikus arányban volt jelen. A készített oldatok koncentrációja 0,5 mol/dm³ volt. A K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O egykristályok első megjelenése 27 napon belül következett be, de voltak olyan növesztéseink is, aminek 120 nap kellett.

A kinőtt kristályok nem voltak optimálisan megfelelőek számunkra a kristályok átlátszósága szempontjából. Az összes kinőtt kristály kicsik és homályosak voltak (14. ábra).



14. ábra Növesztett K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O egykristályok: a) pH=1; b) pH=2; c) pH=3; d) pH=4

A nőtt kristályokat XRD módszerrel azonosítottuk. (15. ábra). Az adatbázisban szereplő K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O kártyákat összehasonlítva az általunk előállított K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O pordiffraktogramjával megállapíthatjuk, hogy sikerült tiszta vegyületet előállítanunk. A diffraktogramon megfigyelt csúcsok pozíciói és intenzitásai megegyeznek az adatbázisban található referenciaértékekkel, ami arra utal, hogy az előállított kristályok szerkezete megegyezik a tiszta K₂Cu(SO₄)₂ × 6H₂O szerkezetével.



15. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogrammjai

7. táblázat

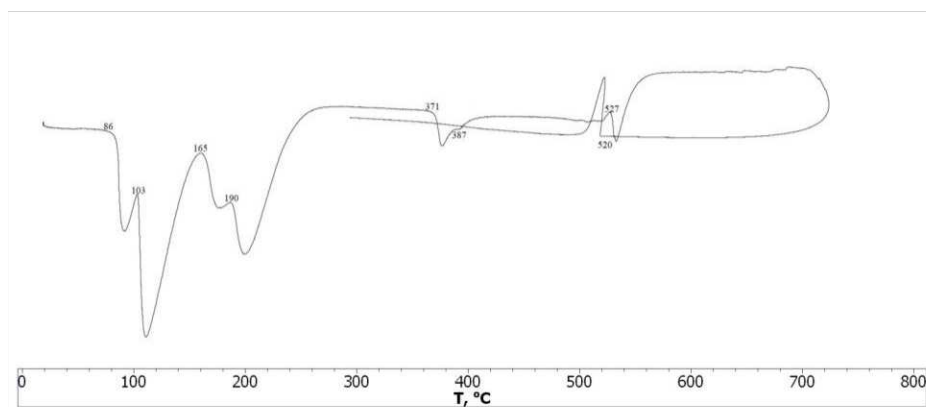
$K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok paraméterei

$K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ minta	Rácsparaméterek					TCs
	a, Å	b, Å	c, Å	β , °	V, Å ³	
pH = 1	9,0695	12,1013	6,1554	104,44	654,23	P12 ₁ /a1
pH = 2	8,9940	12,1757	6,1205	104,99	647,42	P12 ₁ /a1
pH = 3	9,0702	12,1034	6,1547	104,45	654,31	P12 ₁ /a1
pH = 4	9,0876	12,1284	6,1657	104,49	657,95	P12 ₁ /a1

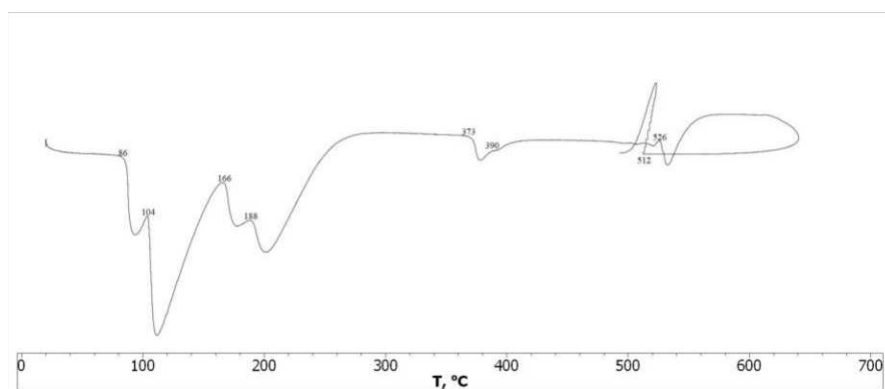
A következő vizsgálati módszerünk a differenciál termál analízis (DTA) lett. (16.ábra). A melegítés előtt és után mért tömegváltozások jó összhangban vannak a számított tömegváltozással, amely 6 vízmolekula elvesztésének felel meg (8 táblázat).

K₂Cu(SO₄)₂×6H₂O egykristályok tömegváltozásai

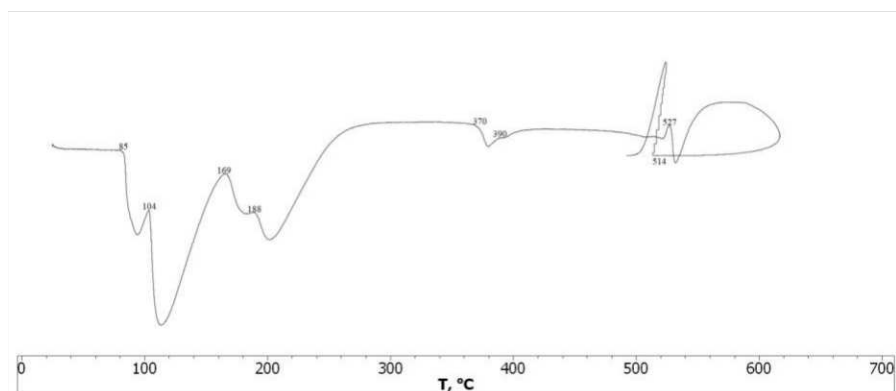
K ₂ Cu(SO ₄) ₂ ×6H ₂ O minta	Víz tömege, g	Víz tömegszázaléka, %
Elméleti (1 mol)	108	24,46
pH = 1	0,147	26,20
pH = 2	0,166	26,02
pH = 3	0,133	26,18
pH = 4	0,132	26,67



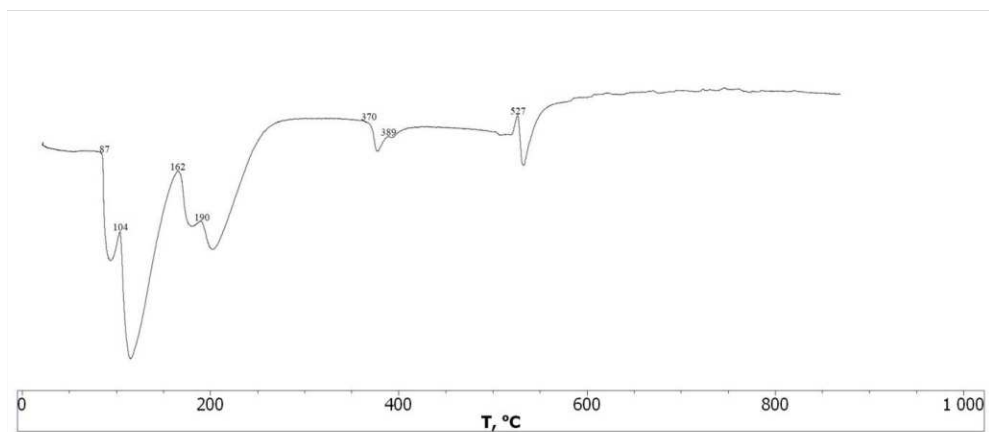
pH = 1



pH = 2



pH = 3

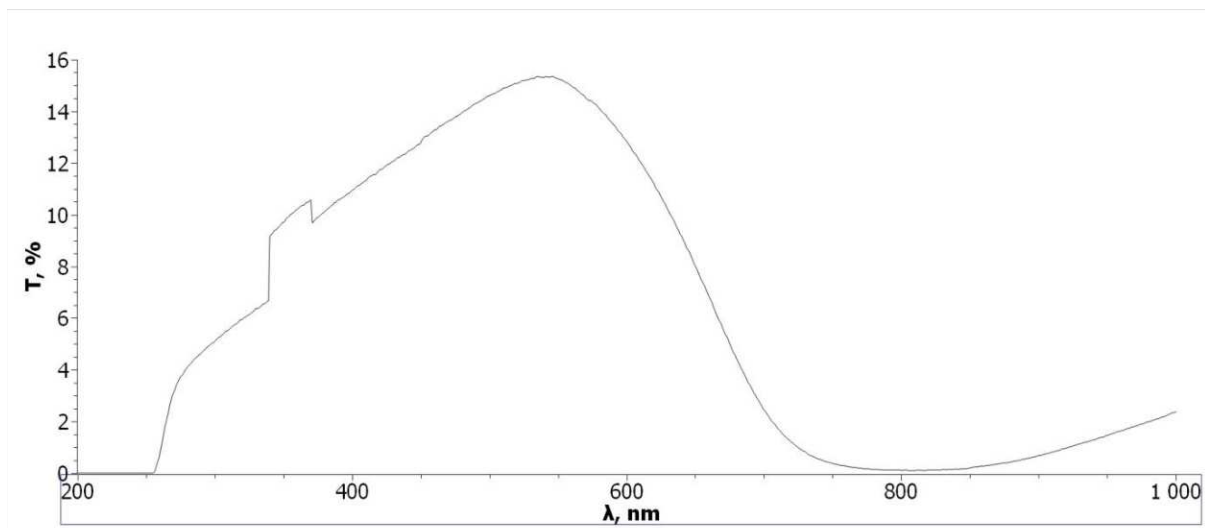


pH = 4

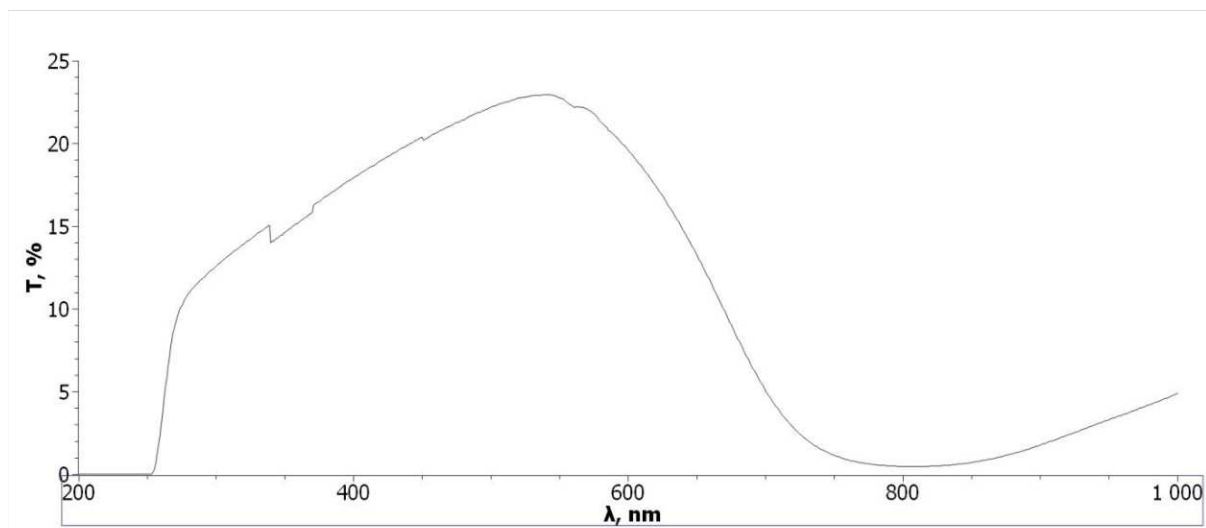
16. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok DTA görbéi pH=1 és 4 között

A $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ dehidratációja különböző pH értékeken 85-87 °C között ingadozott. Ebből arra következtethetünk, hogy a pH változása nem gyakorol jelentős hatást a dehidratáció kezdeti hőmérsékletére. Ez azt jelenti, hogy a vegyület termikus stabilitása viszonylag állandó marad a vizsgált pH tartományban, és a dehidratációs folyamat nem érzékeny a pH váltakozására.

