

STUDENTSKÁ VĚDECKÁ SOUTĚŽ O CENU DĚKANA 2025

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra anorganické chemie



Krystalizace ve výuce chemie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:	Bc. Kateřina Machancová
Ročník:	2. ročník nMgr.
Studijní obor:	Učitelství chemie pro SŠ/ Učitelství českého jazyka a literatury pro 2. stupeň ZŠ
Typ studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.

Olomouc 2025

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci sepsala samostatně pod dohledem vedoucího diplomové práce a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu na konci práce. Prohlašuji, že jsem v souvislosti s vytvořením této diplomové práce neporušila autorská práva.

Souhlasím s tím, aby byla tato práce přístupná v knihovně Katedry anorganické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne: 30. 4. 2025

Kateřina Machancová

Poděkování

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucí mé diplomové práce, Mgr. Kamile Petrželové, Ph.D., za její odborné vedení, cenné rady, trpělivost a neustálou ochotu zajistit vše potřebné pro úspěšné dokončení této práce. Její pozitivní přístup a podpora byly pro mě neocenitelné.

Dále bych ráda poděkovala pracovníkům a doktorandům z Katedry anorganické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Zvláštní poděkování patří Mgr. Radaně Koudelíkové za zapůjčení fotoaparátu a videokamery a za její cennou pomoc při tvorbě a úpravě audiovizuálních materiálů. Rovněž děkuji Mgr. Vladimíru Maňasovi za jeho asistenci v laboratoři a pomoc s úpravou textu diplomové práce. Mé poděkování směřuje také k Mgr. Evě Zahradníkové, Ph.D., za její odborné rady týkající se problematiky růstu krystalů a práce s pryskyřicí.

Za umožnění praktického ověření vytvořených didaktických pomůcek bych ráda poděkovala vedení a pedagogickému sboru Střední školy logistiky a chemie Olomouc, jmenovitě Mgr. Lucii Maškové, Ph.D., a Mgr. Vítu Matějkovi. Jejich vstřícnost a spolupráce byly klíčové pro realizaci praktické části této práce.

Dále děkuji za finanční podporu projektu Studentské grantové soutěže na UP IGA_PrF_2025_021.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora:	Kateřina Machancová
Název práce:	Krystalizace ve výuce chemie
Typ práce:	Diplomová
Pracoviště:	Katedra anorganické chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci
Vedoucí práce:	Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.
Rok obhajoby práce:	2025
Abstrakt:	Tato diplomová práce se ve své teoretické části zabývá procesy krystalizace, strukturou a vlastnostmi krystalů a významem krystalizace v přírodě, průmyslu a ve výuce chemie na úrovni sekundárního vzdělávání. Následně uvádí analýzu českých kurikulárních dokumentů a vybraných novějších učebnic chemie pro základní školy i střední školy zaměřenou na krystalizaci a krystaly. V rámci praktické části byly připraveny reálné monokrystaly i polykrystaly různých anorganických solí, byly vytištěny 3D modely ideálních krystalů pro všechny krystalografické soustavy a také bylo zpracováno výzkumné šetření týkající se využití vytvořených materiálů ve výuce chemie na střední škole. Dále byly pořízeny fotografie, GIFy a videa těchto vytvořených materiálů i dalších souvisejících pokusů.
Klíčová slova:	Krystalizace, krystal ideální a reálný, krystalografická soustava, 3D modely, kurikulum
Počet stran:	102
Jazyk:	Čeština

Bibliographical identification:

Author:	Kateřina Machancová
Title:	Crystallization in chemistry education
Type of thesis:	Master
Department:	Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, Czechia
Supervisor:	Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.
Year of presentation:	2025
Abstract:	This diploma thesis explores the topic of crystallization in its theoretical part, focusing on crystallization processes, the structure and properties of crystals, and the significance of crystallization in nature, industry, and in chemistry secondary education. Subsequently, it presents an analysis of Czech curricular documents and selected recent chemistry textbooks for both primary and secondary schools, focusing on crystallization and crystals. Within the practical part, real monocrystals and polycrystals of various inorganic salts were prepared, 3D models of ideal crystals for all crystallographic systems were printed, and a research survey concerning the utilization of the created materials in chemistry lessons at the secondary school was also conducted. Furthermore, photographs, GIFs, and videos of these created materials and other related experiments were taken.
Keywords:	Crystallization, ideal and real crystal, crystal system, 3D models, curriculum
Number of pages:	102
Language:	Czech

OBSAH

ÚVOD	9
CÍLE PRÁCE	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Krystalizace	11
1.1 Proces krystalizace z roztoku	11
1.2 Druhy krystalizace	13
1.3 Krystalizace v přírodě a v průmyslu	15
2. Struktura a vlastnosti krystalů	18
2.1 Vlastnosti krystalů	19
2.2 Druhy krystalů	21
2.3 Krystalografie	22
2.3.1 Elementární buňka	22
2.3.2 Bravaisova mřížka a Bravaisovy buňka	23
2.3.3 Krystalografické soustavy	24
2.3.4 Prvky symetrie	27
2.4 Poruchy krystalů	30
2.5 Izomorfie a polymorfie	33
2.6 Nobelovy ceny spjaté s krystalografií	34
3. Význam krystalizace ve výuce	35
3.1 Analýza výukových materiálů	35
3.1.1 Analýza českých kurikulárních dokumentů	35
3.1.2 Analýza vybraných učebnic chemie	40
3.2 Didaktické metody výuky krystalizace	46
PRAKTICKÁ ČÁST	50
4. Seznam použitých chemikálií	50
5. Seznam použitých pomůcek	51

6.	Příprava reálných krystalů.....	52
6.1	Příprava krystalů modré skalice	52
6.2	Příprava krystalů kamence	53
6.3	Příprava krystalů Mohrovy soli	53
6.4	Příprava krystalů červené krevní soli	54
6.5	Příprava krystalů epsomské soli	55
6.6	Příprava krystalů dihydrogenfosforečnanu amonného	55
6.7	Příprava krystalů chloridu sodného	55
6.8	Příprava krystalů dusičnanu sodného	56
6.9	Příprava krystalů svítících pod UV světlem	56
6.10	Příprava krystalů na skořápkách od vajíček	57
6.11	Příprava ozdobných krystalů	57
6.12	Příprava uměleckých krystalů	57
6.13	Uchovávání připravených reálných krystalů	57
6.13.1	Lakování připravených krystalů	58
6.13.2	Zalévání připravených krystalů do pryskyřice	58
6.14	Tvorba krystalů pro výstavní účely	58
7.	Tvorba audiovizuálních pomůcek	59
7.1	Fotografie	59
7.2	Video a GIFy	59
8.	3D tisk modelů ideálních krystalů	60
9.	Tvorba dotazníkového šetření pro získání zpětné vazby	61
9.1	Dotazníkové šetření pro žáky	61
9.2	Zpětná vazba od učitelů	63
	VÝSLEDKY A DISKUZE	64
	ZÁVĚR	88
	ZDROJE	90

SEZNAM OBRÁZKŮ	98
SEZNAM TABULEK	99
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	101
SEZNAM PŘÍLOH	102

ÚVOD

Fenomén krystalizace je běžně pozorovatelný v každodenním životě žáků, což zdůrazňuje význam adekvátního porozumění mechanismům, příčinám a faktorům ovlivňující tento proces. Předkládaná diplomová práce se proto soustředí na komplexní problematiku krystalizace a základy krystalografie v kontextu výuky chemie na základních a středních školách.

Teoretická část této práce je strukturována do tří hlavních kapitol. První kapitola, nazvaná Krystalizace, poskytuje úvodní přehled klíčových aspektů tohoto procesu, včetně jeho klasifikace, výskytu v přírodním prostředí a aplikací v průmyslovém sektoru. Druhá kapitola, Struktura a vlastnosti krystalů, se detailně věnuje pojmu krystal, přičemž zahrnuje jeho charakteristické vlastnosti, systematické členění a typy poruch krystalové mřížky. Dále tato kapitola objasňuje základní principy krystalografie a připomíná významné laureáty Nobelovy ceny, jejichž vědecká činnost byla úzce spjata právě s tímto oborem. Závěrečná kapitola teoretické části, Krystalizace ve výuce chemie, se zaměřuje na didaktické využití tématu krystalizace v rámci nižšího i vyššího sekundárního vzdělávání. Součástí této kapitoly je analýza aktuálně platných českých kurikulárních dokumentů a vybraných učebnic chemie zaměřená na téma krystalizace. Rovněž je v ní prezentován přehled vhodných didaktických metod a strategií pro efektivní výuku krystalizace na základních a středních školách.

Praktická část diplomové práce je členěna do čtyř hlavních kapitol. První kapitola popisuje pracovní postupy přípravy reálných krystalů a metodiku jejich dlouhodobého uchovávání pro didaktické účely. Druhá kapitola je věnována tvorbě audiovizuálních učebních pomůcek, konkrétně fotografiím, GIFům a videím. Ve třetí kapitole je popsán 3D tisk modelů krystalů. Závěrečná, čtvrtá kapitola praktické části, je věnována tvorbě dotazníkového šetření, jehož cílem bylo získání zpětné vazby od žáků a učitelů chemie, kteří měli možnost pracovat s vytvořenými didaktickými materiály ve výuce.

CÍLE PRÁCE

V teoretické části diplomové práce je cílem provést literární rešerši zabývající se krystalizací a základy krystalografie, s přihlédnutím k jejich uplatnitelnosti ve výuce chemie na základních a středních školách.

Dalším cílem je provedení analýzy Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP ZV) a Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia (RVP G) a následně vybraných školních vzdělávacích programů (ŠVP). Nedílnou součástí teoretické části je i analýza dostupných českých a vybraných zahraničních učebnic chemie. Tyto analýzy jsou zaměřeny především na téma krystalů a procesu krystalizace.

V praktické části je cílem na zadané téma vytvořit podpůrné výukové materiály a didaktické pomůcky, v neposlední řadě pak také provést dotazníkové šetření a vybrané výsledky této diplomové práce zveřejnit na webových stránkách a YouTube kanálu CHEMIE ŽIJE!

TEORETICKÁ ČÁST

1. Krystalizace

Krystalizace patří mezi základní separační metody (neboli dělicí metody), což jsou fyzikálně-chemické metody založené na oddělování složek směsi. Obvykle spočívají na principu rozdílné distribuce dělených látek mezi různé nemísitelné fáze. Jsou využívány mj. pro kvalitativní i kvantitativní analýzu. Do separačních metod dále řadíme například filtraci, srážení, sublimaci, destilaci, extrakci nebo chromatografii. [1][2]

Pomocí krystalizace je možno dělit složky homogenní směsi.¹ Krystalizací se rozumí vylučování pevné látky z roztoku nebo taveniny v krystalické formě. Nejčastěji se provádí krystalizace z roztoku, kdy se roztok nejprve přechistí filtrací, čímž se zbaví mechanických nečistot, poté se začínají vytvářet krystalizační (nukleační) centra (zárodky), z nichž následně vznikají krystaly. [1][2]

1.1 Proces krystalizace z roztoku

Krystalizace probíhá v několika krocích. Prvním krokem je rozpuštění látky ve vhodném rozpouštědle. Dále následuje filtrace roztoku, vyloučení krystalů, jejich oddělení a sušení. [1][2]

Aby látka krystalizovala z roztoku, musí být porušena fázová rovnováha dané soustavy, tj. roztok musí být přesycen – koncentrace rozpuštěné látky překračuje její rozpustnost za daných podmínek. Pro krystalizaci je nutné, aby vznikala krystalizační centra, jež pak narůstají v krystaly. Vlastní pochod krystalizace se skládá z tvorby jader, ke které dojde porušením fázové rovnováhy roztoku, a z růstu krystalů na vytvořených jádrech. Tvorba jader závisí na intenzitě chlazení, na rychlosti a způsobu míchání, na teplotě, na vlastnostech látky a také na nečistotách obsažených v roztoku. Nečistoty obsažené v roztoku mohou sloužit jako nukleační centra a mohou ovlivnit rychlost i kvalitu krystalizace. [1][2]

Výsledek krystalizace závisí na správné volbě rozpouštědla. Při jeho výběru je třeba brát v úvahu, že každá látka se nejlépe rozpouští v rozpouštědlech, která jsou jí chemicky nejpodobnější. Důležitým požadavkem při volbě rozpouštědla je to, aby rozdíl rozpustnosti za horka a za studena byl co největší. Zároveň je třeba zohlednit chemickou stabilitu

¹ Homogenní (stejnorodá) směs je systém dvou nebo více složek, v němž neexistuje rozhraní mezi jednotlivými složkami a jejich fázemi, vlastnosti v celém jeho objemu jsou tedy stejné. U homogenních směsí nelze opticky rozlišit jejich složky, neboť velikost rozpuštěných částic je menší než 10^{-9} m.

rozpouštědla vůči dělené látce a jeho schopnost minimalizovat nežádoucí vedlejší produkty. V případě, že se takové rozpouštědlo nepodaří nalézt, je nutno část rozpouštědla odstranit odpařením. Přílišné odpaření rozpouštědla není však žádoucí, protože může vést k vysrážení nečistot spolu s hlavní látkou a tím snížit čisticí efekt krystalizace. [1][2]

Odpaření rozpouštědla lze provést několika způsoby, například volným odpařením na vzduchu nebo v exsikátoru, odpařením na vodní lázni nebo oddestilováním rozpouštědla za normálního nebo sníženého tlaku. U většiny látek rozpustnost s teplotou roste, existují však také látky, jejichž rozpustnost je v určitém rozpouštědle prakticky nezávislá na teplotě (chlorid sodný ve vodě), případně i látky, jejichž rozpustnost s rostoucí teplotou klesá, např. monohydrát uhličitanu sodného ve vodě. [1][2]

Vyloučení krystalů je možno uskutečnit několika způsoby – ochlazením nasyceného roztoku, odpařením rozpouštědla, srážením nebo vysolováním. Při překročení rozpustnosti rozpuštěné látky se začínají vylučovat krystaly. O nasycenosti roztoku (o tom, že roztok je zahuštěn ke krystalizaci) se lze přesvědčit u rychle krystalizujících látek tak, že se kapka roztoku přenesе tyčinkou na hodinové sklíčko. Když se kapka zakalí vyloučenými krystaly, je roztok dostatečně zahuštěn. U řady látek se navíc na hladině nasycených roztoků vytváří vlivem chladného okolního vzduchu tzv. krystalizační blána (tenká vrstva plovoucích krystalů vznikající na hladině nasyceného roztoku vlivem ochlazení okolním vzduchem). [1][2]

Je známo, že vznik velkého počtu krystalizačních center je podporován rychlým ochlazením, intenzivním mícháním a nízkou molární hmotností rozpuštěné látky. Počet vznikajících krystalizačních center se projevuje na tvaru a velikosti krystalů. Při malém počtu se pomalu tvoří velké krystaly s plně vyvinutými plochami. Velký počet malých krystalizačních center podmiňuje naopak vznik drobných krystalů se špatně vyvinutými plochami. [1][2]

Jemné krystaly zadržují na svém povrchu mnoho matečného louhu, špatně se filtrují a promývají. U velkých krystalů hrozí naopak nebezpečí zadržení matečného louhu v eventálních dutinách. Pro získání čisté látky je proto důležité i udržení přiměřené zrnitosti krystalů. Některé látky mají sklon k tvorbě přesycených roztoků, to znamená, že ani po přestoupení meze rozpustnosti, např. ochlazením, látka nekrystalizuje. V takovém případě stačí někdy k vyvolání krystalizace třením stěny kádinky skleněnou tyčinkou. [1][2]

Doba trvání krystalizace je velmi různá. V některých případech stačí pouze vyčkat než roztok vychladne, jindy je nutné jej ponechat při nízké teplotě řadu dní.

Rychlost krystalizace určují tři samostatné procesy:

- 1) vznik krystalizačních center,
- 2) růst krystalů v důsledku přesycení roztoku (snížením teploty nebo odpařením části rozpouštědla),
- 3) zvětšování krystalů vzájemným spojováním.

Jako krystalizačních zárodků se často používá předem připravených malých krystalů krystalizující látky, tzv. naočkování. Za určitých podmínek mohou na těchto zárodcích vzniknout velké, dobře vyvinuté monokrystaly. Každý krystal pak krystalizuje v určité krystalografické soustavě (viz kapitola 2.3.3 Krystalografické soustavy). [1][2][3]

Poměr množství vykrystalizované látky k výchozímu množství látky se nazývá výtěžek krystalizace. Závisí na povaze krystalizované látky, na přítomnosti nečistot, zvoleném způsobu krystalizace a na rozdílu rozpustnosti dané látky při zvolených teplotách. [1][2]

1.2 Druhy krystalizace

Krystalizaci lze vyvolat několika různými metodami. Základní přehled způsobů vyvolání krystalizace udává Tabulka 1. [1][2]

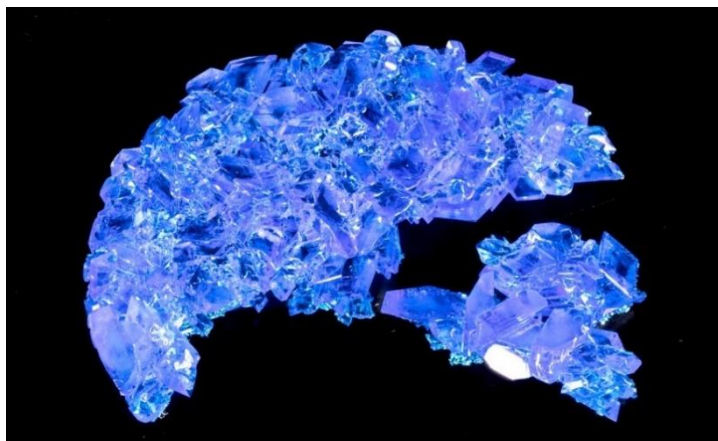
Tabulka 1 Přehled způsobů krystalizace z roztoku [1]

Způsob vyvolání krystalizace	Pojmenování
Změna koncentrace	Krystalizace volným odpařováním rozpouštědla
Změna teploty	Krystalizace volným ochlazením
	Rušená krystalizace
Změna složení rozpouštědla	Krystalizace vyvolaná změnou složení rozpouštědla

Krystalizace volným odpařováním rozpouštědla probíhá díky volnému odpařování rozpouštědla za konstantní teploty, nejčastěji laboratorní. Při tom dojde ke stavu, kdy je roztok při dané teplotě nasycen a látka se pak z roztoku začne vylučovat. Vzniklé krystaly jsou poměrně velké a dobře vyvinuté. Tato metoda je výhodná pro látky s dostatečným rozdílem rozpustnosti mezi horkým a studeným stavem. Nevýhodou této metody je delší časová náročnost. [1][2]

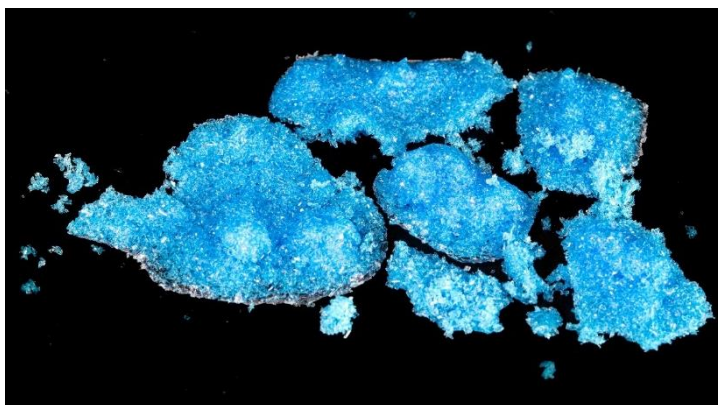
Při **krystalizaci volným ochlazením** se nejprve zahuštěním připraví nasycený roztok při vyšší teplotě a poté se roztok nechá volně chladnout. Tento způsob krystalizace lze využít pouze

u látek, pro které platí, že se jejich rozpustnost v daném rozpouštědle snižuje s klesající teplotou. Získané krystaly jsou opět velké a pěkně vyvinuté, viz Obrázek 1. [1][2][3]



Obrázek 1 Krystaly modré skalice připravené krystalizací volným ochlazením

Rušené krystalizace lze docílit přípravou nasyceného roztoku za vyšší teploty s následným prudkým ochlazením při intenzivním míchání. Výsledkem je velké množství drobných krystalů (viz Obrázek 2), které jsou následně odfiltrovány od tzv. matečného louhu, jenž obsahuje zbytek krystalizované látky a většinu nečistot. Rušenou krystalizaci lze využít jen u látek, u nichž je dostatečně velký rozdíl v rozpustnosti za studena a za horka. Z roztoku nebo taveniny směsi tuhých látek oddělíme jednotlivé složky od sebe přerušovanou a opakovanou krystalizací. [1][2][3]



Obrázek 2 Krystaly modré skalice připravené rušenou krystalizací

Při **krystalizaci vyvolané změnou složení rozpouštědla** lze z roztoku vyloučit tu látku, která je v dané směsi rozpouštědel nerozpustná. V praxi je to prováděno tak, že k vodnému roztoku je přidán alkohol, aceton nebo jiné méně polární rozpouštědlo, které je mísitelné s vodou. V takto získané směsi dochází k překročení součinu rozpustnosti rozpouštěné látky, která se pak začne vylučovat v krystalech. Získané krystaly jsou velice jemné. [1][2][3]

1.3 Krystalizace v přírodě a v průmyslu

Krystalizace je jedním ze základních přírodních procesů, který se vyskytuje v různých formách, jako je například odpařování moří nebo mrznutí vody. Lidé se s ní setkávali již od pradávna, později ji začali vědomě využívat v různých oblastech lidské činnosti. S rozvojem technologií a vědy začali lidé vědomě využívat krystalizaci v různých průmyslových odvětvích jako jsou chemie, geologie, agrochemie, farmacie nebo potravinářství, kde nachází široké uplatnění při výrobě a zpracování látek. [4]

Krystalizace je proces, který zahrnuje nukleaci (tvorbu krystalizačních center) a růst krystalů, což umožňuje vznik pravidelných struktur s přesně definovanými vlastnostmi. Krystalizace má zásadní význam v pochopení struktury a vlastností látek a je důležitá pro mnoho aplikací v každodenním životě i v průmyslu, kde se používá mj. pro separaci a čištění látek, ale také pro výrobu čistých látek s přesně definovanými vlastnostmi, což je zásadní pro řadu technologických a farmaceutických aplikací. [5]

V přírodě je krystalizace velmi běžná a hraje klíčovou roli při formování geologických útvarů i biologických struktur. Většina minerálů na Zemi vzniká primárně krystalizací z magmatu, zatímco sekundární minerály se tvoří krystalizací vodných roztoků. Výsledkem tohoto procesu jsou krystaly různých minerálů, např. křemene, sádrovce nebo aragonitu. Příkladem krystalů posledního zmiňovaného minerálu může být aragonitová výzdoba ve Zbrašovských aragonitových jeskyních poblíž Hranic v Olomouckém kraji, kterou uvádí Obrázek 3. Dále se některé přírodní krystaly považují za drahokamy (diamanty, rubíny, safíry), které vznikají specifickými geologickými procesy jako je vysokotlaká a vysokoteplotní metamorfóza. S krystaly se lze v přírodě setkat také v podobě ledu a sněhu, neboť krystalizace vody vede k tvorbě ledových krystalů a sněhových vloček s jejich unikátní hexagonální strukturou. Krystalizace se týká také živých organismů, kdy se hovoří o biokrystalizaci. Mnoho organismů totiž využívá krystalizaci k tvorbě biominerálů, příkladem jsou schránky měkkýšů (uhličitan vápenatý) nebo kosti (fosforečnan vápenatý). [6]



Obrázek 3 Krystaly aragonitu ve Zbrašovských aragonitových jeskyních [7]

Krystalizace ovlivňuje mnoho aspektů lidského života včetně výroby potravin a léků. Krystalizační procesy jsou tedy nadále studovaným odvětvím – kromě jejich porozumění je patrná snaha o jejich přímé řízení a optimalizaci. Účinná a efektivní krystalizace totiž zajišťuje vysokou kvalitu a bezpečnou výrobu. Pro krystalizaci se v průmyslu velmi často využívají krystalizátory.

Jednou z nezbytných složek v potravinářství je využívání chloridu sodného, neboli kuchyňské soli, pro solení potravin. Tato sůl se může získávat pomocí krystalizace volným odpařováním mořské vody v solných plochách, případně hlubinnou těžbou krystalické soli kamenné (halitu). Krystalizace je také klíčová při výrobě cukru, kdy je základním procesem krystalizace sacharosy. Naopak méně žádoucím jevem je krystalizace cukru v ovocných sirupech a medu, ve kterých se sacharosa rozkládá na glukosu a méně rozpustnou fruktosu. Důležitou roli pak krystalizace zastává také při výrobě potravinářských přísad (kyselina citronová, hydrogenuhličitan sodný). [8]

Většina farmaceutických produktů prochází během svého vývoje a výroby mnoha krystalizačními kroky za účelem dosažení požadované čistoty produktů. Krystalizace aktivní farmaceutické složky (API, angl. *Active Pharmaceutical Ingredient*) tedy musí být přísně kontrolována. Kromě kvality produktu je nicméně kontrolována také kvalita samotného procesu krystalizace, například z důvodu nežádoucí široké distribuce velikosti částic produktu. Ačkoliv je krystalizace známa poměrně dlouho, stále se ji v některých případech nedaří cíleně řídit. Těmito případy jsou ve farmaceutickém průmyslu krystalizace nestabilních polymorfů² a jejich možné a nekontrolovatelné polymorfni přechody na stabilní fázi v určitých technologických stupních (vlhká granulace, mikronizace) nebo výjimečně i při skladování léčiv. [5]

² Polymorfismus v rozšířeném významu ve farmacii znamená, že molekula může v závislosti na krystalizačních podmínkách vykristalizovat v několika různých krystalových formách (polymorfech), často i s molekulami použitého rozpouštědla.

Krystalizace, především jako separační a čistící proces, je finálním stupněm výroby krystalické API. Krystaly vznikají nejčastěji z kapalně fáze, a to postupy, které jsou založeny na vytvoření přesyceného roztoku API. Při krystalizaci dochází k samouspořádajícímu supramolekulárnímu procesu, při kterém se původně nahodile orientované molekuly skládají do vnitřně uspořádaných krystalů (supramolekul). Sledovanými parametry produktu jsou ve farmaceutické výrobě: výtěžek, chemická a fyzikální (polymorfní) čistota krystalů, distribuce jejich velikostí, krystalový tvar a obsah zbytkových rozpouštědel. Výroba je v neposlední řadě ovlivněna také ekonomickými a ekologickými aspekty. [5]

Krystalizace je dále důležitá při výrobních procesech polovodičového průmyslu – např. při přípravě monokrystalů křemíku pro výrobu polovodičových součástek. Také se uplatňuje při výrobě optických vláken. [9]

Zajímavým odvětvím, ve kterém se v současnosti využívá krystalizace je umělecký průmysl. Uměleckými díly jsou buďto samotné krystaly nebo krystaly porostlé na různých předmětech (např. přírodniny, věci z každodenního života). Tomuto druhu umění se věnuje například španělská umělkyně Isabel López Valero. Její dílo je zveřejněno na webových stránkách Crystallizations.com. Mezi další umělce spjaté s tímto uměním patří například Terry Bartlett, Stefan Herda a Adrienne DeLoy. Adrienne DeLoy se specializuje na ochranu hmyzu prostřednictvím umění. Ukázkou jejího díla je i krystalizovaná cikáda, již uvádí Obrázek 4. [10]



Obrázek 4 Krystalizovaná cikáda od Adrienne DeLoe [11]

2. Struktura a vlastnosti krystalů

Původ slova krystal musíme hledat v latinském slově *crystallus*, které je odvozeno od starořeckého *krystallos* neboli kus ledu – starověcí Řekové tímto pojmem nazývali křišťál. Považovali jej totiž za navěky zkamenělý led, který dlouhotrvajícím silným mrazem nabyl velké tvrdosti. V písemné formě je první zmínka o krystalu v Homérových eposech *Ílias* a *Odyseia*. Na mnoha místech světa se křišťál těšil velké úctě. Lidé dokonce věřili v jeho magické i léčivé schopnosti. Alchymisté na dvoře císaře Rudolfa II. považovali křišťál za nezralý diamant, což odráží jejich tehdejší chápání minerálů a jejich přeměn. Postupem času se pojem krystal rozšířil i na ostatní nerosty (minerály) pravidelných geometrických tvarů s lesklými plochami. Z terminologie Pythagora z Rhégia pochází i symetrie, která označuje základní vlastnost krystalické látky. První písemná zmínka o krystalizaci je v Plíniově knize *Historia naturalis*,³ ve které je popsána krystalizace různých solí, například vitriolů.⁴ [12][13]

Chladná a tajemná krása krystalů způsobila, že jim byly ve středověku připisovány nadpřirozené vlastnosti. Nejznámějším příkladem je patrně kámen mudrců, jehož si alchymisté představovali jako neznámou krystalickou substanci, která má moc přeměnit méně ušlechtilé kovy na zlato. Rovněž měl dopomoci k výrobě elixíru života, který měl podle alchymistů sloužit k omlazení, obnovení životních funkcí a možná i k dosažení nesmrtelnosti. Snaha o objevení kamene mudrců bývá označována jako *Magnum Opus* (v češtině překládáno jako *Velké dílo*). [14]

Krystaly vzácných minerálů (tzv. drahokamy) byly oblíbenou ozdobou královských korun a velmi žádané byly i pro výrobu šperků. Jejich přirozený lesk byl zvyšován výbrusy do různých umělých tvarů. Například diamanty jsou dodnes vybrušovány do tvaru briliantu. Broušené drahokamy nalezneme i na Svatováclavské koruně. [12]

Dlouho si učenci vysvětlovali původ krystalů tak, že *vznikají z čisté vody, která tuhne silou božího ohně*. [15] Teprve až v 17. století se začali snažit vysvětlit tvary a struktury krystalů. Postupně vznikla nová vědní disciplína, kterou označujeme jako krystalografie. První poznatky o krystalech shromáždili učenci, kteří se proslavili v úplně jiných oborech. Například v roce

³ *Naturalis historia* (česky *Přírodopis*) je jedna z prvních všeobecných encyklopedií starověku pocházející z doby Římské říše. Za autora je považován Gaius Plinius Secundus, známý též jako Plinius Maior. Dílo je rozděleno do 37 knih uspořádaných do 10 svazků a zabývá se obory jako je například matematika, astronomie, botanika, mineralogie aj.

⁴ **Vitriol** – triviální název pro skalice, například zelený vitriol v současnosti označujeme jako zelená skalice.

1611 slavný německý astronom Johannes Kepler (1571–1630) popsal pravidelný šestiúhelníkový tvar sněhových vloček. Za zakladatele krystalografie je však považován francouzský mineralog René Just Haüy (1743–1822), který shrnul všechny dosavadní poznatky a v roce 1782 popsal vnější tvar krystalů jako důsledek jejich vnitřní stavby (*Molécules constituantes*). [14]

Dalším důležitým milníkem byl objev rentgenového záření německým fyzikem Wilhelmem Conradem Röntgenem v roce 1895, který rentgenové paprsky označil jako paprsky X. V roce 1912 německý fyzik Max Theodor Felix von Laue provedl pokus, při kterém namířil svazek rentgenových paprsků na krystal. Paprsky na něm difraktovaly (rozptýlily a seskládaly se) a vytvořily difrakční obrazec obsahující informaci o vnitřní struktuře krystalu, tedy o jeho pravidelnosti a periodicitě. Vědci se tak poprvé pohlédli do nitra krystalu. Díky tomuto pokusu bylo potvrzeno, že rentgenové paprsky jsou elektromagnetickými vlnami a krystaly jsou tvořeny pravidelně uspořádanými atomy. [16]

V současnosti je krystalografie rozsáhlý chemický obor, který se opírá o výsledky strukturní analýzy krystalických látek. Strukturní analýza, nejčastěji rentgenová, je základní metodou, která vědcům umožňuje z vyřešené struktury získat co nejvíce informací. [12]

2.1 Vlastnosti krystalů

Podle makroskopického chování látek obvykle rozlišujeme čtyři základní skupenské stavy látek. Jedná se o skupenství pevné, kapalné, plynné a plazmu. Každé skupenství má své charakteristické vlastnosti. Látky mohou přecházet mezi jednotlivými skupenstvími v závislosti na teplotě a tlaku. Tyto přechody označujeme jako fázové přeměny (tání/tuhnutí, vypařování/zkapalnění, sublimace/desublimace).

