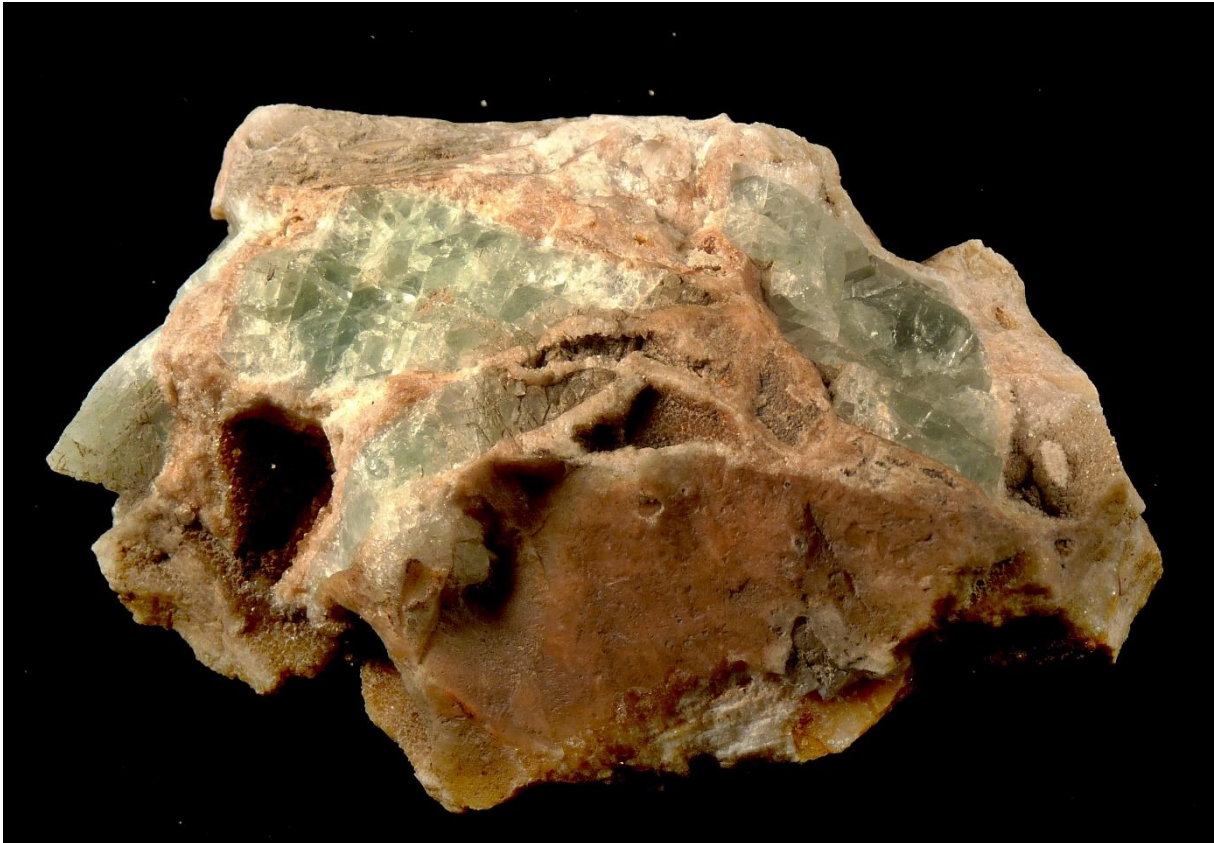


Středoškolská odborná činnost

Obor č. 5 – Geologie a geografie

Fluorit a jeho výskyt v Mutěnicích u Strakonice



Zdroj: vlastní fotografie

Autor:

Petr Vaněk

Škola:

Gymnázium, České Budějovice, Jírovцова 8
České Budějovice, 37161

Kraj:

Jihočeský

Vedoucí práce:

RNDr. Petr Rajlich PhD., CSc.

České Budějovice

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

*Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.
Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.*

V dne podpis:.....

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval především svému vedoucímu práce za sehnání přístrojů, za zařízení měření fluorescence na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy a za odbornou korekci teoretických částí. Také bych chtěl poděkovat za pomoc při sehnání podkladů pro práci v pražském Geofondu.

Poděkování patří též Jiřímu Šindelářovi za propůjčení UV-lampy na výzkum fluorescence fluoritu.

Dále bych chtěl poděkovat Jihočeskému muzeu za poskytnutí fluoritových vzorků na průzkum fluorescence a za možnost nafocení vzorků.