A következő vizsgálati módszer az UV – VIS – NIR spektroszkópia, amellyel az egykristályok spektrumait vizsgáltuk meg. (17. ábra)



pH = 1



pH = 2

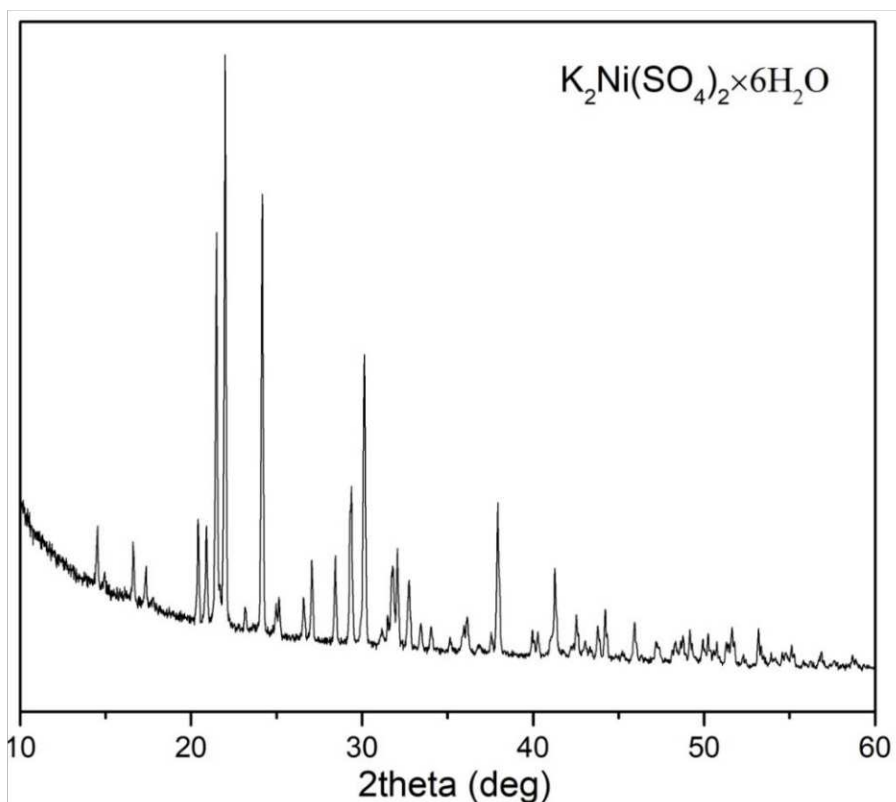
17. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok spektrumai

A $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok spektruma 250 - 700 nm közötti értékek között van. A pH = 1-nél a transzmittancia értéke 15%, a pH = 2-nél 23% a transzmittancia értéke. Ebből arra a következtetésre juthatunk, hogy a pH növelésével a transzmittancia értéke nőni fog. Az ilyen viselkedés összefügghet az oldatban jelen lévő kémiai egyensúlyi állapotok változásával, amelyek befolyásolják a fényáteresztést. A transzmittancia növekedése azt is jelezheti, hogy a komplex ionok szerkezeti változásokat szenvednek, amelyek lehetővé teszik a nagyobb fényáteresztést magasabb pH-értékek mellett. A pH-érték növekedése csökkentheti az oldat proton koncentrációját, ami hatással lehet a réz(II)-szulfát komplex ionok stabilitására és azok kölcsönhatásaira a vízmolekulákkal.

3.3. $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok vizsgálata

A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok optimális növesztési körülmények ki lettek dolgozva előzőleg (BIHARI KRISZTINA, 2019).

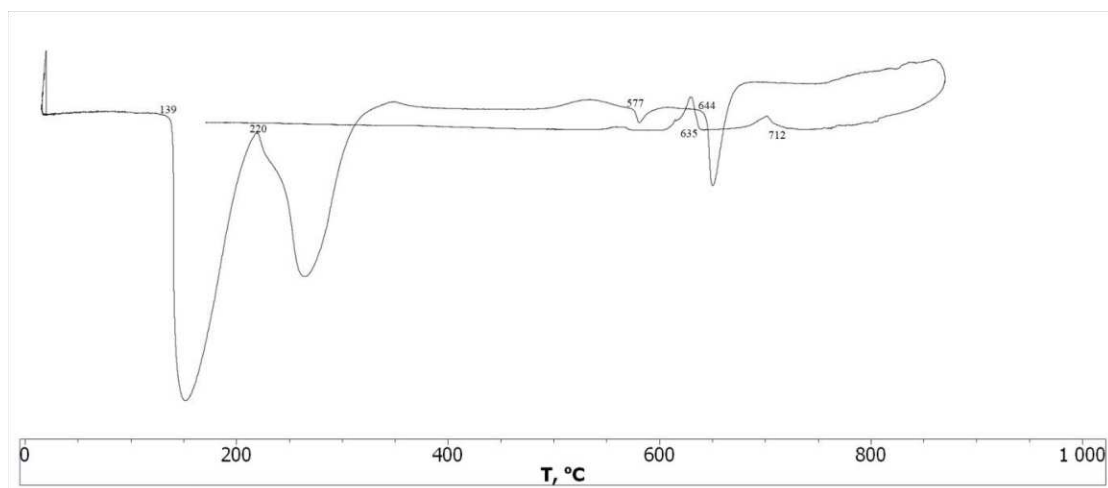
A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályokat XRD módszerrel vizsgáltuk meg. (18. ábra)



18. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogramja

A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogramja az adatbázisból.

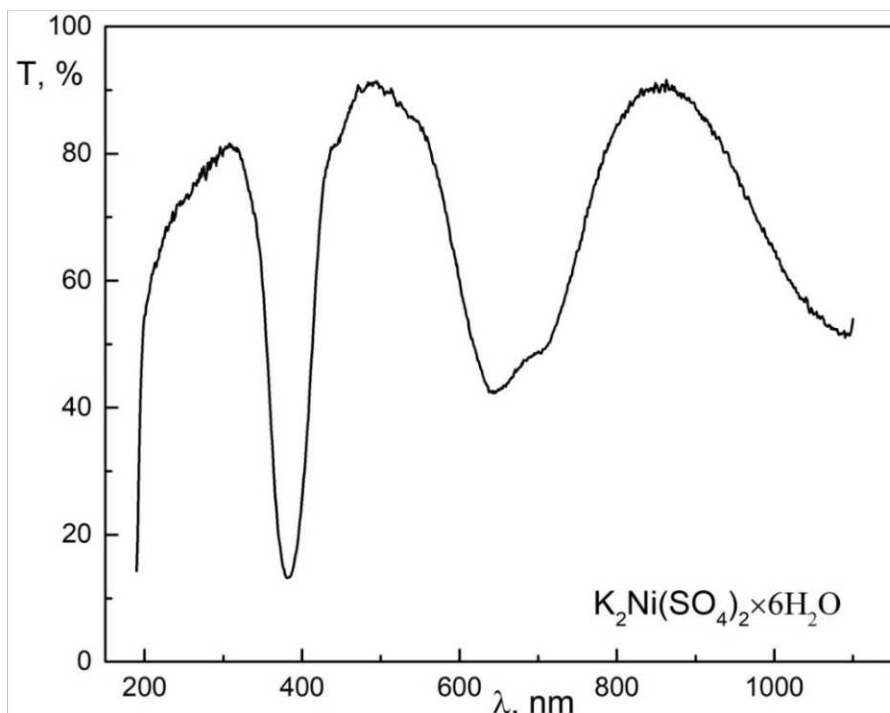
A következő vizsgálati módszerünk a DTA volt. (19. ábra)



19. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ DTA görbéje

A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok dehidratációja 139 °C történik.

Továbbá megvizsgáltuk még UV – VIS – NIR spektroszkópiai módszerrel is. (20.ábra)



20. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ spektruma

A $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok spektrumát 200 és 1100 nm közötti tartományban vizsgáltuk. A mérések alapján a transzmittancia legmagasabb értéke eléri a 90,3%-ot, és ez a legmagasabb érték a látható fény tartományában (VIS) figyelhető meg. Ez arra utal, hogy az egykristályok kiváló fényáteresztő képességgel rendelkeznek ebben a hullámhossz-tartományban, ami különösen hasznos lehet optikai alkalmazások esetében.

3.4 A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok növesztése

A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok 0,5 M koncentrációjú oldatokból növesztettük különböző $Cu^{2+} : Ni^{2+}$ aránnyal. Az oldatok pH értékét 1 és 2 közötti értékre állítottuk be. A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok többnyire átlátszóak lettek.



a)

b)



c)

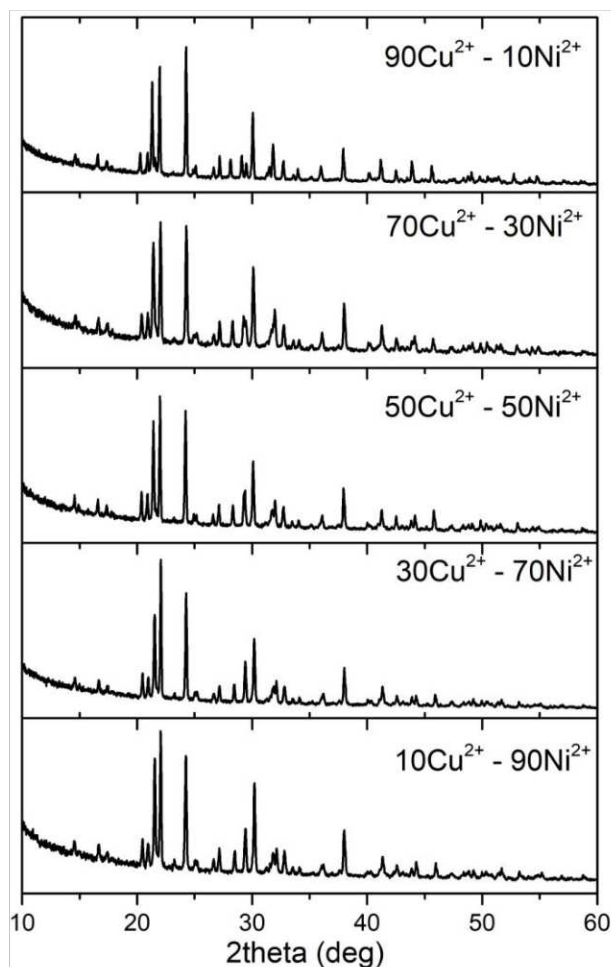
d)

e)

21. ábra A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok általános formája: a) $x=0,9$; b) $x=0,7$; c) $x=0,5$; d) $x=0,3$; e) $x=0,1$

A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályokat XRD módszerrel vizsgáltuk meg. (22. ábra)

A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok pordiffraktogramjainak kártyáit összehasonlítva megállapítható, hogy a legtöbb reflex egybeesik. Ez azt jelzi, hogy a vegyület kristályszerkezete nagymértékben megőrződött a nikkell beépülése során is, és a Cu^{2+} ionok részleges helyettesítése Ni^{2+} ionokkal nem eredményez jelentős szerkezeti változást. Ez alapján arra következtethetünk, hogy a $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ kristályok szilárd oldatot képeznek, ahol a nikkell ionok sikeresen integrálódnak a réz ionok helyére anélkül, hogy jelentősen megváltoztatnák a kristályrács szerkezetét.