Pevné látky lze dle jejich vnitřní struktury rozdělit na látky krystalické a amorfní. Krystalické látky mají částice pravidelně uspořádané v krystalové struktuře, ve které se nemohou částice volně pohybovat, ale pouze kmitat kolem své rovnovážné polohy. Mezi běžné krystalické látky řadíme například kuchyňskou sůl, diamant či modrou skalici. Jako amorfní látky označujeme pevné látky bez krystalické struktury, například vosk, sklo, pryskyřici nebo asfalt. Jejich struktura se podobá struktuře kapalin, ve kterých ustal tepelný pohyb molekul. Proto se amorfní látky někdy považují za podchlazené kapaliny s velmi vysokou viskozitou. [17]

Krystalické látky vytváří pravidelná tělesa – krystaly. Právě na základě jejich studia vznikla představa o vnitřní stavbě pevných látek. Krystal je pevné těleso s pravidelným geometrickým

tvarem a rovinnými plochami, které může vznikat přirozeně i uměle. Krystaly mají tyto charakteristické vlastnosti:

- pevné chemické složení a ostrý bod tání, který je pro danou látku charakteristický,
- schopnost omezit svůj vnější tvar plochami, které se sbíhají v hranách a rozích. [17][19]

Klíčovou vlastností krystalu, podle které jej zároveň lze jednoznačně identifikovat, je to, že se jedná o pevnou látku, jejíž difrakční diagram je bodový. [18]

Z hlediska přítomnosti lokálních poruch, nečistot a teplotních kmitů atomů rozlišujeme krystaly na ideální a reálné. Podle specifického uspořádání a velikosti částic v jejich struktuře můžeme krystaly rozdělit také na monokrystaly a polykrystaly. [17][19]

V případě **ideálního krystalu** se jedná o velmi důležitou teoretickou představu. Ideální krystal se vyznačuje dokonalým habitem (vnějším vzhledem) a symetrií a stejně dokonalou strukturní mřížkou bez jakýchkoliv poruch. Podle třetího termodynamického zákona se entropie čisté pevné látky při absolutní nulové teplotě rovná nule, jedná se tedy o dokonale uspořádaný systém. Protože však těchto podmínek nelze dosáhnout, není ani možné ideální krystal připravit. [4][17]

Reálný krystal se od ideálního liší tím, že pravidelnost jeho uspořádání je porušena. Jeho habitus i vnitřní uspořádání jsou závislé na podmínkách růstu a charakteru fyzikálně chemických sil působících mezi částicemi v jeho krystalové struktuře. V jeho struktuře se vždy vyskytují defekty, které ovlivňují jeho fyzikální vlastnosti. Růst krystalů je totiž tvořen dvěma současně probíhajícími procesy zabudovávání růstových částic – pravidelným a defektním.

Pravidelný (řádný, dokonalý) proces je charakterizován snižováním Gibbsovy energie, avšak je limitován nerealizovatelnou podmínkou minimální entropie. Musí tedy probíhat i proces vedoucí ke zvýšení entropie a tím je vznik bodových defektů v krystalu. Každý reálný krystal tedy musí obsahovat bodové defekty, protože to jsou jediné termodynamicky stabilní poruchy. [17][20]

Monokrystaly jsou charakteristické periodicky se opakujícím uspořádáním stavebních částic v celém objemu krystalu. Jedná se o uspořádání s delším dosahem, které vytváří pravidelné geometrické tvary monokrystalů. Označujeme je jako anizotropní látky, u kterých jsou jejich fyzikální vlastnosti závislé podél různých krystalografických směrů. Příkladem látek, které se hojně vyskytují ve formě monokrystalů jsou sůl kamenná, křemen, diamant, slída, křemík a germanium. [17][19]

Polykrystalické látky (polykrystaly) jsou složené z většího počtu drobných krystalů – zrn. Samotná zrna mají náhodnou orientaci, avšak stavební částice uvnitř zrn jsou uspořádané pravidelně. Polykrystaly jsou izotropní, což znamená, že jejich fyzikální vlastnosti jsou ve všech směrech stejné. Většina pevných látek se vyskytuje ve formě polykrystalů – například kovy obvykle tvoří polykrystalickou strukturu. [17][19]

2.2 Druhy krystalů

Stabilita krystalu je podmíněna vazbami mezi částicemi, kterými mohou být atomy, ionty či molekuly. Podle typu vazby a vázaných částic lze rozlišit tyto základní typy struktur: atomové, molekulové a iontové krystaly a krystaly s kovovou vazbou. [17]

Atomové krystaly jsou vlastně obrovské krystalové sítě, ve kterých jsou jednotlivé atomy vázány kovalentními vazbami. Energie kovalentních vazeb je obvykle vysoká, a proto se krystaly s touto strukturou vyznačují velkou tvrdostí a pevností. Dalšími charakteristickými znaky jsou vysoká teplota tání a varu, nerozpustnost ve vodě. Patří sem např. diamant nebo krystaly germania nebo křemíku. Speciálním případem atomových krystalů pak jsou **krystaly s vrstevnatou strukturou**, ve kterých jsou jednotlivé vrstvy atomů propojeny pomocí slabých van der Waalových interakcí. Příkladem je grafit. [17]

Molekulové krystaly jsou tvořeny jednotlivými molekulami (většinou organických látek), které jsou drženy pohromadě van der Waalovými interakcemi: Londonovými disperzními silami, dipól-dipólovými interakcemi a vodíkovými vazbami, které jsou velmi slabé v porovnání s ostatními chemickými vazbami. V důsledku toho jsou molekulové krystaly měkké a mají nízkou teplotou tání a varu, díky čemuž se při běžných podmínkách mohou vyskytovat i v kapalném či plynném stavu. Příkladem je methan, který při velmi nízkých teplotách krystaluje v krychlové plošné centrované struktuře. [17]

Základními strukturními jednotkami **iontových krystalů** jsou ionty (kationty a anionty), které jsou převážně spojeny elektrostatickými silami iontové vazby, které se řídí Coulombovým zákonem. Iontové krystaly jsou tvrdé, křehké a mají vysoké teploty tání. Jsou obvykle dobře rozpustné v polárních rozpouštědlech. V pevném stavu nevedou elektrický proud, neboť ionty jsou v rovnovážných polohách pevně fixovány. Teprve až v taveninách nebo roztocích jsou vodivé. Ionty totiž přechází do roztoku, ve kterém jsou prakticky volně pohyblivé. Vzhledem k tomu, že iontová vazba nemá směrový charakter, je struktura iontových krystalů určena vedle podmínky nejtěsnějšího uspořádání částic především poměrem velikosti iontů. Příkladem jednoduché iontové struktury je struktura chloridu sodného NaCl. [17]

V **krystalech s kovovou vazbou** je základní skelet tvořen kationty kovu a mezi nimi se relativně volně pohybují delokalizované valenční elektrony všech atomů kovu, což přispívá k jejich velmi dobré elektrické vodivosti. Dále jsou i tepelně vodivé a lesklé; typická kujnost a tažnost je pak zapříčiněna tím, že jednotlivé vrstvy kationtů mohou po sobě „klouzat“. Krystalická struktura kovů se odvozuje z představ o skládání koulí tak, aby mezi nimi zbyl minimální volný prostor. Existují dva způsoby nejtěsnějšího uspořádání a další s poněkud volnějším uspořádáním, které lze odvodit od mřížky šesterečné (Mg, Ca), krychlové plošně centrované (Cu, Pb) a krychlové tělesně centrované (Na, Ba). [17]

2.3 Krystalografie

Krystalografie se zabývá studiem uspořádání atomů v krystalických pevných látkách, včetně jejich vnějších ploch. Tato věda se zabývá studiem krystalů, jejich reálnou a ideální strukturou, vývojem, tvorbou, poruchami, jejich vlastnostmi a uspořádáním atomů v krystalických pevných látkách. Zahrnuje nejen popis a klasifikaci struktur, ale i metody studia krystalů a zkoumání souvislostí mezi strukturou a vlastnostmi. Historicky je krystalografie odvětvím mineralogie, avšak dnes se již jedná o samostatný vědní obor. [12][17][21]

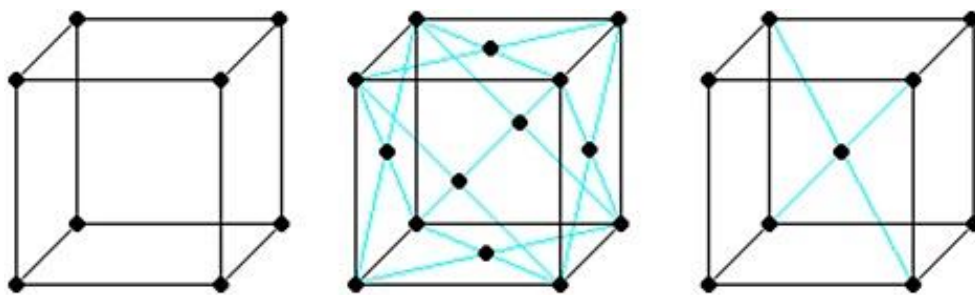
Jak již bylo výše zmíněno, pravidelnost vnějších tvarů vedla Haüy k názoru, že se krystal skládá ze stejných elementárních krystalů, jejichž hrany jsou rovnoběžné s osami krystalu. Různý tvar krystalu je dán tím, že jejich vnější přirozené plochy jsou proloženy plochami, hranami nebo jen vrcholy těchto elementárních krystalů. [12][22]

Místo této představy se v současnosti využívá geometrická idealizace krystalické struktury zavedením představy krystalové mřížky. Krystalová mřížka je množina myšlených abstraktních bodů pravidelně rozmístěných v prostoru. Propojením těchto bodů získáme pravidelnou síť přímek, která rozloží prostor na elementární buňky. [12][17]

2.3.1 Elementární buňka

Elementární (základní) buňka je nejmenší jednotka krystalické struktury. Jedná se o rovnoběžnostěn, který je jednoznačně definován šesti mřížkovými parametry. Jsou to délky jejich stran (mřížkové vektory) a , b , c a úhly α , β , γ , které tyto strany svírají. Uspořádání částic v této buňce se pravidelně opakuje v celé krystalové mřížce. [20][22]

Podle obsazení částicemi (atomy, ionty nebo molekulami) se elementární buňky dělí na primitivní (prosté) a složené (centrované). Vybrané typy elementárních buněk zobrazuje Obrázek 5.



Obrázek 5 Typy elementárních buněk – zleva: primitivní, plošně centrovaná a prostorově centrovaná buňka [23]

Primitivní buňka (P, R) je základní buňka, ve které jsou mřížové body umístěny jen ve vrcholech. Symbol R označuje primitivní buňku v trigonální soustavě, v ostatních případech se používá symbol P. Tato buňka obsahuje jeden mřížový bod (8 vrcholů, přičemž každému vrcholu náleží $1/8$ mřížového bodu). [12][20]

V **centrované buňce** (A, B, C) jsou mřížové body umístěny ve vrcholech a ve středech dvou protilehlých stěn (A – centrace stěn s hranami b a c). Centrované buňce náleží dva mřížové body. [12]

V **plošně centrované buňce** (F) jsou mřížové body nejen ve vrcholech, ale také ve středech všech stěn. Plošně centrované buňce náleží čtyři mřížové body. V **tělesně centrované buňce** (I) jsou pak mřížové body ve vrcholech buňky a také v průsečíku tělesových úhlopříček. Tělesně centrované buňce tedy náleží dva mřížové body. [12]

2.3.2 Bravaisova mřížka a Bravaisovy buňka

Bravaisova mřížka je pojmenována podle svého objevitele francouzského přírodovědce Augusta Bravaisa (1811–1863), který kolem roku 1849 klasifikoval možné translační mřížky umístěním stejných rovnoběžnostěnů (elementárních buněk) ve všech směrech. Rohy buněk pak tvořily trojrozměrnou bodovou (krystalovou) mřížku. [21]

V trojrozměrném prostoru existuje celkem 14 způsobů uspořádání mřížových bodů, splňujících podmínku stejného a stejně orientovaného okolí, tj. 14 Bravaisových mřížek. Tyto mřížky se dělí na 7 primitivních a 7 složených (centrovaných) buněk. Elementární buňka musí splňovat tato Bravaisova pravidla:

1. Počet pravých úhlů v základní buňce musí být maximální.
2. Symetrie základní buňky musí být shodná se symetrií celé mřížky.
3. Při dodržení předchozích podmínek musí být objem základní buňky minimální.
4. V případě, že symetrie nemůže rozhodnout, vybírá se základní buňka, tak aby její hrany byly co nejkratší.

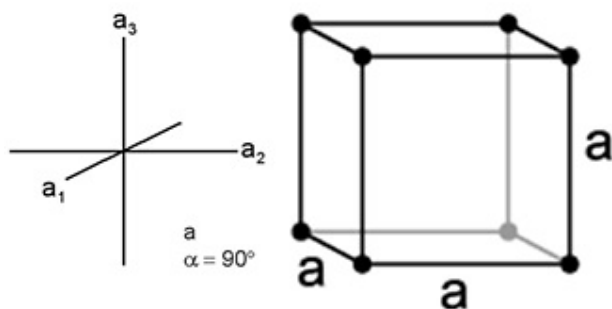
Studium symetrie krystalů ukazuje, že se u nich setkáme pouze s konkrétními prvky symetrie (σ , C_2 , C_3 , C_4 , C_6 , i , E ; viz kapitola 2.3.4 Prvky symetrie). Z těchto prvků lze vytvořit 32 krystalografických bodových grup, které určují 32 krystalografických oddělení souměrnosti. [17]

Důležitou charakteristikou krystalové struktury je její mezirovinná vzdálenost, označovaná písmenem d . Jedná se o vzdálenost mezi dvěma sousedními rovnoběžnými rovinami v krystalové struktuře. Pro daný typ krystalové struktury lze najít různé mezirovinné vzdálenosti. [17]

2.3.3 Krystalografické soustavy

Plochy krystalů a jimi proložené roviny jsou charakterizovány pomocí tří os a , b , c , které na nich krystalické roviny vytínají. Vychází přitom ze tří základních zákonů. Zákon stálosti hran stanovuje, že u dané látky svírají odpovídající plochy vždy stejný úhel. Zákon racionality parametrů zdůrazňuje skutečnost, že všechny plochy vytínají na krystalografických osách úseky, které lze vyjádřit jako celistvé násobky určitých základních úseků a , b , c . Zákon souměrnosti pak stanoví, že všechny krystaly téhož minerálu mají stejné prvky symetrie. Na základě symetrie lze krystaly rozdělit do sedmi soustav: krychlová, šesterečná, klencová, čtverečná, kosočtverečná, jednoklonná a trojklonná. [17]

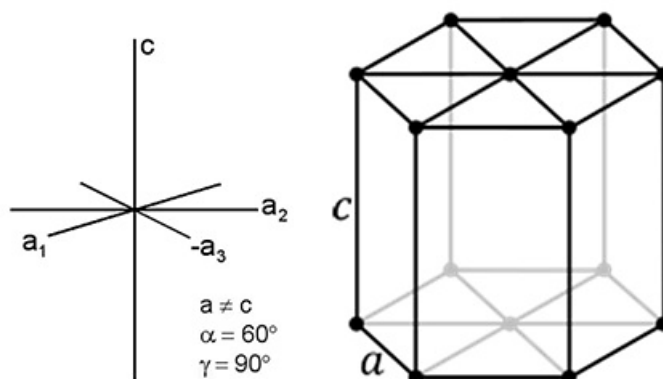
Krystaly **krychlové (kubické) soustavy** mají nejvíce rovin souměrnosti, konkrétně devět. Osní kříž krychlové soustavy (viz Obrázek 6) je tvořen třemi osami, které jsou vzájemně kolmé a mají stejnou délku. Tyto osy, označované a_1 , a_2 , a_3 ($a_1 = a_2 = a_3$), jsou stejně dlouhé. Mezi minerály krychlové soustavy patří například fluorit, diamant, halit, magnetit, pyrit, galenit a sfalerit. [17][19]



Obrázek 6 Osní kříž a primitivní buňku krychlové soustavy [19][24]

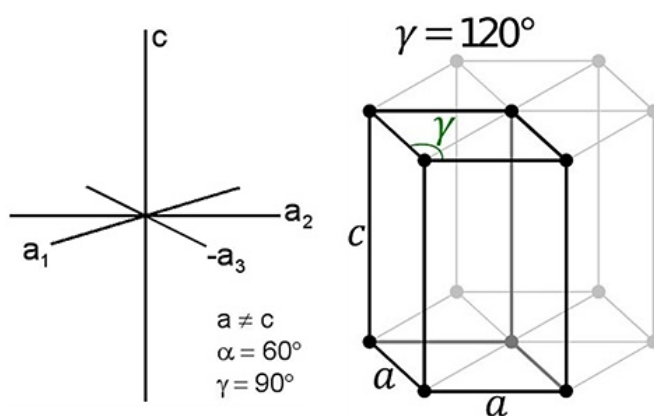
Krystaly **šesterečné (hexagonální) soustavy** vykazují menší počet rovin souměrnosti, konkrétně sedm. Svislá osa je šestičetná (otáčením krystalu kolem této osy dosáhneme shodné

polohy celkem šestkrát). Krystaly mají šestiúhelníkový příčný průřez a často na nich převažuje šestiboký hranol. Osní kříž šesterečné soustavy tvoří tři vodorovné osy, které jsou stejně dlouhé a označujeme je jako a_1 , a_2 , a_3 . Tyto osy svírají úhel 60° . Čtvrtá, svislá osa c je kolmá k jejich rovině ($a_1 = a_2 = a_3$; c , $\alpha = 60^\circ$), viz Obrázek 7. Mezi minerály této soustavy patří například apatit, grafit nebo beryl. [17][19]



Obrázek 7 Osní kříž a plošně centrovaná buňka šesterečné soustavy [19][25]

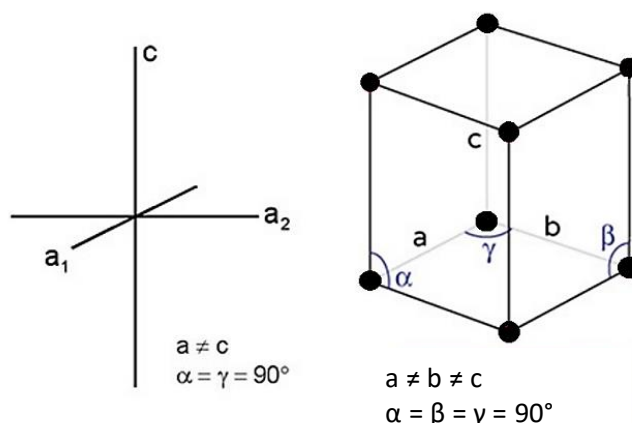
Klencová (trigonální) soustava bývá někdy pro zjednodušení zařazována do soustavy šesterečné. Tyto soustavy mají stejný typ osního kříže, ale liší se počtem symetrických os. U šesterečné soustavy je svislá osa šestičetná, zatímco u trigonální pouze trojčetná. Pro kalcit a další hojné uhličitany je typickým tvarem klenec. Osní kříž klencové soustavy tvoří tři vodorovné osy, které jsou stejně dlouhé a značíme je a_1 , a_2 , a_3 ($a_1 = a_2 = a_3$). Tyto osy svírají úhel 90° (Obrázek 8). Čtvrtá svislá osa c je k nim kolmá. Do této soustavy řadíme minerály jako kalcit, křemen, magnezit, hematit, korund, turmalín, cinabarit a siderit. [17][19]



Obrázek 8 Osní kříž a primitivní buňka klencové soustavy [19][26]

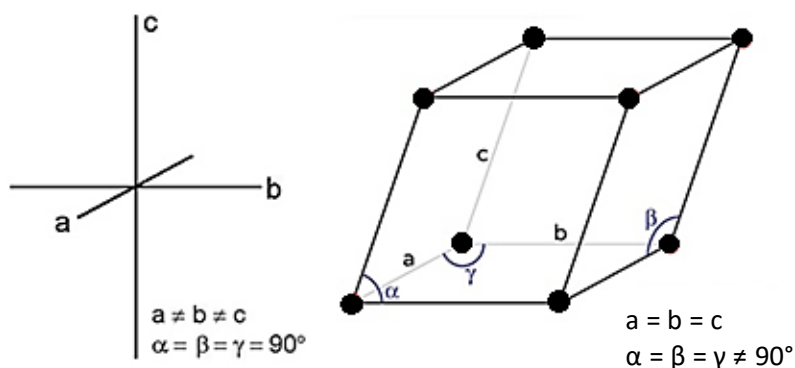
Krystaly **čtverečné (tetragonální) soustavy** mají pět rovin souměrnosti a jejich svislá osa je čtyřčetná (otáčením krystalem čtverečné soustavy kolem svislé osy dosáhneme shodné polohy

čtyřikrát). Krystaly čtverečné soustavy mají čtvercový průřez a zpravidla na nich převládají čtyřboké hranoly. Osní kříž čtverečné soustavy je tvoří tři vzájemně kolmé osy. Vodorovné osy jsou stejně dlouhé a nazývají se a_1 , a_2 . Osa c bývá většinou delší ($a_1 = a_2 \neq c$), viz Obrázek 9. Do této soustavy zařazujeme minerály jako rutil, chalkopyrit, a kasiterit. [17][19]



Obrázek 9 Osní kříž a primitivní buňka čtverečné soustavy (upraveno) [19][27]

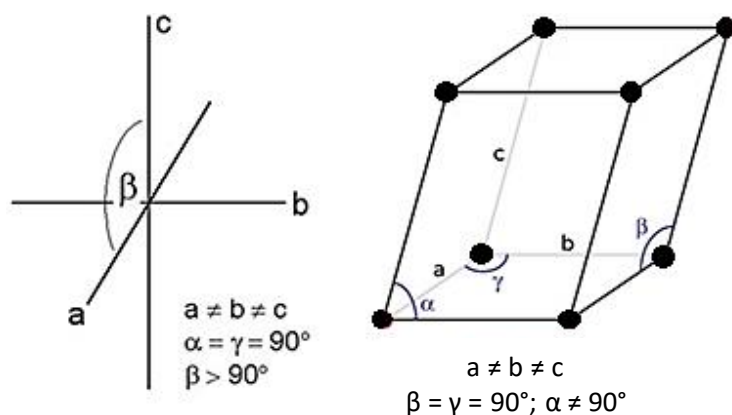
Kosočtverečná (rombická) soustava má svůj název podle kosočtverce. Minerály krystalizující v této soustavě mají totiž v průřezu jeho tvar (nebo se tvar průřezu kosočtverci blíží). Krystaly kosočtverečné soustavy vykazují souměrnost podle tří navzájem kolmých rovin souměrnosti. Převládajícím krystalovým tvarem bývá kosočtverečný hranol. Všechny tři osy – předozadní (a), pravolevá b i svislá c – jsou navzájem kolmé, svírají pravé úhly a mají různé délky ($a \neq b$, $a \neq c$, $b \neq c$), viz Obrázek 10. Do kosočtverečné soustavy patří minerály aragonit, baryt, olivín, topaz, síru a antimonit. [17][19]



Obrázek 10 Osní kříž a primitivní buňka kosočtverečné soustavy (upraveno)[19][28]

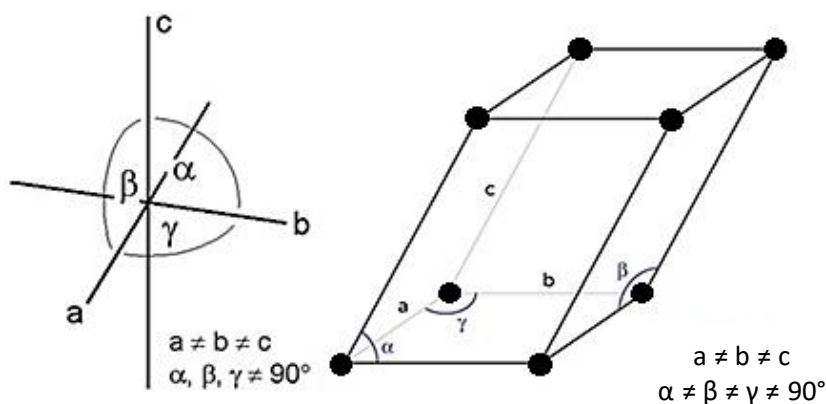
Krystaly **jednoklonné (monoklinické) soustavy** vykazují souměrnost podle jedné roviny souměrnosti, která dělí krystal na dvě zrcadlově identické poloviny. Jednoklonné krystaly mají v průřezu kosočtverec. Na jejich plošných útvarech se často objevují šikmo ukloněné plochy

nebo hrany. Osní kříž jednoklonné soustavy má předozadní osu ukloněnou. Zbývající osy – svislá a pravolevá – jsou vzájemně kolmé. Všechny osy jsou různě dlouhé ($a \neq b$, $a \neq c$, $b \neq c$; $\alpha \neq 90^\circ$), viz Obrázek 11. Řadíme zde minerály jako amfibol, mastek, ortoklas, muskovit, sádrovec a epidot. [17][19]



Obrázek 11 Osní kříž a primitivní buňka jednoklonné soustavy (upraveno) [19][28]

Trojklonná (triklinická) soustava je nejméně souměrná. Nemá žádnou rovinu souměrnosti, je souměrná pouze podle středu souměrnosti. To znamená, že každá plocha má svou odpovídající protiplochu. Krystaly této soustavy zpravidla tvoří dvojploši. Osní kříž trojklonné soustavy zahrnuje tři osy, které spolu svírají kosé úhly. Předozadní a pravolevá osa je ukloněná. Krystalové plochy vytínají na osách nestejně dlouhé úseky **a, b, c** ($a \neq b$, $a \neq c$, $b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$), viz Obrázek 12. Mezi minerály krychlové soustavy patří kaolinit, albinit a chalkantit. [17][19]



Obrázek 12 Osní kříž a primitivní buňka trojklonné soustavy (upraveno) [19][28]

2.3.4 Prvky symetrie

V krystalografii se stále setkáváme se symetrií neboli souměrností krystalů, která odráží pravidelné vnitřní uspořádání jejich stavebních částic. *Symetrii lze chápat jako vlastnost*

prostorových uspořádání, která můžeme pomocí operací symetrie převést na nová prostorová uspořádání totožná s uspořádáním původním [17]. Operací symetrie nazýváme každý pohyb, kterým se objekt dostane do polohy nerozlišitelné od polohy výchozí. Konkrétně se jedná o translaci, rotaci, zrcadlení, inverzi a jejich kombinace. Operace symetrie provádíme s objektem vždy vzhledem ke geometrickým prvkům (přímka, rovina, bod). Tyto prvky nazýváme prvky symetrie. Základními prvky symetrie jsou střed symetrie, n -četná rotační osa, rovina symetrie a identita; složenými prvky symetrie jsou n -četná rotačně-reflexní osa a n -četná rotačně-inverzní osa. Čím větší počet prvků souměrnosti daný objekt obsahuje, tím vyšší má souměrnost. S každým prvkem symetrie souvisí příslušná operace symetrie. Prvky symetrie a jejich příslušné operace symetrie souhrnně uvádí Tabulka 2. [17]

Tabulka 2 Přehled prvků symetrie a jejich příslušných operací symetrie [17]

Prvek symetrie	Operace symetrie	Označení
Střed symetrie	Inverze	i
n -Četná rotační osa	Rotace	C_n
Rovina symetrie	Zrcadlení	σ
Celá molekula	Identita	E
Rotačně reflexní osa	Nevlastní rotace	S_n
Rotačně inverzní osa	Rotace o $2\pi/n$ následovaná inverzí	C_{ni}

Střed symetrie je bod, který rozděluje přímku procházející tímto bodem a původním atomem na dvě stejné poloviny. Příslušnou operací symetrie je inverze označovaná písmenem i . *Inverze převádí bod ležící na přímce procházející tímto bodem a středem symetrie na jiné místo na této přímce za středem symetrie, které je od středu symetrie stejně vzdálené jako bod původní* [17]. Příkladem molekuly se středem symetrie je molekula SF_6 , židličková forma cyklohexanu nebo tetrachloridoplatnatanový anion $[\text{PtCl}_4]^{2-}$. [12][17]

Dalším prvkem symetrie je **n -četná rotační osa**, která se značí jako C_n , kde n udává její četnost. Odpovídající operací symetrie je rotace (otáčení) kolem osy (označuje se stejně jako osa symetrie C_n). Rotace kolem osy znamená, že pootočením původního objektu o úhel $2\pi/n$ dosáhneme pozice objektu, která je nerozlišitelná od výchozí polohy. Molekula trichlormethanu je příkladem molekuly s trojčetnou osou C_3 . Má-li molekula více rotačních os symetrie, pak jako hlavní označujeme tu, která má nejvyšší četnost. Podle konvence provádíme rotaci vždy ve směru hodinových ručiček. [12][17]

Rovina symetrie půlí těleso na dvě části tak, že jedna polovina je zrcadlovým obrazem druhé. Operací symetrie je zrcadlení, které je označováno stejným symbolem jako rovina symetrie σ . Index u tohoto symbolu označuje vzájemnou polohu roviny symetrie a hlavní osy. Rozlišujeme tři typy rovin symetrie: horizontální, vertikální a diagonální. Horizontální rovina σ_h je kolmá na hlavní osu symetrie. Vertikální rovina symetrie σ_v obsahuje hlavní osu symetrie i osy C_2 . Diagonální rovina σ_d obsahuje také hlavní osy symetrie a zároveň dělí na polovinu úhel mezi dvěma C_2 osami. [12][17]

Prvek symetrie **identitu** i příslušnou stejnojmennou operaci symetrie označujeme symbolem E. Identická operace (neboli operace totožnosti) ponechává každý bod beze změny, což znamená, že identitu má každé těleso. Jedná se o rotaci o 360° kolem jakékoli osy, která přechází kterýmkoliv bodem. Prvkem symetrie je celý prostor molekuly. Její operací je např. dvojitá zrcadlení v téže rovině symetrie ($E = \sigma^2$). [12][17]

Rotačně reflexní osa je složený prvek symetrie. Příslušná operace symetrie, označovaná symbolem S_n , je kombinací dvou základních operací symetrie. Nejprve otočíme daný bod kolem rotační osy o úhel $2\pi/n$ (provedeme operaci C_n) a poté provedeme zrcadlení v rovině symetrie, která je kolmá k použité ose rotace (provedeme operaci σ_h). Rotačně reflexní operace symetrie hraje klíčovou roli při určování optické aktivity molekul. [12][17]

Dalším složeným prvkem symetrie je **rotační inverzní osa**. Příslušná operace symetrie označovaná C_{ni} je složena z rotace kolem osy (operace C_1) a následné inverze (operace i). Rotačně inverzní osa je vždy totožná s některou rotačně reflexní osou. [12][17]

Pro každou molekulu lze sestavit její bodovou grupu symetrie, což je soubor operací symetrie, který danou molekulu charakterizuje. Jestliže při provádění operace symetrie s danou molekulou zůstane alespoň jeden bod nehybný, označujeme tuto grupu symetrie jako bodovou. [12][17]

Zatímco bodové grupy symetrie používáme k charakterizaci molekul a vnějších tvarů krystalů, k popisu krystalové struktury používáme prostorové grupy (celkem 230), které vystihují symetrii třírozměrného periodicky se opakujícího vzoru. Na rozdíl od bodových grup jsou prvky symetrie prostorových grup rozloženy v prostoru. Základní prvky symetrie, které jsme použili při popisu symetrie molekul a krystalů, doplňujeme o šroubovou osu (po rotaci kolem osy následuje translace ve směru této osy) a o skluznou rovinu (po zrcadlení v rovině následuje translace rovnoběžná s touto rovinou). [12][17]

2.4 Poruchy krystalů

Růst krystalů probíhá prostřednictvím dvou současných zabudovávání růstových částic – pravidelného a defektního. Jako defekt (porucha), je označována jakákoliv odchylka od dokonalé periodické struktury krystalu. Rozlišují se čtyři základní typy krystalových poruch: bodové, čárové, plošné a objemové. [4]

Pokud je odchylka od ideální struktury lokalizovaná do okolí jednoho nebo několika málo atomů, nazývá se **bodová porucha**. Bodové poruchy jsou přirozenou součástí reálných krystalů a vyskytují se ve všech pevných látkách. Vznikají dvojím způsobem – buď některé polohy mřížky zůstanou neobsazené a vznikají tzv. vakance, nebo atomy nebo ionty zaujmou místo v polohách mezi mřížkovými rovinami a vznikají tzv. intersticiály. Základním požadavkem při vzniku bodových poruch v iontových krystalech je zachování elektroneutality. Jestliže vznikne vakance po kladném iontu, musejí vzniknout další vakance po záporném iontu nebo se kladný ion musí usadit v intersticiální poloze. [4]