22.ábra A növesztett $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok pordiffraktogramjai

9. táblázat

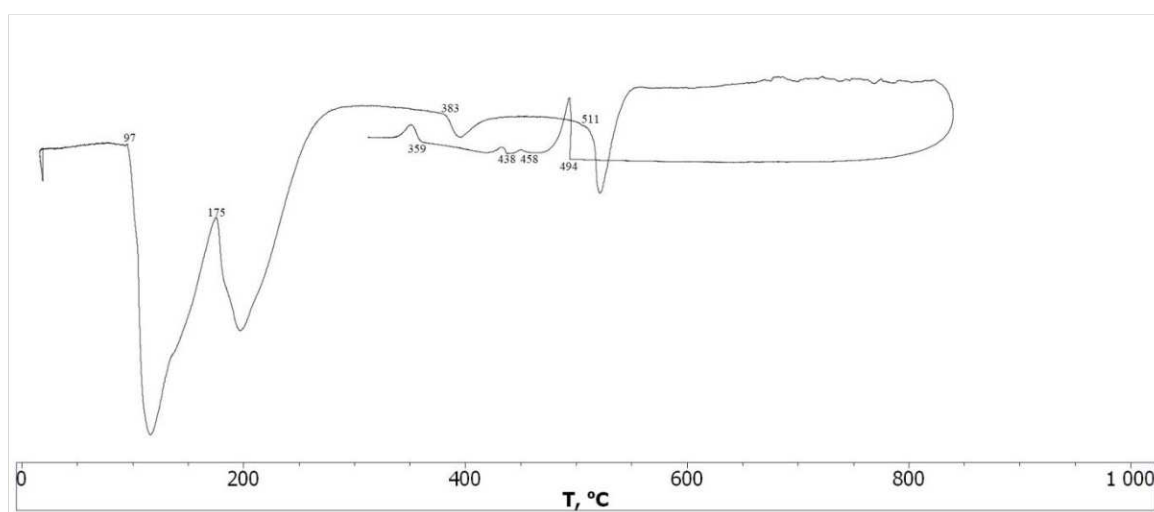
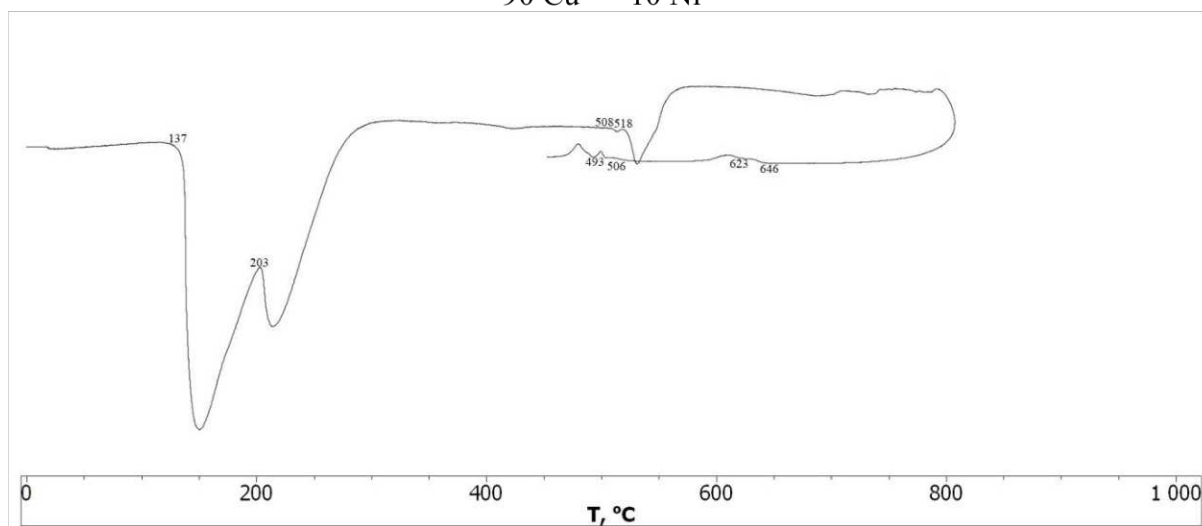
$K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok paramétere

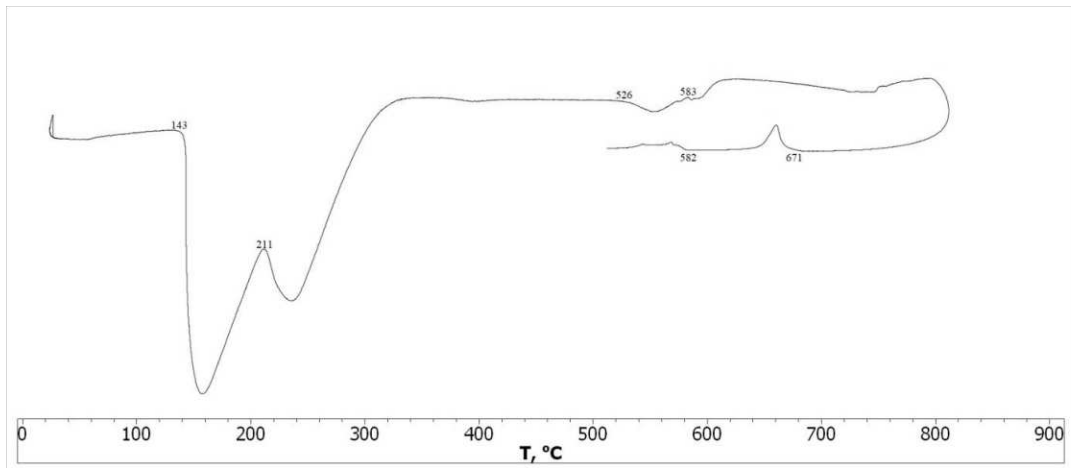
$Cu^{2+} : Ni^{2+}$ aránya	Rácsparaméterek					TCs
	a, Å	b, Å	c, Å	β , °	V, Å ³	
90 Cu^{2+} -10 Ni^{2+}	9,0604	12,1298	6,1640	104,5	655,84	P12 ₁ /a1
70 Cu^{2+} -30 Ni^{2+}	9,0251	12,1548	6,1582	104,69	653,46	P12 ₁ /a1
50 Cu^{2+} -50 Ni^{2+}	9,0087	12,1488	6,1473	104,85	650,34	P12 ₁ /a1
30 Cu^{2+} -70 Ni^{2+}	9,005	12,1763	6,1404	104,94	650,51	P12 ₁ /a1
10 Cu^{2+} -90 Ni^{2+}	8,9887	12,1759	6,1239	104,95	647,53	P12 ₁ /a1

A következő vizsgálati módszerünk a DTA volt. (23. ábra). A melegítés előtt és után mért tömegváltozások jó összhangban vannak a számított tömegváltozással, amely 6 vízmolekula elvesztésének felel meg (10 táblázat).

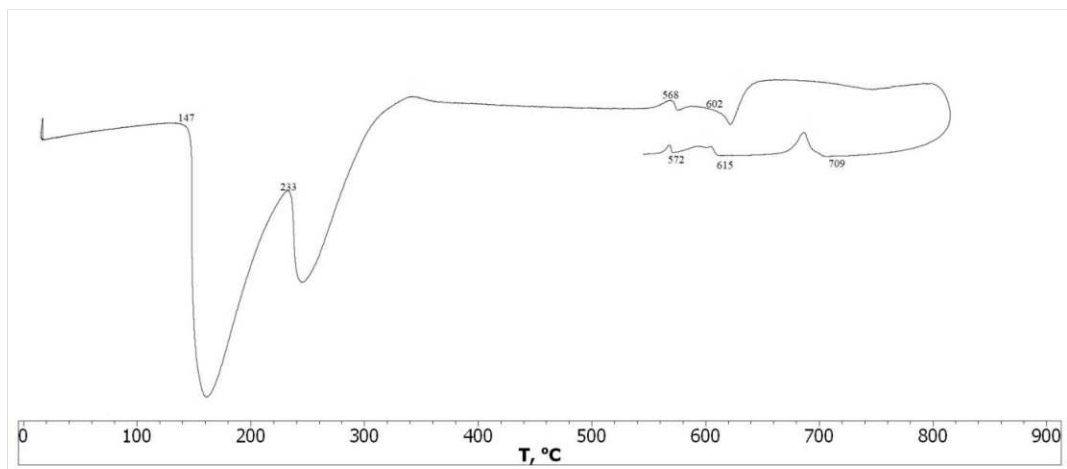
K₂Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂×6H₂O összetett kristályok tömegváltozása

Cu ²⁺ : Ni ²⁺ aránya	Víz tömege, g	Víz tömegszázaléka, %
Elméleti (1 mol)	108	24,67 – 24,51
90 Cu ²⁺ -10 Ni ²⁺	0,186	26,01
70 Cu ²⁺ -30 Ni ²⁺	0,121	26,42
50 Cu ²⁺ -50 Ni ²⁺	0,153	25,24
30 Cu ²⁺ -70 Ni ²⁺	0,148	24,91
10 Cu ²⁺ -90 Ni ²⁺	0,146	24,82

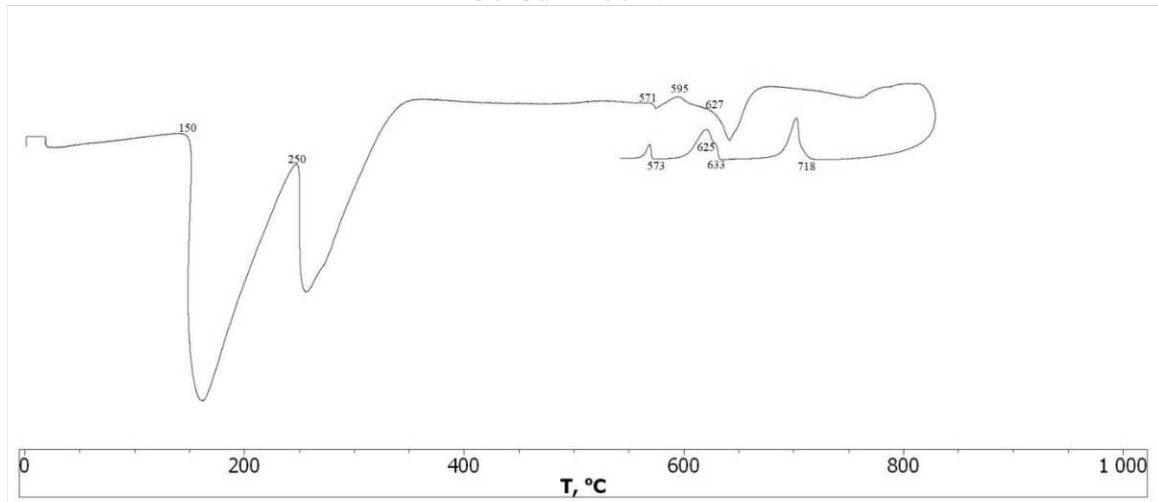
90 Cu²⁺ - 10 Ni²⁺70 Cu²⁺ - 30 Ni²⁺



50 Cu²⁺ - 50 Ni²⁺



30 Cu²⁺ - 70 Ni²⁺



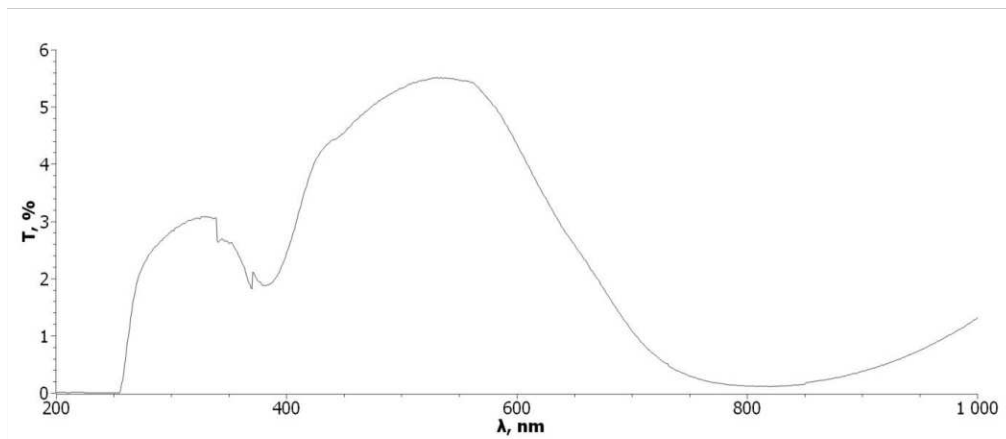
10 Cu²⁺ - 90 Ni²⁺

23. ábra A növesztett K₂Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂×6H₂O összetett kristályok DTA görbéi

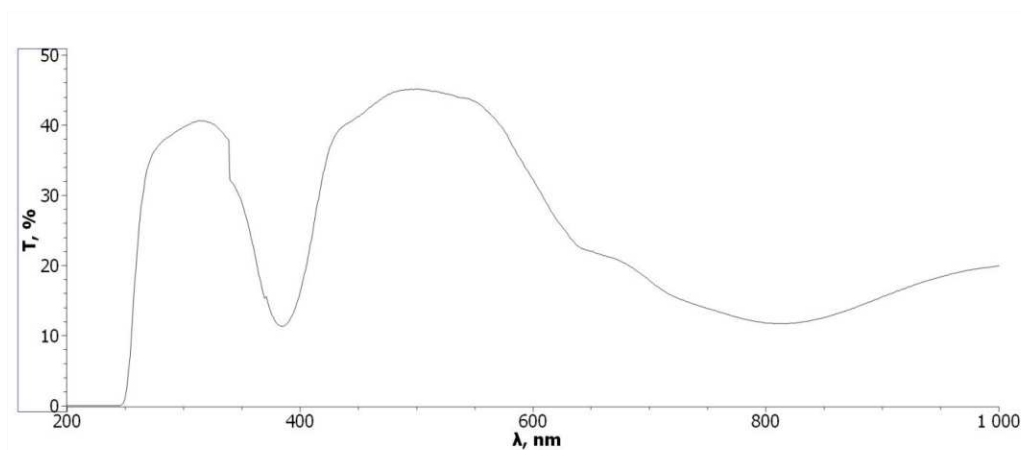
A K₂Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂×6H₂O összetett kristályok DTA görbéinek elemzése alapján megállapítható, hogy a dehidratáció 100°C fölött kezdődik meg. A görbék között nem mutatkoznak jelentős különbségek, ami arra utal, hogy a nikkal beépülése a

kristályszerkezetbe nem befolyásolja lényegesen a dehidratáció hőmérsékletét és termikus viselkedését. Ez azt jelzi, hogy a $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ vegyületek termikus stabilitása és dehidratációs folyamata hasonló marad a különböző nikkel tartalmú összetételek esetében is.

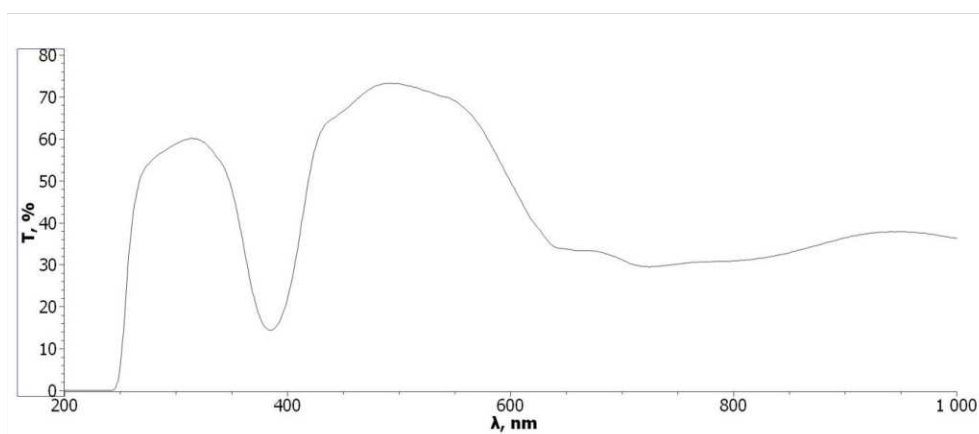
Továbbá megvizsgáltuk még UV – VIS – NIR spektroszkópai módszerrel is. (24.ábra)



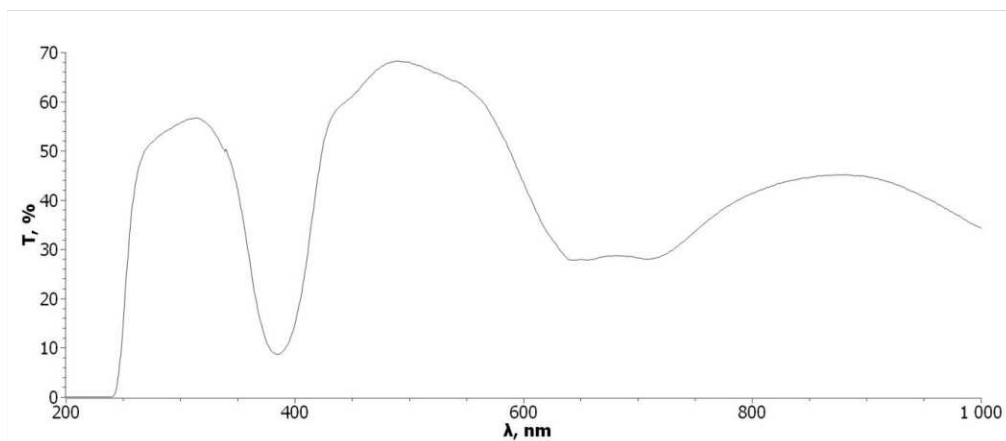
90 Cu²⁺ -
10 Ni²⁺



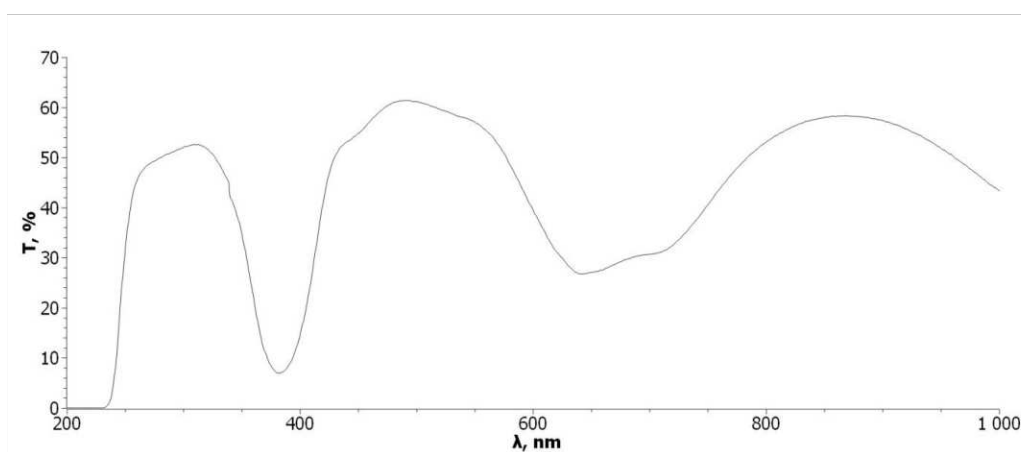
70 Cu²⁺ -
30 Ni²⁺



50 Cu²⁺ -
50 Ni²⁺



30 Cu²⁺ -
70 Ni²⁺



10 Cu²⁺ -
90 Ni²⁺

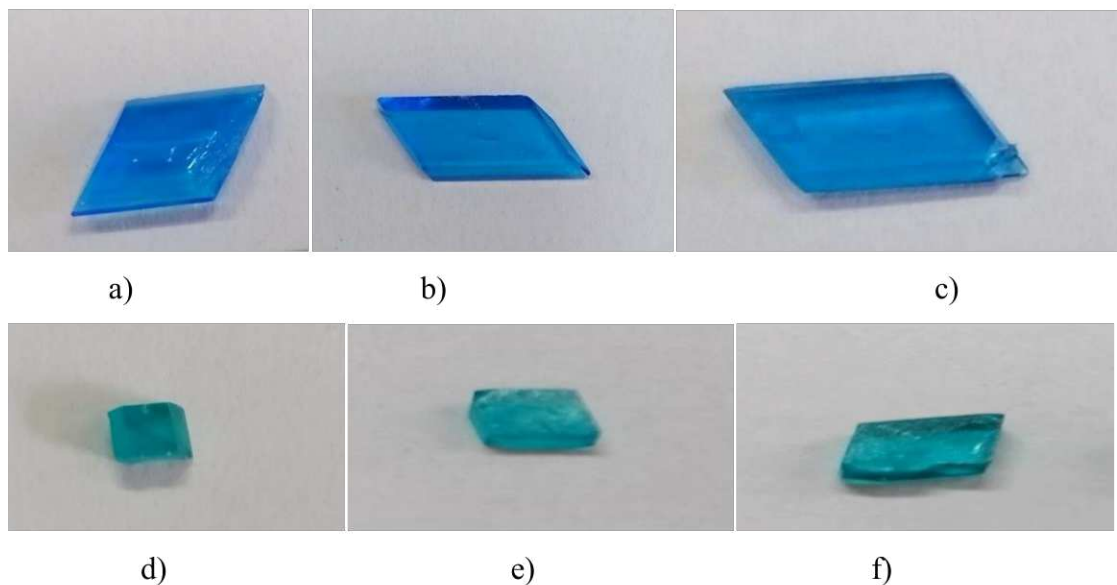
24. ábra A növesztett $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok spektrumai

A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok spektrumainak elemzése alapján arra következtethetünk, hogy a Ni^{2+} ionok arányának növekedésével a harmadik sáv transzmittancia intenzitása növekszik. Ez azt jelzi, hogy a nikkell ionok jelenléte közvetlen hatással van a kristályok optikai tulajdonságaira, és a nikkell ionok arányának növekedése erősíti a harmadik sávban megfigyelhető fényátbocsátást. Azt is megfigyelhetjük, hogy a transzmittancia értékek a 50 Cu^{2+} - 50 Ni^{2+} mintáig nő, az első minta esetében a transzmittancia 3%, a második esetében 41%, a harmadik esetében 60%, majd utána csökken az érték, negyedik minta esetén a transzmittancia értéke 57%, az ötödik minta esetében pedig 53%. Ennek következtében a nikkell ionok koncentrációjának változtatása szabályozható módon befolyásolhatja a kristályok spektrális jellemzőit, ami fontos lehet optikai alkalmazások szempontjából.

3.5 A $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok növesztése

A $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályokat 0,25 M koncentrációjú oldatokból növesztettük, különböző $Cu^{2+}:Ni^{2+}$ arányok alkalmazásával. Az oldatok pH értékét 1 és 2

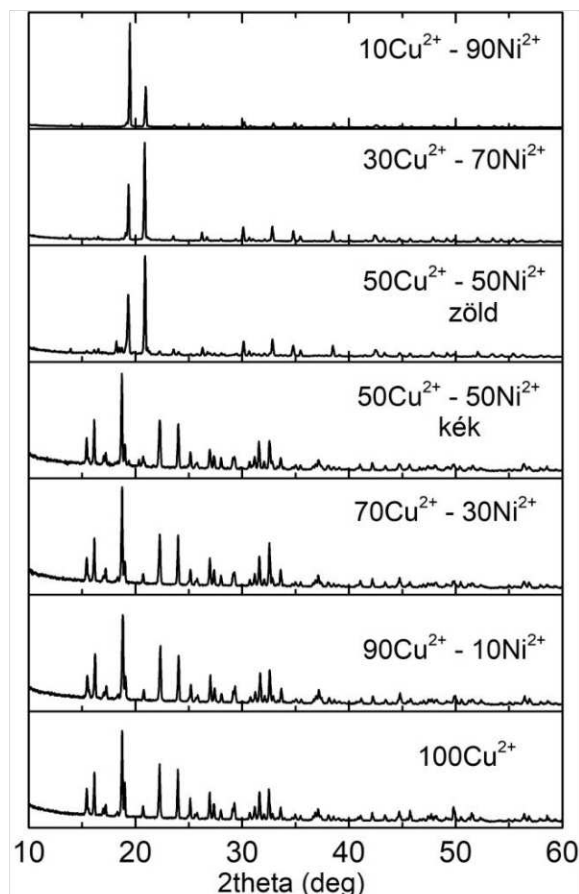
közötti tartományra állítottuk be, hogy optimalizáljuk a kristályosodási feltételeket. Az eredmények azt mutatták, hogy a növesztett $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ kristályok többnyire átlátszóak lettek, ami azt jelzi, hogy a kiválasztott pH tartomány és ionarány kedvező feltételeket biztosított a tiszta és jól formált kristályok növekedéséhez. Ez az eljárás lehetővé tette a kristályok optikai minőségének javítását, ami fontos lehet további alkalmazások szempontjából.



25. ábra A $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok általános formája: a) $x=0$; b) $x=0,1$; c) $x=0,3$; d) $x=0,5$; e) $x=0,7$; f) $x=0,9$

A $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályokat XRD módszerrel vizsgáltuk meg. (26.ábra)

A 100Cu^{2+} , $90\text{Cu}^{2+} - 10\text{Ni}^{2+}$, $70\text{Cu}^{2+} - 30\text{Ni}^{2+}$, $50\text{Cu}^{2+} - 50\text{Ni}^{2+}$ kék minták $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ alapúak ez által hasonlítanak is egymásra a kártyák. A $50\text{Cu}^{2+} - 50\text{Ni}^{2+}$ kétfázisú összetett kristályok a másik fázist tekintve azaz a $50\text{Cu}^{2+} - 50\text{Ni}^{2+}$ zöld, $30\text{Cu}^{2+} - 70\text{Ni}^{2+}$, $10\text{Cu}^{2+} - 90\text{Ni}^{2+}$ minták $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ alapúak. De nem homogének mivel tartalmaznak $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ illetve $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ is, a $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ hamar elveszíti víz tartalmát és ez a jelenség meggátolta számunkra azt, hogy a mintákat elő tudjuk készíteni UV-VIS-NIR spektroszkópiai vizsgálathoz.