Případ, kdy kationty i anionty opouštějí své mřížkové polohy a přesunují se na povrch krystalu se nazývá Schottkyho defekt. Vznik vakance a přesunutí iontu do mezimřížkové polohy se nazývá Frenkelův defekt. Vakance častěji vznikají v kationtové mřížce, protože kationty jsou obvykle menší než anionty a snáze se umístí do intersticiální polohy. O tom, který typ defektu přednostně v krystalu vznikne, rozhodují rozdíly ve velikosti kationtu a aniontu, dielektrická konstanta a typ vazby. Při teplotní nerovnováze mají bodové poruchy tendenci snižovat Gibbsovu energii systému, což vede k jejich agregaci a snížení koncentrace. [4]

Představa ideálního krystalu nevysvětluje některé fyzikální vlastnosti, jako je například difuze cizích iontů. Avšak v reálném krystalu s bodovými defekty je difuze iontů umožněna díky přítomnosti vakancí, které umožňují přesun cizích atomů v krystalové mřížce. Difuze je pohyb iontů příměsí nebo vakancí z místa o vyšší koncentraci k místu o nižší koncentraci. Difuze vakancí v jednom směru je ekvivalentní difuzi iontů v opačném směru. Rychlost difuze roste s teplotou, a tedy i koncentrací vakancí. Důležitá je zde pravděpodobnost přechodu vakance do sousední polohy, která je úměrná aktivační energii vzniku nové vakance, typu vazby a mřížky. [4]

Čárové poruchy jsou jednorozměrné defekty krystalové mřížky, při nichž dochází k lokálnímu narušení její periodicity v jednom směru. Tyto defekty se šíří v krystalu jako čáry (linie). Příkladem čárových poruch jsou dislokace. [4]

Bodové defekty v krystalech vysvětlují difuzi příměsí, existují však i další odchylky od ideálních teoretických předpokladů. Jedná se např. o větší intenzitu jednotlivých difrakčních čar při rentgenovém (RTG) měření, menší mechanickou pevnost krystalů nebo růst krystalů při menších přesyceních. [4]

Všechny tyto jevy jsou způsobeny čárovými poruchami v krystalu nazývanými dislokace. Jejich název je odvozen ze skutečnosti, že části krystalové mřížky jsou vysunuty, dislokovány, ze svých pravidelných poloh. [4]

Dislokace na rozdíl od bodových defektů jsou z termodynamického hlediska nestabilní a nelze vypočítat jejich rovnovážnou koncentraci v krystalu. Dislokace nejsou omezeny na jednotlivá místa mřížky a mohou způsobit změnu směru mřížkových rovin v makroskopickém měřítku. Existují dva druhy dislokací, a to hranové a šroubové. [4]

Hranovou dislokaci si lze představit jako situaci, kdy je část roviny krystalové mřížky zasunutá mezi další dvě rovnoběžné roviny krystalové mřížky. Krystal je rovinou skluzu rozdělen na horní a dolní část. V levé horní části krystalu došlo ke skluzu o jednu meziatomovou vzdálenost, v pravé nikoliv. Hranice mezi posunutou a neposunutou oblastí, v místech, kde začíná deformovaný krystal, se nazývá dislokace nebo dislokační čára. Vznik šroubové, někdy také nazývané Burgersovy, dislokace je popisován, jako by byl krystal naříznut kolmo na jeho mřížkové roviny a uvolněné části se vůči sobě posunuly. Šroubová dislokace vnáší do krystalu zkroucení mřížky do šroubovice nebo nakloněné roviny. [4]

V blízkosti dislokací existují oblasti s pnutím, které působí na jiné dislokace a další poruchy v krystalu. Mohou sloužit jako zdroj vakancí a intersticiálů i jako jejich záchytná centra. Přitahují i příměsí. Dislokace není statická, neproměnná porucha mřížky. Může v krystalu vznikat, zanikat a pohybovat se. V reálných krystalech vznikají dislokace při jejich růstu, a dále plastickou deformací a kondenzací vakancí a intersticiálů. Z hlediska růstu krystalů je rozdělujeme na dislokace, jejichž vznik je spojen s růstem krystalů a na dislokace, které vznikají až po ukončení růstu. Jako hlavní zdroj vzniku růstových dislokací jsou označovány inkluze tvořené matečnou fází, nečistotami nebo nehomogenitami. Směr růstu dislokace bývá totožný se směrem růstu krystalů a závisí na orientaci a tvaru růstového rozhraní. To je také příčina, proč dislokace prorůstají ze zárodků do krystalu a z podložky do epitaxních vrstev. [4]

Druhá skupina dislokací vzniká při chladnutí krystalu, když dochází k uvolňování pnutí. Avšak i tady k jejich vzniku přispívá pnutí naakumulované kolem inkluzí. Dislokace vznikají i spojováním (kondenzací) vakancí v krystalech pěstovaných při vyšších teplotách, např.

při růstu z taveniny, kdy se vakance snadno pohybují a mohou se spojovat do dislokací. Působením smykového napětí může dislokace vyjít na povrch, a tak zaniknout. [4]

Dislokace patří mezi nejčastější a nejvýznamnější poruchy v krystalech. Přestože mohou negativně ovlivňovat kvalitu materiálu, hrají klíčovou roli při růstu krystalů za nízkého přesycení a při zachycování nečistot a bodových poruch. [4]

Defekty, které způsobují porušení struktury určité plochy, označujeme jako **plošné poruchy**. Příkladem jsou hranice obvykle objemových defektů a vrstevnatých chyb. Do skupiny těchto dvojrozměrných poruch patří hranice zrn, koncentrační proužky a vrstevnaté chyby. Většinou se jedná o rozhraní nebo povrchy, které souvisí s objemovými poruchami. Plošné poruchy dosahují tloušťky od jedné do několika meziatomových vzdáleností, ale jejich rozsah může být makroskopický. [4]

Zrna v krystalu jsou od sebe oddělena tzv. hranicemi zrn. Hranice zrn jsou tvořeny dislokacemi, kladou malý odpor difuzi příměsí a lze je zviditelnit leptáním a RTG topografií. Koncentrační proužky (striations) je označení pro defekty v krystalu, které se projevují jako náhlé změny koncentrace příměsí nebo nečistot. Vyskytují se obvykle v krystalech pěstovaných z roztoků a tavenin. Jsou způsobeny nestálostí růstových podmínek, kolísáním teploty, nehomogenitou teplotního pole, vnějšími silami (nestabilní rotace kelímku nebo krystalu) a nestabilní rychlostí tažení, které ovlivňují stabilitu proudění taveniny (roztoku). Zviditelnění koncentračních proužků se provádí RTG topografií, leptáním a pozorováním v mikroskopu. [4]

Vrstevnaté chyby (stacking faults, Stapelfehler) jsou poruchy v pravidelném sledu atomových vrstev. Nejčastěji se objevují ve strukturách, které se skládají z rovin atomů s těsným uspořádáním, kubické plošně centrované a hexagonální plošně centrované. Tyto chyby mohou vzniknout skluzem některé roviny, vyjmutím jedné roviny při kondenzaci vakancí nebo naopak jejím vložením při kondenzaci intersticiálních atomů. Energie vrstevných chyb je velmi malá. Při jejich vzniku se nemění vzdálenost atomů a ani objem, a tak je vznik těchto poruch velmi snadný. Vrstevnaté chyby mohou být detekovány a charakterizovány pomocí RTG topografie. [4]

Objemové defekty v krystalu narušují periodicitu mřížky ve všech třech směrech do vzdálenosti mnoha atomů a jsou největšími nedokonalostmi v krystalech. Jedná se o další fáze v krystalu, které se liší od hlavní části krystalu (matrice) orientací, krystalovou strukturou nebo složením. Část krystalu, která se od matrice liší orientací se, nazývá zrno. Zrna vznikají v krystalu, jestliže jeho růst začíná na spontánně vzniklých zárodcích nebo přímo

na polykrystalických zárodcích. Pokud jsou odchylky orientace jednotlivých zrn menší než 1° , je krystal označován jako monokrystal s mozaikovou strukturou. Při větších odchylkách hovoříme o polykrystalu. [4]

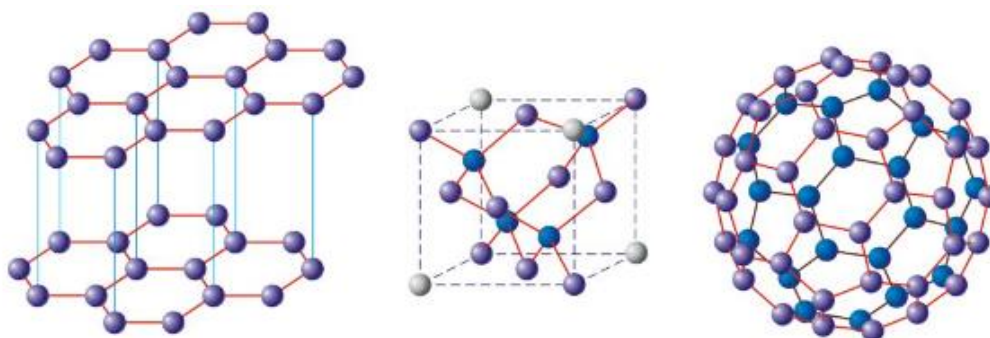
Situace, kdy část krystalu se od matrice liší strukturou, může nastat u polymorfních materiálů, které existují ve více modifikacích, a pak při vzniku inkluzí a precipitátů. Inkluze a precipitáty se ale navíc liší od matrice i složením. Inkluze vznikají při růstu krystalů z roztoku a obsahují matečný roztok nebo vysrážené nečistoty. Precipitáty vznikají buď při růstu z taveniny vysrážením nečistot a dopantů na růstovém rozhraní nebo při tepelném zpracování při zvýšené teplotě. V pevném roztoku vznikají precipitáty, jestliže dojde k přesycení a vysrážení rozpuštěné složky. Precipitáty zanášejí pnutí do krystalu a mohou zvyšovat křehkost materiálu. Vznikají jak uvnitř zrn, tak na jejich hranicích. Inkluze a precipitáty větší než $1\text{ }\mu\text{m}$ se snadno detekují vizuálně, optickými metodami a RTG topografií. [4]

2.5 Izomorfie a polymorfie

Některé látky, které tvoří krystaly stejného typu, se mohou navzájem ve svých krystalických strukturách zastupovat. Projeví se to tak, že při krystalizaci z roztoků obsahujících obě látky dostaneme směsné krystaly, které obsahují obě látky. Tomuto jevu říkáme **izomorfie**. Aby látky mohly být izomorfní, musí být odvozeny od stejného typu mřížky, musí mít stejný charakter vazby a objemy částic, které se mají v krystalové struktuře zastupovat, si musí být blízké. Ze známých dvojic izomorfních látek lze uvést $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 a CaCO_3 , KClO_4 a KBF_4 a další. Nutnost blízkých objemů je možno dokumentovat na tomto příkladu: dvojice sloučenin LiCl a NaCl a dvojice NaCl a KCl jsou izomorfní, ale LiCl a KCl již izomorfní nejsou, neboť rozdíl jejich objemů je již příliš velký. [17]

Některé látky stejného složení mohou podle vnějších podmínek existovat v několika krystalických modifikacích. U sloučenin říkáme tomuto jevu **polymorfie**, u prvků mluvíme o alotropii. Příkladem polymorfie jsou uhličitán vápenatý krystalizující jako šesterečný kalcit nebo kosočtverečný aragonit, dále oxid křemičitý, známý jako klencový nebo šesterečný křemen, kosočtverečný či šesterečný tridymit a krychlový cristobalit, a dále oxid titaničitý krystalizující jako čtverečný rutil, čtverečný (ale s jiným poměrem os) anatas a kosočtverečný brookit. [17]

Asi nejznámějším příkladem alotropie je uhlík, který krystalizuje jako krychlový diamant nebo jako šesterečný grafit, které zobrazuje Obrázek 13. Uhlík ale tvoří i další alotropické modifikace, například grafen, fullereny a uhlíkové nanotrubičky. [17]



Obrázek 13 Alotropické modifikace uhlíku – zleva grafit, diamant, fulleren [29]

Dále lze uvést například jednoklonnou a kosočtverečnou síru nebo červený, bílý, fialový a černý fosfor. Jednoklonná síra je za normálního tlaku stálá při teplotách vyšších než 95,6 °C; při nižších teplotách je naopak stálá její kosočtverečná modifikace. Přeměna mezi těmito modifikacemi síry může probíhat v obojím směru. Tento přechod se nazývá enantiotropie. Některé přeměny probíhají jen jedním směrem; říkáme jim monotropické. Příkladem může být přechod krychlového bílého fosforu na šesterečný fosfor červený. [17]

2.6 Nobelovy ceny spjaté s krystalografií

Za objevy spojené s krystalografií bylo uděleno několik Nobelových cen. Nobelova cena je udělována každoročně od roku 1901 na základě poslední vůle švédského vědce a průmyslníka Alfreda Nobela, a to za zásadní vědecký výzkum, technický objev nebo přínos lidské společnosti. Nobelovu cenu za fyziku získal v roce 1914 Max von Laue za objev rentgenového záření s krystalickými látkami. O rok později (1915) byli laureáty ceny William Henry Bragg a William Lawrence Bragg za popis první krystalové struktury. [30]

Za vyřešení krystalové struktury hemoglobinu byla v roce 1962 udělena Nobelova cena za chemii Johnovi Kendrewovi a Maxi Perutzovi. O dva roky později (1964) obdržela cenu i Dorothy Crowfootová Hodgkinová za vyřešení krystalové struktury vitamínu B₁₂. Nobelovu cenu za chemii získali v roce 1985 i Herbert Hauptman a Jerome Karle za rozvoj přímých metod řešení krystalových struktur. V neposlední řadě je třeba zmínit i vyřešení krystalové struktury DNA. Za tento objev získali Nobelovu cenu za fyziologii a medicínu Maurice Wilkins, Francis Crick a James Dewey Watson. [30]

3. Význam krystalizace ve výuce

Výuka krystalizace má pro žáky zásadní význam z několika různých důvodů. Především napomáhá k hlubšímu porozumění rozmanitých přírodních procesů, jako je vznik minerálů či formování sněhu a ledu. Žáci se seznámí s průmyslovým využitím krystalizace a s jejím praktickým významem při chemických procesech. Krystalizace rovněž představuje ideální východisko pro rozvoj vědeckého myšlení žáků, neboť poskytuje bohatý prostor pro experimentální činnost, která rozvíjí jejich pozorovací a analytické schopnosti. S tímto aspektem úzce souvisí i zlepšování praktických laboratorních dovedností a ukotvení si zásad správné a bezpečné práce v laboratorním prostředí. V neposlední řadě je nezbytné zdůraznit i význam mezioborového propojení, neboť učivo krystalizace propojuje chemii, fyziku, geologii i biologii a podporuje tak komplexní pohled žáků na svět.

3.1 Analýza výukových materiálů

Mezi výukové materiály, ve kterých se můžeme setkat s krystalizací, můžeme zařadit například kurikulární dokumenty nebo učebnice chemie, případně učebnice dalších přírodovědných předmětů jako je fyzika nebo biologie. V České republice je systém kurikulárních dokumentů strukturován do dvou základních úrovní – státní a školní. Na státní úrovni se jedná o Strategii vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+ [31] a především pak o rámcové vzdělávací programy (RVP) [32] pro jednotlivé stupně a typy vzdělávání. Školní úroveň kurikulárních dokumentů je reprezentována školními vzdělávacími programy (ŠVP), které konkretizují vzdělávací obsah a strategie na úrovni jednotlivých škol. Každá škola si ŠVP vytváří autonomně v souladu s principy a cíli stanovenými v příslušném RVP. [32]

Na učebnice chemie lze nahlížet z mnoha různých pohledů, například zda se jedná o učebnici pro základní školy či nižší ročníky víceletých gymnázií, anebo učebnici pro střední školy (gymnázia, odborné chemické školy atd.). Mnoho učebnic, především středoškolských, se dále zabývá výhradně některou z užších oblastí chemie – obecnou chemií, anorganickou chemií, organickou chemií, biochemií apod. V poslední době také vznikají učebnice, které již nejsou pouze tištěné, ale žáci do jejich interaktivních digitálních rozhraní mají přístup skrze své chytré telefony a tablety, případně počítače.

3.1.1 Analýza českých kurikulárních dokumentů

Vláda ČR svým usnesením ze dne 19. 10. 2020 schválila Strategii vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+, klíčový dokument pro rozvoj vzdělávací soustavy v dekadě

2020–2030+. Cílem je modernizovat vzdělávací systém v oblasti regionálního školství, zájmového a neformálního vzdělávání a celoživotního učení, připravit ho na nové výzvy a zároveň řešit problémy, které v českém školství přetrvávají. Během tohoto období dojde k revizím RVP. [31]

Rámcové vzdělávací programy (RVP) tvoří obecně závazný rámec pro tvorbu školních vzdělávacích programů škol všech oborů vzdělání v předškolním, základním, základním uměleckém, jazykovém a středním vzdělávání. Do vzdělávání v České republice byly zavedeny zákonem č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon).

Pomocí RVP jsou stanovovány konkrétní cíle, formy, délka a povinný obsah vzdělávání, jeho organizační uspořádání, profesní profil, podmínky průběhu a ukončování vzdělávání, podmínky pro vzdělávání žáků se speciálními vzdělávacími potřebami, materiální, personální a organizační podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví. RVP je vydáváno ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy po konzultaci s příslušnými ministerstvy, odborníky a psychology. Musí odpovídat nejaktuálnějším poznatkům z vyučovaných vědních disciplín, pedagogiky a psychologie. [32]

V rámci aktuálně platného **RVP pro základní vzdělávání (RVP ZV)** lze krystalizaci zařadit do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Do této oblasti patří vzdělávací obory Chemie, Přírodopis, Zeměpis a Fyzika. V oboru Chemie je krystalizaci možno zařadit do tematického okruhu Směsi, ve kterém učivo směsi obsahuje následující pojmy – Různorodé, stejnorodé roztoky; hmotnostní zlomek a koncentrace roztoku; koncentrovanější, zředěnější, nasycený a nenasycený roztok; vliv teploty, míchání a plošného obsahu pevné složky na rychlost jejího rozpouštění do roztoku; oddělování složek směsí (usazování, filtrace, destilace, krystalizace, sublimace). [33]

Konkrétními výstupy týkající se krystalizace pak jsou: *žák CH-9-2-02 vypočítá složení roztoků, připraví prakticky roztok daného složení; CH-9-2-03 vysvětlí základní faktory ovlivňující rozpouštění pevných látek; CH-9-2-04 navrhne postupy a prakticky provede oddělování složek směsí o známém složení; uvede příklady oddělování složek v praxi* [33].

V oboru Přírodopis lze základy krystalizace zařadit do tematického okruhu Neživá příroda, ve které se nachází učivo Nerosty a horniny – vznik, vlastnosti, kvalitativní třídění, praktický význam a využití zástupců, určování jejich vzorků. V případě oboru Fyzika se lze s krystalizací,

respektive krystaly, setkat v rámci tematického okruhu Látky a tělesa, učivo Skupenství látek – souvislost skupenství látek s jejich částicovou stavbou; difuze. [33]

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) v prosinci roku 2024 schválilo revidované Rámcové vzdělávací programy (RVP) pro předškolní vzdělávání (RVP PV) a základní vzdělávání (RVP ZV). Tyto klíčové dokumenty představují významný krok k modernizaci českého vzdělávacího systému, který reflektuje potřeby současné společnosti a naplňuje cíle Strategie vzdělávací politiky ČR do roku 2030+. Dokumenty byly veřejnosti představeny na tiskové konferenci 14. ledna 2025; harmonogram zavádění revidovaného RVP ZV počítá s jeho povinným zavedením pro 1. a 6. ročník od září 2027. [32]

V Rámcovém vzdělávací programu pro gymnázia (RVP G) krystalizaci opět řadíme do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Vzdělávací oblast Člověk a příroda je členěna na vzdělávací obory Fyzika, Chemie, Biologie, Geografie a Geologie. [34]

Krystalizaci nalezneme v oboru Geologie, konkrétně u tematického okruhu Složení, struktura a vývoj Země; učivo Minerály – jejich vznik a ložiska; krystaly a jejich vnitřní stavba; fyzikální a chemické vlastnosti minerálů – a u tematického okruhu Geologické procesy v litosféře; učivo Magmatický proces – vznik magmatu a jeho tuhnutí; krystalizace minerálů z magmatu.

Dále se lze s krystalizací a krystaly setkat v oboru Fyzika, a to v tematickém okruhu Stavba a vlastnosti látek s očekávaným výstupem *žák objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou*, a také v oboru Chemie v tematickém okruhu Obecná chemie, učivo Soustavy látek a jejich složení, chemická vazba a vlastnosti látek a veličiny a výpočty v chemii. V tomto případě je očekávaný výstup *žák využívá odbornou terminologii při popisu látek a vysvětlování chemických dějů, žák využívá znalosti o částicové struktuře látek a chemických vazbách k předvídání některých fyzikálně-chemických vlastností látek a jejich chování v chemických reakcích* a také *žák provádí chemické výpočty a uplatňuje je při řešení praktických problémů* [34].

V případě odborného chemického středoškolského vzdělávání lze uvést Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání Chemik operátor a také Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání Aplikovaná chemie. V **Rámcovém vzdělávacím programu pro obor vzdělání Chemik operátor** je téma krystalizace zahrnuto ve vzdělávacích oblastech Přírodovědné vzdělávání a Odborné vzdělávání. S ohledem na diferencované nároky jednotlivých oborů vzdělání na přírodovědné vzdělávání byly zpracovány jejich různé varianty – např. chemické

vzdělávání je vypracováno ve dvou variantách. Varianta A je určena pro obory s vyššími nároky na chemické vzdělávání, varianta B pro obory s nižšími nároky. [34]

Krystalizaci a obecně krystalické látky lze zařadit do fyzikálního vzdělávání – varianta A, učivo Molekulová fyzika a termika, konkrétně částicová stavba látek, vlastnosti látek z hlediska molekulové fyziky a struktura pevných látek, deformace pevných látek, kapilární jevy; varianty B a C, učivo Struktura pevných látek a kapalin, přeměny skupenství látek. V chemickém vzdělávání (varianta A) lze uvést učivo Obecná chemie: chemická vazba, směsi homogenní, heterogenní, roztoky a jednoduché výpočty v chemii – z chemických vzorců, chemických rovnic a složení roztoků. Varianta B chemické vzdělávání obsahuje učivo Obecná chemie – chemická vazba, směsi a roztoky a výpočty v chemii. [33]

Ve vzdělávací oblasti Odborné vzdělávání, obsahový okruh Odborná chemie, se krystalizace dotýká učiva Obecná, anorganická a organická chemie, konkrétně čisticí a dělicí operace; preparace chemických látek; stechiometrické a základní bilanční výpočty. Vzdělávací oblast Odborné vzdělávání obsahový okruh Technika a technologie chemických výrob poskytuje prostor pro krystalizaci především v učivu Technologie chemických výrob – chemické výroby; technologické operace a technologie využívané v daném odvětví. [35]

Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání Aplikovaná chemie je koncipován obdobně jako výše zmíněné RVP pro obor vzdělání Chemik operátor a s krystalizací se lze setkat opět ve vzdělávacích oblastech Přírodovědné vzdělávání (totožné) a Odborné vzdělávání, které je rozšířené a rozčleněné na společné odborné obsahové okruhy a na profilující odborné obsahové okruhy. [36]

Ve společném odborném obsahovém okruhu Odborná chemie se s krystalizací setkáváme u učiva Obecná chemie (rozšíření a prohloubení teoretického učiva chemie; stechiometrické a základní bilanční výpočty), učiva Fyzikální chemie (skupenské stavy hmoty) a u učiva Chemická laboratorní cvičení (čisticí a dělicí operace; preparace chemických látek). Dále se s ní můžeme setkat ve společném odborném vzdělávacím okruhu Technologické procesy, učivo Technologie chemických výrob – struktura chemických výrob; technologické operace a technologie. [36]

V případě profilujících odborných obsahových okruhů lze pro jejich spojení s krystalizací zmínit obsahový okruh Farmaceutické substance s učivem Technologie výroby farmaceutických substancí, konkrétně systém řízení jakosti farmaceutických výrob; správná výrobní praxe; syntéza základních léčiv a pomocných látek. [36]

Školní vzdělávací programy (ŠVP) jsou kurikulární dokumenty, podle nichž se realizuje vzdělávání na jedné konkrétní škole. Každá škola si podle specifikací rámcových vzdělávacích programů vytváří vlastní školní vzdělávací programy, což zvyšuje jejich autonomii a uplatňuje potenciál každé jednotlivé školy. Vydává ho ředitel školy a musí být veřejně dostupný tak, aby bylo možné do něj volně nahlédnout, např. zveřejněním na webových stránkách školy.

Příkladem ŠVP, který vychází z RVP ZV je **ŠVP Základní školy Olomouc, Stupkova 16**. V tomto školním vzdělávacím programu je téma krystalizace (případně krystalů) zahrnuto v předmětu Fyzika (6. ročník), konkrétně v rámci učiva Stavba látek a skupenství látek, atom, molekula, difuze, Brownův pohyb; dále v předmětu Chemie (8. ročník) u učiva Směsi – různorodé, stejnorodé roztoky; Roztoky – nasycený, nenasycený, koncentrovanější, zředěnější; Výpočet hmotnostního zlomku a koncentrace roztoku a Oddělování složek směsí – usazování, filtrace, destilace, krystalizace, sublimace. Také se lze s těmito pojmy setkat v předmětu Přírodopis, konkrétně v 9. ročníku u učiva Horniny a nerosty – složky neživé přírody. [37]

Školní vzdělávací program Gymnázia Olomouc-Hejčín, Tomkova 45, určený pro 4leté studium (tzv. vyšší gymnázium) je zpracován na základě RVP G. Krystalizace, případně krystaly, se v něm vyskytují v předmětu Fyzika (1. ročník) v tématu Stavba a vlastnosti látek – učivo Modely látek v různých skupenstvích – a také v předmětu Chemie (1. ročník) u tématu Úvod do studia s učivem Soustavy látek a jejich složení a separační metody, u tématu Prvky a sloučeniny s učivem Veličiny a výpočty v chemii, u tématu Chemická vazba s učivem Chemická vazba a vlastnosti látek a kovalentní, polární a iontová vazba a u tématu Vodík, kyslík, vzduch, voda s učivem Roztoky, hmotnostní zlomek a látková koncentrace. Součástí tohoto předmětu je laboratorní cvičení, které disponuje časovou dotací 1 hodina týdně, respektive přesněji 2 hodiny jednou za 2 týdny, a to pouze ve 2. ročníku. S krystalizací se lze dále setkat v předmětu Zeměpis, v 1. ročníku, který se věnuje tématu Přírodní prostředí s učivem Litosféra, vulkanismus a horniny a jejich klasifikace. [38]

V případě střední odborné školy je analyzován **ŠVP Střední školy logistiky a chemie, Olomouc, U Hradiska 29, obor vzdělání Aplikovaná chemie (zaměření Analytická chemie/Farmaceutické substance)**, který je vytvořen podle RVP pro obor vzdělání Aplikovaná chemie. Tématem krystalizace se mj. zabývá předmět Chemie, který je základním odborným předmětem, zároveň patří do okruhu chemického vzdělání všeobecně vzdělávacích přírodovědných předmětů. Analyzované téma se nachází při učivu Základní pojmy – směsi homogenní a heterogenní, roztoky, dělení směsí a hmotnostní zlomek, při učivu Chemická vazba – definice chemické vazby a její vznik, typy chemických vazeb z hlediska polarity

a násobnosti a kovová vazba a dále při učivu Skupenské stavy hmoty – tuhé látky, krystalické, amorfni. Dále se jím zabývá předmět Laboratorní cvičení, který vychází ze společného obsahového okruhu Odborná chemie a který je vyučován v prvním ročníku v rozsahu 4 hodiny/týden a v druhém ročníku 3 hodiny/týden. Krystalizace lze zařadit do učiva Roztoky – příprava roztoků zadané koncentrace a vyjadřování složení roztoků; do učiva Základní dělicí a čistící operace – krystalizace a do učiva Separační metody – přehled separačních metod, krystalizace. [39]

S krystalizací se lze také setkat v předmětu Analytická chemie, který vychází z profilujícího odborného obsahu Analytická chemie, a to konkrétně u učiva Kvantitativní rozbor – odměrné roztoky, jejich koncentrace; u učiva Výpočty – směšovací rovnice a ředění a zahušťování roztoků a u učiva Separační metody – základní pojmy a rozdělení. Velmi podobné učivo týkající se krystalizace se nalézá taktéž v předmětu Moderní analytické metody (Výpočty – směšovací rovnice, ředění roztoků; Separační metody). V neposlední řadě se krystalizace nachází v předmětu Chemickotechnologické procesy. Tento předmět vychází ze společného obsahového okruhu Technologické procesy a z analyzovaného hlediska je zajímavé učivo Difúzní operace, konkrétně Krystalizace – základní pojmy, rozpustnost, křivka rozpustnosti, grafické znázornění průběhu krystalizace a výpočty. [39]

3.1.2 Analýza vybraných učebnic chemie

Učebnice je *druh knižní publikace uzpůsobené k didaktické komunikaci svým obsahem i strukturou, která má řadu typů, z nichž nejrozšířenější je školní učebnice. Ta funguje: 1. jako prvek kurikula, tj. prezentuje výsek plánovaného obsahu vzdělávání; 2. jako didaktický prostředek, tj. je informačním zdrojem pro žáky a učitele, řídí a stimuluje učení žáků* [40].

Učebnice mají velmi dlouhou historii. Za průkopníka tvorby učebnic je považován český pedagog, teolog a filozof Jan Ámos Komenský, který mimo jiné napsal dílo Orbis Pictus do češtiny překládané jako Svět v obrazech. [41] Tato kniha byla poprvé vydána v roce 1658. Kniha je rozdělena do tematických kapitol a obsahuje velké množství ilustrací.

Učebnice v současném vzdělávacím kontextu plní komplexní soubor funkcí. V době snadné dostupnosti rozsáhlých informačních zdrojů, avšak současně i narůstajícího výskytu dezinformací, se jako klíčová jeví funkce zprostředkování validních a vědecky aktuálních poznatků. Další významnou roli hraje funkce motivační, která podněcuje zájem žáků o další studium. V neposlední řadě je nezbytné zmínit i další didaktické funkce učebnic, a to funkci sebehodnotící, transformační, zpevňovací a kontrolní, integrační a rozvojově výchovnou. [42]

V současné době se do popředí dostávají online učebnice nebo učebnice, které obsahují interaktivní edukační prvky (například hypertextové odkazy na audiovizuální materiály nebo interaktivní cvičení).

V rámci této práce byla provedena analýza vybraných učebnic chemie zaměřená na téma krystalizace. Výzkumný vzorek tvořilo 7 novějších učebnic – 3 české učebnice pro ZŠ, 3 české učebnice pro střední vzdělávání – gymnaziální typ studia a 1 zahraniční středoškolská učebnice. Konkrétně byly vybrány následující učebnice:

- ČAPEK ADAMEC, Martin. *Chemie I Obecná a anorganická chemie: pro gymnázia*. Praha: Eduko nakladatelství, 2024. ISBN 978-80-88473-35-0.
- ŠVANDOVÁ, Veronika; ŠÁFROVÁ, Alena; ŽABOVÁ, Iveta a KOSTURA, Bruno. *Obecná chemie I*. Praha: Taktik, 2023. ISBN 978-80-7563-590-7.
- OBRÁTIL, Vilém a SÁBLÍK, Leoš. *Chemie pro spolužáky Obecná chemie II*. Praha: ProSpolužáky.cz, 2018. ISBN 978-80-88255-34-5.
- BUDÍNSKÁ, Gabriela; ŠTIKOVCOVÁ, Květoslava; JELÍNKOVÁ, Lucie a JANDOVÁ, Jana. *Hravá chemie 8: učebnice pro 8. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik, 2019. ISBN 978-80-7563-208-1.
- ŠKODA, Jiří a DOULÍK, Pavel. *Chemie 8 nová generace*. Nakladatelství Fraus, 2018. ISBN 978-80-7489-396-4.
- MACH, Josef; PLUCKOVÁ, Irena a ŠIBOR, Jiří. *Chemie 8: úvod do obecné a anorganické chemie: učebnice vytvořená v souladu s RVP ZV*. Šesté aktualizované vydání. Duhová řada. Brno: Nová škola, 2017. ISBN 978-80-7289-922-7.
- BUTHELEZI, Thandi; DINGRANDO, Laurel; HAINEN, Nicholas; WISTROM, Cheryl a ZIKE, Dinah. *Chemistry: Matter and Change*. Teacher edition. Columbus, OH: McGraw-Hill Education, [2017]. ISBN 978-0-07-677461-6.