26. ábra A növesztett $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok pordiffraktogramjai

11. táblázat

$\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok paraméterei

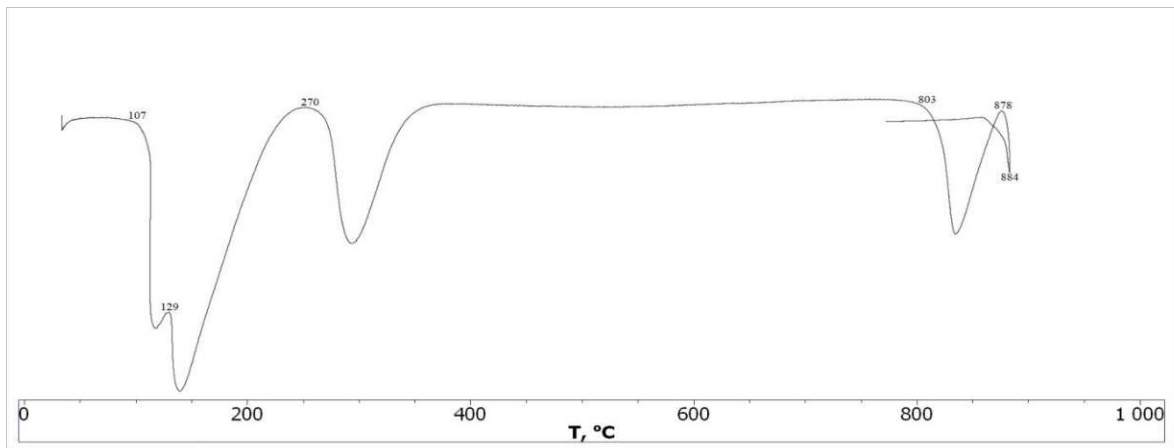
$\text{Cu}^{2+} : \text{Ni}^{2+}$ aránya	Rácsparaméterek					TCs
	a, Å	b, Å	c, Å	β , °	V, Å ³	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10,7187	6,1134	5,9625	97,65	393,05	P -1
90 Cu^{2+} -10 Ni^{2+}	10,7161	6,1209	5,9658	97,63	363,56	P -1
70 Cu^{2+} -30 Ni^{2+}	10,7331	6,1317	5,9790	97,64	365,56	P -1
50 Cu^{2+} -50 Ni^{2+} kék	10,7127	6,1365	5,9705	97,70	364,50	P -1

A következő vizsgálati módszerünk a DTA volt. (23. ábra). A melegítés előtt és után mért tömegváltozások az $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ egykristályok dehidratáció összetett jellegére utalnak (12 táblázat).

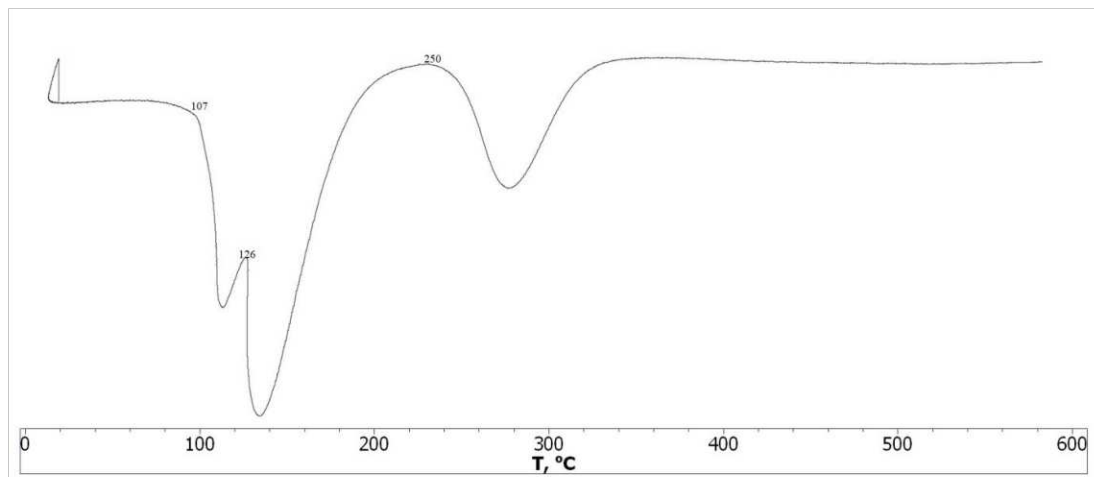
Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂·nH₂O összetett kristályok tömegváltozása

Cu ²⁺ : Ni ²⁺ aránya	Víz tömege	Víz tömegszázaléka
Elméleti CuSO ₄ ·5H ₂ O	90	36,00
Elméleti NiSO ₄ ·6H ₂ O	108	41,06
Elméleti NiSO ₄ ·7H ₂ O	126	44,84
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,361	68,24
90Cu ²⁺ : 10Ni ²⁺	0,078	34,82
70Cu ²⁺ : 30Ni ²⁺	0,370	36,60

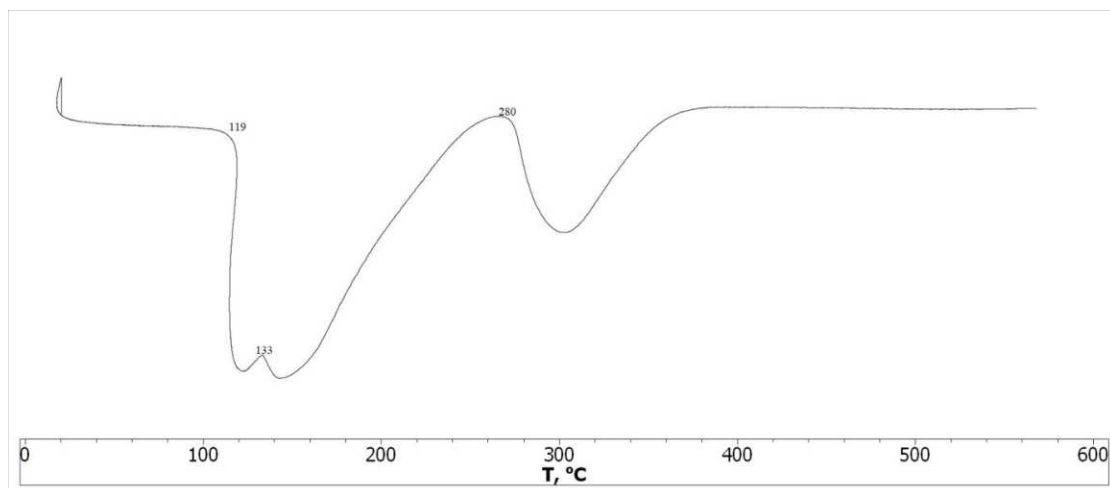
A következő vizsgálati módszerünk a DTA volt. (27. ábra)