Učivo krystalizace je v učebnicích primárně zmiňováno v rámci tématu Směsi – separační metody. S krystalizací dále souvisí téma chemických výpočtů zaměřených na přípravu roztoků, například hmotnostní zlomek nebo molární koncentrace; v analýze tedy bylo zohledněno také téma výpočtů. Pro potřeby kvantitativního hodnocení této analýzy byla vytvořena nová hodnotící tabulka (viz Tabulka 3). Tato tabulka byla vytvořena modifikací již uveřejněné hodnotící tabulky [42] a obsahuje hodnotící oblasti a kritéria s příslušným maximálním bodovým ohodnocením. Jednotlivé hodnotící oblasti (obsahová adekvátnost, kompozice,

aplikace a sebereflexe) jsou dále rozčleněny na detailněji specifikovaná hodnotící kritéria a vždy jsou v rámci analýzy uplatňovány výhradně na výše zmíněná témata krystalizace. [42]

Hodnotící oblast Obsahová adekvátnost (max. 9 bodů) obsahuje kritérium Shoda s kurikulárními dokumenty, ve kterém je analyzována shoda učiva prezentovaného v učebnici s učivem stanoveným v RVP ZV (pro učebnice pro ZŠ) nebo v RVP G (pro středoškolské učebnice), viz kapitola 3.1.1 Analýza českých kurikulárních dokumentů. Tato oblast dále obsahuje kritérium Přiměřená náročnost pro cílovou skupinu ZŠ/SŠ, ve které je posuzována především hloubka a srozumitelnost podání daného učiva, jež by měla odpovídat úrovni kognitivních procesů žáků ZŠ, případně SŠ (gymnázia). V neposlední řadě obsahuje také hodnotící kritérium Odborná správnost, ve které je posuzována odborná správnost, přesnost a nezkreslenost použitých pojmů a tvrzení. [42]

Do hodnotící oblasti Kompozice (max. 6 bodů) jsou zařazena kritéria Jazykový kód a Mikrokompozice. Vzhledem k tomu, že učebnice spadají do odborného funkčního stylu, je v kritériu Jazykový kód analyzována úroveň odborného jazyka, a to z hlediska funkčnosti odborných termínů (zda je zajištěna dostatečná explikace pojmů) a z hlediska vhodného užití jazykových prostředků (aplikace spisovné češtiny a slov neutrálního citového zabarvení). Současně je pozornost věnována i výskytu gramatických a stylistických nedostatků. Hodnotící kritérium Mikrokompozice se zabývá vhodnou stavbou konkrétního textu a jeho celkovou přehledností – text je vnímán jako vizuální plocha, kterou lze členit horizontálně (kapitoly, podkapitoly, odstavce, přílohy) a vertikálně (typ a velikost písma, grafické prvky, odsazení, poznámkový aparát, odkazy, grafy, tabulky, ilustrace). [43]

Dalším hodnotící oblastí je Aplikace (max. 6 bodů) s kritérii Experimenty a Propojení s běžným životem. V případě kritéria Experimenty je posuzována nabídka navržených praktických experimentů (žákovských či badatelsky orientovaných), zatímco kritérium Propojení s běžným životem pak akcentuje spojitost krystalizace s běžnými procesy v přírodě či možnosti jejího praktického využití.

Poslední hodnotící oblast Sebereflexe (max. 4 body) je zaměřena na kritéria Podněty k aktivizaci a reflexi učiva a Poskytování zpětné vazby. První zmíněné kritérium analyzuje přítomnost otázek, úkolů a příkladů v učebnici, které umožňují žákům hlubší porozumění a procvičení dané problematiky. Kritérium Poskytování zpětné vazby posuzuje, zda učebnice obsahuje řešení těchto otázek a úkolů. U každého kritéria je možné udělit maximálně 3 body,

s výjimkou kritéria Poskytování zpětné vazby, kde je maximální počet bodů 1. Celkově tedy může být jedné učebnici přiděleno maximálně 25 bodů. [42]

Tabulka 3 Hodnotící kritéria pro analýzu učebnic chemie a maximální bodové ohodnocení

Hodnotící kritérium		Maximální počet bodů	
Obsahová adekvátnost	Shoda s kurikulárními dokumenty	3	9
	Přiměřená náročnost pro cílovou skupinu ZŠ/SŠ	3	
	Odborná správnost	3	
Kompozice	Jazykový kód	3	6
	Mikrokompozice	3	
Aplikace	Experimenty	3	6
	Propojení s běžným životem	3	
Sebereflexe	Podněty k aktivizaci a reflexi učiva	3	4
	Poskytování zpětné vazby	1	

Učebnice **Hravá chemie 8** [44] určená pro výuku chemie v 8. ročníku základního vzdělávání a na víceletých gymnáziích, dosáhla v provedené didaktické analýze maximálního možného hodnocení 25 bodů. V rámci všech stanovených hodnoticích kritérií bylo dosaženo nejvyššího bodového zisku – v této učebnici se pro téma krystalizace nenacházely výraznější didaktické nedostatky nebo odborné nepřesnosti.

Další analyzovanou učebnicí pro základní školy a víceletá gymnázia byla **Chemie 8 nová generace** [45], která získala 21 bodů. V případě hodnoticích kritérií Shoda s RVP ZV a Přiměřená náročnost pro cílovou skupinu ZŠ byly shodně uděleny 2 body. Toto snížení bodového hodnocení je způsobeno absencí, anebo nedostatečným zdůrazněním klíčových pojmů, jako je hmotnostní zlomek a klasifikace roztoků na nasycené a nenasycené. Zároveň bylo zjištěno, že vysvětlení samotného principu krystalizace je značně stručné: „*Krystalizace slouží k oddělení pevné složky (rozpuštěné látky) z roztoku. Vznikají při ní krystaly této látky.*“ Učební text tak postrádá explicitní objasnění principu metody a jejího případného členění. Hodnotící kritérium Mikrokompozice textu bylo ohodnoceno pouze 1 bodem v důsledku relativně nízké přehlednosti učebního textu (variabilita a občasné snížené čitelnost písma, nadměrné množství ilustračního materiálu a vedlejších textů) a také kvůli informačně málo vypovídajícím názvům kapitol (např. „Jak vznikají červánky?“). Nižší počet bodů byl dále udělen i pro kritérium Podněty k aktivizaci a reflexi učiva z důvodu menšího množství otázek i úkolů, a především z důvodu téměř chybějících příkladů na procvičení výpočtů týkajících se

složení roztoků. S tímto zjištěním koreluje i nulové bodové hodnocení v kritériu Poskytování zpětné vazby, neboť učebnice neobsahuje řešení k zadaným úkolům a otázkám.

Třetí analyzovaná učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia **Chemie 8: úvod do obecné a anorganické chemie** [46] získala v hodnocení 24 bodů. Jednobodová ztráta nastala u hodnoticího kritéria Mikrokompozice textu. Při celkovém posouzení vizuální stránky učebního textu lze konstatovat mírnou nepřehlednost, způsobenou především použitými typy písma a nedostatečným využitím barevného odlišení textu či textových rámečků. Souhrnné bodové hodnocení pro všechny tři učebnice chemie pro základní školy a víceletá gymnázia uvádí Tabulka 4.

Tabulka 4 Bodové ohodnocení vybraných učebnic chemie pro ZŠ

Hodnotící kritérium \ Učebnice		Budínská 2019	Škoda 2018	Mach 2017
Obsah	Shoda s RVP ZV	3	2	3
	Přiměřená náročnost pro cíl. sk. ZŠ	3	2	3
	Odborná správnost	3	3	3
Kompozice	Jazykový kód	3	3	3
	Mikrokompozice	3	1	2
Praxe	Experimenty	3	3	3
	Propojení s běžným životem	3	3	3
Sebereflexe	Podněty k aktivizaci a reflexi učiva	3	2	3
	Poskytování zpětné vazby	1	0	1
Celkový počet bodů		25	19	24

Učebnice pro gymnázia **Chemie 1 Obecná a anorganická chemie** [47], určená pro výuku na gymnáziích, dosáhla v celkovém hodnocení 22 bodů. V rámci hodnoticího kritéria Odborná správnost byly uděleny pouze 2 body, a to především kvůli následujícímu textu: „*Krystalizace je také metoda založená na rozdílné rozpustnosti, tentokrát však v závislosti na teplotě. Při ochlazení horkého koncentrovaného roztoku klesne rozpustnost a látka se vyloučí ve formě krystalů.*“ Autor se v tomto výkladu omezuje pouze na jeden typ krystalizace (ochlazováním) a zcela opomíjí další druhy krystalizace, např. krystalizaci vyvolanou změnou složení rozpouštědla nebo krystalizaci volným odpařováním rozpouštědla, které jsou založeny na odlišném principu než míněná krystalizace volným ochlazením nebo rušená krystalizace (závislost na teplotě); tyto dva druhy krystalizace přesto nejsou v textu vysloveně zmíněny. Dále byly uděleny pouze dva body v hodnotícím kritériu Mikrokompozice textu. Přestože je volba a řazení kapitol adekvátní, samotný učební text v rámci těchto celků vykazuje nižší úroveň přehlednosti (nevýrazné nadpisy, neoptimálně umístěné ilustrace a schémata, nadměrné

množství doplňkových textových rámečků). Dále byly učebnice uděleny pouze 2 body v kritériu Experimenty, neboť učebnice neobsahuje žádný návrh praktického experimentu, který by se přímo vztahoval k tématu krystalizace. Nicméně je potřeba zmínit, že instrukce pro konkrétní experimenty jsou uvedeny alespoň u učiva přípravy roztoků, které s problematikou krystalizace úzce souvisí.

Učebnice pro 1. ročník gymnázií **Obecná chemie 1** [48] získala v provedené didaktické analýze 23 z maximálních 25 bodů. V kritériu Přiměřená náročnost pro cílovou skupinu SŠ bylo uděleno o jeden bod méně, neboť didaktická transpozice učiva krystalizace by na úrovni středního vzdělávání vyžadovala komplexnější a detailnější zpracování. Stejně jako u předchozí analyzované učebnice, i zde získala učebnice pouze 2 body v kritériu Experimenty (ze stejných důvodů jako předchozí učebnice).

Poslední analyzovaná česká středoškolská učebnice **Chemie pro spolužáky Obecná chemie II.** [49] dosáhla celkového hodnocení 23 bodů. V kritériu Jazykový kód získala pouze 2 body. V učebním textu se opakovaně vyskytuje slovo „*krystalky*“, což představuje citově zabarvenou zdobnělinu, která není vhodná pro odborný text. Vzhledem k tomu, že se učebnice prezentuje jako dílo studentů, pravděpodobně z tohoto důvodu využívá méně odborného a méně formálního jazykového kódu („*No ne?*“, „*Není v roztoku nijak vidět.*“ atd.). Obdobně jako v obou předchozích učebnicích je kritérium Experimenty ohodnoceno pouze dvěma body. Udělené body za jednotlivá kritéria pro všechny tři české středoškolské učebnice přehledně uvádí Tabulka 5.

Tabulka 5 Bodové ohodnocení vybraných učebnic chemie pro SŠ

Hodnotící kritérium \ Učebnice		Čapek 2024	Švandová 2023	Obrátil 2018
Obsah	Shoda s RVP G	3	3	3
	Přiměřená náročnost pro cíl. sk. SŠ	3	2	3
	Odborná správnost	2	3	3
Kompozice	Jazykový kód	3	3	2
	Mikrokompozice	2	3	3
Praxe	Experimenty	2	2	2
	Propojení s běžným životem	3	3	3
Sebereflexe	Podněty k aktivizaci a reflexi učiva	3	3	3
	Poskytování zpětné vazby	1	1	1
Celkový počet bodů		22	23	23

Do analýzy učebnic chemie byla pro porovnání také zařazena jedna zahraniční (USA) středoškolská učebnice, konkrétně učebnice **Chemistry Matter and Change** [50], a to v praktickém vydání určeném pro učitele. Toto specifické vydání obsahuje na okrajích stran totožného učebního textu pro žáky doplňující metodické poznámky pro pedagogy, zahrnující například řešení úloh a odpovědi na otázky, klíčové koncepty, instrukce k výuce a identifikaci potenciálních miskonceptů. Z toho důvodu, že se nejedná o českou učebnici, nebyla pro analýzu využita výše zmíněná hodnotící tabulka (např. kvůli kritériu Shoda s RVP G).

Téma krystalizace je v této učebnici zařazeno do tematického celku Směsi látek. Výklad učiva je strukturován od definice směsí (heterogenní/homogenní) a roztoků s jejich klasifikací, k následnému představení separačních metod (filtrace, destilace, krystalizace, sublimace, chromatografie). *Krystalizace je zde definována takto: „Krystalizace je separační technika, jejíž výsledkem je tvorba čistých pevných částic látky z roztoku obsahující rozpuštěnou látku. Pokud roztok obsahuje tolik rozpuštěné látky, kolik je možné pro to, aby ještě zůstal roztokem, přidávek i malého množství této látky často způsobí vyloučení látky z roztoku v podobě krystalů na dostupném povrchu.“* Učební text dále uvádí analogii tohoto procesu s odpařováním vody z roztoku, přičemž jako konkrétní příklad je zmíněno odpařování vody z roztoku cukru a vody za vzniku krystalů cukru na vlákne ponořeném do tohoto roztoku. Naopak explicitně není zmíněna možnost krystalizace založené na změně teploty nebo konkrétní aplikace krystalizace v praxi. [50]

V navazujících kapitolách se učebnice věnuje různým možnostem, jak vyjádřit množství rozpuštěné látky v roztoku (hmotnostní a objemový zlomek, molarita, molalita atd.), přičemž poskytuje detailní metodické postupy pro výpočty s těmito veličinami, a dále i další příklady. Učebnice se zabývá i procesem rozpouštění látek nebo základy krystalografie. [50]

3.2 Didaktické metody výuky krystalizace

Vyučovací neboli didaktické metody zahrnují jak činnost učitele, tak činnost žáka a lze je charakterizovat jako pomoc a rady učitele při osvojování vědomostí a dovedností žáků. Učitel musí být s těmito metodami dobře seznámen, aby ve vyučovacím procesu zvolil vhodnou metodu, vhodně je střídal nebo používal souběžně. [51]

Pro efektivní pochopení krystalizace žáky je didakticky vhodné integrovat různorodé metody výuky, které reflektují teoretické, praktické a názorné aspekty tohoto procesu. Mezi vhodné metodické přístupy patří například experimentální výuka, která může zahrnovat demonstrační a žákovské experimenty či badatelsky orientovanou výuku, dále výuka založená

na vícenásobném znázornění nebo projektová výuka. Žádoucí je rovněž cíleně rozvíjet mezipředmětové vztahy, v případě krystalizace především s fyzikou a biologií, čímž se podporuje komplexní porozumění učivu.

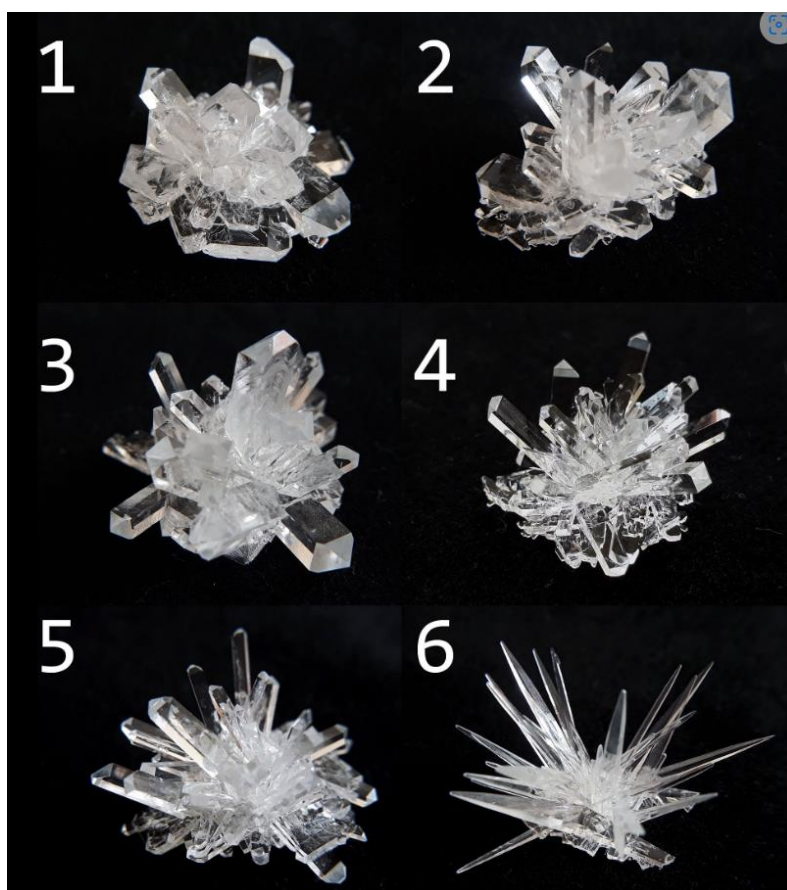
Nespornými výhodami experimentální výuky je její dobrá názornost, rozvoj manipulačních, pozorovacích, plánovacích a badatelských dovedností žáků a možné zvýšení motivace žáků ke studiu chemie. Chemické experimenty lze zařadit do dvou různých kategorií výukových metod: názorně demonstrační (demonstrační pokusy) a praktické (žakovské pokusy, práce s modely, pozorování pod mikroskopem). [51]

Za **demonstrační pokus** se považuje takový pokus, který provádí vybraná osoba (ostatní jej pouze pozorují). Ve výuce se jedná nejčastěji o učitele, v některých případech může demonstrační pokus předvést předem určený žák. Ten ale musí mít pokus dopředu vyzkoušen a musí být dodržena všechna bezpečnostní opatření. Zbytek žáků se do provedení nijak nezapojuje a pokus pouze pozoruje, jsou tedy pasivní. [51] Ilustrativním příkladem vhodného demonstračního experimentu je velmi rychlá krystalizace přesyceného roztoku octanu sodného (běžně označovaná jako horký led) iniciovaná pouhým mechanickým impulzem; tento experiment je nicméně realizovatelný i ve formě žakovského experimentu.

Při **žakovském pokusu** provádí praktickou činnost sami žáci, a to buď každý samostatně nebo ve dvojicích, popřípadě v malých skupinkách. Žáci jsou aktivní a zaujatí pro práci. Pro učitele je tento způsob výuky náročnější na přípravu pomůcek i potřebný čas, ale nabízí žákům osobní zkušenost pomocí jejich vlastní experimentální činnosti. Tato praktická činnost vede k hlubšímu porozumění probírané látky. Nevýhodou je zvyšující se riziko vzniku úrazu. Všechny žakovské pokusy musí splňovat bezpečnostní pravidla podle zákonů 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví, 356/2003 Sb. O chemických látkách a chemických přípravcích a 345/2005 Sb. (novela zákona 356/2003 Sb.). [51] Vhodným žakovským experimentem je krystalizace chloridu sodného na pipe cleaneru (modelovacím plyšovém drátku) nebo různých přírodních materiálech (šišky, větvičky). Žáci své krystaly mohou i pojmenovat a vzniknou tak umělecká díla, ze kterých může být v laboratoři uspořádána výstavka. Pro žáky starší 15 let lze využít také pokus využívající krystalizaci modré skalice, konkrétně krystalizaci rušenou a krystalizaci volným ochlazením. Následně mohou žáci porovnat vlastnosti a vzájemné rozdíly vzniklých krystalů.

Badatelsky orientovaná výuka (BOV) vychází z konceptu konstruktivismu a je organizovaná tak, aby při ní docházelo k rozvoji klíčových schopností žáka – bádát, řešit problémy a kriticky

myslet – na základě jeho samostatné aktivní činnosti. [52] Vhodným experimentem, který lze zpracovat do formy BOV je krystalizace dihydrogenfosforečnanu amonného, jehož výsledný tvar připraveného krystalu z nasyceného vodného roztoku lze ovlivnit přítomností příměsi (dodekahydrát síranu draselno-hlinitý). Výsledné tvary krystalů po 6 dnech růstu zobrazuje Obrázek 14. U připraveného krystalu s číslem 1 nebyla do roztoku 45 g dihydrogenfosforečnanu amonného ve 100 vody přidána žádná příměs; v případě krystalu s číslem 2 bylo do jinak totožného roztoku přidáno navíc 0,25 g dodekahydrátu síranu draselno-hlinitého a obdobně u krystalů s čísly 3/4/5 a 6 bylo do roztoků přidáno 0,5 g/0,75 g/1 g a 1,25 g příměsi. [53]



Obrázek 14 Krystaly dihydrogenfosforečnanu amonného s různým přidavkem příměsi [53]

Výuka založená na vícenásobném znázornění využívá pro znázornění jednoho tématu různých prostředků jako jsou texty, obrázky, diagramy, schémata, modely nebo reálné krystaly. Žák rozvíjí své reprezentační kompetence, což zahrnuje rozpoznávání, interpretaci, transformaci, propojování i vytváření různých reprezentací. [54] Konkrétním případem této metody výuky může být (současné) zobrazení obrázku krystalu, názorného 3D modelu a zároveň reálného připraveného krystalu jedné látky, případně krystalů stejného tvaru nebo krystalografické soustavy. Dalším příkladem je využití stavebnic nebo 3D modelů k vizualizaci

uspořádání atomů, iontů nebo molekul v krystalu, což žákům pomáhá pochopit koncept krystalové struktury a její vliv na vlastnosti látek.

Další výukovou metodou je **projektová výuka**, která využívá problémové přemýšlení zaměřené na problémy z běžného života. Žáci si ujasní cíl projektu, samostatně analyzují problém, odvozují a vypracovávají projektové úkoly a aktivity a propojují je s praxí. Nakonec své výsledky prezentují. [55] Vhodnými tématy pro projektovou výuku mohou být například témata propojená s průmyslovými praxí využívající krystalizaci (cukrovary, farmaceutické závody, výroby polovodičů apod.). S těmito průmyslovými podniky dále souvisí možnost využití exkurzí nebo alespoň dokumentárních filmů z tohoto prostředí.

PRAKTICKÁ ČÁST

4. Seznam použitých chemikálií

Pro praktickou část diplomové práce byly použity komerčně dostupné chemikálie a rozpouštědla; jejich seznam uvádí Tabulka 6. Látky byly použity bez dalších úprav nebo čištění.

Tabulka 6 Seznam chemikálií použitých v praktické části

Chemikálie	Čistota	CAS	Výrobce/dodavatel
dihydrogenfosforečnan amonný	99 %	7722-76-1	Lachema
dusičnan sodný	99 %	7631-99-4	Penta
fluorescein disodná sůl	-	518-47-8	CF Plus Chemicals
hexakyanidoželezitan draselný	99 %	13746-66-2	Lachema
chinin hemisulfát monohydrát	100 %	207671-44-1	Sigma-Aldrich
chlorid sodný	100 %	7647-14-5	Penta
luminol	97 %	521-31-3	Sigma-Aldrich
octan sodný trihydrát	99 %	6131-90-4	Penta
síran amonno-železnatý hexahydrát	99 %	7783-85-9	Lachema
síran amonný	99 %	7783-20-2	Penta
síran draselno-hlinitý dodekahydrát	98 %	7784-24-9	Thermo Scientific
síran draselno-chromitý dodekahydrát	98 %	7788-99-0	Thermo Scientific
síran hořečnatý heptahydrát	99 %	10034-99-8	Lachema
síran měďnatý pentahydrát	99 %	7758-99-8	Penta
síran železnatý heptahydrát	98 %	7782-63-0	Penta

5. Seznam použitých pomůcek

Pro praktickou část diplomové práce bylo použito toto laboratorní sklo a pomůcky: kádinky, odměrné válce, skleněné tyčinky, laboratorní stojan, nálevka, filtrační kruh, filtrační papír, laboratorní váhy, laboratorní lžička, elektrický vařič, magnetická míchačka, magnetické míchadlo, parafilm, špachtle, UV lampa.

Dále byly využity tyto pomůcky a zařízení: nůžky, špejle, rybářský vlasec, zavařovací sklenice, vteřinové lepidlo, bezbarvý lak, lak ve spreji, vaječná skořápka, pipe cleaner, (plyšový modelovací drátek), větvičky, kůra stromu, pryskyřice, tvrdidlo, silikonové formy na odlévání pryskyřice, svítící tyčinky Light Stick, lepidlo Herkules, potravinářské barvivo, mycí saponát, fotoaparát Canon 6D Mark II a objektivy Canon Image stabilizer ultrasonic 24-105 mm a Canon Macro Lens EF 100 mm, videokamera SONYFDR-AX700 a stativ, přenosné osvětlení TERRONIC basic hobby LED, černé a bílé jednolitě pozadí, lepící páska, šiška, šroubovací víčko od vialky, dřevěné podstavce, tavící pistole s náplní, 3D tiskárna, PLA, USB mikrofon, rotační displej.

6. Příprava reálných krystalů

U každé přípravy reálného krystalu jsou uvedeny zdroje, ze kterých byla čerpána inspirace pro přípravu daných krystalů. Všechny následující pracovní postupy byly nicméně oproti původním zdrojům modifikovány a optimalizovány.

6.1 Příprava krystalů modré skalice

V kádince bylo rozpuštěno 55 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve 100 ml horké vody (roztok 1), roztok byl za horka přefiltrován za normálního tlaku a poté byl umístěn do uzavíratelné laboratorní skříňky. Po 24 hodinách se na dně kádinky vytvořily malé krystaly. Z nich bylo vybráno 8 největších a nejlépe vyvinutých. Ty byly uschovány a dále využívány pro jejich další růst.

Na dno kádinky se zbylým roztokem 1 byl umístěn jeden malý krystal. Další dva krystaly byly navázány na nylonový vlasec (každý zvlášť), druhá strana vlasce byla připevněna ke špejli. Oba navázané krystaly byly také vloženy do roztoku 1.

Po 7 dnech byly krystaly z roztoku vyjmuty a přemístěny do větší kádinky s nově připraveným roztokem 2 (150 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ rozpuštěné ve 300 ml vody). Původní roztok 1 byl zahřát na asi 50 °C a dosycen 10 g modré skalice. Na nylonový vlasec byly navázány a vloženy další 2 malé krystaly modré skalice. Takto byly krystaly v roztocích ponechány 4 týdny a každých 7 dní byly oba roztoky přefiltrovány za normálního tlaku.

Po 30 dnech byly všechny krystaly z roztoku vyjmuty a zároveň byl připraven nový roztok 3 (250 g modré skalice rozpuštěné v 500 ml vody). Do něj byl vložen jeden největší krystal uvázaný na nylonovém vlasci a krystal, který rostl na dně kádinky. Roztoky 1 a 2 byly zahřáty na 50 °C a dosyceny (roztok 1 30 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a roztok 2 25 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Do roztoku 2 byl vrácen zbylý krystal připevněný na nylonovém vlasci a jeden krystal z roztoku 1. Poslední krystal byl vložen do více nasyceného roztoku 1, s cílem vytvořit polykrystal. Takto byly krystaly v roztocích opět ponechány 4 týdny s tím, že každých 7 dní byly přefiltrovány za normálního tlaku.

Po dalších 30 dnech byly krystaly opět z roztoků vyjmuty. Roztoky byly opět zahřáty na 50 °C a dosyceny (roztok 1 30 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, roztok 2 25 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a roztok 3 50 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Největší krystal z roztoku 3 a krystal umístěný na dně tohoto roztoku již byly dostatečně velké a do roztoku nebyly navraceny. Do roztoku 3 byl přemístěn větší krystal z roztoku 2. V roztoku 2 zůstal pouze jeden krystal a do roztoku 1 byl znovu vrácen polykrystal. Takto byly krystaly v roztocích další 3 týdny (každých 7 dní byly roztoky přefiltrovány).

Po 3 týdnech byly vyjmuty krystaly z roztoku 2 a větší krystal z roztoku 3. Do roztoku 2 byl přelit zbytek roztoku 1, vzniklý nový roztok 4 byl zahřát na 50 °C a dosycen 30 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a opět byl do něj vložen polykrystal.

Polykrystal z roztoku 4 a zbylý krystal z roztoku 3 byly vyjmuty po 14 dnech. Poté byly všechny krystaly zalakovány. [56][57]

Na přípravu 4 monokrystalů a polykrystalu bylo spotřebováno 655 g modré skalice 900 ml vody a 2 archy filtračních papírů.

6.2 Příprava krystalů kamence

V kádince bylo rozpuštěno 100 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ a 12 g $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ve 400 ml horké destilované vody. Poté byl roztok (roztok 1) přefiltrován za normálního tlaku a vložen do laboratorní skřínky.

Po 24 hodinách bylo ze dna kádinky vybráno celkem 5 nejlépe vyvinutých krystalů připomínajících tvar oktaedru. Dva z nich byly navázány na nylonový vlasec a zbylé krystaly byly uschovány pro další použití. Dva navázané krystaly byly vloženy zpět do roztoku, ve kterém byly ponechány 4 týdny. Každých 7 dní byl roztok přefiltrován.

Po 30 dnech byly krystaly z roztoku vyjmuty a také byl připraven nový roztok (roztok 2), ze stejného množství látek jako roztok 1. Roztok 1 byl zahřát na 50 °C a dosycen 10 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Jeden krystal byl vložen zpět do roztoku 1 a druhý do roztoku 2. Krystaly byly v roztocích ponechány dalších 5 týdnů (každých 7 dní byly roztoky zfiltrovány).

Po 35 dnech byly krystaly dostatečně velké a z roztoků byly vyjmuty a zalakovány. Do roztoku 1 a roztoku 2 byly po dosycení vloženy nové krystaly. [58][59]

Pro 2 velké krystaly kamence bylo spotřebováno 210 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ a 24 g $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 800 ml destilované vody a 2 archy filtračních papírů.

6.3 Příprava krystalů Mohrovy soli

V kádince bylo rozpuštěno 60 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a 140 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 400 ml horké destilované vody. Roztok (roztok 1) byl dvakrát přefiltrován za normálního tlaku a poté byl umístěn do laboratorní skřínky. Po 24 hodinách bylo ze dna kádinky vybráno 7 nejvyvinutějších krystalů. Dva z nich byly navázány na nylonový vlasec a zbytek byl uchován pro další použití v uzavíratelné nádobě.

Dva navázané krystaly byly vloženy zpět do roztoku 1, kde byly ponechány 3 týdny. Každé 4 dny byl roztok přefiltrován za normálního tlaku.

Po 25 dnech byl připraven nový roztok 2 ze stejného množství látek jako roztok 1 a roztok 3, který byl připraven rozpuštěním 140 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 200 ml horké destilované vody). Oba nově připravené roztoky byly dvakrát přefiltrovány za normálního tlaku. Jeden krystal byl opět vrácen do roztoku 1, druhý krystal byl vložen do roztoku 2 a do roztoku 3 byl vložen jeden nově navázaný malý krystal. Krystaly byly v roztocích ponechány dalších 5 týdnů (každých 5 dní byly všechny roztoky přefiltrovány).

Po 35 dnech byly krystaly z roztoků vyjmuty a zalakovány. [60][61]

Pro přípravu 3 krystalů Mohrovy soli bylo spotřebováno 120 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a 280 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 140 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a 1000 ml destilované vody a 4 archy filtračních papírů.

6.4 Příprava krystalů červené krevní soli

V kádince bylo rozpuštěno 133 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ve 200 ml horké destilované vody. Po rozpuštění látky byl roztok (roztok 1) přefiltrován za normálního tlaku a umístěn do laboratorní skříňky.

Po 24 hodinách bylo zde dna kádinky vybráno 9 největších krystalů. Dva krystaly byly navázané na nylonový vlasec, zbylé krystaly byly uchovány pro pozdější účely. Navázané krystaly byly vloženy zpět do roztoku 1, ve kterém byly ponechány asi 3 týdny. Každých 7 dní byl roztok přefiltrován za normálního tlaku.