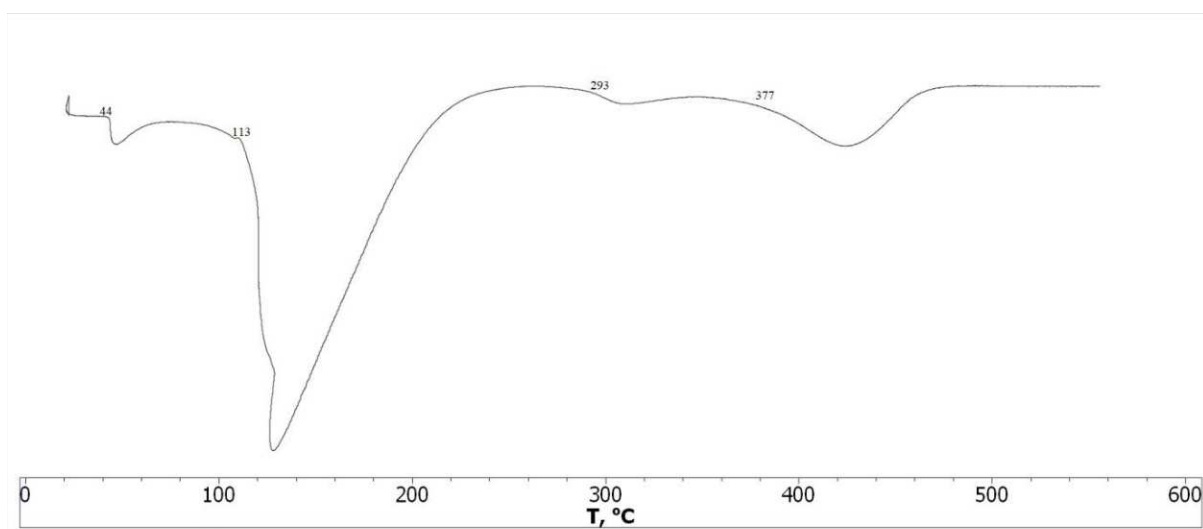
100 Cu²⁺



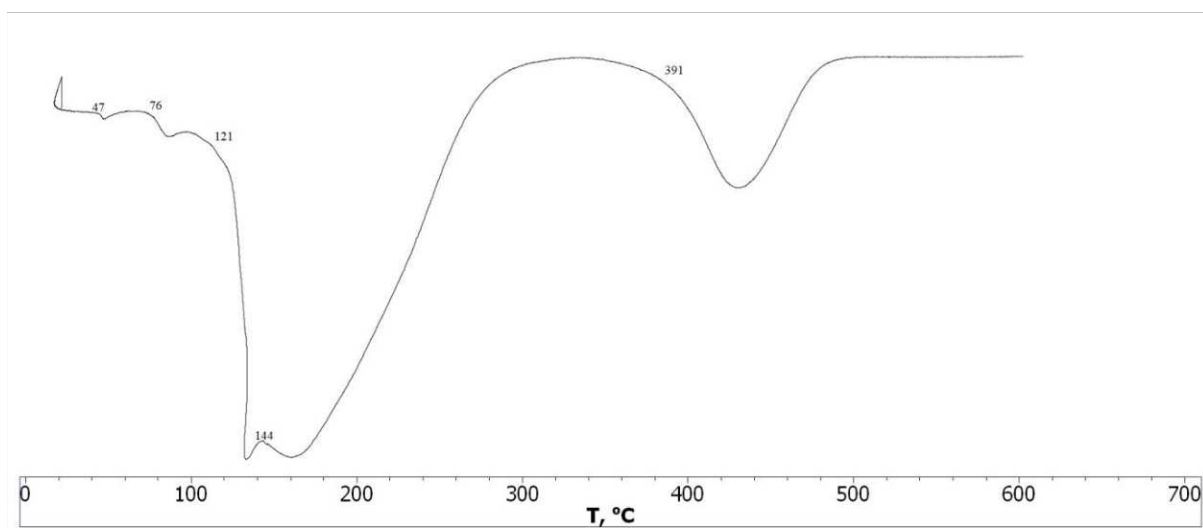
90 Cu²⁺ - 10 Ni²⁺



70 Cu²⁺ - 30 Ni²⁺



30 Cu²⁺ - 70 Ni²⁺

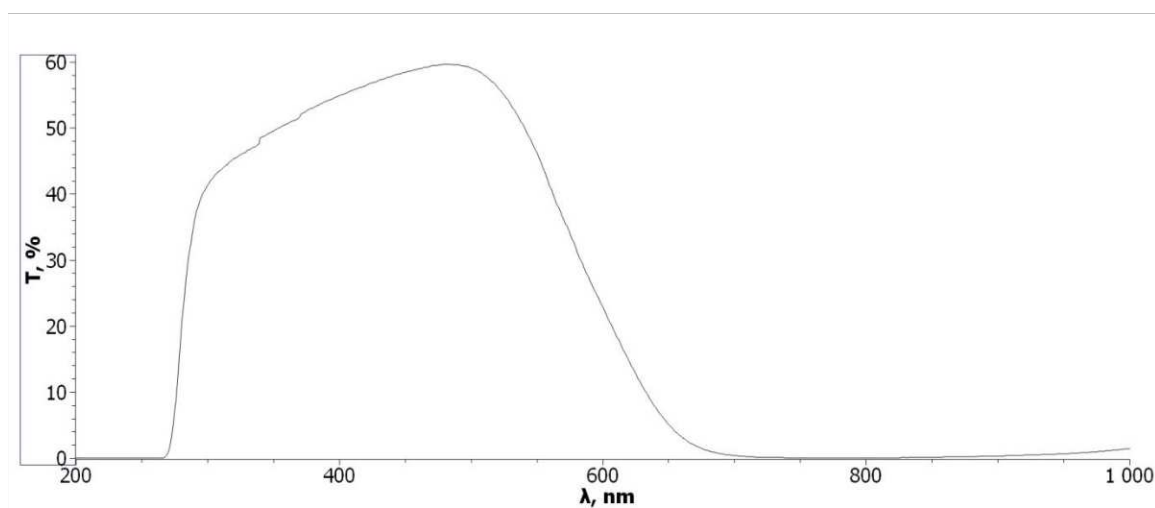


10 Cu²⁺ - 90 Ni²⁺

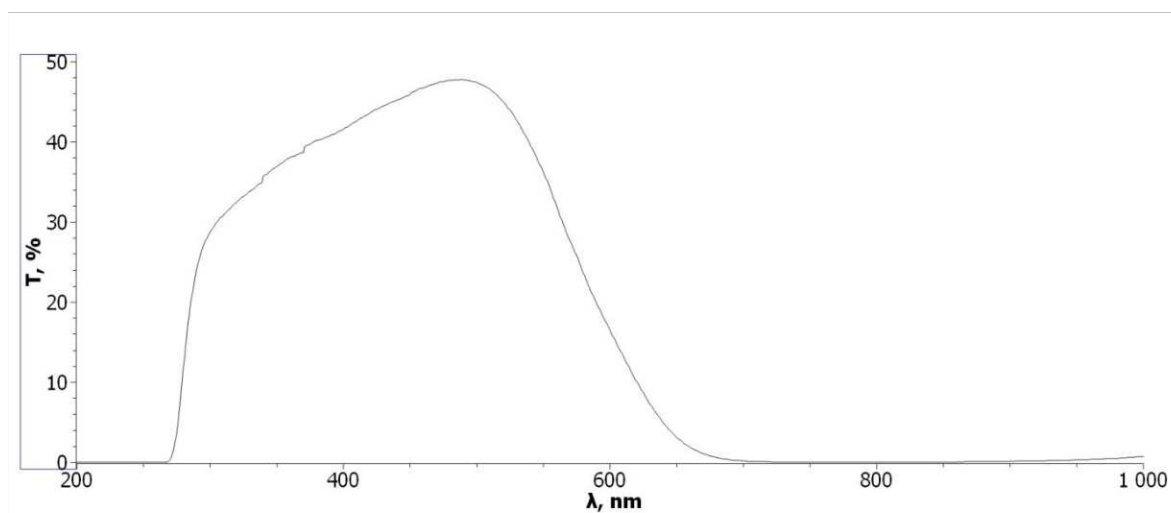
27. ábra A növesztett Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂·nH₂O összetett kristályok DTA görbéi

A $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok DTA görbéinek elemzése alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy amikor a Cu^{2+} aránya nagyobb, a dehidratáció 100°C feletti hőmérsékleten kezdődik. Abban az esetben, amikor a Cu^{2+} és a Ni^{2+} aránya megegyezik, tehát 50-50%-os egykristályról van szó, a rendszer kétfázisúvá válik. Ez a kétfázisúság megnehezítette a pontos szerkezet és összetétel meghatározását, mivel az egyes fázisok közötti különbségek nem voltak egyértelműen elkülöníthetők. Ezzel szemben azokban az esetekben, ahol a Ni^{2+} aránya dominál, a dehidratáció jelentősen alacsonyabb, körülbelül 40°C -os hőmérsékleten indul meg. Ez azt sugallja, hogy a rézionok magasabb aránya növeli a kristályok termikus stabilitását, míg a nikkellionok nagyobb aránya csökkenti azt, ami korábbi dehidratációt eredményez.

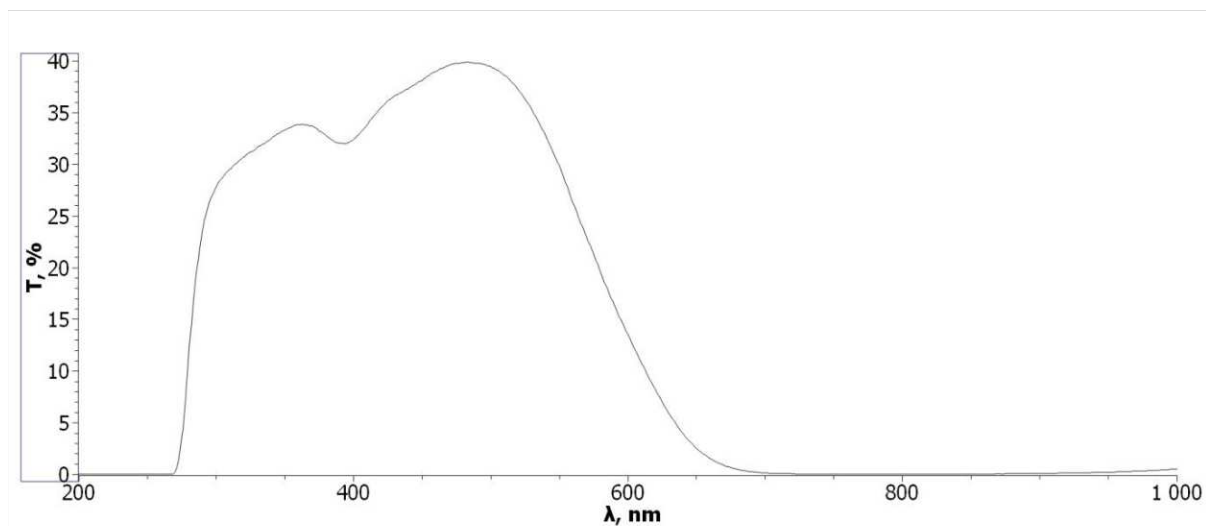
Továbbá megvizsgáltuk még UV – VIS – NIR spektroszkópiai módszerrel is. (28.ábra)



100 Cu^{2+} - 0 Ni^{2+}



90 Cu^{2+} - 10 Ni^{2+}



70 Cu²⁺ - 30 Ni²⁺

28. ábra A növesztett Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂×6H₂O összetett kristályok spektrumai

A Cu_{1-x}Ni_x(SO₄)₂×nH₂O összetett kristályok spektrumainak elemzése alapján arra következtethetünk, hogy a Ni²⁺ ionok arányának növekedésével a transzmittancia sáv intenzitása csökken, mivel az első mintánál a transzmittancia értéke 59%, a második esetben 47%, a harmadik esetben 33%. Ez azt jelzi, hogy a nikkell ionok jelenléte közvetlen hatással van a kristályok optikai tulajdonságaira, és a nikkell ionok arányának növekedése gyengíti a sávban megfigyelhető fényátbocsátást. Ennek következtében a nikkell ionok koncentrációjának változtatása szabályozható módon befolyásolhatja a kristályok spektrális jellemzőit, ami fontos lehet optikai alkalmazások szempontjából.

IV. PEDAGÓGIAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK ÉS MÓDSZEREK „A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ IZOVEGYÉRTÉKES HELYETTESÍTÉS HATÁSAI A SZULFÁT EGYKRISTÁLYOK TULAJDONSÁGAIRA” TÉMAKÖRÉBEN A KÉMIA OKTATÁSÁBAN

4.1. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 7. osztály kémia oktatásában

A szakdolgozatom témájának a tanításban való felhasználását úgy képzelem el, hogy a 7. osztályos diákok számára érthető és érdekes módon mutatom be a "Tiszta anyagok és keverékek" témakört. Amikor a homogén keverékekről tanulunk, elmondom nekik, hogy én is homogén keverékeket készítettem, amelyekből az idő múlásával kristályok nőttek ki. Ezzel a gyakorlati példával illusztrálom, hogyan lehet a tudományos módszereket alkalmazni a mindennapi életben és a laboratóriumban. Elmagyarázom, hogy homogén keverékek olyan elegyek, amelyekben az összetevők egyenletesen oszlanak el. Például a vízben oldott K_2SO_4 vagy $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ oldatok homogén keverékek. Amikor ezeket az oldatokat hagyjuk lassan párologni, kristályok képződnek belőlük. Ezt a folyamatot bemutatom a diákoknak kísérleti példák segítségével, így saját szemükkal láthatják a kristályosodás folyamatát.

Az "Összetett anyagok" témakörében érthető és érdekes példákat hozok. Bemutatom nekik, hogy a K_2SO_4 egy összetett anyag, amely két kálium, egy kén és négy oxigén atomot tartalmaz. Ezzel a gyakorlati példával könnyebben megérthetik, hogyan épülnek fel az ilyen típusú anyagok, és hogyan kapcsolódnak össze az atomok, hogy komplex vegyületeket alkossanak.

A "Kémiai képletek és a kémiai elemek vegyértéke" témakörben is izgalmas példákat hozok. A K_2SO_4 képlete egyszerűbb, így jó kiindulópont a fogalmak megértéséhez. Az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ képlete bonyolultabb, de ezzel bemutathatom a képletek közötti különbségeket és a mögöttük rejlő logikát. Megmutatom, hogyan lehet kiszámítani az egyes elemek vegyértékét, és hogyan épülnek fel a vegyületek ezek alapján.

Az "Oldatok és komponenseik, valamint a víz mint oldószer" témakörben bemutatom, hogy a K_2SO_4 , $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ és a $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ szilárd anyagokat mind vízben oldottam fel. Megmagyarázom, hogy a víz mint oldószer miként játszik szerepet az oldódás folyamatában, és hogyan befolyásolja az oldat koncentrációja és hőmérséklete az oldódás sebességét. Kísérleteken keresztül mutatom be, hogy néhány esetben, például a gyorsabb

oldódás érdekében, melegítést alkalmaztam. Ezzel a diákok a gyakorlatban is megismerik az oldatok készítésének és az oldódás folyamatának lépéseit.

4.2. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 8. osztály kémia oktatásában

Az 8. osztályban, miközben a diákokkal a bázisok és savak világát járjuk körbe, szívesen megosztanám velük azt a tapasztalatomat, hogy munkám során hogyan használtam savakat és bázisokat a kívánt pH értékek eléréséhez. Ezáltal a diákok nem csak elméleti tudást szereznek a pH fogalmáról és a savak, bázisok szerepéről, hanem gyakorlati példákon keresztül is megérthetik ezek jelentőségét.

Például, elmesélném nekik, hogyan alkalmaztam a H_2SO_4 -et (kénsavat), hogy az oldataimban az optimális savasságot elérjem. Bemutatom, hogy a megfelelő pH érték beállítása mennyire fontos a kristályosítási folyamat során, és hogyan befolyásolja a végleges kristályok minőségét. Elmagyaráznám, hogy a H_2SO_4 adagolásával hogyan változtattam az oldat savasságát, és milyen módszerekkel mértem a pH értéket pontosan.

Ezen túlmenően, bemutatom nekik, hogy a pH értékek beállításához nem csak savakat, hanem bázisokat is használtam. Például, amikor az oldatok túl savasak voltak, hogyan alkalmaztam NaOH (nátrium-hidroxid) oldatot, hogy semlegesítsem a felesleges savat és elérjem a kívánt pH-t. Ezzel a példával a diákok megértik, hogyan lehet egyensúlyba hozni az oldatok sav-bázis egyensúlyát és hogyan lehet azokat különböző célokra optimalizálni.

Továbbá, elmagyaráznám, hogyan játszik szerepet a pH a különböző kémiai reakciókban és folyamatokban, például a $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ és az $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok előállításánál. Megmutatnám, hogy a kristályok növekedése hogyan függ a pH-tól, és hogy a túl savas vagy túl lúgos környezet hogyan akadályozhatja meg a kristályosodási folyamatot.

A diákok számára bemutatnék néhány kísérletet is, ahol különböző savakat és bázisokat használnánk, hogy saját maguk is tapasztalják meg a pH befolyásolásának hatásait. Például, készíthetnének saját kristályokat különböző pH értékű oldatokból, és megfigyelhetnék, hogyan változik a kristályok mérete és minősége a pH függvényében. Ez a gyakorlati tapasztalat segítené nekik mélyebben megérteni a savak és bázisok szerepét a kémiai folyamatokban, valamint az anyagok előállításának és tisztításának fontosságát.

4.3. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 9. osztály kémia oktatásában

A 9. osztályban, miközben a "A víz és az oldatok" fejezetet tanítva, több ponton is kapcsolódhatok a saját szakdolgozatom tapasztalataimhoz, hogy még érdekesebbé és érthetőbbé tegyem a tananyagot a diákok számára. Például, a "Anyagok keveréke és az oldatok" témakörben elmondhatnám, hogyan hoztam létre homogén oldatokat a kutatásom során, amelyekből később kristályok nőttek ki. Ezzel a diákok megérthetik az oldatok kialakulásának folyamatát, valamint azt, hogy ezek a folyamatok hogyan alkalmazhatók a valós életben, például a gyógyszerkészítésben, a mezőgazdaságban, és a mindennapi élet különböző területein, ahol az oldatok és a kristályosítás szerepet játszanak.

„A víz, mint elektrolit. Hidrogénion-kitevő (pH)” témakör kapcsán részletes ismereteket szereznek a diákok a pH-skáláról és annak jelentőségéről. Az általam végzett szakdolgozat során a $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ és $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok előállítása közben a pH-szint különösen fontos és alapvető szerepet töltött be. Az elektrolitok olyan anyagok, melyek vízben vagy más oldószerben ionokra disszociálódnak. A víz maga is elektrolit, hiszen hidrogénionokra (H^+) és hidroxidionokra (OH^-) disszociálódik. Az elektrolitok oldatok elektromos vezetőképességét az ionok mozgása biztosítja. Az oldatok pH-értéke az oldat hidrogénion-koncentrációját jelzi, és kulcsfontosságú a kémiai és biológiai folyamatok szempontjából. A pH változása jelentős hatással van az egykristályok növekedésére és tulajdonságaira. Az optimális pH beállítása kritikus az adott egykristályok előállítása vagy alkalmazása során. Például, a kristályosodási folyamat során a pH-érték szabályozása lehetővé teszi a kívánt kristályszerkezet és tisztaság elérését. Ha az oldat pH-ja nem megfelelő, a kristályok homályosak vagy torzok lehetnek, ami befolyásolja a kísérletek sikerességét és az előállított anyagok minőségét. Az elektrolitok szerepe és a pH-szint jelentősége különösen jól szemléltethető a szakdolgozatom példáján keresztül. A kísérleteim során a $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ és $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ kristályok növekedéséhez szükséges optimális pH-tartományt kellett megtalálnom. Ehhez különböző pH-értékű oldatokat készítettem, és megfigyeltem, hogy a kristályok milyen körülmények között nőnek a legjobban. Ez a gyakorlati példa lehetőséget ad arra, hogy a diákok megértsék, hogyan befolyásolja a pH az anyagok kémiai reakcióit és tulajdonságait. Emellett az elektrolitokkal kapcsolatos ismeretek bővítése során a diákok megismerhetik az oldatok elektromos vezetőképességének jelentőségét is. Az ionok mozgása az oldatokban nemcsak a kémiai reakciók szempontjából fontos, hanem az elektromos áram vezetésében is szerepet játszik.

Emellett a "Kristályhidrátok" témakörben is megemlíthetem a szakdolgozatomat, mivel a kutatásom során két különböző kristályhidráttal is volt szerencsém dolgozni: $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ és $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$. Ezzel a példával bemutathatom nekik a kristályok kémiai szerkezetét és képződését, valamint a kristályos anyagok gyakorlati jelentőségét. Elmagyarázom, hogy a kristályhidrátok miként tartalmaznak vízmolekulákat a kristályrácsukban, és hogyan változik a kristályszerkezet a hidratáció vagy dehidratáció során. Bemutatom, hogy ezek az anyagok hogyan használhatók fel különböző ipari folyamatokban, például a festékiparban vagy a vízkezelésben.

Továbbá, tanórán kívüli kísérletként lehetőségünk lenne elvégezni a rézgálic kristályok növesztését. Ez egy interaktív és izgalmas módszer lenne arra, hogy a diákok közvetlen tapasztalatot szerezzenek a kristályos anyagok képződéséről és szerkezetéről. A kísérlet során a diákok megtanulják, hogyan készítsenek telített oldatot, hogyan indítsanak el egy kristályosodási folyamatot, és hogyan figyeljék meg a kristályok növekedését idővel. Ez a gyakorlati tapasztalat nemcsak elmélyíti a tanultakat, hanem felkelti az érdeklődésüket a kémia iránt, és megmutatja, hogy a tudomány milyen izgalmas és kézzelfogható eredményekhez vezethet.



29. ábra $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ kristály

4.4. A $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásai a szulfát egykristályok tulajdonságaira: Pedagógiai szempontból alkalmazható témák a 11. osztály kémia oktatásában

A 11. osztályban, miközben a "Kristályos és amorf anyagok" témakörét tanuljuk, itt is fel tudnám hozni a szakdolgozatomat, hogy még élvezetesebbé és érthetőbbé tegyem a tananyagot a diákok számára. A kutatásom során én is foglalkoztam kristályos anyagokkal, és szívesen megosztanám velük ezt a tapasztalatomat. Elmagyarázhatnám nekik, hogy a

kristályos anyagok olyan szilárd halmazállapotúak, melyeket síklapok határolnak, és a részecskék bennük szabályos rendben helyezkednek el, alkotva így a kristályrácsokat.

Részletesen beszélnék a $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ és $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ egykristályok előállításáról, kiemelve a kristályosodási folyamat lépéseit, a használt anyagokat és módszereket. Például, elmesélhetném, hogyan készítettem telített oldatokat és hogyan indítottam el a lassú bepárlással történő kristályosítást. Ezen keresztül a diákok megtanulhatják, hogyan lehet laboratóriumi körülmények között kristályokat növesztetni, és megérthetik a kristályosodás alapelveit.

Az elméleti oktatás során bemutathatnám a kristályos és amorf anyagok közötti különbségeket, szemléltetve, hogy a kristályos anyagok szabályos, ismétlődő mintázatot mutatnak, míg az amorf anyagokban a részecskék rendezetlenül helyezkednek el. Ezt követően, a saját kutatásomból vett példákkal illusztrálnám a különböző kristályszerkezeteket, és megmutatnám, hogyan lehet ezeket a szerkezeteket különböző technikákkal, például röntgen diffrakcióval elemezni.

Ezen túlmenően, a kristályos anyagok gyakorlati jelentőségéről is beszélnék, kiemelve, hogy a kristályos szerkezetek milyen fontos szerepet játszanak a mindennapi életben és az iparban. Például, elmagyaráznám, hogy a kristályos anyagok felhasználhatók gyógyszerek előállításában, ahol a kristályok tisztasága és mérete kritikus jelentőségű. Hasonlóképpen, a félvezető iparban a kristályos szilícium lapkák alapvetőek a mikroelektronikai eszközök gyártásában.

V. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom során elemeztem és összefoglaltam a K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot nH_2O$ és Tutton sók tulajdonságait és kristályszerkezetét.

Fizikai-kémiai kutatási módszerekkel tanulmányoztam az oldat koncentrációjának és pH-jának a $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ és $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot nH_2O$ kristályok növekedési körülményeire gyakorolt hatását. Ennek megfelelően kidolgoztam az optimálisához közeli kristálynövekedési körülményeket a $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok előállítására, emellett tanulmányoztam még a $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ izovegyértékes helyettesítés hatásait a szulfát egykristályok tulajdonságaira.

A $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok növesztését pH = 1 és 2 illetve 0,5 mol/dm³ koncentrációjú oldatokból készítettük. Ebben a koncentrációban az összes kinőtt kristály kicsik és homályosak voltak. A kinőtt egykristályokat XRD és DTA vizsgálati módszerekkel vizsgáltuk meg. A legmagasabb dehidratáció a pH = 1 minta esetében volt 104 °C.

A $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ egykristályok növesztés pH befolyása mellett 0,5 mol/dm³ koncentrációjú oldatból végeztük. A kinőtt kristályok nem voltak számunkra optimálisan megfelelőek mivel kicsik és homályosak voltak. Az egykristályokat megvizsgáltuk XRD, DTA illetve UV-VIS-NIR spektroszkópai módszerrel. A legmagasabb dehidratáció a pH = 4 minta esetében volt, melynek értéke 87 °C. A legmagasabb transzmittancia értékét a pH = 2 minta esetében mértük, amely 23% lett.

A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok 0,5 M koncentrációjú oldatokból növesztettük különböző $Cu^{2+} : Ni^{2+}$ aránnyal. Az oldatok pH értékét 1 és 2 közötti értékre állítottuk be. A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályok többnyire átlátszóak lettek, melyeket megvizsgáltunk XRD, DTA illetve UV-VIS-NIR spektroszkópai módszerrel. A legmagasabb dehidratációs hőmérsékletet a 10 Cu^{2+} - 90 Ni^{2+} arányú mintában határoztuk meg, melynek értéke 150 °C. A legmagasabb transzmittancia érték 60% lett a 50 Cu^{2+} - 50 Ni^{2+} arányú minta esetében.

A $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ összetett kristályokat 0,25 M koncentrációjú oldatokból növesztettük, különböző $Cu^{2+} : Ni^{2+}$ arányok alkalmazásával. Az oldatok pH értékét 1 és 2 közötti tartományra állítottuk be a kristályok többnyire átlátszóak lettek. Az összetett kristályokat megvizsgáltuk XRD, DTA illetve UV-VIS-NIR spektroszkópai módszerrel. A legmagasabb dehidratációs hőmérsékletet a 70 Cu^{2+} - 30 Ni^{2+} arányú mintában határoztuk meg, melynek értéke 119 °C. A legmagasabb transzmittancia érték 59% lett a 100 Cu^{2+} - 0 Ni^{2+} arányú minta esetében.

IV. РЕЗЮМЕ

В результаті виконання кваліфікаційної здійснено літературний аналіз та узагальнення властивостей та кристалічної структури K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot nH_2O$ та солей Туттона.

За допомогою фізико-хімічних методів дослідження вивчено вплив концентрації та рН розчину на умови росту кристалів $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ та твердих розчинів $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ і $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot nH_2O$. За одержаними результатами розроблено наближені до оптимальних умови росту кристалів якісних монокристалів. Також досліджено вплив ізовалентного заміщення $Cu^{2+} \leftrightarrow Ni^{2+}$ на властивості сульфатних монокристалів.

Рост монокристалів $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ здійснювався з розчинів із рН = 1 та 2 і концентрацією 0,5 моль/дм³. При цій концентрації всі вирощені кристали були маленькими і непрозорими. Вирощені однокристали були досліджені методами РФА та ДТА. Найвища температура дегідратації становила 104°C для зразку вирощеного при рН = 1.

Вирощування монокристалів $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ здійснювалося з розчинів із концентрацією 0,5 моль/дм³, з урахуванням впливу рН. Вирощені кристали не були оптимальними для нас, оскільки вони були маленькими і непрозорими. Монокристали були досліджені методами РФА, ДТА та UV-VIS-NIR спектроскопії. Найвища температура дегідратації спостерігалася для зразка вирощеного при рН = 4, та становила 87 °С. Найвище значення пропускання було одержано для зразку вирощеного при рН = 2 і становило 23%.

Змішані кристали $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ вирощувалися з розчинів із концентрацією 0,5 моль/дм³ з різними співвідношеннями $Cu^{2+}:Ni^{2+}$. Значення рН розчинів встановлювалися в межах 1 і 2. Вирощені монокристали $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ були здебільшого прозорими, і їх досліджували методами РФА, ДТА та UV-VIS-NIR спектроскопії. Найвища температура дегідратації була одержана для зразку 10 $Cu^{2+} : Ni^{2+}$ та становила 150 °С. Найвище значення пропускання становило 60% для зразка 50 $Cu^{2+} : 50 Ni^{2+}$.