Po 25 dnech byl připraven nový roztok (roztok 2) rozpuštěním 260 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ve 400 ml horké destilované vody. Po rozpuštění látky byl roztok přefiltrován za normálního tlaku. Do roztoku byly přemístěny krystaly z roztoku 1. Roztok 1 byl zahřát na 80 °C a dosycen 20 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Na jeden nylonový vlasec byly asi 1 cm do sebe uvázány 2 malé krystaly, takto připravené byly vloženy do roztoku 1. Krystaly byly ponechány v roztoku další 4 týdny. Každých 7 dní byly roztoky přefiltrovány za normálního tlaku.

Po 30 dnech byly krystaly z roztoku 2 vyjmuty a zalakovány. Roztok 2 byl zahřát na 80 °C a dosycen 50 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. V roztoku 1 se vytvořil polykrystal, který byl vložen do dosyceného roztoku 2, ve kterém byl ponechán dalších 14 dní, poté byl krystal vyjmut a zalakován. [62][63]

Pro přípravu 2 monokrystalů a 1 polykrystalu červené krevní soli bylo spotřebováno 443 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, 600 ml destilované vody a 2 archy filtračních papírů.

6.5 Příprava krystalů epsomské soli

V kádince bylo rozpuštěno 300 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 200 ml horké vody, roztok byl přefiltrován za normálního tlaku a umístěn do laboratorní skřínky. Po 48 hodinách bylo ze dna kádinky vybráno 7 nejsilnějších a největších krystalů. Pět jich bylo uschováno pro pozdější využití.

Stejně byl připraven nový roztok (300 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 200 ml horké vody). Tento nový roztok byl i se zbytkem původního roztoku přelit do skleněné vany. Na její dno byl vložen jeden malý krystal, druhý byl navázán na nylonový vlasec a také zavěšen do roztoku.

Krystaly byly v roztoku ponechány 14 dní (po 7 dnech byl roztok přefiltrován za normálního tlaku), poté byly vyjmuty a zalakovány. [64]

Na přípravu 2 krystalů bylo spotřebováno 600 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 400 ml destilované vody a 1 arch filtračního papíru.

6.6 Příprava krystalů dihydrogenfosforečnanu amonného

V kádince bylo rozpuštěno 100 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve 200 ml horké destilované vody. Roztok (roztok 1) byl přefiltrován za sníženého tlaku a přesunut do laboratorní skřínky. Po 24 hodinách bylo ze dna kádinky vybráno 5 největších polykrystalů. Čtyři byly uchovány pro další použití. Do zbylého roztoku 1 bylo na dno kádinky nasypáno 0,2 g síranu draselno-hlinitého a na dno byl také umístěn jeden malý polykrystal $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Po 48 hodinách byl připraven roztok 2 rozpuštěním 200 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve 400 ml horké destilované vody. Roztok byl přefiltrován za normálního tlaku a na jeho dno byl přemístěn krystal z roztoku 1. Na nylonový vlasec byl navázán nový polykrystal, který byl umístěn do roztoku 1.

Po 48 hodinách byly oba krystaly z roztoku vyjmuty. [53]

Na přípravu 2 velkých polykrystalů bylo spotřebováno 300 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ a 600 ml destilované vody a 1 arch filtračního papíru.

6.7 Příprava krystalů chloridu sodného

V kádince bylo rozpuštěno 40 g NaCl ve 100 ml horké destilované vody. Kádinka s roztokem byla umístěna na vařič a byla zahřívána, dokud se na hladině nevytvořila krystalizační blána. Poté byl roztok umístěn do laboratorní skřínky, kde volně chladnul do druhého dne. Následující

den byl roztok přefiltrován za normálního tlaku. Malé množství roztoku bylo přelito do Petriho misky. Kádinka se zbylým roztokem byla zakryta parafilmem.

Po 48 hodinách bylo z Petriho misky vybráno 5 nejlépe vyvinutých krystalů připomínající krychli. Do malé kádinky bylo nalito asi 20 ml připraveného roztoku NaCl a na její dno byl vložen jeden malý krystal. Zbytek krystalů byl uschován pro další použití. Po 7 dnech byl krystal umístěn do větší kádinky s 60 ml roztoku NaCl, ve kterém byl ponechán 4 týdny. Jakmile se na dně kádinky začaly tvořit malé krystaly byl roztok přefiltrován za normálního tlaku (přibližně jednou za 3 až 5 dní).

Po 30 dnech byl připraven stejným způsobem nový roztok NaCl rozpuštěním 120 g NaCl ve 300 ml horké destilované vody. Druhý den bylo z roztoku odlito 250 ml do kádinky a byl do ní umístěn krystal z předchozího roztoku. Veškeré zbytky roztoků byly slity do jedné kádinky, zahřáty na 50 °C a dosyceny 15 g NaCl. Na dno kádinky s takto připraveným roztokem byly vloženy 2 malé krystaly blízko k sobě, aby vytvořily polykrystal. Takto byly krystaly v roztocích ponechány dalších 5 týdnů. Přibližně jednou za 3 až 5 dní byly roztoky zfiltrovány za normálního tlaku. Po 40 dnech byly krystaly z roztoků vyjmuty a zalakovány. [65]

Pro přípravu 1 monokrystalu a 1 polykrystalu NaCl bylo spotřebováno 175 g NaCl a 400 ml destilované vody a 2 archy filtračních papírů.

6.8 Příprava krystalů dusičnanu sodného

V kádince bylo rozpuštěno 220 g NaNO_3 ve 200 ml horké destilované vody. Roztok byl přefiltrován za normálního tlaku. Malé množství bylo přelito do Petriho misky. Zbylé množství bylo ponecháno v kádince a překryto parafilmem. Po 24 hodinách bylo ze dna Petriho misky vybráno 6 největších krystalů ve tvaru kosočtverce. Jeden byl vložen na dno kádinky se zbylým roztokem, zbylé krystaly byly uschovány pro další použití. Krystal byl v roztoku ponechán asi 3 týdny. Roztok byl každých 5 dní přefiltrován za normálního tlaku.

Po 25 dnech byl krystal z roztoku vyjmut a byl zalakován. [66]

Pro přípravu 1 monokrystalu NaNO_3 bylo spotřebováno 220 g NaNO_3 , 200 ml destilované vody a 1 arch filtračního papíru.

6.9 Příprava krystalů svítících pod UV světlem

V kádince bylo rozpuštěno 100 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ve 400 ml horké destilované vody. Roztok byl přefiltrován za normálního tlaku a umístěn do laboratorní skříňky. Po 48 hodinách byly

ze dna kádinky vybrány 3 největší krystaly, které byly navraceny na dno kádinky s roztokem na další 2 týdny. Po 15 dnech byly krystaly dostatečně velké, takže byly z roztoku vyjmuty.

Roztok byl zahřát na 50 °C a dosycen 15 g $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Poté byl roztok rovnoměrně rozdělen do 3 kádinek. Do kádinky 1 byl přidán na špičce špachtle fluorescein, do kádinky 2 opět na špičce špachtle monohydrát chininu hemisulfátu a do poslední kádinky byl nalit obsah svítícího náramku. Na dno každé kádinky byl vložen 1 krystal. Takto byly krystaly v roztocích ponechány další 3 týdny. Poté byly z roztoků vyjmuty a bylo ověřeno, zda svítí pod UV světlem. [67]

6.10 Příprava krystalů na skořápkách od vajíček

Skořápky od vajíček byly nejprve důkladně umyty vodou se saponátem. Poté byla na jejich vnitřní stranu nanесena tenká vrstva lepidla Herkules. Na vrstvu lepidla bylo nasypáno pár krystalů látky, do jejíž nasyceného roztoku pak byla skořápka ponořena. Konkrétně se jednalo o modrou skalici, červenou krevní sůl, kamenec draselno-hlinitý a chlorid sodný. Skořápky byly v roztocích ponechány 48 hodin, následně byly vyjmuty. [68]

6.11 Příprava ozdobných krystalů

Z plyšového modelovacího drátku (pipe cleaner) byly vytvarovány různé tvary (například srdce nebo květina). Každý tvar byl ponořen do jednoho nasyceného roztoku, konkrétně se jednalo o modrou skalici, červenou krevní sůl, kamenec draselno-hlinitý a chlorid sodný. Za dobu 15 minut byl modelovací drátek pokryt malými krystaly. Poté byly vytvořené ozdoby vyjmuty z roztoků a byly zalakovány. [69]

6.12 Příprava uměleckých krystalů

Principem uměleckých krystalů, je připravit krystaly na přírodních nebo umělých materiálech, na kterých se krystaly běžně nevyskytují. Do praktické části byly vybrány přírodniny.

Do nasycených roztoků modré skalice, červené krevní soli a kamence draselno-hlinitého s kamencem draselno-chromitým byly vloženy malé větve a kůra stromů. V roztocích byly ponechány 48 hodin. Po vyjmutí z roztoku byly větve obaleny krystaly. [53]

6.13 Uchovávání připravených reálných krystalů

Malé zárodečné krystaly byly pro jejich pozdější využití uchovávány v uzavíratelných plastových nádobách. U velkých krystalů byly provedeny 2 typy konzervace pro jejich dlouhodobější uchovávání – zalakování a zalití do pryskyřice.

6.13.1 Lakování připravených krystalů

K zalakování krystalu byl použit klasický průhledný krycí lak na nehty. Lak na krystal byl nanesen štětečkem. Bylo potřeba nanést alespoň dvě vrstvy laku. Byl použit bezbarvý vrchní lak značky Alverde; jeho cena byla 49,90 Kč.

Další provedenou možností bylo využití bezbarvého laku ve spreji. Aby bylo dosaženo rovnoměrného nanesení, byl lak nanášen ze vzdálenosti asi 15 centimetrů. Opět bylo potřeba nanést alespoň 2 vrstvy a dále pracovat v digestoři nebo na čerstvém vzduchu. Byl využíván lak Hitcolor Barva ve spreji lesklá 400 ml bezbarvá. Cena se pohybuje kolem 130 Kč. Doba úpravy jednoho krystalu byla různá, podle počtu stran krystalu. Potřebný čas pro zalakování jedné strany krystalu činil přibližně 15 sekund, následně bylo potřeba vždy 15 až 20 minut počkat, než lak zaschne a mohlo se tedy dále pokračovat v lakování dalších stran.

6.13.2 Zalévání připravených krystalů do pryskyřice

U velmi křehkých krystalů bylo provedeno zalití do pryskyřice. Nejprve bylo potřeba zvolit vhodnou formu, do které byl krystal umístěn. Poté byly smíchány dvě složky (pryskyřice a tvrdidlo) v požadovaném poměru, směs byla důkladně promíchána a přelita do formy s krystalem. Poté bylo potřeba nechat vše důsledně zatuhnout. Celková časová náročnost: příprava pryskyřice a zalévání 30 minut, tunutí 30 hodin.

Konkrétně byla použita pryskyřice RESIN PRO Epoxy resin iCrystal, což je transparentní epoxidová pryskyřice vhodná pro zalévání do tloušťky 1,5 až 2 centimetry. S tvrdidlem se míchá v hmotnostním poměru 2:1. Pořizovací cena je 1500 Kč za 1 kilogram (jedná se o cenu za pryskyřici i tvrdidlo).

6.14 Tvorba krystalů pro výstavní účely

Celkem 16 zalakovaných reálných krystalů bylo pomocí tavící pistole nalepeno na podstavce s popiskem, o jakou látku se jedná.

Vytvořené nalepené krystaly jsou určeny pro výstavní účely Katedry anorganické chemie. Kromě popisku přímo na podstavci, byly pro všechny tyto krystaly vytvořeny taktéž cedulky s rozšiřujícími informacemi (viz Příloha 1). Celkem vznikly 3 výstavní podstavce s krystaly modré skalice, 2 s krystaly chloridu sodného, 2 s krystaly kamence draselno-hlinitého a draselno-chromitého, 4 s krystaly červené krevní soli, 2 s krystaly dihydrogenfosforečnanu amonného a 1 podstavec s krystaly epsomské soli, 1 s krystaly dusičnanu sodného a 1 s krystaly Mohrovy soli.

7. Tvorba audiovizuálních pomůcek

K vytvořeným materiálům (3D modelům, reálným krystalům a provedeným pokusům) byly pořízeny fotografie, GIFy a videa.

7.1 Fotografie

Fotografie byly vytvořeny pro připravené 3D modely ideálních krystalů a připravené reálné krystaly. Fotografie byly pořízeny ve dvou verzích, a to na černém a bílém jednolitém pozadí. K fotografování byl využíván fotoaparát Canon 6D Mark II a objektivy Canon Image stabilizer ultrasonic 24-105 mm a Canon Macro Lens EF 100 mm. Také byl využíván stativ Mantfrotto 190. Pro nasvícení byla používána dvě světla TERRONIC basic hobby LED. Pořízené fotografie se upravovaly v programu Adobe Photoshop.

7.2 Video a GIFy

Pro vybrané monokrystaly a polykrystaly byly vytvořeny jejich 3D modely ve formě GIF. Nejprve byla na video natočena rotace každého krystalu. Rotace bylo dosaženo umístěním krystalu na rotační displej (360° Rotating Display Stand, model QM104712). Natáčení probíhalo na kameru SONYFDR-AX700. Pro úpravu videí byl použit program Wondershare Filmora, ze kterého byly poté exportovány 2 varianty – první ve formátu MP4 a druhá ve formátu GIF.

Natočení jednoho krystalu trvalo přibližně 20 minut, úprava záběru trvala dalších 30 minut. Včetně potřebného času pro přípravu světla, nalezení vhodné polohy pro natáčení a další úpravy před natáčením trvalo vytvoření GIFu a videa pro jeden krystal přibližně 60 minut. V případě nedostatečné kvality vytvořeného záběru (zjištěno zpětně po shlédnutí na stolním počítači) bylo nutné vše znovu natočit. Takto bylo nutné opět zpracovat celkem 6 krystalů.

Zvukový záznam byl do videa nahrán externě pomocí mikrofону HYPERX QUADCAST USB Microphone, model HX-MICQC-BK.

8. 3D tisk modelů ideálních krystalů

V rámci vytváření didaktických pomůcek byly na 3D tiskárně vytištěny modely krystalů všech 7 základních krystalových soustav. Tyto vytištěné modely představují ideální krystaly. Celkem bylo vytištěno 148 kusů. Pro lepší přehlednost byla každá krystalová soustava vytištěna jinou barvou. Konkrétní přehled použitých barev a počtu vytištěných kusů uvádí Tabulka 7; kromě soustavy klencové a šesterečné, jelikož se tyto soustavy liší pouze četností své osy a některé zdroje řadí klencovou soustavu do soustavy šesterečné – obě soustavy tedy byly vytištěny stejnou barvou.

Byly využity již navržené modely z databáze Thindiverse, které vycházejí z publikace *The textbook of mineralogy*. Autorem publikace je Edward Salisbury Dana. V programu PrusaSlicer byla upravena velikost návrhu. Samotný 3D tisk probíhal na tiskárně TRILAB DeltiQ 2. Jako materiál pro tisk byl zvolen polyaktidový polymer kyseliny mléčné, zkráceně PLA. Jedná se o recyklovatelné vlákno, které se z 80 % vyrábí obnovitelných zdrojů. V současnosti je PLA nejpoužívanějším vláknem pro 3D tisk na trhu.

Celková doba tisku všech 148 kusů na 3D tiskárně byla asi 50 hodin.

Tabulka 7 Přehled počtu 3D vytištěných modelů ideálních krystalů a jejich barevného rozlišení pro jednotlivé krystalografické soustavy

Krystalografická soustava	Barva modelů	Počet vytištěných kusů	Zdroj
Trojklonná	Bílá	6	[70]
Jednoklonná	Zelená	12	[71]
Kosočtverečná	Červená	15	[72]
Čtverečná	Žlutá	33	[73]
Šesterečná a klencová	Modrá	37	[74]
Krychlová	Oranžová	45	[75]

9. Tvorba dotazníkového šetření pro získání zpětné vazby

Na vytvořené materiály, konkrétně na připravené reálné krystaly a vytištěné modely ideálních krystalů na 3D tiskárně, byla získána zpětná vazba od žáků a dvou vyučujících chemie. Materiály byly využity v hodinách fyzikální chemie na Střední škole logistiky a chemie v Olomouci. Žáci na nich pozorovali charakteristické znaky každé skupiny (například četnost osy) a zároveň porovnávali rozdíly mezi ideálním a reálným krystalem. Odkaz na dotazník byl žákům nasdílen do jejich třídní skupiny na Teams a měli ho vyplnit za domácí úkol. Celkem mělo dotazník vyplnit 42 žáků ze tříd 4.A1 a 4.A2 oboru Aplikovaná chemie ze Střední školy logistiky a chemie Olomouc, U Hradiska 29.

9.1 Dotazníkové šetření pro žáky

Po využití připravených materiálů v hodině fyzikální chemie žáci vyplnili dotazník vytvořený v Google Forms, který obsahoval následující otázky týkající se nejen vytvořených pomůcek, ale také obecného používání názorných pomůcek ve výuce. Dotazník obsahoval následující otázky:

- 1) Pohlaví:
 - a. Žena
 - b. Muž
 - c. Jiné
- 2) Ročník studia:
 - a. 1. ročník
 - b. 2. ročník
 - c. 3. ročník
 - d. 4. ročník
- 3) Slyšeli jste o krystalech a krystalizaci v nějakých předmětech? Pokud ano, v jakých?
 - a. Ne
 - b. Ano, v chemii
 - c. Ano, v biologii
 - d. Ano, ve fyzice
 - e. Ano, v laboratorním cvičení
 - f. Jiné

- 4) Dokázali jste si názorně vizualizovat krystalové struktury na základě 2D obrázků?
- a. Určitě ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Určitě ne
- 5) Pomohly Vám 3D modely krystalových soustav (vytištěné na 3D tiskárně) pro lepší představu jejich tvaru?
- a. Určitě ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Určitě ne
- 6) Pomohlo Vám porovnání modelu vybrané krystalové soustavy s reálným krystalem (vypěstovaným) k identifikaci jejich vzájemných rozdílů?
- a. Určitě ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Určitě ne
- 7) Považujete používání názorných pomůcek ve výuce chemie za užitečné?
- a. Určitě ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Určitě ne
- 8) Myslíte si, že učitelé během výuky chemie využívali dostatek názorných pomůcek?
- a. Určitě ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Určitě ne

9) Chtěli byste si zkusit vypěstovat vlastní krystaly?

- a. Určitě ano
- b. Spíše ano
- c. Nevím
- d. Spíše ne
- e. Určitě ne

10) Zde je prostor pro Váš komentář.

9.2 Zpětná vazba od učitelů

Učitelé chemie, kteří měli možnost vidět a využít připravené reálné krystaly a vytištěné 3D modely, byly požádáni o dopovězení na následující otázky týkající se vytvořených materiálů.

Otázka 1) Používali jste při výuce krystalizace a krystalografie názorné, audiovizuální nebo některé další pomůcky? Pokud ano, jaké?

Otázka 2) Inspirovaly Vás materiály vytvořené v rámci této diplomové práce? Považujete je za přínosné? Pokud ano, proč?

VÝSLEDKY A DISKUZE

Krystalizace se dotýká nejen přírodních procesů, ale i mnoha aspektů lidského života. Na tento proces lze pohlížet z různých perspektiv, klíčové je nicméně jej správně pochopit, uchopit a využívat. Z těchto důvodů je didakticky žádoucí, aby byli žáci s tímto tématem seznámeni i v kontextu vzdělávání. Provedená **analýza aktuálně platných českých kurikulárních dokumentů** ukazuje, že se v rámcových vzdělávacích programech tento pojem vyskytuje, a to primárně ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda, která se dále dělí do vzdělávacích oborů – v RVP ZV [33] zahrnuje obory Chemie, Fyzika, Přírodopis a Zeměpis, zatímco v RVP G [34] obory Chemie, Fyzika, Biologie, Geografie a Geologie. V případě RVP pro střední odborné chemické školy (obor vzdělání Aplikovaná chemie nebo Chemik operátor) [35][36] dochází k výskytu krystalizace ve vzdělávacích oblastech Přírodovědné vzdělávání a Odborné vzdělávání.

V **rámcovém vzdělávacím programu pro základní školy** [33] je téma krystalizace rozebíráno především v kontextu se separačními metodami. Nepřímo se dále vyskytuje při vzdělávacím obsahu Směsi, konkrétně v učivu o roztocích, včetně souvisejících výpočtů. Dále je také zmiňována ve vzdělávacím oboru Přírodopis v tematickém okruhu Nerosty a horniny a ve vzdělávacím oboru Fyzika v rámci učiva Skupenství látek.

Rámcový vzdělávací program pro gymnázia [34] tento základ získaný během základního vzdělávání dále rozvíjí. Konkrétně téma krystalizace a krystalů je relevantní ve vzdělávacím oboru Geologie, v rámci učiva Minerály a magmatické procesy, ve vzdělávacím oboru Fyzika (v tematickém okruhu Stavba a vlastnosti látek) a samozřejmě ve vzdělávacím oboru Chemie. V chemii se toto téma objevuje v obdobném učivu jako v RVP ZV, avšak v rozšířené podobě, která reflektuje specifika středoškolského vzdělávání. V případě RVP pro střední odborné chemické školy [35][36] je krystalizace v oboru chemie zahrnuta v podobném učivu jako výše, a navíc je zmiňována v souvislosti s technologickými procesy a průmyslovými výrobami, včetně farmaceutického průmyslu.

Analýza konkrétních **školních vzdělávacích programů** – konkrétně ŠVP Základní školy Olomouc, Stupkova 16; [37] ŠVP Gymnázia Olomouc-Hejčín, Tomkova 45 [38] a ŠVP Střední školy logistiky a chemie, Olomouc, U Hradiska 29, obor vzdělání Aplikovaná chemie (zaměření Analytická chemie/Farmaceutické substance) [39] prokázala, že obsah učiva týkajícího se krystalizace a jeho rozsah ve všech analyzovaných ŠVP koresponduje s příslušnými RVP. Zajímavý rozdíl mezi ŠVP obou analyzovaných středních škol byl

zaznamenán v kontextu laboratorních cvičení, která se mimo jiné věnují i separačním metodám, včetně krystalizace. V případě Gymnázia Olomouc-Hejčín je praktická výuka v základním předmětu Chemie realizována pouze ve druhém ročníku s časovou dotací 1 hodina týdně (respektive 2 vyučovací hodiny jednou za dva týdny) [38]. Naproti tomu na Střední škole logistiky a chemie existuje samostatný předmět Laboratorní cvičení s výrazně vyšší časovou dotací, a to 4 hodiny týdně v prvním ročníku a 3 hodiny týdně ve druhém ročníku. [39]

V rámci provedené **analýzy učebnic chemie** byly aplikována následující hodnoticí kritéria, přičemž každé kritérium bylo hodnoceno na škále 0–3 bodů (s výjimkou kritéria Poskytování zpětné vazby s maximálním ziskem 1 bodu). Hodnoticí tabulka byla vytvořena na základě modifikace již uveřejněné hodnoticí tabulky [42]. Hodnocení se vztahovalo výhradně k didaktickému zpracování učiva krystalizace. Konkrétně byla posuzována kritéria: Shoda s kurikulárními dokumenty, Přiměřená náročnost pro ZŠ/ŠŠ, Odborná správnost, Jazykový kód, Mikrokompozice textu, Experimenty, Propojení s běžným životem, Podněty k aktivizaci a reflexi učiva a Poskytování zpětné vazby. Maximální celkový bodový zisk pro jednu učebnici činil 25 bodů, přičemž čím více bodů učebnice získala, tím splňovala více kritérií. Analýza byla provedena na vybraném vzorku novějších učebnic chemie zahrnujícím 3 české učebnice pro základní vzdělávání a víceletá gymnázia, 3 české středoškolské učebnice (pro gymnázia) a 1 zahraniční učebnici pro střední vzdělávání.

Z výsledků analýzy vyplývá, že nejvyššího hodnocení mezi učebnicemi chemie pro ZV z hlediska didaktického zpracování tématu krystalizace dosáhla učebnice **Hravá chemie 8** [44] s celkovým ziskem 25 bodů, která ve všech sledovaných hodnoticích kritériích obdržela maximální počet bodů. Z analýzy vyplývá následující. Jako velmi dobrou učebnici chemie pro ZŠ lze také označit učebnici **Chemie 8: úvod do obecné a anorganické chemie**, [46] která s ohledem na téma krystalizace získala 24 bodů. Jednobodová ztráta byla zaznamenána v kritériu Mikrokompozice textu v důsledku snížené přehlednosti učebního textu.

Z analyzovaných středoškolských učebnic bylo téma krystalizace nejkomplexněji zpracováno (s celkovým ziskem 23 z maximálních 25 bodů) ve dvou učebnicích – jedná se o učebnici **Obecná chemie 1** [48] a o učebnici **Chemie pro spolužáky Obecná chemie II.** [49] Obě tyto učebnice zaznamenaly bodovou ztrátu v kritériu experimenty, neboť žádný navržený experiment v učebnici se přímo nevěnuje tématu krystalizace. V případě první jmenované učebnice byl další bod odečten z důvodu relativně méně detailní úrovně prezentovaných informací, zatímco u druhé učebnice byla bodová ztráta v oblasti Jazykový kód, neboť učební

text je (byť s autorským záměrem) koncipován jazykem, který neodpovídá standardům odborného textu učebnice.

Součástí analýzy učebnic chemie byla rovněž komparativní analýza zahraniční středoškolské učebnice chemie **Chemistry Matter and Change** [50]. Analyzovaná verze této učebnice je určená pro pedagogy a obsahuje metodická doporučení a doplňující informace ke všem tematickým celkům. Definice krystalizace se v této učebnici mírně odlišuje od pojetí v českých učebnicích, přičemž klade důraz především na podmínku nasycenosti daného roztoku. Analogicky s českými středoškolskými učebnicemi chemie jsou zde přehledně prezentovány a vysvětleny fyzikálně-chemické veličiny relevantní pro výpočty týkající se roztoků. Naopak tato učebnice klade větší důraz na základy krystalografie, například prostřednictvím rozboru různých typů elementárních buněk.

Praktická část práce byla mimo jiné zaměřená na **přípravu reálných krystalů různých chemických látek**, a to jak monokrystalů, tak polykrystalů. Práce probíhala v několika fázích, zahrnujících přípravu zárodečných krystalů a následně jejich růst v nasycených roztocích s jejich opakovatelným využitím. Aby se zabránilo plýtvání chemickými látkami, byly veškeré nepovedené krystaly a krystaly vznikající na stěnách nádob využity k dosycování roztoků. Celkem bylo v rámci diplomové práce připraveno **53 reálných krystalů** (myšleno velkých, ukázkových monokrystalů či polykrystalů; takto i dále v textu). Některé z připravených reálných krystalů byly vybrány pro nalepení na dřevěný podstavec. Celkem bylo nalepeno pomocí tavící pistole 16 podstavců s výstavními krystaly (viz Obrázek 15). Na každý podstavec byl nalepen štítek s názvem daného krystalu. Z prostorových důvodů byly u některých krystalů využity triviální názvy. Proto byl ke každému podstavci vytvořen také štítek s dalšími informacemi. Vytvořené štítky jsou uvedeny v Příloze 1.

Dále byla provedena rušená krystalizace roztoku modré skalice a také krystalizace volným chladnutím roztoku modré skalice. Vzniklé krystaly obou způsobů byly vyfoceny, a mohou být ve výuce využívány pro porovnání těchto dvou druhů krystalizace (viz kapitola 1.2 Druhy krystalizace). Byly také provedeny pokusy s krystalizací na skořápkách, plyšovém modelovacím drátku a na přírodních látkách (větve, kůra, šišky).

Celkem bylo připraveno 7 velkých monokrystalů a 4 polykrystaly **modré skalice**. Největší krystal modré skalice vážil 104 g a jeho délka činila 9 cm. Růst krystalů probíhal bez větších problémů jak u krystalů navázaných na nylonovém vlasci, tak u krystalů na dně kádinky. Zároveň byla vytvořena příručka pro všechny příznivce přípravy reálných krystalů s názvem

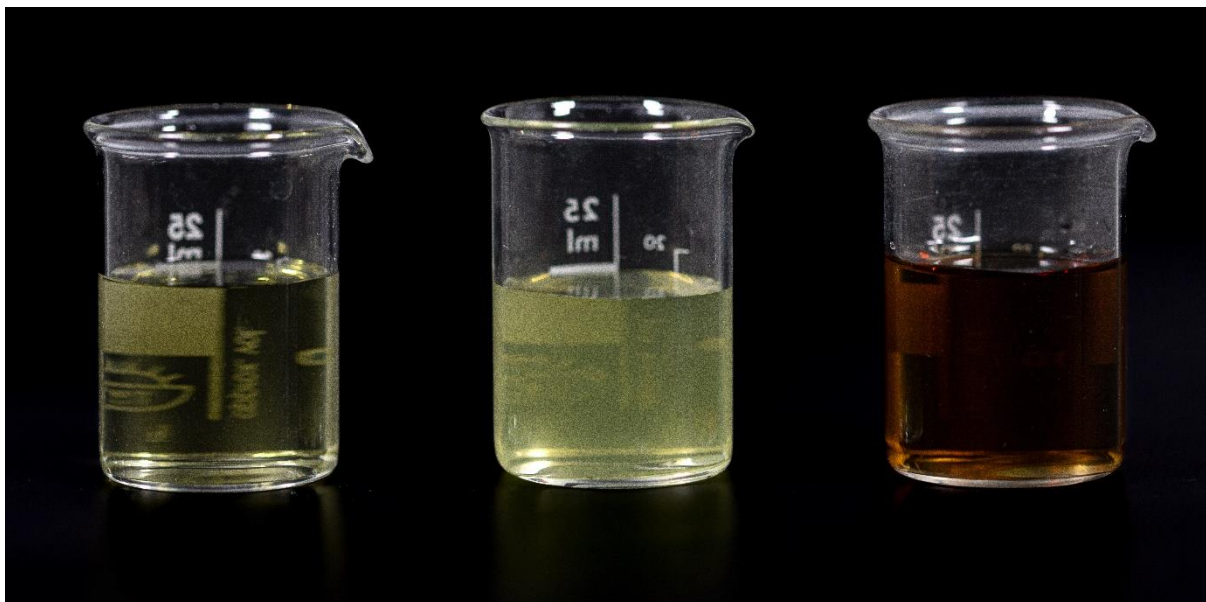
Umění krystalizace: praktická příručka pro každého, která obsahuje pracovní postupy pro všechny připravené krystaly sepsané jasnou a srozumitelnou formou, viz Příloha 2.



Obrázek 15 Výstavní krystaly nalepené na podstavcích

Dále bylo připraveno 6 fialových monokrystalů **kamence draselno-hlinitého s přídavkem kamence draselno-chromitého**; jejich váha se v průměru pohybovala kolem 40 g. Dále vznikly i 3 bílé monokrystaly $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, které byly dále využity pro přípravu krystalů svítících pod UV světlem. Krystaly se kvůli jejich tvaru hůře navazovaly na nylonový vlasec, několikrát z něho i vyklouzly. Krystaly byly také náchylné ke vzniku defektů.

Pro **Mohrovu sůl** bylo celkem připraveno 5 monokrystalů. Jejich váha se pohybovala kolem 25 g, největší dosáhl váhy 40 g. Největším problémem byla nestálost roztoku, již po několika dnech se roztok začínal zakalovat a měnit barvu z jasně zelené do žlutohnědé (viz Obrázek 16), navíc se v něm vytvářely i hnědé usazeniny, které se usazovaly i na krystalech. Bylo vyzkoušeno přelití roztoku do vyšší kádinky a jeho přikrytí hodinovým sklíčkem, aby se voda pomaleji odpařovala, ale nemělo to kýžený efekt. Roztok se musel oproti ostatním častěji filtrovat a také se vždy musel filtrovat na dvakrát, jelikož filtrační papír byl velmi brzy zanesen. Tyto usazeniny vznikaly jak v namíchaném roztoku Mohrovy soli (smíchaném ze síranu amonného a heptahydrátu síranu železnatého) tak i v roztoku připraveném přímo z hexahydrátu síranu amonno-železnatého. Kvůli těmto usazeninám byly krystaly vždy navazovány na nylonový vlasec. Usazeniny se navíc hůře umývaly z použitého laboratorního skla.



Obrázek 16 Zakalování roztoku Mohrovy soli. Vlevo čerstvě připravený roztok, uprostřed roztok po 14 dnech, vpravo roztok po 30 dnech.