Кристали твердих розчинів $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \cdot nH_2O$ вирощувалися з розчинів із концентрацією 0,25 моль/дм³ з різними співвідношеннями $Cu^{2+}:Ni^{2+}$. Значення рН розчинів встановлювалися в межах 1 і 2. Вирощені кристали були здебільшого прозорими. Комплексні кристали були досліджені методами РФА, ДТА та UV-VIS-NIR

спектроскопії. Найвища температура дегідратації була визначена для зразку із співвідношенням компонентів $70 \text{ Cu}^{2+} : 30 \text{ Ni}^{2+}$ та становило $119 \text{ }^\circ\text{C}$. Найвище значення пропускання становило 59% для зразка зі співвідношенням 90 Cu^{2+} до 10 Ni^{2+} .

IRODALOM JEGYZÉK

- 1) The solid state phase transformation of potassium sulfate, Bin Anooz S, Bertram R, Klimm D; 2007
- 2) Structure of potassium sulfate at temperatures from 296 K down to 15 K; Ojima K, Nishihata Y, Sawada A; 1995
- 3) The phase transition of K_2SO_4 at about 850 K; Arnold H, Kurtz W, Richter-Zinnius A et al; 1981
- 4) Izovegyértékű helyettesítés a $K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ alapú egykristályokban; Kirpa Brigitta; 2021
- 5) The crystal structure of copper sulphate pentahydrate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; C. A. Beevers and H. Lipson; 1934
- 6) Critical evaluation of $CuSO_4-H_2O$ system up to solubility limit, from eutectic point to 373.15 K; David Sibarani, Hannu Sippola, Pekka Taskinen, Daniel Lindberg; 2022
- 7) Neutron diffraction studies of organic molecules; Bacon G
- 8) Structural features in Tutton's salts $K_2[M^{2+}(H_2O)_6](SO_4)_2$, with $M^{2+} = Mg, Fe, Co, Ni, Cu,$ and Zn ; Bosi F, Belardi G, Ballirano P
- 9) Polarized IR reflectance spectra of the monoclinic single crystal $K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$: Dispersion analysis, dielectric and optical properties; Vladimir Ivanovski, Thomas G. Mayerhöfer, Jürgen Popp, Vladimir M. Petrushevski; 2008
- 10) Growth of $R_2Me(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ Single Crystals with Due Regard for Solubility Diagrams of the $R_2SO_4-MeSO_4-H_2O$ Systems ($R = K, NH_4$; $Me = Ni, Co$); L. V. Soboleva and L. F. Kirpichnikova; 1999
- 11) Electronic properties and vibrational spectra of $(NH_4)_2M''(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ($M = Ni, Cu$) Tutton's salt: DFT and experimental study; Santunu Ghosh, Saif Ullah, Joao P.A. de Mendonca, Luciano G. Moura, Marcos G. Menezes, Leona S. Flores, Tiago S. Pacheco, Luiz F.C. de Oliveira, Fernando Sato, Sukarno O. Ferreira; 2019
- 12) Synthesis, characterization, thermal analysis and electrical properties of $(NH_4)_2M(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ($M = Cu, Co, Ni$); Abir Bejaoui, Ahmed Souamti, Massoud Kahlaoui, Antonio Diego Lozano-Gorrín, Julián Morales Palomino, Dalila Ben Hassen Chehimi; 2019
- 13) CROATICA CHEMICA ACTA Study of Tutton's Salts $(NH_4)_2M(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ with Mixed Metal Ions in the Structure; Slivnik J, Rahten A, Gantar D

- 14) Crystal Growth, Structure, and Noninteracting Quantum Spin in Cyanochroite, $K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; Darren C. Peets, Maxim Avdeev, Marein C. Rahn, Falk Pabst, Sergey Granovsky, Markus Stötzer and Dmytro S. Inosov; 2022
- 15) Thermodynamic Properties and Phase Equilibria of the Secondary Copper Minerals Libethenite, Olivenite, Pseudomalachite, Kröhnkite, Cyanochroite, and Devilline; Juraj Majzlan, Arne H. Zittlau, Klaus-Dieter Grevel, Jacob Schliesser, Brian F. Woodfield, Edgar Dachs, Martin Stevko, Martin Chovan, Jakub PIÁŠil, Jirí Sejkora, Stanislava Milovská; 2016
- 16) Synthesis, characterization and thermal analysis of $K_2M(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (M = Mg, Co, Cu); Souamti A, Zayani L, Palomino J, Cruz-Yusta M, Vicente C, Hassen-Chehimi D; 2015
- 17) Fine structure due to magnetic dipole coupling in the low temperature EPR spectrum of $Rb_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; Hitchman M; 1977
- 18) Crystallization in the Three-Component Systems Rb_2SO_4 - MSO_4 - H_2O (M = Mg, Co, Ni, Cu, Zn) at 298 K; Veronika Karadjova, Donka Stoilova; 2013
- 19) Corrigendum: Vibrational spectra of $Cs_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ and $Cs_2Cu(SeO_4)_2 \cdot nH_2O$ (n = 4, 6) with a crystal structure determination of the Tutton salt $Cs_2Cu(SeO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (J. Mol. Struct. (2016) 1106 (440-451); Wildner M, Marinova D, Stoilova D; 2016
- 20) Restricted Validity of the Two-State Model Describing a Vibronic EPR g-Factors Averaging in $Cs_2Zn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ Tutton Salt Crystals Doped with Cu^{2+} Ions; S. K. Hoffmann, R. Kaszniski, M. A. Augustyniak and W. Hilczek; 1999
- 21) Powder XRD Technique and its Applications in Science and Technology; Chauhan A; 2014
- 22) EXPO2013: a kit of tools for phasing crystal structures from powder data; Angela Altomare, Corrado Cuocci, Carmelo Giacovazzo, Anna Moliterni, Rosanna Rizzi, Nicola Corriero, Aurelia Falcicchio; 2013
- 23) Instrumental Analysis; David Harvey; 2024
- 24) Differential Thermal Analysis Thermal and Thermogravimetric Analysis
- 25) Technologies for chemical analyses, microstructural and inspection investigations; Di Gianfrancesco A; 2017
- 26) Non-invasive microstructural analysis of bowed stringed instruments with synchrotron radiation X-ray microtomography; Nicola Sodini, Diego Dreossi, Rongchang Chen, Marco Fioravanti, Alberto Giordano, Peter Herrestal, Luigi Rigon, Franco Zanini; 2012

27) UV-VIS-NIR spectroscopy and microscopy of heterogeneous catalysts; Schoonheydt R; 2010

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra A K_2SO_4 kristályszerkezet.....	9
2. ábra K_2SO_4 - H_2O rendszer (KIRPA BRIGITTA, 2021).....	10
3. ábra $CuSO_4$ - H_2O rendszer (DAVID SIBARANI, HANNU SIPPOLA et al., 2022).....	11
4. ábra A $CuSO_4 \times 5H_2O$ kristályszerkezete (BACON G).....	11
5. ábra K_2SO_4 - $NiSO_4$ - H_2O rendszer fázisegyensúlyát mutatja 55 °C-on.....	14
6. ábra $(NH_4)_2M(SO_4)_2 \times 6H_2O$ TG,DTA és DTG görbái (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) argonatmoszférában.....	16
7. ábra $(NH_4)_2M(SO_4)_2 \times 6H_2O$ TG,DTA és DTG görbái (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) a levegő atmoszférájában (SLIVNIK; RAHTEN; GANTAR).....	17
8. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok.....	17
9. ábra Az Rb_2SO_4 - $CuSO_4$ - H_2O háromkomponensű rendszer oldhatósági diagramja 25 °C-nál.(KARADJOVA; STOILOVA, 2013).....	18
10. ábra DTA készülék modellje.....	22
11. ábra A $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok 0,5 M koncentrációban: a) pH=1; b)pH=2.....	24
12. ábra $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogrammjai pH=1 és 2 -nél 0,5 M koncentráción.....	25
13. ábra $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok DTA görbái pH=1 és 2 - nél 0,5 M koncentráción.....	26
14. ábra Növesztett $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok: a) pH=1; b) pH=2; c) pH=3; d) pH=4.....	27
15. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogrammjai.....	28
16. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok DTA görbái pH=1 és 4 között	30
17. ábra $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok spektrumai.....	31
18. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok pordiffraktogrammja.....	32
19. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ DTA görbéje.....	32
20. ábra A $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ spektruma.....	33
21. ábra A $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok általános formája: a) x=0,9; b) x=0,7; c) x=0,5; d) x=0,3; e) x=0,1.....	34
22. ábra A növesztett $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok pordiffraktogrammjai.....	35
23. ábra A növesztett $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok DTA görbái.....	37
24. ábra A növesztett $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok spektrumai.....	39

25. ábra A $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok általános formája: a) $x=0$; b) $x=0,1$; c) $x=0,3$; d) $x=0,5$; e) $x=0,7$; f) $x=0,9$	40
26. ábra A növesztett $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok pordiffraktogramjai.....	41
27. ábra A növesztett $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok DTA görbéi.....	43
28. ábra A növesztett $\text{K}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ összetett kristályok spektrumai.....	45
29. ábra $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ kristály.....	49

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat Néhány Tutton só rácsparamétere (BOSI; BELARDI; BALLIRANO, 2009).....	13
2. táblázat $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ vegyület kristályosodási mezőinek határai.....	14
3. táblázat $K_2Ni(SO_4)_2 \times 6H_2O$ kristály növesztéséhez használt kiindulási oldatok optimális koncentrációja, kezdeti hőmérsékletétől lassú hűtéssel.....	14
4. táblázat Kísérleti anyagok és főbb tulajdonságaik.....	20
5. táblázat $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok paraméterei.....	25
6. táblázat $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok tömegváltozásai.....	27
7. táblázat $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok paraméterei.....	28
8. táblázat $K_2Cu(SO_4)_2 \times 6H_2O$ egykristályok tömegváltozásai.....	29
9. táblázat $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok paraméterei.....	35
10. táblázat $K_2Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok tömegváltozása.....	36
11. táblázat $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok paraméterei.....	41
12. táblázat $Cu_{1-x}Ni_x(SO_4)_2 \times 6H_2O$ összetett kristályok tömegváltozása.....	42

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék kifejezni hálámat és köszönetemet témavezetőmnek, Filep Mihálynak, aki nélkül ez a szakdolgozat nem jöhetett volna létre. Köszönöm a rengeteg segítséget és támogatást, amit a szakirodalom feldolgozása során kaptam, valamint a gyakorlati rész kivitelezésében nyújtott elengedhetetlen útmutatásokat. Az ő hasznos tanácsai és kreatív ötletei jelentős mértékben hozzájárultak ahhoz, hogy a munkám sikeresen elkészüljön és értékes eredményeket hozzon.

Külön köszönet illeti a tanszék minden munkatársát is, akik szakmai tanácsaikkal és javaslataikkal segítették a szakdolgozatom elkészítését. Az ő támogatásuk, bátorításuk és szakmai hozzájárulásuk nélkül ez a munka nem érhetne volna el jelenlegi színvonalát. Hálás vagyok mindenkinek, aki hozzájárult a projekt sikeréhez, és segített abban, hogy a lehető legjobbat hozhassam ki magamból és a kutatásomból.

Звіт про перевірку схожості тексту Oxsico

Назва документа:

Szakdolgozat Kabai Dominika ch.pdf

Ким подано:

Михайло Філеп

Дата перевірки:

2024-06-05 18:51:43

Дата звіту:

2024-06-05 19:13:59

Ким перевірено:

I + U + DB + P + DOI

Кількість сторінок:

46

Кількість слів:

9321

Схожість 4%	Збіг: 22 джерела	Вилучено: 0 джерела
Інтернет: 14 джерела	DOI: 0 джерела	База даних: 0 джерела
Перефразовування 0%	Кількість: 1 джерела	Перефразовано: 45 слова
Цитування 12%	Цитування: 52	Всього використано слів: 2301
Включення 0%	Кількість: 0 включення	Всього використано слів: 0
Питання 0%	Замінені символи: 0	Інший сценарій: 4 слова