Celkem bylo připraveno 6 monokrystalů a 2 polykrystaly **červené krevní soli**. Největší monokrystal dosáhl váhy 48 g. Růst krystalů probíhal bez komplikací. Opatrnost byla na místě při manipulaci s roztokem, protože roztok poměrně silně barví.

V rámci praktické části byly dále připraveny 3 monokrystaly **epsomské soli**. Jelikož krystaly jsou poměrně dlouhé, byla pro jejich růst využívána i skleněná vana. Bohužel dvakrát roztok ve skleněné vaně začal po pár dnech plesnivět. Plíseň byla i na přítomných krystalech, takže se nedaly dále využít. V roztoku byly krystaly čiré, jakmile se ale z roztoku vyjmuly, během několika hodin se začaly pokrývat bílou vrstvou. K tomu pravděpodobně dochází kvůli ztrátě krystalicky vázané vody. Krystaly se tedy musely ihned po vyjmutí zalakovat. Bohužel i pod lakem částečně zbělaly.

Také byly připraveny 3 polykrystaly **dihydrogenfosforečnanu amonného**. Příprava roztoků i růst krystalů probíhaly bezproblémově. Polykrystal, který byl navázán na vlasce byl ale velmi křehký, kvůli vyššímu přídávku síranu draselno-hlinitého. Proto nemohl být zalakován ani nalepen na podstavec. Pro jeho uchování tedy bylo zvolen způsob zalití do pryskyřice. Jelikož byl poměrně velký, musela se nejprve vybrat vhodná silikonová nádoba. Při zalévání bohužel ale vznikla v pryskyřici vzduchová bublina, přes kterou je krystal hůře viditelný.

Celkem byly připraveny 3 monokrystaly a 3 polykrystaly **chloridu sodného**. Ze všech krystalů bylo nejnáročnější získat právě krystaly chloridu sodného. Bylo vyzkoušeno několik variant získání zárodečných krystalů, kdy jako nejlepší bylo vyhodnoceno nalití malého množství

roztoku do Petriho misky, která ještě byla následně přikryta hodinovým sklem. Když Petriho miska nebyla přikrytá, voda se z roztoku odpařovala velmi rychle a místo krystalů ve tvaru krychle vznikaly malé bílé shluky krystalů soli, které ale byly spíše práškovité podoby.

Během růstu krystalu se pak roztok nesměl dosycovat, jinak byly již vzniklé krystaly opět posety těmito malými bílými shluky soli. Krystaly chloridu sodného byly příliš křehké na to, aby byly navázány na nylonovém vlasci (při navazování se drolily a lámaly), proto byly pokládány na dno kádinek. A i když byly krystaly v roztoku 3 měsíce jeho velikost se zastavila na 1,5 cm na délku.

Zároveň byly připraveny 2 monokrystaly a 2 polykrystaly **dusičnanu sodného**. Zárodečné krystaly dusičnanu sodného vznikaly bez problémů. Byly čiré a měly tvar kosočtverce. Při růstu monokrystalu ale postupně bělaly. Jakmile dosáhly velikosti asi 1 cm na délku, začaly růst stupňovitě a svým tvarem připomínaly pyramidu. Opět bylo vyzkoušeno několik variant, v čem krystaly nechat růst, a kádinky byly přikrývány hodinovým sklem, aby se snížila rychlost odpařování. Nicméně na růstu krystalu se to nijak zásadně neprojevalo.

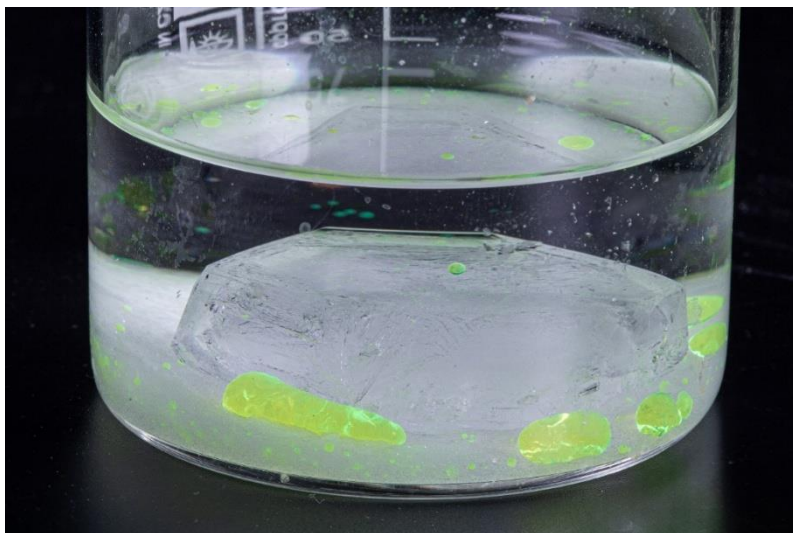
Také byly připraveny **krystaly svítící pod UV světlem**. Pod UV světlem nejlépe svítil krystal z roztoku draselno-hlinitého kamence s přídavkem monohydrátu chininu hemisulfátu. Čirý krystal pod UV světlem svítil fialovomodře (viz Obrázek 17).



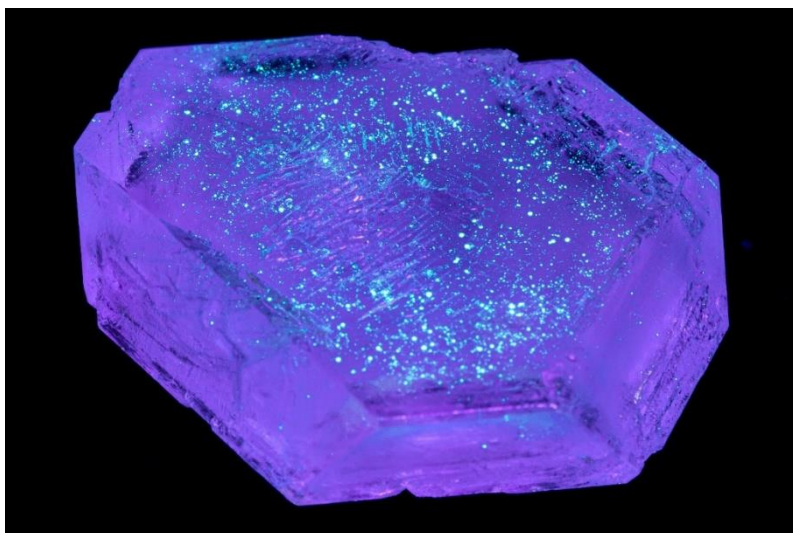
Obrázek 17 Krystal kamence draselno-hlinitého s přídavkem chininu hemisulfátu pod UV světlem

Nejhůře se pracovalo s roztokem, do kterého byl přidáván obsah svítícího náramku. Po přidání do roztoku, se totiž vytvořily 2 vzájemně nemísitelné vrstvy – samotný roztok a žlutý obsah náramku (viz Obrázek 18). Bylo tedy přidáno 5 ml acetonu, aby se vrstvy promísily. Po pár dnech ale se ale v roztoku opět vytvořily žluté kuličky, opět byl přidán aceton, Po 14 dnech

bylo vyzkoušeno, zda krystal svítí pod UV světlem. Na krystalu bylo možné pozorovat malé tečky, které pod UV světlem opravdu svítily. Tuto skutečnost zachycuje Obrázek 19.



Obrázek 18 Roztok síranu draselno-hlinitého po nalití obsahu svítícího náramku

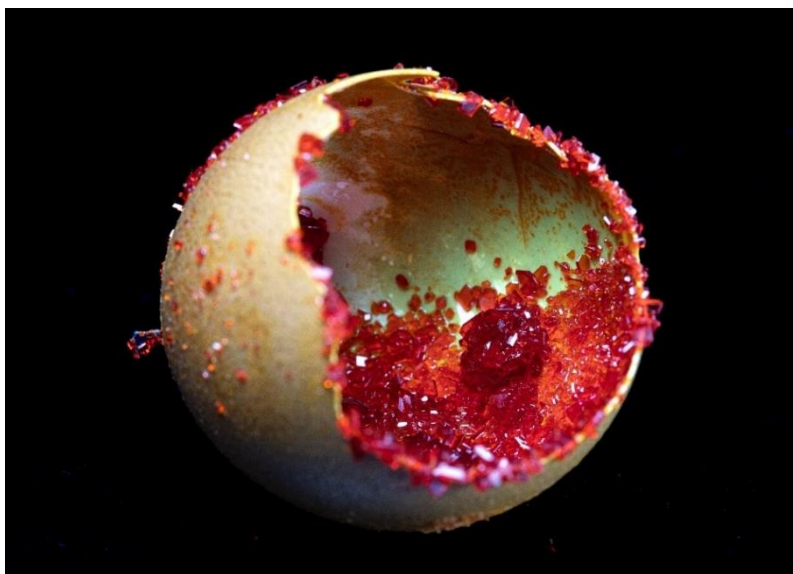


Obrázek 19 Krystal kamence draselno-hlinitého s přidavkem obsahu svítícího náramku pod UV světlem

Zároveň byly připraveny **krystaly na skořápkách od vajíček**. Vajíčka ukrývající na vnitřní straně krystaly, mohou být ideálním zpestřením výuky během období Velikonoc, případně je lze označit jako tajemné nebo kouzelné jeskyně. Nejprve byly skořápky do roztoku vloženy bez potření lepidlem a posypáním danou látkou, bohužel více než na skořápce se krystaly tvořily na dně a stěnách kádinky. Krystaly, které byly na skořápce na ní naopak nedržely. Roztok chloridu sodného byl také obarven potravinářským barvivem. Poté byl proveden postup nanesení lepidla na vnitřní stranu skořápky a umístění malých krystalů na lepidlo. V tomto případě již krystalizace probíhala kýženou formou, viz Obrázek 20 a Obrázek 21.

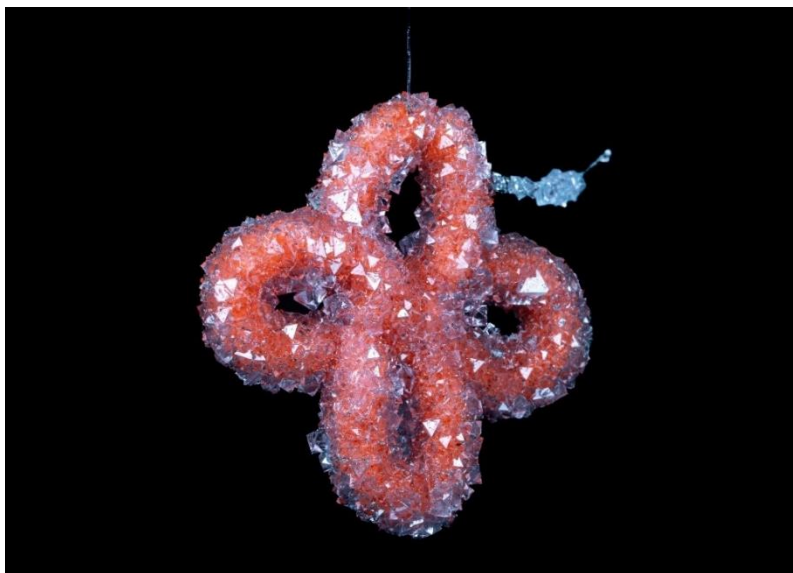


Obrázek 20 Skořápka s krystaly modré skalice



Obrázek 21 Skořápka s krystaly červené krevní soli

Také byly připraveny **ozdobné krystaly**. Na internetu je k nalezení spousta návodů, co všechno lze z modelovacího plyšového drátku poskládat. Žáci se tak mohou inspirovat, popřípadě poskládají něco na základě své fantazie. Na základní škole k tomu lze využít čas v hodinách pracovní nebo výtvarné výchovy. V chemii si poté připraví nasycené roztoky, a své výtvary do nich ponoří. Po 15 minutách je ozdoba hotová (např. krystaly kamence draselno-hlinitého a draselno-chromitého, viz Obrázek 22). Aby déle vydržela neporušená, je vhodné ji zalakovat. Poté lze ozdobu připevnit na háček a libovolně zavěsit. Pokud chce vyučující ozdoby žákům ponechat, je vhodné zvolit roztoky chloridu sodného nebo cukru, které lze obarvit potravinářským barvivem.



Obrázek 22 Ozdobný krystal kamence draselno-hlinitého a draselno-chromitého připravený na pipe cleaneru

V rámci praktické části diplomové práce byly k přípravě **uměleckých krystalů** zvoleny přírodniny (větvičky, šišky, kůra stromů), které byly ponořeny do vybraných nasycených roztoků. Zajímavých efektů lze dosáhnout například ponořením pouze části přírodního materiálu nebo postupným vytahováním z roztoku. Ve škole si poté mohou žáci vymyslet název svého uměleckého díla, popřípadě vytvořit doplňující cedulku s rozšiřujícími informacemi. Ve třídě může být následně uspořádána výstava jejich uměleckých děl. Jeden z uměleckých krystalů připravených v praktické části zobrazuje Obrázek 23.



Obrázek 23 Umělecký krystal větve s krystaly kamence draselno-hlinitého a draselno-chromitého

V obchodech a hračkářstvích jsou běžně k dostání různé **sady a sety na přípravu krystalů pro děti**. Pořizovací cena těchto sad se pohybuje ve stovkách Kč, například v prodejnách řetězců Dráčik, Albi, Bambule a Sprakys; přehled vybraných komerčních sad na přípravu krystalů pro děti uvádí Tabulka 8. V každém řetězci byla možnost zakoupit nějakou sadu

na výrobu krystalů. U většiny těchto sad (především těch v cenové hladině nižších stovek korun) ale ani na cenovce nebo obalu produktu nebylo specifikováno, jaké chemikálie přesně obsahují a nebylo uvedeno ani jejich množství. Ve většině případů bylo napsáno pouze: „obsahuje krystalický prášek“. Z tohoto důvodu byly produkty vyhledány i na e-shopech těchto obchodů, ani zde ale tyto informace nejsou k dispozici.

Pokud tedy existuje zájem připravit si doma velké krystaly, je mnohem výhodnější nakoupit dostupné chemikálie v drogeriích nebo hobbymarketech. Například 1 kg epsomské soli ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) se prodává v drogerii DM za 149 Kč. Modrá skalice ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) je například k dostání v OBI za cenu 129 Kč za 500 g. Přes internet lze poté bez problémů koupit i dodekahydrát síranu draselno-hlinitého (cena se pohybuje kolem 80 Kč za 500 g) nebo dihydrogenfosforečnan amonný (v čisté podobě se prodává kolem 500 Kč za 1 kg).

Tabulka 8 Přehled vybraných komerčních sad a setů na přípravu krystalů pro děti

Produkt	Složení na obalu	Složení na e-shopu	Cena	Zdroj
Sparkys Rostoucí krystal	krystalický prášek 60 g	bez informace	152 Kč	[76]
KOSMOS Krystaly	obsahuje některé chemikálie	bez informace	669 Kč	[77]
Dětská laboratoř Minerály a geody	síran vápenatý dihydrogenfosforečnan amonný 25 g	bez informace	629 Kč	[78]
Albi Zářivé krystaly	kamenec 180 g dihydrogenfosforečnan amonný 110 g hořká sůl 20 g zářivý prášek 3 g sádra 125 g žluté tekuté barvivo 5 ml modré tekuté barvivo 5 ml	kamenec 180 g dihydrogenfosforečnan amonný 110 g hořká sůl 20 g zářivý prášek 3 g sádra 125 g žluté tekuté barvivo 5 ml modré tekuté barvivo 5 ml	899 Kč	[79]

Dále byla vyzkoušena příprava **krystalů měnících barvu** za využití dodekahydrátu síranu draselno-hlinitého a hexakyanidoželezitanu draselného, nicméně tato příprava nebyla úspěšná.

Příprava zárodečných krystalů probíhala následujícím způsobem. V menší kádince bylo rozpuštěno 10 g dodekahydrátu síranu draselno-hlinitého a 3 g hexakyanidoželezitanu draselného v 50 ml horké destilované vody. Poté byl roztok ponechán přes noc na nerušeném místě s konstantní teplotou (v uzavřené laboratorní skřínce). Druhý den byly na dně kádinky pozorovány pouze velmi malé krystaly, nicméně z důvodu jejich velikosti byly v roztoku ještě pár dní ponechány. Následně po vyjmutí z roztoku měly být krystaly rozděleny a opět měly být vloženy do roztoků (původní roztok rozdělený na části) – přičemž jedna část měla být umístěna do tmavé skříně, druhá část do ledničky, třetí část na slunné místo (pod okno) a čtvrtá část měla být ponechána jako kontrolní (za normálních podmínek). Po několika hodinách měly být

krystaly vytaženy a měl být pozorovány změny ve zbarvení. Chlad a tma má podporovat kanárkově žluté zbarvení, teplo a světlo modré zbarvení. Krystaly umístěné ve skříni (tma ale ne chlad) by měly být zbarveny do zelena. [80]

Tento experiment se bohužel nevydařil. Na dně kádinky ještě před rozdělením na části se vytvořily pouze velmi malé zárodečné krystaly, připomínající spíše zrna písku než krystaly. Byly proto ponechány v roztoku 7 dní, ale jejich velikost se nezměnila. Z důvodu jejich velikosti nebylo možné je navázat na nylonový vlasce a rozdělit je na 4 výše popsané části. Bylo tedy alespoň vyzkoušeno, zda bude měnit barvu tento připravený roztok, ale jak na tmavém, tak na slunném místě měl stále tmavě modrou barvu. Roztok byl ze začátku tmavě modrý, ale nakonec za normálních podmínek po 14 dnech změnil barvu na rezavou.

Velmi důležitým aspektem je správné **uchovávání všech připravených reálných krystalů**, aby se zamezilo postupné ztrátě lesku a případně také ztrátám krystalicky vázané vody (a s ní související změně barvy); zároveň je tento proces důležitý z hlediska bezpečnosti a praktické použitelnosti pro případné využívání reálných krystalů při výuce chemie na základních a středních školách. Byly provedeny 3 typy jejich konzervace – zalakování pomocí laku na nehty, zalakování pomocí bezbarvého laku ve spreji a zalití do pryskyřice.

V prvním případě je možno využít klasický průhledný krycí lak na nehty, který je k zakoupení v drogerii. Lak se na krystal nanáší štětečkem. Tento způsob je především u velkých krystalů časově náročnější a pracnější, protože je potřeba zalakovat všechny strany krystalu a také se lak nenanáší zcela rovnoměrně. Výhodou je, že se štětečkem snadněji dostaneme do všech záhybů a nedokonalostí krystalu. Je potřeba nanést alespoň dvě vrstvy laku.

Druhou možností je využít bezbarvý lak ve spreji. K dispozici jsou jak lesklé, tak matné varianty. Aby bylo dosaženo rovnoměrného nanesení, stříká se lak ze vzdálenosti asi 15 centimetrů. Tato varianta je rychlejší než lakování klasickým lakem na nehty. Na druhou stranu se hůře dostává k ohybům a nedokonalostem krystalů. Opět je potřeba nanést alespoň 2 vrstvy a dále pracovat v digestoři nebo na čerstvém vzduchu.

Zároveň byla provedena zkouška, která spočívala v odolnosti takto zalakovaných krystalů vůči vlhkosti, případně vůči přímo rozpouštění ve vodě. Zalakovaný krystal modré skalice byl na několik dní za normálních podmínek ponořen do destilované vody. Bohužel se téměř vždy v „obalu“ nacházely malé nedokonalosti (typicky nezalakovaná místa v záhybech krystalu a kolem zbylé části nylonového vlasce v krystalu), proto po několika hodinách postupně docházelo k rozpouštění krystalu (viz Obrázek 24). Nicméně i přes to by tento způsob měl být

dostatečně účinný pro to, aby se vytvořené krystaly mohly nechat bezpečně kolovat mezi žáky ve třídě a aby mohly být beze změny vzhledu skladovány po několik let.

Poslední provedenou možností pro dlouhodobé uchovávání připravených krystalů bylo jejich zalití do pryskyřice. Nevýhodou této možnosti jsou relativně pracnější a časově náročnější přípravné práce (potřeba směs čerstvě namíchat), také je tato metoda finančně náročnější. Na druhou stranu lze připravené krystaly poměrně snadno zakomponovat do uměleckých děl – celkem bylo vytvořeno 7 kusů výrobků z pryskyřice, které obsahují krystaly vytvořené v praktické části. Například byl vytvořen stojan na svíčky, šperkovnice nebo váza.



Obrázek 24 Zalakovaný krystal modré skalice po 48 hodinách ve vodě

V rámci praktické části diplomové práce bylo dále pořízeno celkem **67 fotografií krystalů a dalších materiálů** vytvořených v rámci praktické části diplomové práce; z toho 52 fotografií na černém a 15 fotografií na bílém jednolitém pozadí. Všechny pořízené fotografie jsou ke stažení na <https://upload.upol.cz/6R93-QZTS>, vybrané fotografie jsou i přímo součástí textu diplomové práce.

Nedílnou součástí bylo i vytvoření 3D struktur připravených reálných krystalů, a to ve formě **GIFů a videí**. Celkem bylo vytvořeno 24 GIFů, ty mohou učitelé využívat například ve výukových prezentacích. Dále byly tyto záběry exportovány ve formátu mp4 ve 4K kvalitě. Vybraná sestříhaná videa byla zveřejněna na YouTube kanálu CHEMIE ŽIJE!, kde jsou volně dostupná. Zbýlé GIFy a videa jsou ke stažení na <https://upload.upol.cz/L7M7-4F5X>. Materiály vytvořené na bílém jednolitém pozadí budou využity i na webových stránkách CHEMIE ŽIJE!.

Při natáčení krystalů bylo velmi důležité nastavení světla, aby bylo eliminováno co nejvíce světelných odrazů. Většina krystalů se nasvécovала jedním světlem ze strany a druhým světlem zezadu (proti kameře). U krystalů fialových kamenců a červené krevní soli bylo zvoleno

nasvícení pouze jedním světlem, a to přímo shora na krystal, jinak totiž docházelo k velkému množství odlesků a také tolik nevynikla barva těchto krystalů.

Hlavním důvodem přetáčení záběrů krystalů bylo špatné umístění krystalu na rotačním displeji. Aby byl krystal ve videu pouze na jednom místě a „necestoval“ po obrazovce zprava doleva, musel být na rotačním displeji umístěn přímo do jeho středu. K tomu, aby některé krystaly stály ve svislé pozici bylo zapotřebí využít černé šroubovací víčko od vialky. Nejprve bylo umístěno víčko na střed rotačního displeje, poté do něj byl nastaven krystal do požadované pozice a následně bylo zapnuto otáčení displeje. Bohužel několikrát se stalo, že po zapnutí otáčení krystal spadl a musel se opětovně nastavovat.

Zvuková stopa se do videa nahrávala externě až po jeho sestříhání. Bylo nutné hlasový záznam nahrávat v tiché místnosti, protože mikrofon zaznamenával veškeré rušivé elementy (například křik na chodbě, projetí záchranného vozu se zapnutými majáky). Pokud se v hlasovém záznamu rušivé elementy objevily, bylo jej nutné namluvit celý znovu kvůli případné odlišné síle hlasu a intonaci mluvčího.

Pro YouTube kanál CHEMIE ŽIJE! bylo vytvořeno **video s názvem Krása krystalů**. Video je volně dostupné na webovém odkaze <https://1url.cz/oJzZo> nebo po načtení QR kódu (viz Obrázek 25). Ve videu jsou zobrazeny vybrané krystaly následujících látek: dihydrogenfosforečnan amonný, hexakyadinoželezitan draselný, hexahydrát síranu železnato-amonného, pentahydrát síranu měďnatého, dodekahydrát síranu draselného-hlinitého a draselnochromitého a heptahydrát síranu hořečnatého.



Obrázek 25 QR odkaz na video Krása krystalů

Pro webové stránky CHEMIE ŽIJE! byl vytvořen **videopokus s názvem Horký led**. Kromě samotného videa byl do webových stránek písemně zpracován princip pokusu, pracovní postup, potřebné pomůcky a chemikálie, procvičování a bezpečnost. Videopokus i zpracované informace jsou dostupné na odkaze: <https://1url.cz/wJr2J> nebo po načtení QR kódu (viz Obrázek 26).



Obrázek 26 QR odkaz na videopokus Horký led

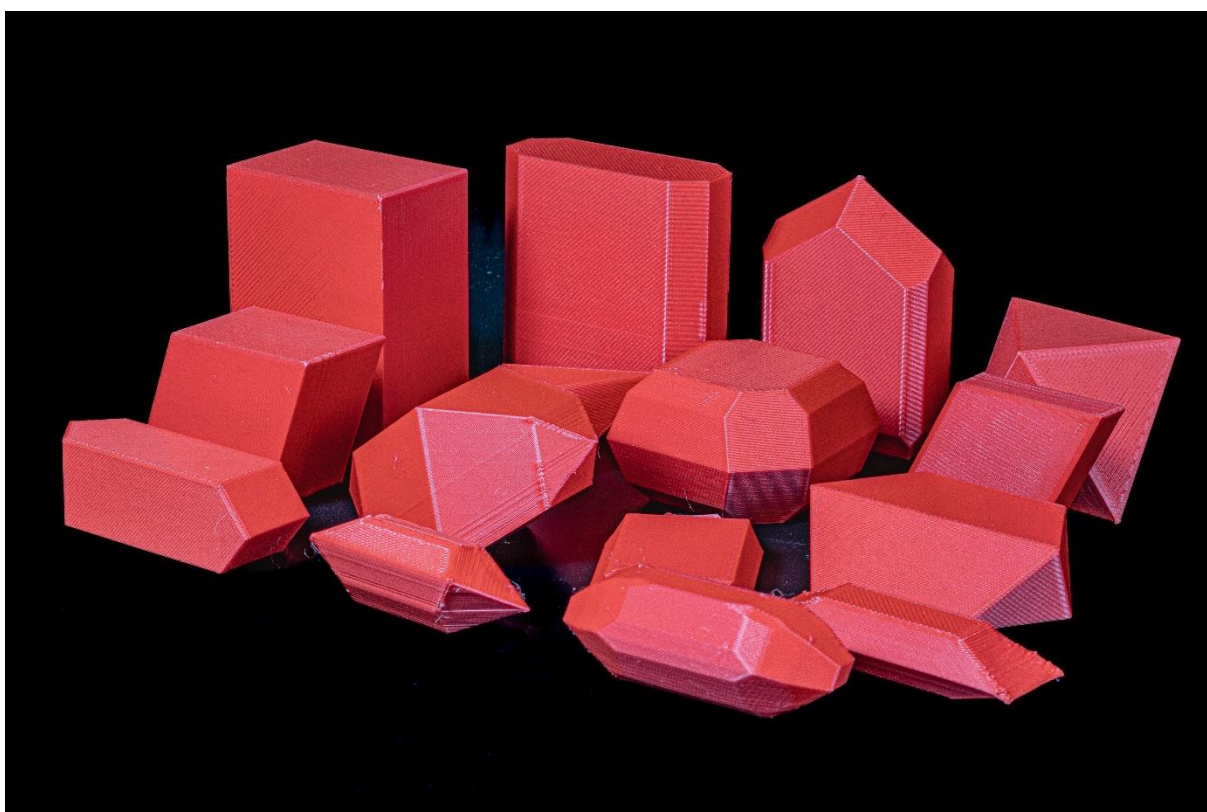
Zároveň bylo celkem vytištěno **148 3D modelů** ze 7 základních krystalografických soustav. Modely lze ve vyučování využít jako názornou pomůcku k demonstraci klíčových znaků každé soustavy (například osa četnosti, průřez). Dalším možným využitím je porovnávání vytištěného ideálního krystalu s krystalem reálným, což žákům pomůže s identifikací hlavních rozdílů mezi těmito dvěma strukturami. Všechny vytištěné 3D modely ideálních krystalů roztrženy podle jejich krystalografických soustav (různé barvy) zachycují Obrázky 27 až 32.



Obrázek 27 3D modely ideálních krystalů trojklonné soustavy



Obrázek 28 3D modely ideálních krystalů jednoklonné soustavy



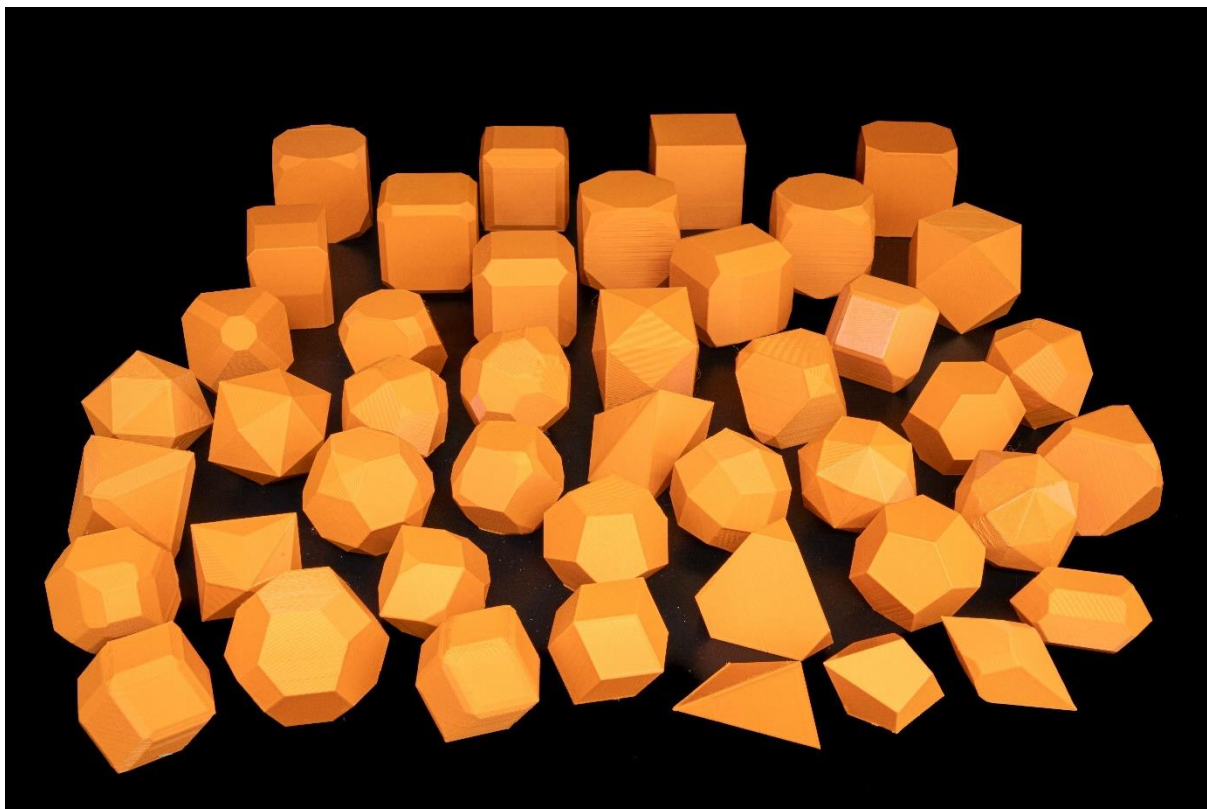
Obrázek 29 3D modely ideálních krystalů kosočtverečné soustavy



Obrázek 30 3D modely ideálních krystalů čtverečné soustavy



Obrázek 31 3D modely ideálních krystalů šesterečné a klencové soustavy



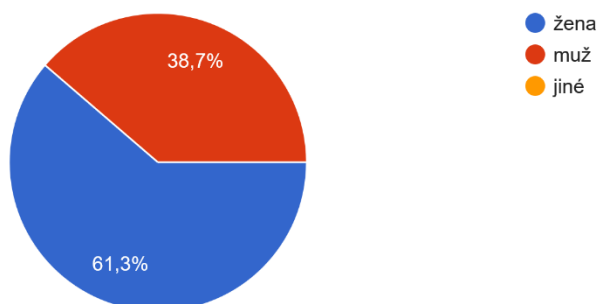
Obrázek 32 3D modely ideálních krystalů krychlové soustavy

Jako nástroj pro získání **zpětné vazby od žáků** byl zvolen **dotazník** formou GoogleForms. Celkem dotazník vyplnilo 31 žáků z předpokládaných 42 respondentů. Jednalo se o žáky čtvrtého ročníku oboru Aplikovaná chemie na Střední škole logistiky a chemie, konkrétně třídy 4.A1 a 4.A2. Hlavním důvodem nižšího množství získaných odpovědí byla vyšší nepřítomnost žáků na vyučovací hodině, při které byly využity vytvořené materiály. Při vyučovací hodině chybělo 7 žáků. Zbylí 4 žáci při vyučování přítomní byli, vyplnění dotazníku bylo ovšem dobrovolné, takže se tito žáci rozhodli jej nevyplnit.

Otázky 1 (Pohlaví) a 2 (Ročník studia) byly informační. A to konkrétně jakého jsou respondenti pohlaví a v kolikátém jsou ročníku studia. Z odpovědí (viz Obrázek 33 a Obrázek 34) vyplývá, že většina respondentů byla ženského pohlaví, konkrétně 19 žen a 12 mužů. U otázky 2 jeden žák pravděpodobně chybně odpověděl, že je studentem třetího ročníku, neboť dotazník vyplňovali pouze studenti čtvrtých ročníků.

Pohlaví:

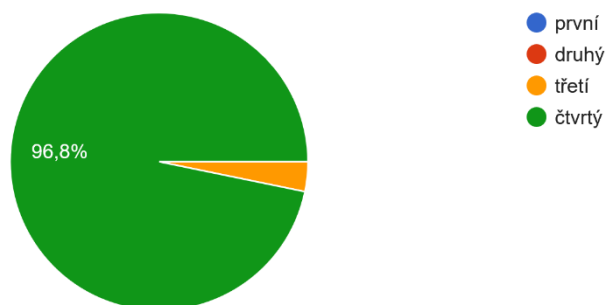
31 odpovědí



Obrázek 33 Získané odpovědi žáků na otázku 1

Ročník studia:

31 odpovědí

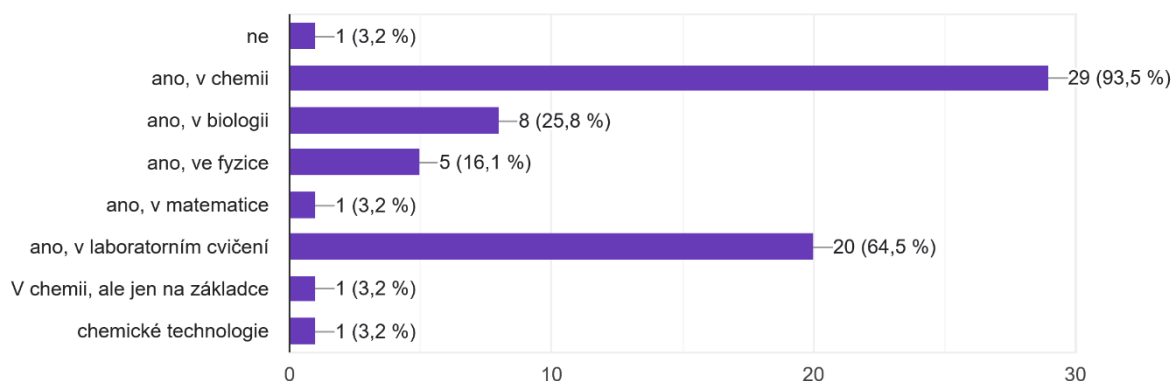


Obrázek 34 Získané odpovědi žáků na otázku 2

U otázky 3 (Slyšeli jste o krystalech a krystalizaci v nějakých předmětech? Pokud ano, v jakých?) je zarážející, že 1 žák ve čtvrtém ročníku na chemické oboru odpověděl, že ani jednou neslyšel o krystalizaci nebo krystalech a jeden žák odpověděl, že ano, ale pouze v chemii na základní škole. Nejpreferovanějšími odpověďmi bylo, že se s tímto tématem setkali v chemii a v laboratorním cvičení, viz Obrázek 35. To odpovídá i ŠVP této školy.

Slyšeli jste o krystalech a krystalizaci v nějakých předmětech? Pokud ano, v jakých?

31 odpovědí

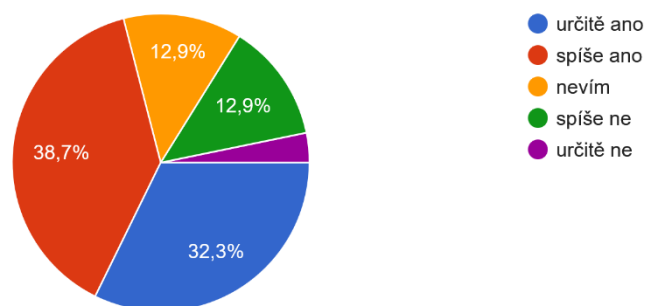


Obrázek 35 Získané odpovědi žáků na otázku 3

Na otázku 4 (Dokázali jste si názorně vizualizovat krystalografické struktury na základě 2D obrázků?) byly velmi různorodé odpovědi, viz Obrázek 36. Celkem 22 žáků odpovědělo, že si dokáží trojrozměrně vizualizovat. Nutno podotknout, že se jedná o subjektivní názor žáků, který nebyl ověřován. Zajímavé by bylo ho ověřit. Celkem 4 žáci označili odpověď 'nevím' a 4 žáci odpověděli, že si krystalografické soustavy na základě 2D obrázků vizualizovat nedokáží.

Dokázali jste si trojrozměrně vizualizovat krystalografické soustavy na základě 2D obrázků?

31 odpovědí



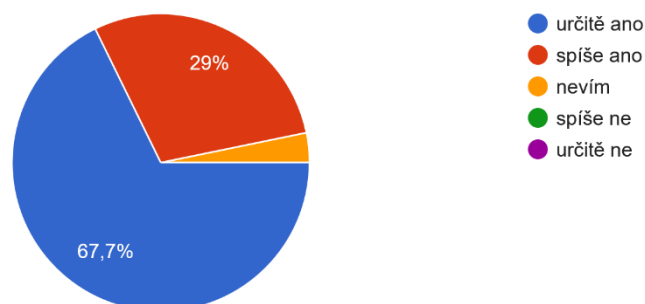
Obrázek 36 Získané odpovědi žáků na otázku 4

Otázka 5 (Pomohly Vám 3D modely krystalografických soustav (vytištěné na 3D tiskárně) pro lepší představu jejich tvaru?) byla věnovaná obrázkům a 2D strukturám, které se při výuce tohoto tématu využívají. Odpovědi u této otázky byly velmi různorodé. Celkem 22 respondentů odpovědělo, že by si na základě 2D obrázků dokázali krystalografickou soustavu trojrozměrně vizualizovat (z toho 10 odpovědělo určitě ano a 12 spíše ano), viz Obrázek 37. Nutno podotknout,

že jsme toto výsledky této otázky více neověřovali. Čtyři respondenti na otázku odpověděli nevím, 4 spíše ne a 1 určitě ne.

Pomohly Vám 3D modely krystalografických soustav (vytištěné na 3D tiskárně) pro lepší představu jejich tvaru?

31 odpovědí

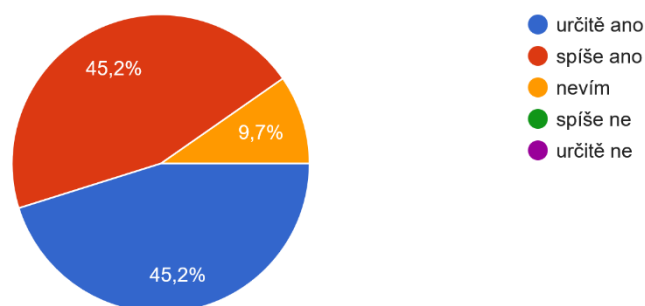


Obrázek 37 Získané odpovědi žáků na otázku 5

U otázky 6 (Pomohlo Vám porovnání modelu vybrané krystalografické soustavy s reálným krystalem (vypěstovaným) k identifikaci jejich vzájemných rozdílů?) většina respondentů odpověděla, že jim porovnání reálného a ideálního krystalu pomohlo k identifikaci rozdílů mezi nimi (viz Obrázek 38). Z toho 14 odpovědělo určitě ano, 14 spíše ano a 3 odpověděli, že neví.

Pomohlo Vám porovnání modelu vybrané krystalografické soustavy s reálným krystalem (vypěstovaným) k identifikaci jejich vzájemných rozdílů?

31 odpovědí



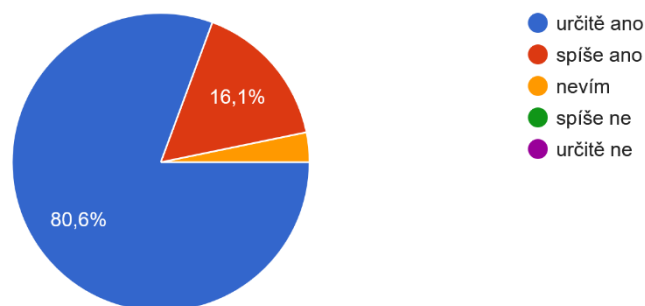
Obrázek 38 Získané odpovědi žáků na otázku 6

Otázky 7 (Považujete používání názorných pomůcek ve výuce chemie za užitečné?) a 8 (Myslíte si, že učitelé během výuky chemie využívali dostatek názorných pomůcek?) se vztahovaly obecně k využívání názorných pomůcek ve výuce. Podle 30 respondentů je

využívání názorných pomůcek ve výuce užitečné (viz Obrázek 39). Odpovědi na otázku, zda učitelé využívají dostatek názorných pomůcek v chemii jsou různé (viz Obrázek 40). Podle 5 respondentů určitě ano, podle 12 spíše ano, 5 jich odpovědělo nevím a 8 spíše ne a 1 určitě ne.

Považujete používání názorných pomůcek ve výuce chemie za užitečné?

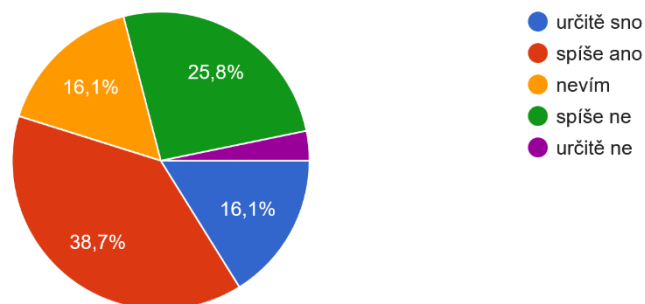
31 odpovědí



Obrázek 39 Získané odpovědi žáků na otázku 7

Myslíte si, že učitelé během výuky chemie využívali dostatek názorných pomůcek?

31 odpovědí

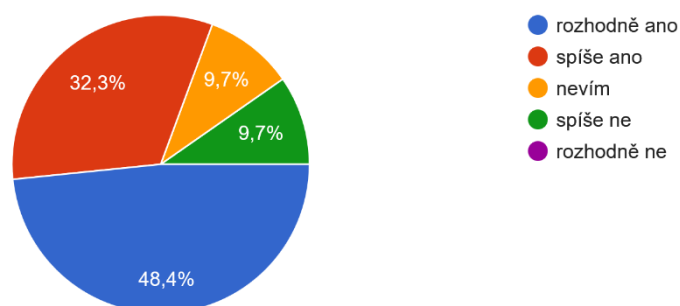


Obrázek 40 Získané odpovědi žáků na otázku 8

U otázky 9 (Chtěli byste si zkusit vypěstovat vlastní krystaly?) většina respondentů projevila zájem si připravit vlastní reálné krystaly, konkrétně 15 jich odpovědělo určitě ano a 10 spíše ano, viz Obrázek 41. Tento výsledek potvrzuje, že připravené velké reálné krystaly mají silnou evokační a motivační funkci.

Chtěli byste si zkusit vypěstovat vlastní krystaly?

31 odpovědí



Obrázek 41 Získané odpovědi žáků na otázku 9

Desátá otázka byla volná, respondenti v ní měli prostor zanechat jakýkoli komentář. Toho využili pouze 4, tyto odpovědi uvádí Obrázek 42. Odpověď „miluju velké modré krystaly skalice“ opět zřetelně dokazuje, že vytvořené reálné krystaly mají motivační funkci.

Zde je prostor pro Váš komentář.

4 odpovědi

Moc se mi prezentace slečny líbila, byla velmi užitečná

Ok dotazník

Je toho spoustu, co by se mělo ve výuce zlepšit.

miluju velké modré krystaly skalice

Obrázek 42 Získané odpovědi žáků na otázku 10

Také byla získána **zpětná vazba na vytvořené materiály od učitelů**, a to konkrétně od 2 vyučujících ze Střední školy logistiky a chemie Olomouc, U Hradiska 29. Oba vyučující totiž měli možnost s materiály pracovat u žáků čtvrtých ročníků oboru Aplikovaná chemie v předmětu Fyzikální chemie. Získaná zpětná vazba dokazuje, že pomůcky vytvořené v rámci diplomové práce jsou pro žáky přínosné.

Odpovědi na otázky od Mgr. Lucie Maškové, Ph.D.:

Otázka 1 (Používali jste při výuce krystalizace a krystalografie názorné, audiovizuální nebo některé další pomůcky? Pokud ano, jaké?)

Při výuce jsme mnoho pomůcek na toto téma nepoužívali. Spíše nákresy, případně fotografie. Pomůcky, na které si žáci mohou sáhnout jsou zřejmě atraktivnější a žáci si učivo lépe zapamatují. Obecně struktury látek jsou pro žáky těžko představitelné.

Otázka 2 (Inspirovali Vás materiály vytvořené v rámci této diplomové práce? Považujete je za přínosné? Pokud ano, proč?)

Určitě ano, fyzické modely i samotné krystaly žáky zaujaly více než pouhý výklad. Lépe si představili uspořádání částic v prostoru i našli osy souměrnosti. Materiály z této diplomové práce nás navedly na pořízení podobných či stejných pomůcek do naší školy.

Odpovědi na otázky od Mgr. Víta Matějka:

Otázka 1 (Používali jste při výuce krystalizace a krystalografie názorné, audiovizuální nebo některé další pomůcky? Pokud ano, jaké?)

Krystalizaci provádějí žáci během praktické výuky. Připravují krystal skalice modré, později pomocí krystalizace přečišťují pevné látky. Krystalografií se zabýváme částečně v prvním ročníku v předmětu chemie, konkrétně při výuce chemické vazby a dále v anorganické chemii při probírání vlastností jednotlivých prvků a jejich sloučenin. Hluběji se tomuto tématu věnujeme ve čtvrtém ročníku ve fyzikální chemii, kde se zabýváme vlastnostmi pevných látek a základními typy krystalických mřížek.

Ve škole máme několik sad tyčinkových modelů, základní buňky a krystalické mřížky se snažíme tisknout na 3D tiskárnách. Osobně mám menší sbírku minerálů, které žákům беру do školy. Ve výuce také využívám videa z Khan Academy.

Otázka 2 (Inspirovali Vás materiály vytvořené v rámci této diplomové práce? Považujete je za přínosné? Pokud ano, proč?)

Materiály doporučené Katkou, zejména modely pro 3D tisk, nám velmi pomohly. Učivo o krystalických látkách považuji za náročné a obtížně uchopitelné, a proto jakékoliv názorné učební pomůcky učitelé jistě ocení. Katka u nás vykonávala několik praxí a její přístup byl velmi pozitivně hodnocen jak vyučujícími, tak žáky.

Zpětná vazba od žáků i vyučujících potvrdila, že názorné pomůcky žákům pomáhají se snadnějším pochopením učiva, v tomto případě s uvědoměním si rozdílů mezi ideálním a reálným krystalem a také k lepší vizualizaci krystalových struktur konkrétních krystalografických soustav.

Připravené krystaly modré skalice, červené krevní soli a fialového kamence draselno-hlinitého s přídavkem draselno-chromitého byly dále využity v rámci **popularizační akce** Maker Faire Olomouc 2024, viz Obrázek 43. Pro návštěvníky Katedra anorganické chemie připravila program „*Odhalujeme filmová tajemství*“. Krystaly představovaly kouzelné kameny ze série Harryho Pottera. Konkrétně krystal červené krevní soli představoval Kámen mudrců, krystal modré skalice představoval bezoár a krystal kamence byl Kámen vzkříšení.



Obrázek 43 Fotografie z popularizační akce Maker Faire Olomouc 2024

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla zpracována literární rešerše zabývající se krystalizací a základy krystalografie, s přihlédnutím k jejich uplatnitelnosti ve výuce chemie na základních a středních školách.

Dále byla v rámci teoretické části provedena analýza Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP ZV) a Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia (RVP G) a následně vybraných školních vzdělávacích programů (ŠVP), konkrétně se jednalo o ŠVP Základní školy Stupkova a ŠVP Gymnázia Hejčín. Protože vytvořené materiály byly použity na střední odborné škole, navíc byla vypracována i analýza Rámcového vzdělávacího programu pro vzdělávání 28–44–M/01 Aplikovaná chemie a Rámcového vzdělávacího programu pro vzdělávání 28–42–L/01 Chemik operátor a ŠVP Střední školy logistiky a chemie, oboru Aplikovaná chemie. Nedílnou součástí teoretické části byla i analýza dostupných českých a vybraných zahraničních učebnic chemie. Pro kvantitativní vyjádření analýzy byla sestavena hodnotící tabulka. Analýza byla provedena na vybraném vzorku novějších učebnic chemie zahrnujícím 3 české učebnice pro základní vzdělávání a víceletá gymnázia, 3 české středoškolské učebnice (především pro gymnázia) a 1 zahraniční učebnici pro střední vzdělávání.

V praktické části diplomové práce bylo cílem na téma krystalů a krystalizace vytvořit podpůrné výukové materiály a didaktické pomůcky. Bylo připraveno celkem 53 kusů reálných krystalů a na 3D tiskárně vytištěno 148 ks 3D modelů představujících ideální krystaly. Ve vyučovacím procesu mohou být tyto pomůcky využity samostatně nebo pro komparaci vzájemných rozdílů. Dále vzniklo celkem 67 fotografií a 24 GIFů. Kromě záběrů ve formátu GIF, které jsou určeny především do prezentací, vznikly totožné záběry také ve formátu MP4 (v nejvyšší kvalitě 4K), které jsou vhodné na webové stránky a sociální sítě (například pro popularizaci vědy).

Pro YouTube kanál CHEMIE ŽIJE! vzniklo souhrnné video reálných krystalů s názvem Krása krystalů. Video je volně dostupné. Pro webové stránky CHEMIE ŽIJE! byl vytvořen videopokus s názvem Horký led. Kromě samotného videopokusu byly do webových stránek zapracovány i textové informace týkající se principu, pracovního postupu, pomůcek a chemikálií, procvičování a bezpečnosti daného pokusu.

V praktické části bylo provedeno i dotazníkové šetření, které mělo za cíl získat zpětnou vazbu od žáků a učitelů na vytvořené pomůcky. Pro žáky byl vytvořen dotazník v GoogleForms, který obsahoval celkem 10 otázek. Zpětná vazba byla získána od 31 žáků, kteří s materiály pracovali

ve výuce. Vyučujícím byly položeny 2 otázky týkající se pomůcek spjatých s tématem krystalizace a materiály vytvořenými v této diplomové práci.

K diplomové práci jsou přiloženy dvě přílohy. Příloha 1 obsahuje štítky s doplňujícími informacemi pro výstavní krystaly. Příloha 2 obsahuje příručku pro všechny příznivce přípravy reálných krystalů s názvem *Umění krystalizace: praktická příručka pro každého*, která obsahuje pracovní postupy pro všechny připravené krystaly sepsané jasnou a srozumitelnou formou.

Nad rámec diplomové práce byly některé krystaly využity na popularizační akci Maker Faire v Olomouci, kde byly součástí programu „*Odhalujeme filmová tajemství*“, ve kterém byly představovány kouzelné kameny ze série Harry Potter.

Závěrem lze říci, že všechny stanovené cíle diplomové práce byly úspěšně naplněny.

ZDROJE

- [1] HERCHEL, Radovan, Alena KLANICOVÁ, Zdeněk ŠINDELÁŘ a Zdeněk TRÁVNÍČEK. *Laboratorní technika*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2016.
- [2] ELUC. *Krystalizace* [online]. [cit. 2025-02-15]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/krystalizace>
- [3] VELEBIL, Dalibor. Pěstování krystalů v domácích podmínkách. *Kamenický zpravodaj* [online]. 1999, 6(1), 29–30 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.velebil.net/clanky/pestovani-krystalu/>
- [4] NITSCH, Karel a M. RODOVÁ. FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AV ČR. *Růst krystalů: Reálné krystaly* [online]. Praha: Fyzikální ústav AV ČR, 2002 [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: https://csacg.fzu.cz/func/viewpdf.php?file=2002_1Nitsch.pdf
- [5] KRATOCHVÍL, Bohumil. Krystalizace farmaceutických substancí. *Chemické listy* [online]. 2007, 9–12 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: https://old.vscht.cz/chem_listy/docs/full/2007_01_3-12.pdf
- [6] CHADIMOVÁ, Vlasta, Marek CHVÁTAL, Dobroslav MATĚJKA a Jiří KÜHN. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE. Vznik minerálů a ložisek. *Mineralogie pro školy* [online]. [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/vznik.html>
- [7] Zbrašovské aragonitové jeskyně. In: *Správa jeskyní České republiky* [online]. [cit. 2025-04-15]. Dostupné z: <https://zbrasovske.caves.cz/>
- [8] CUKROVAR PROSENICE. *Výroba cukru* [online]. [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.hps.cz/vyroba-cukru/>
- [9] GIBSON, Ursula J., Lei WEI a John BALLATO. Semiconductor core fibres: materials science in a bottle. *Nat Commun.* 2021, (12).
- [10] ISABEL LÓPEZ VALERO. *Cristalizaciones* [online]. [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.cristalizaciones.com/>

- [11] DELOY, Adrienne. Growing Crystals: How to Make Beautiful Crystals at Home. *Crystalverse Crystal Growing* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.cristalizaciones.com/>
- [12] KRATOCHVÍL, Bohumil a Lubor JENŠOVSKÝ. *Úvod do krystalochemie*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [13] ČEKANOVÁ, Markéta. *Techmania Science Center: the first ten years*. [Plzeň]: Techmania Science Center, [2015]. ISBN 978-80-906204-1-4.
- [14] BOHM, J. THE HISTORY OF CRYSTAL GROWTH. *Acta Physica Hungarica*. 1985, **57**(3-4), 161-178.
- [15] TECHMANIE SCIENCE CENTRE / EDUPORTÁL. *Krystalografie* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2025-02-10]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/strukturalatek/krystalografie>
- [16] MATUŠKOVÁ, Leona. Krása neviditelného krystalu. *A/Magazín Akademie věd České republiky*. Akademie věd české republiky, 2023, **2023**(2), 18–27. Dostupné také z: <https://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/matematika-fyzika-a-informatika/Krasa-neviditelneho-krystalu.-Jak-se-zkouma-skryty-svet-atomu-a-molekul/>
- [17] VACÍK, Jiří. *Obecná chemie*. 2. vydání. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 2017. ISBN 978-80-7444-050-2.
- [18] International Union of Crystallography. *Acta Cryst.* 1992, (A48), 922-946.
- [19] CHADIMOVÁ, Vlasta, Marek CHVÁTAL, Jiří KÜHN a Dobroslav MATĚJKA. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE. *Mineralogie pro školy* [online]. neuvedeno [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/index.html>
- [20] FREYHARDT, H. C., ed. *Crystals. Growth, Properties, and Applications*. New York: Springer-Verlag, 1983. ISBN 3-540-09956-5.
- [21] KRAUS, Ivo. *Struktura a vlastnosti krystalů*. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-200-0372-X.

- [22] KNEBLOVÁ, Daniela. ÚSTAV CHEMIE – PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA MASARYKOVY UNIVERZITY. *Základní anorganické struktury* [online]. 2020 [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/sci/UChem/um/zas/index.html>
- [23] VŠETIČKA, Martin a Jaroslav REICHL. *Multimediální encyklopedie fyziky* [online]. 2006–2025 [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/623-idealni-krystalova-mrizka>
- [24] Krychlová soustava. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Krychlov%C3%A1_soustava
- [25] Hexagonální mřížka. In: [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/MAIN_PAGE](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page). *Wikipedia* [online]. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hexagonal_lattice.svg
- [26] Klencová soustava. In: *Wikipedie* [online]. https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Klencov%C3%A1_soustava
- [27] Čtverečná soustava. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Ctvere%C4%8Dn%C3%A1_soustava
- [28] Bravais Lattice. *ScienceFacts* [online]. 2025 [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.sciencefacts.net/bravais-lattice.html>
- [29] Co je to grafen? In: *Manipulátoři* [online]. 2021 [cit. 2025-02-15]. Dostupné z: <https://manipulatori.cz/co-je-to-grafen/>
- [30] THE NOBEL PRIZE. *All Nobel Prizes* [online]. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes/>
- [31] Strategie vzdělávací politiky ČR do roku 2030+. *Edu.cz: Jednotný metodický portál MŠMT* [online]. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2022 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/strategie-msmt/strategie-vzdelavaci-politiky-cr-do-roku-2030/>
- [32] RVP – Rámcové vzdělávací programy. *Edu.cz: Jednotný metodický portál MŠMT* [online]. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2022 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/>

- [33] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání: MŠMT*. Rok vydání: 2023. Dostupné také z: https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2023/07/RVP_ZV_2023_cista_verze.pdf
- [34] *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia: MŠMT*. Rok vydání: 2021. Dostupné také z: https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2020/08/RVPG-2007-07_final.pdf
- [35] *Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělávání 28–42–L/01 Chemik operátor: MŠMT*. Rok vydání: 2023. Dostupné také z: http://zpd.nuov.cz/RVP_3_vlna/RVP%202842L01%20Chemik%20operator.pdf
- [36] *Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělávání 28–44–M/01 Aplikovaná chemie: MŠMT*. Rok vydání: 2023. Dostupné také z: <http://zpd.nuov.cz/RVP/ML/RVP%202844M01%20Aplikovana%20chemie.pdf>
- [37] *ŠVP ZV Základní školy Olomouc, Stupkova 16: Základní škola Olomouc, Stupkova 16, příspěvková organizace*. Rok vydání: 2021, Olomouc.
- [38] *Školní vzdělávací plán pro obor vzdělání 79-41-K/41 Gymnázium: Gymnázium Olomouc-Hejčín, Tomkova 45*. Rok vydání: Olomouc, 2023.
- [39] STŘEDNÍ ŠKOLA LOGISTIKY A CHEMIE. *Školní vzdělávací program: Aplikovaná chemie*. Rok vydání: 2022.
- [40] PRŮCHA, Jan, Eliška WALTEROVÁ a Jiří MAREŠ. *Pedagogický slovník*. 4. aktualiz. vyd. Praha: Portál, 2008. ISBN 978-80-7367-416-8.
- [41] KOMENSKÝ, Jan Ámos, PATOČKA, František, ed. *Orbis Pictus v řeči české a německé: Pro nižší třídy škol středních*. Třetí opravené vydání. Praha: I. L. Kober, 1877.
- [42] JOSEF, Maňák a Knecht PETR. *Hodnocení učebnic*. Brno: Paido edice pedagogické literatury, 2007. ISBN 978-80-7315-148-5.
- [43] KOPECKÝ, Kamil. *Mikrokompozice a makrokompozice* [online]. 2023 [cit. 2025-04-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Y0FsjhIwXbg&t=700s>
- [44] BUDÍNSKÁ, Gabriela, Květoslava ŠTIKOVCOVÁ, Lucie JELÍNKOVÁ a Jana JANDOVÁ. *Hravá chemie 8: učebnice pro 8. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik, 2019. ISBN 978-80-7563-208-1.

- [45] ŠKODA, Jiří a Pavel DOULÍK. *Chemie 8 nová generace*. Nakladatelství Fraus, 2018. ISBN 978-80-7489-396-4. Dostupné také z: <https://flexibooks.cz/chemie-8-nova-generace/d-78062/>
- [46] MACH, Josef, Irena PLUCKOVÁ a Jiří ŠIBOR. *Chemie 8: úvod do obecné a anorganické chemie: učebnice vytvořená v souladu s RVP ZV*. Šesté aktualizované vydání. Brno: Nová škola, 2017. Duhová řada. ISBN 978-80-7289-922-7.
- [47] ČAPEK ADAMEC, Martin. *Chemie I Obecná a anorganická chemie: pro gymnázia*. Praha: Eduko nakladatelství, 2024. ISBN 978-80-88473-35-0.
- [48] ŠVANDOVÁ, Veronika, Alena ŠÁFROVÁ, Iveta ŽABOVÁ a Bruno KOSTURA. *Obecná chemie 1*. Praha: Taktik, 2023. ISBN 978-80-7563-590-7.
- [49] OBRÁTIL, Vilém a Leoš SÁBLÍK. *Chemie pro spolužáky Obecná chemie II*. Praha: ProSpolužáky.cz, 2018. ISBN 978-80-88255-34-5.
- [50] BUTHELEZI, Thandi, Laurel DINGRANDO, Nicholas HAINEN, Cheryl WISTROM a Dinah ZIKE. *Chemistry: Matter and Change*. Teacher edition. Columbus, OH: McGraw-Hill Education, [2017]. ISBN 978-0-07-677461-6.
- [51] MACHANCOVÁ, Kateřina. *Žakovské experimenty v hodinách chemie na ZŠ*. Olomouc, 2023. Bakalářská. Tomáš Šilha.
- [52] SMITHENRY, Dennis William. Integrating Guided Inquiry into a Traditional Chemistry Curricular Framework. *International Journal of Science Education*. 2010, 32(13), 1689–1714. ISSN 0950-0693.
- [53] Growing Crystals: How to Make Beautiful Crystals at Home. In: *Crystalverse Crystal Growing* [online]. 2022, 21. 1. 2022 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://crystalverse.com/growing-crystals/>
- [54] VIDUEIRA FERREIRA, Joao Elias a Gwendolyn Angela LAWRIE. Profiling the combinations of multiple representations used in large-class teaching: pathways to inclusive practices. *Chemistry Education Research and Practice*. 2019, 20(902).

- [55] CAO, Jiayu, Hua GUAN a Jianwen JIANG. A Review of the Literature on Project-Based Learning in High School Chemistry over the Past Decade in the Journal of Chemical Education. *Journal of Chemical Education*. 2025, **599–614**(102).
- [56] The Best Way to Grow Big Copper Sulfate Crystals. In: *Crystalverse Crystal Growing* [online]. 2021, 9. 10. 2021 [cit. <https://crystalverse.com/mohrs-salt/0>]. Dostupné z: <https://crystalverse.com/best-way-to-grow-copper-sulfate-crystals/>
- [57] HELMENSTINE, Anne. How to Grow Blue Copper Sulfate Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2022, 22. 6. 2022 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/how-to-grow-blue-copper-sulfate-crystals/>
- [58] HELMENSTINE, Anne. How to Grow a Big Alum Crystal. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2021, 13. 1. 2021 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/how-to-grow-a-big-alum-crystal/>
- [59] Grow Purple Single Crystals of Salt at Home! DIY Home Decorations!. *YouTube* [online]. 2015, 14. 11. 2015 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WLBZIV-cRNU>
- [60] My First Attempt at Growing Mohr's Salt Crystals. In: *Crystalverse Crystal Growing* [online]. 2020, 1. 10. 2020 [cit. <https://crystalverse.com/mohrs-salt/0>]. Dostupné z: <https://crystalverse.com/mohrs-salt/>
- [61] How to Grow Green Single Crystal of Mohr's Salt at Home? DIY homemade!. *YouTube* [online]. 2016, 3. 1. 2016 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RDeIUroQ4Eo&t=55s>
- [62] HELMENSTINE, Anne. Grow Natural Bright Red Potassium Ferricyanide Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2021, 24. 5. 2021 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/grow-natural-bright-red-potassium-ferricyanide-crystals/>
- [63] Jak si doma vypěstovat vlastní krystaly. *YouTube* [online]. 2018, 22. 12. 2018 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kKLga-8IMiY>
- [64] HELMENSTINE, Anne. How to Grow Epsom Salt Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2023, 15. 1. 2023 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/how-to-grow-epsom-salt-crystals/>

- [65] HELMENSTINE, Anne. Grow Table Salt or Sodium Chloride Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2013, 30. 5. 2013 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/grow-table-salt-or-sodium-chloride-crystals/>
- [66] HELMENSTINE, Anne Marie. How To Grow Sodium Nitrate Crystals. *ThoughtCo* [online]. 2019, 26. 3. 2019 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/how-to-grow-sodium-nitrate-crystals-606224>
- [67] HELMENSTINE, Anne. How to Make Glow in the Dark Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2021, 20. 12. 2021 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/how-to-make-glow-in-the-dark-crystals/>
- [68] Barevné krystaly ve vajíčku. *VIDA!* [online]. [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://vida.cz/blog/barevne-krystaly-ve-vajicku>
- [69] Chemie: Pokus – Solné krystaly. *YouTube* [online]. 2020, 14. 5. 2020 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=FVOLMiJIRgg>
- [70] Dana Crystal Models - triclinic. *Thingiverse* [online]. 2022, 2. 2. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5229222>
- [71] Dana Crystal Models - monoclinic. *Thingiverse* [online]. 2022, 31. 1. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5225493>
- [72] Dana Crystal Models - orthorhombic. *Thingiverse* [online]. 2022, 25. 1. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5215966>
- [73] Dana Crystal Models - tetragonal. *Thingiverse* [online]. 2022, 14. 2. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5246339>
- [74] Dana Crystal Models - hexagonal/trigonal. *Thingiverse* [online]. 2022, 21. 2. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5256241>
- [75] Dana Crystal Models - cubic. *Thingiverse* [online]. 2022, 3. 3. 2022 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:5271218>

- [76] SPARKYS [online]. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: https://www.sparkys.cz/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqv2_BhC0ARIsAFb5Ac-wOJbUFXYkOMpCQ8LvaJKNzzOnVKo9BmT7pcog2YXgMrXZCOTFGs0aAq57EALw_wcB
- [77] *Dráčik* [online]. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://www.dracik.cz/>
- [78] *Království hraček Bambule* [online]. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://www.bambule.cz/>
- [79] *Albi* [online]. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://albi.cz/>
- [80] HELMENSTINE, Anne. How to Grow Color Change Crystals. In: *Science Notes and Projects* [online]. 2021, 2. 5. 2021 [cit. 2025-04-04]. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/how-to-grow-color-change-crystals/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Krystaly modré skalice připravené krystalizací volným ochlazením	14
Obrázek 2 Krystaly modré skalice připravené rušenou krystalizací	14
Obrázek 3 Krystaly aragonitu ve Zbrašovských aragonitových jeskyních [7].....	16
Obrázek 4 Krystalizovaná cikáda od Adrienne DeLoe [11]	17
Obrázek 5 Typy elementárních buněk – zleva: primitivní, plošně centrovaná a prostorově centrovaná buňka [23].....	23
Obrázek 6 Osní kříž a primitivní buňku krychlové soustavy [19][24].....	24
Obrázek 7 Osní kříž a plošně centrovaná buňka šesterečné soustavy [19][25]	25
Obrázek 8 Osní kříž a primitivní buňka klencové soustavy [19][26]	25
Obrázek 9 Osní kříž a primitivní buňka čtverečné soustavy (upraveno) [19][27].....	26
Obrázek 10 Osní kříž a primitivní buňka kosočtverečné soustavy (upraveno)[19][28]	26
Obrázek 11 Osní kříž a primitivní buňka jednoklonné soustavy (upraveno) [19][28].....	27
Obrázek 12 Osní kříž a primitivní buňka trojklonné soustavy (upraveno) [19][28].....	27
Obrázek 13 Alotropické modifikace uhlíku – zleva grafit, diamant, fulleren [29].....	34
Obrázek 14 Krystaly dihydrogenfosforečnanu amonného s různým přídavkem příměsi [53] 48	
Obrázek 15 Výstavní krystaly nalepené na podstavcích.....	67
Obrázek 16 Zakalování roztoku Mohrovy soli. Vlevo čerstvě připravený roztok, uprostřed roztok po 14 dnech, vpravo roztok po 30 dnech.	68
Obrázek 17 Krystal kamence draselno-hlinitého s přídavkem chininu hemisulfátu pod UV světlem.....	69
Obrázek 18 Roztok síranu draselno-hlinitého po nalití obsahu svítícího náramku.....	70
Obrázek 19 Krystal kamence draselno-hlinitého s přídavkem obsahu svítícího náramku pod UV světlem.....	70
Obrázek 20 Skořápka s krystaly modré skalice.....	71
Obrázek 21 Skořápka s krystaly červené krevní soli.....	71
Obrázek 22 Ozdobný krystal kamence draselno-hlinitého a draselno-chromitého připravený na pipe cleaneru.....	72
Obrázek 23 Umělecký krystal větve s krystaly kamence draselno-hlinitého a draselno- chromitého.....	72
Obrázek 24 Zalakovaný krystal modré skalice po 48 hodinách ve vodě	75
Obrázek 25 QR odkaz na video Krása krystalů	76
Obrázek 26 QR odkaz na videopokus Horký led.....	77

Obrázek 27 3D modely ideálních krystalů trojklonné soustavy.....	77
Obrázek 28 3D modely ideálních krystalů jednoklonné soustavy	78
Obrázek 29 3D modely ideálních krystalů kosočtverečné soustavy	78
Obrázek 30 3D modely ideálních krystalů čtverečné soustavy.....	79
Obrázek 31 3D modely ideálních krystalů šesterečné a klencové soustavy	79
Obrázek 32 3D modely ideálních krystalů krychlové soustavy	80
Obrázek 33 Získané odpovědi žáků na otázku 1	81
Obrázek 34 Získané odpovědi žáků na otázku 2.....	81
Obrázek 35 Získané odpovědi žáků na otázku 3.....	82
Obrázek 36 Získané odpovědi žáků na otázku 4.....	82
Obrázek 37 Získané odpovědi žáků na otázku 5.....	83
Obrázek 38 Získané odpovědi žáků na otázku 6.....	83
Obrázek 39 Získané odpovědi žáků na otázku 7.....	84
Obrázek 40 Získané odpovědi žáků na otázku 8.....	84
Obrázek 41 Získané odpovědi žáků na otázku 9.....	85
Obrázek 42 Získané odpovědi žáků na otázku 10.....	85
Obrázek 43 Fotografie z popularizační akce Maker Faire Olomouc 2024	87

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled způsobů krystalizace z roztoku [1].....	13
Tabulka 2 Přehled prvků symetrie a jejich příslušných operací symetrie [17]	28
Tabulka 3 Hodnotící kritéria pro analýzu učebnic chemie a maximální bodové ohodnocení .	43
Tabulka 4 Bodové ohodnocení vybraných učebnic chemie pro ZŠ	44
Tabulka 5 Bodové ohodnocení vybraných učebnic chemie pro SŠ	45
Tabulka 6 Seznam chemikálií použitých v praktické části	50
Tabulka 7 Přehled počtu 3D vytištěných modelů ideálních krystalů a jejich barevného rozlišení pro jednotlivé krystalografické soustavy.....	60
Tabulka 8 Přehled vybraných komerčních sad a setů na přípravu krystalů pro děti.....	73

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

4K	druh standardu pro rozlišení obrazu
API	aktivní farmaceutická složka (angl. <i>Active Pharmaceutical Ingredience</i>)
BOV	badatelsky orientovaná výuka
ČR	Česká republika
DNA	deoxyribonukleová kyselina
GIF	druh grafického formátu (angl. <i>Graphics Interchange Format</i>)
Kč	Korun českých
MP4	druh formátu multimediálního kontejneru
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
PLA	polyaktidový polymer kyseliny mléčné
RTG	rentgenové (záření)
RVP G	rámcový vzdělávací program pro gymnázia
RVP PV	rámcový vzdělávací program pro předškolní vzdělávání
RVP ZV	rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání
RVP	rámcový vzdělávací program
ŠVP	školní vzdělávací program

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Štítky s doplňujícími informacemi k výstavním krystalům (str. 103–106)
- Příloha 2 Umění krystalizace: Praktická příručka pro každého (PDF)
(vloženo do systému STAG)

Příloha 1

Štítky s doplňujícími informacemi k výstavním krystalům

Modrá skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Krystalografická soustava: Trojklonná Doba růstu: 70 dní 	Modrá skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Krystalografická soustava: Trojklonná Doba růstu: 50 dní 
Modrá skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Krystalografická soustava: Trojklonná Doba růstu: 50 dní 	Chlorid sodný NaCl Krystalografická soustava: Kubická Doba růstu: 30 dní 

Chlorid sodný NaCl Krystalografická soustava: Kubická Doba růstu: 30 dní 	Mohrova sůl $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Krystalografická soustava: Jednoklonná Doba růstu: 60 dní 
Červená krevní sůl $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Krystalografická soustava: Jednoklonná Doba růstu: 60 dní 	Červená krevní sůl $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Krystalografická soustava: Jednoklonná Doba růstu: 50 dní 

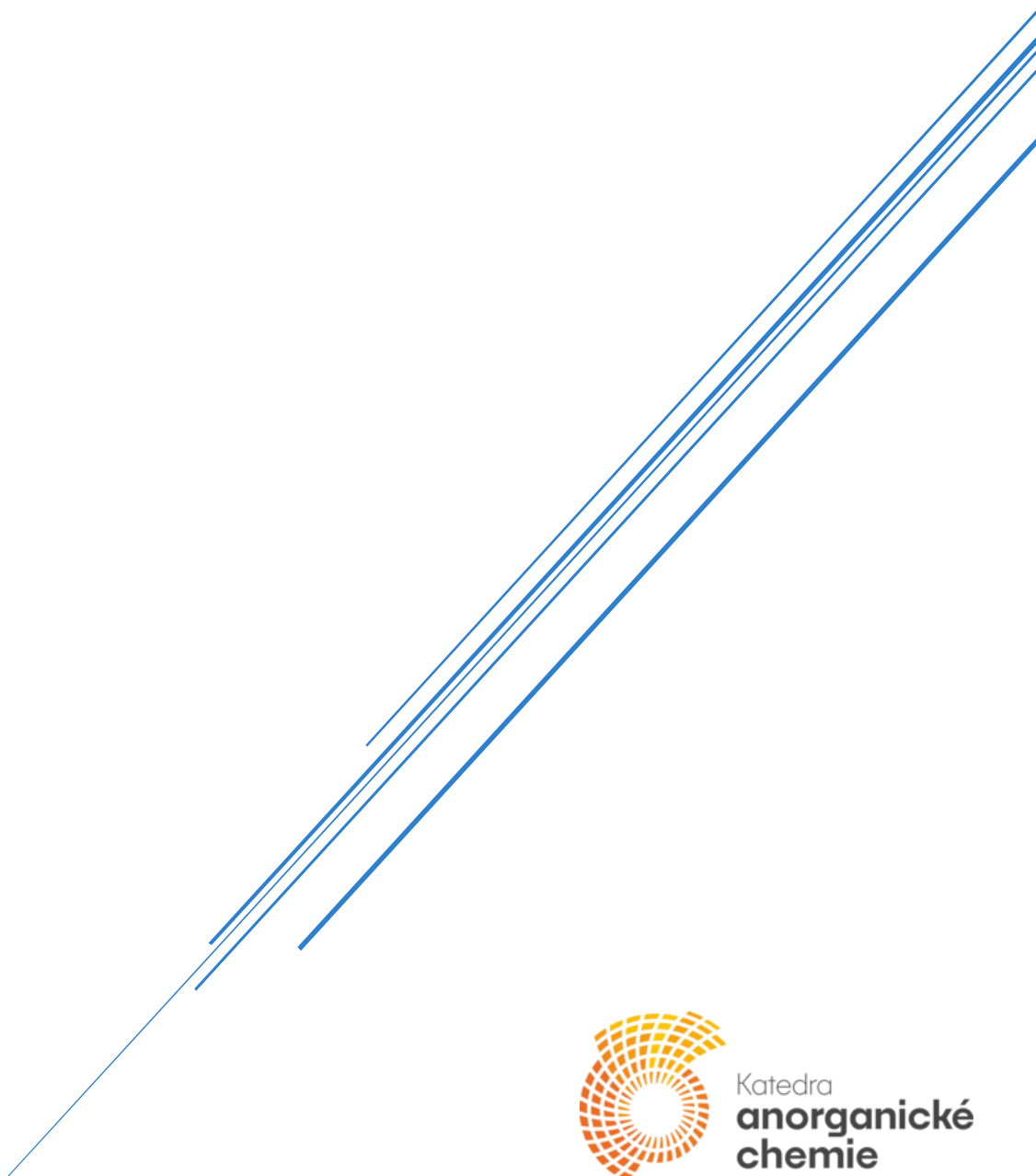
Červená krevní sůl $K_3[Fe(CN)_6]$ Krystalografická soustava: Jednoklonná Doba růstu: 40 dní 	Červená krevní sůl $K_3[Fe(CN)_6]$ Krystalografická soustava: Jednoklonná Doba růstu: 20 dní 
Kamenec $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ a $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ Krystalografická soustava: Kubická Doba růstu: 60 dní 	Kamenec $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ a $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ Krystalografická soustava: Kubická Doba růstu: 50 dní 

Epsomská sůl $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Krystalografická soustava: Kosočtverečná Doba růstu: 15 dní 	Chilský ledek NaNO_3 Krystalografická soustava: Kosočtverečná Doba růstu: 20 dní 
Dihydrogenfosforečnan amonný $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ Krystalografická soustava: Čtverečná Doba růstu: 5 dní 	Dihydrogenfosforečnan amonný $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ Krystalografická soustava: Čtverečná Doba růstu: 3 dny 

UMĚNÍ KRYSTALIZACE:

PRAKTICKÁ PŘÍRUČKA PRO KAŽDÉHO

Kateřina Machancová



Předmluva

Milí čtenáři,

vítejte ve fascinujícím světě krystalů – neobyčejných pokladů přírody, které se před našima očima rodí z neviditelných stavebních bloků! Už jste někdy drželi v ruce krystal křemene, ametystu nebo třeba kuchyňské soli a žasli nad jeho krásou? Pokud ano, pak jste na správné adrese. Připravte se na dobrodružství, které vás vtáhne do mikroskopického světa atomů a molekul.

Tato příručka není jen suchopárnou sbírkou návodů. Představte si ji jako mapu k pokladu, kde tím pokladem je majestátní, Vámi vypěstovaný krystal. Budeme spolu objevovat kouzlo přesycených roztoků, trpělivě čekat, až se neviditelné částičky spojí v úžasné geometrické tvary, a možná občas i trochu čarovat s teplotou a koncentrací.

Možná si teď říkáte: „Já a krystaly? To zní spíš jako něco pro vědce v bílých pláštích!" Ale věřte mi, pěstování krystalů je zábava pro každého – pro zvědavé školáky, pro dospělé s duší objevitele i pro ty, kteří si prostě chtějí ozvláštnit poličku něčím originálním, co sami vytvořili.

Jen pozor, milí čtenáři, na jedné věci si musíme dát záležet. Pěstování velkých a krásných krystalů není sprint na sto metrů, ale spíše běh na dlouhou trať. Vyžaduje čas a trpělivost. Někdy to může jít rychle, většinou ale budete muset vyčkat, pozorovat a možná i některé pokusy opakovat. Právě v tom však spočívá to kouzlo! Ten pocit, když se konečně před Vámi zjeví Vaše vlastní, velké krystaly, ten je k nezaplacení. A dovolte mi ještě malé doporučení: Aby Vaše krystaly vydržely krásné po dlouhou dobu, doporučuji je zalakovat.

A co je neméně důležité, pamatujte prosím na maximální opatrnost a bezpečnost při práci s jakýmkoli chemickými látkami. Používejte předepsané ochranné pomůcky (jako jsou brýle a rukavice) a dodržujte bezpečné postupy práce. Vaše zdraví je vždy na prvním místě, a proto k experimentům přistupujte zodpovědně a s plným vědomím potenciálních rizik.

Tak pojďme na to! Připravte si sklenice (nebo lépe kádinky), vodu, možná nějakou tu chemikálii (s rozumem a opatrností, samozřejmě!) a hlavně – pořádnou dávku zvědavosti a trpělivosti. Věřte mi, na konci této cesty budete držet v ruce něco víc než jen krystal. Budete držet důkaz své vlastní píle a trpělivosti, malý zázrak, který jste sami přivedli na svět. A to za to opravdu stojí!

Příprava krystalů modré skalice

Chemikálie:

- pentahydrát síranu měďnatého
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

Do kádinky odměříme 100 ml vody a zahřejeme ji alespoň na 80 °C. Do horké vody přidáme 55 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Roztok mícháme, dokud se většina modré skalice nerozpustí. Poté ještě horký roztok přefiltrujeme za normálního tlaku do širší kádinky. Na její dno nasypeme pár zrněk modré skalice. Kádinku s roztokem necháme alespoň 24 hodin odstát. Na dně kádinky se vytvoří malé krystaly. Z nich vybereme ty, které mají co nejideálnější tvar. Tyto zárodečné krystaly můžeme uschovat v uzavíratelné nádobě.

Růst monokrystalu

Poměr pro přípravu roztoku 50 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ /100 ml horké vody. Pro začátek je potřeba připravit alespoň 300 ml roztoku. Jeden konec nylonového vlasce přivážeme k vypěstovanému zárodečnému krystalu a druhý konec připevníme ke špejli. Takto připravený krystal vložíme do připraveného roztoku modré skalice. Roztok umístíme na stinné s konstantní teplotou (nejlépe do skřínky). Roztok je potřeba jednou za týden přefiltrovat za normálního tlaku, abychom ho zbavili případných nečistot, které by ovlivnily růst krystalů.

Přibližně po 30 dnech je potřeba roztok dosytit. Roztok mírně zahřejeme (maximálně 50 °C) a přidáme tolik $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dokud se bude rozpouštět. Poté necháme roztok zchladnout na pokojovou teplotu a přefiltrujeme za normálního tlaku.

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

Růst polykrystalu

Poměr pro přípravu roztoku je 70 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ku 100 ml horké vody. Zárodečný krystal můžeme opět připevnit na špejli nebo ho můžeme volně umístit na dno kádinky. Oproti pěstování monokrystalu je potřeba roztok dosycovat jednou za 14 dní.

Příprava krystalů kamence

Chemikálie:

- dodekahydrát síranu draselno-hlinitého
- dodekahydrát síranu draselno-chromitého
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

V kádince zahřejeme 400 ml destilované vody alespoň na 80 °C, poté přidáme 100 g $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ a 12 g $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ a mícháme, dokud se většina nerozpustí. Vzniklý tmavě modrofialový roztok přefiltrujeme za normálního tlaku a kádinku umístíme na stinné místo alespoň na 24 hodin.

Poté roztok opět přefiltrujeme. Na dně kádinky se vytvořili malé světle fialové krystaly. Vybereme ty, které mají nejideálnější tvar oktaedru.

Růst monokrystalu

Krystal je potřeba upevnit k nylonovému vlasci, kvůli svému tvaru se špatně navazuje, proto je lepší krystal k vlasci přilepit sekundovým lepidlem. Druhý konec vlasce upevníme ke špejli. Takto připravený krystal vložíme zpět do přefiltrovaného roztoku.

Jednou týdně je potřeba roztok přefiltrovat a přibližně jednou za 40 až 45 dní dosytit. Roztok mírně zahřejeme (maximálně 50 °C) a přidáme tolik $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, dokud se bude rozpouštět. Pokud by roztok výrazně ztratil tmavé zabarvení, můžeme přidat i lžičku $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Poté necháme roztok zchladnout na pokojovou teplotu a přefiltrujeme za normálního tlaku.

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

TIP: Množstvím přídavku $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ovlivníte barvu výsledného krystalu. Při menším přídavku budou krystaly levandulově fialové, a naopak při větším přídavku budou temně fialové. Pokud chcete získat čiré krystaly, nepřidávejte $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, místo krychlové soustavy ale můžete získat krystaly v soustavě šesterečné.

Příprava krystalů Mohrovy soli

Chemikálie:

- hexahydrát síranu amonno-železnatého
- heptahydrát síranu železnatého
- síran amonný
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

Variant A

Ve 200 ml horké vody rozpustíme 140 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Pokud roztok není jasně zelený, je potřeba ho nejprve přefiltrovat za normálního tlaku. Poté jej necháme na stinném místě přes noc odstát. Druhý den roztok opět přefiltrujeme a na dně kádinky nalezneme malé krystaly. Vybereme ty největší a nejlépe vyvinuté a uschováme je pro další použití.

Variant B

Pokud nemáme k dispozici přímo hexahydrát síranu amonno-železnatého, můžeme roztok připravit i rozpuštěním 60 g síranu amonného a 140 g heptahydrátu síranu železnatého ve 400 ml horké destilované vody. Vznikne zelenožlutý roztok, který je potřeba nejprve přefiltrovat za normálního tlaku. Po filtraci by měl být roztok jasně zelenou barvu. Pokud ne, přefiltrujeme ho ještě jednou.

Růst monokrystalu

Na jeden konec nylonového vlasce upevníme zárodečný krystal. Druhý konec přivážeme na špejli. Takto nachystaný krystal vložíme do roztoku, který nám zůstal po z přípravy zárodečných krystalů.

Jakmile se roztok začne zakalovat (změní svoji barvu z jasně zelené do žlutohnědé a na dně kádinky pozorujeme usazeniny) je potřeba ho vždy přefiltrovat (cca každé 3 až 4 dny). Pokud roztok nepřefiltrujeme, vzniklé usazeniny znečistí krystal.

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

TIP: Kvůli vzniku většího množství usazenin v roztoku není vhodné nechat zárodečné krystaly na dně kádinky.

Příprava krystalů červené krevní soli

Chemikálie:

- hexakyanidoželezitan draselný
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

Ve 200 ml horké vody rozpustíme 133 g $K_3[Fe(CN)_6]$. Roztok necháme přes noc odstát. Druhý den roztok přefiltrujeme za normálního tlaku. Ze dna kádinky vybereme nejvíce vyvinuté krystaly, které uschováme. Pro polykrystaly můžeme vybrat krystaly, které jsou i částečně srostlé.

Příprava monokrystalu

Zárodečný krystal navážeme na jeden konec nylonového vlasce, druhý konec vlasce upevníme ke špejli. Takto připravený krystal vložíme do roztoku, který nám zbly z přípravy zárodečných krystalů. Roztok je potřeba každý týden přefiltrovat, a poté co roztok změni barvu z temně tmavě červené na červenooranžou je potřeba jej dosytit. Roztok zahřejeme na (max. 50 °C) a přidáme tolik $K_3[Fe(CN)_6]$, dokud se bude rozpouštět (roztok bude opět temně tmavě červený).

Příprava polykrystalu

U polykrystalu si můžeme vybrat, jestli zárodečný krystal připevníme na nylonový vlasce nebo jej volně umístíme na dno kádinky s roztokem. Pro přípravu roztoku využijeme stejný poměr jako u přípravy zárodečných krystalů. Jednou za týden roztok přefiltrujeme a při změně zbarvení ho dosytíme. Oproti pěstování monokrystalu ale roztok zahřejeme na 80 °C a přidáme tolik $K_3[Fe(CN)_6]$, dokud se bude rozpouštět.

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

Příprava krystalů epsomské soli

Chemikálie:

- heptahydrát síranu hořečnatého
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

V kádince rozpustíme 300 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 200 ml horké vody. Roztok necháme alespoň 24 hodin odstát. Poté roztok přefiltrujeme za normálního tlaku a ze dna kádinky vybereme nejvyvinutější krystaly, které uschováme.

Příprava monokrystalu

Zárodečný krystal uvážeme na nylonový vlasec, druhý konec vlasce připevníme ke špejli. Takto připravený krystal umístíme do roztoku, který nám zůstal z přípravy zárodečných krystalů. Roztok je potřeba jednou za týden přefiltrovat a jednou za 14 dní dosytit. Roztok zahřejeme (max. 50 °C) a přidáme tolik $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dokud se bude rozpouštět.

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

TIP: Krystaly epsomské soli rostou do délky, proto je poté vhodné větší krystaly přemístit například do skleněné vany, která je delší než kádinky.

Příprava krystalů dihydrogenfosforečnanu amonného

Chemikálie:

- dihydrogenfosforečnan amonný
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

V kádince rozpustíme 100 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve 200 ml horké destilované vody. Roztok necháme samovolně zchladnout přes noc. Druhý den roztok přefiltrujeme. Na dně kádinky nalezneme zárodeční krystaly, které uschováme v uzavíratelné nádobě.

Příprava polykrystalu

Zbylý roztok z přípravy zárodečných krystalů rozlijeme do 4 menších kádinek. Na dno kádinky nasypeme pár krystalů (cca 0,2 g) síranu draselno-hlinitého. Na dno kádinky umístíme zárodečný krystal. Po 24 hodinách je potřeba krystal přemístit do větší (širší) kádinky.

Ve 400 ml horké vody rozpustíme 200 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Na dno kádinky nasypeme malé množství (cca 0,4 g) síranu draselno-hlinitého. Na dno kádinky umístíme jeden z vypěstovaných větších krystalů. Po 24 hodinách krystal z roztoku vyjmeme.

Pokud chceme ještě větší krystal, umístíme jej na 3 dny do nového roztoku (1250 g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve 2 500 ml horké vody).

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

TIP: Roztok dihydrogenfosforečnanu amonného je možno obarvit potravinářským barvivem. Získáme tak krystaly různých barev.

Příprava krystalů chloridu sodného

Chemikálie:

- chlorid sodný
- destilovaná voda



Příprava zásobního roztoku

V kádince rozpustíme 40 g NaCl ve 100 ml horké vody. Kádinku s roztokem umístíme na vařič a zahříváme, dokud neuvidíme, že se na hladině začnou tvořit malé bílé solné vločky. Poté roztok necháme volně vychladnout do druhého dne. Druhý den roztok přefiltrujeme za normálního tlaku a filtrát přelijeme do uzavíratelné nádoby nebo kádinku zakryjeme.

Příprava zárodečných krystalů

Malé množství přefiltrovaného roztoku nalije do Petriho misky (roztok by měl být ideálně jeden centimetr hluboký). Petriho misku umístíme na nerušené místo s konstantní teplotou. Po dvou dnech bychom na dně Petriho misky měli nalézt malé a dobře vyvinuté krystaly chloridu sodného. Vybereme ty, které nejlépe odpovídají tvaru krychle a uschováme je.

Příprava monokrystalu

Protože jsou krystaly chloridu sodného velmi křehké, navázání na nylonový vlasec by mohlo způsobit vznik defektů. Proto je lepší nechat je růst na dně nádoby. Zásobní roztok přelijeme do malých kádinek a na jejich dno umístíme vždy jeden zárodečný krystal. Poté je umístíme na nerušené stinné místo. Až bude krystal větší (cca 1 cm) umístíme ho do větší kádinky. Roztok filtrujeme až ve chvíli, kdy se na dně nádoby začínají tvořit nové malé krystaly.

Příprava polykrystalu

Ve 200 ml horké destilované vody rozpustíme 75 g NaCl. Pokud na dně kádinky zůstane nerozpuštěná sůl je potřeba roztok přefiltrovat za normálního tlaku. Na dno kádinky s připraveným roztokem vložíme alespoň dva zárodečné krystaly. Kádinku umístíme na klidné a stinné místo. Pokud není roztok nijak znečištěn, není potřeba ho filtrovat. Pokud chceme, aby byl polykrystal ještě větší, můžeme ho přemístit do větší kádinky. Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

TIP: Pro přípravu zcela čirého monokrystalu je ideální kádinku s roztokem překrýt buď filtračním papírem nebo hodinovým sklíčkem. Zpomalíme tak odpařování roztoku a výsledný krystal bude mít méně defektů.

Příprava krystalů dusičnanu sodného

Chemikálie:

- dusičnan sodný
- destilovaná voda



Příprava zárodečných krystalů

Ve 200 ml horké vody rozpustíme 220 g NaNO_3 . Malé množství roztoku odlijeme do Petriho misky. Zbylý roztok necháme v kádince a překryjeme ho parafilmem. Druhý den bychom měli najít na dně Petriho misky zárodečné krystaly ve tvaru kosočtverce, které uschováme pro další použití.

Příprava monokrystalu

Zárodečný krystal umístíme na dno kádinky s roztokem, který nám zůstal z přípravy zárodečných krystalů. Kádinku s roztokem umístíme na stinné místo. Jakmile se na dně kádinky začne tvořit více malých krystalů je potřeba roztok přefiltrovat (asi jednou za 5 až 7 dní).

Jakmile bude velikost kádinky nedostačující, přemístíme krystal do větší kádinky (nádoby) s nově připraveným roztokem. Až budeme s velikostí krystalu spokojeni, vyjmeme jej z roztoku.

Příprava krystalů svítících pod UV světlem

Prvním krokem k přípravě krystalů svítících pod UV světlem je příprava větších bezbarvých krystalů. Můžete využít bezbarvé krystaly chloridu sodného, dusičnanu sodného nebo kamence bez příměsí.

Chemikálie:

- vybraná bezbarvá krystalická látka
- fluorescein
- chinin hemisulfát monohydrát
- destilovaná voda
- svítící náramek

Příprava krystalů

Do nasyceného roztoku vybrané soli umístíme zárodečný krystal téže soli. V roztoku ho necháme asi 1 týden. Krystal nemusí být extrémně velký, stačí velikost kolem 3 až 5 cm. Poté krystal z roztoku vyjmeme.

Před dalším použitím roztok dosytíme. Zahřejeme ho na 50 °C a přidáme tolik zvolené soli, dokud se bude rozpouštět. Poté roztok přefiltrujeme za normálního tlaku a rovnoměrně ho rozdělíme do 3 kádinek (počet si upravíme podle toho, kolik svítících látek pod UV světlem chceme vyzkoušet).

Do první kádinky přidáme na špičce špachtle fluorescein, zamícháme (roztok lehce zežloutne) a na dno kádinky vložíme vypěstovaný krystal.

Do druhé kádinky přidáme na špičce špachtle chinin hemisulfát monohydrát, zamícháme a na dno kádinky vložíme krystal.

Rozstříhneme svítící náramek a jeho obsah nalijeme do roztoku ve třetí kádince. V roztoku se vytvoří 2 nemísitelné fáze, proto přidáme asi 5 ml organického rozpouštědla (např. ethanol, aceton), zamícháme a na dno kádinky vložíme vypěstovaný krystal.

Po týdnu krystaly z roztoků vytáhneme a pomocí UV lampy ověříme, zda při ozáření UV zářením opravdu svítí.

Krystaly poseté skořápky

Chemikálie:

- krystalická látka (například chlorid sodný, cukr, modrá skalice)
- destilovaná voda

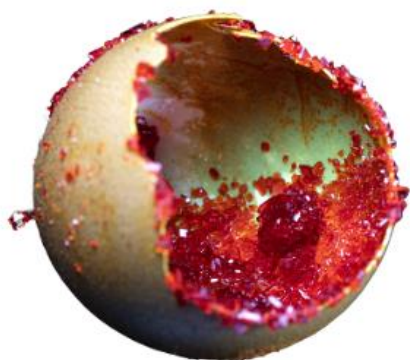
Dále potřebujeme:

- skořápky
- tekuté lepidlo Herkules

Skořápky nejprve důkladně omyjeme saponátovou vodou. Po uschnutí nanese na jejich vnitřní stranu vrstvu tekutého lepidla, kterou posypeme stejnou látkou, ze které budeme připravovat i nasycený roztok.

Poté za horka připravíme nasycený roztok dané látky. Připravené skořápky ponoříme do nasyceného roztoku. Po 24 hodinách se vnitřní strana skořápky pokryje krystaly. Aby krystaly vydržely krásně lesklé, je lepší je zalakovat bezbarvým lakem.

TIP: Bezbarvé roztoky lze obarvit potravinářským barvivem, vzniklé krystaly poté budou také barevné.



Skořápka s krystaly červené krevní soli



Skořápka s krystaly modré skalice

Umělecké krystaly a krystalové ozdoby

Chemikálie:

- krystalická látka (například chlorid sodný, cukr, modrá skalice)
- destilovaná voda

Pomůcky:

- plyšový modelovací drátek
- přírodniny (větvíčky, šišky, kůra)



Princip uměleckých krystalů spočívá v tom, připravit krystaly na různých látkách a materiálech (například přírodního původu). Zajímavých efektů růstu můžeme dosáhnout ponořením pouze některé části nebo postupným vytahováním z roztoku. A aby to bylo správné umělecké dílo, je potřeba mu vymyslet i název. Pokud vytvoříte více uměleckých krystalů, můžete pro své přátele uspořádat malou výstavu.

Zvolenou přírodninu ponoříme do nasyceného roztoku krystalické látky, jakmile budeme s výsledkem spokojeni, tak ji vytáhneme z roztoku vytáhneme a zalakujeme.



Krystalovou ozdobu vyrobíme tak, že z plyšového modelovacího drátku vytvarujeme libovolný tvar (například srdíčko nebo kytičku).

Nejprve za horka připravíme nasycený roztok zvolené krystalické látky. Poté do něj vložíme vytvarovaný modelovací drátek. Asi po 20 minutách se drátek pokryje krystaly. Pro delší výdrž ozdoby je dobré ji zalakovat. Poté k ozdobě připevníme provázek nebo háček a můžeme si ji zavěsit na libovolné místo.