Nakonec bych chtěl ještě poděkovat panu prof. Jaromíru Pláškoví PhD. za možnost práce na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, kde jsem prováděl měření vlnových délek a intenzity fluorescence fluoritů z Mutěnic na přístrojích.

Anotace

Práce si klade za cíl podrobně popsat fluoritové ložisko Mutěnice, tamní vzorky prozkoumat pod UV-světlem a popsat textury a posloupnost vylučování nerostů fluoritové mineralizace na lokalitě. Dalším cílem bylo zjistit závislost luminiscence na vlastnostech vzorku (barva, apod.).

Práce probíhala jednak v terénu (sběr vzorků), jednak v depozitáři Jihočeského muzea, kde jsem se věnoval vlastnímu výzkumu. Kromě vzorků z Mutěnic byly studovány světové vzorky fluoritů pod ultrafialovým světlem pro popsání fluorescence. Jeden den jsem také pracoval v laboratoři na MFF UK, kde jsem přístrojově měřil intenzitu fluorescence a její vlnovou délku na vzorcích z lokality.

V obecném úvodu této práce se zabývám fluoritem, poměrně hojným minerálem chemického složení CaF_2 (tedy fluoridem vápenatým). Zaměřil jsem se především na dříve těžená ložiska v České republice.

Přínosem práce je podrobný popis a průzkum fluoritového ložiska Mutěnice s důkladným využitím historických pramenů; popis fluorescence vzorků fluoritu z lokality a vybraných světových nalezišť. Novým zjištěním je rozbor posloupnosti vylučování nerostů na ložisku a zjištění význačné role papírového kalcitu v prvním stádiu mineralizace.

Klíčová slova: geologie, mineralogie, fluorit, luminiscence, fluorescence, Mutěnice u Strakonice

Annotation

The aim of the work is to describe in detail fluorite locality Mutěnice, to examine local fluorite samples under UV-light and to describe texture a sequence of excretion of minerals in the fluorite mineralization at the site. Further goal is to determine the dependence of the fluorite luminescence on sample characteristics (color, etc.).

The work was carried out both in the field (sampling) and in the depository of the South Bohemian Museum, where I carried out my own research. Apart from the samples of Mutěnice, world's fluorite samples were studied under UV light with the purpose to describe fluorescence. I have also worked in the laboratory on MFF UK, where I instrumentally measured the fluorescence intensity and the wavelength on samples from the site.

In the general introduction part of this work I deal with fluorite, relatively abundant mineral with the chemical composition CaF_2 . I focused mainly on previously mined mines in the Czech Republic.

The most important outcome of this work is a detailed description and a survey of the fluorite site Mutěnice with thoroughly use of historical sources; a description of the fluorescence of fluorite samples from selected sites and quarries around the world. The new contribution of this thesis is analysis of the sequence of deposition of minerals in the site and the finding of the significant role of paper calcite in the first stage of mineralization.

Key words: geology, mineralogy, fluorite, luminescence, fluorescence, Mutěnice (near Strakonice)

Obsah

1 Úvod.....	7
1.1 Fluorit (CaF ₂).....	7
1.2 Historie těžby fluoritu v ČR	8
1.3 Cíle práce.....	9
2 Fluorit v Mutěnicích u Strakonice	10
2.1 Informace o těžbě a průzkumech.....	10
2.2 Geologie lokality.....	10
2.3 Mineralogie lokality	13
2.4 Důlní situace	14
2.5 Mutěnický fluorit a těžená surovina	14
3 Luminiscence.....	15
3.1 Obecně o luminiscenci.....	15
3.2 Fotoluminiscence.....	15
3.3 O fluorescenci fluoritů.....	16
3.4 Emisní a excitační spektrum.....	16
3.5 Grafy	17
4 Metodika.....	18
4.1 Podklady k lokalitě Mutěnice a sběr vzorků	18
4.2 Pozorování fluorescence fluoritu pod UV-světlem	18
4.3 Úprava pořízených fotografií na PC	19
4.4 Výzkum fluorescence na MFF UK.....	20
5 Výsledky.....	22
5.1 Sukcesní vztahy minerálů na lokalitě Mutěnice	22
5.2 Popis zkoumaných vzorků z Mutěnic.....	24
5.3 Závislost luminiscence na vlastnostech vzorku.....	24
5.4 Popis fluorescence vzorků z Mutěnic	25
5.5 Popis fluorescence vzorků ze světových nalezišť	25
5.1.1 Popis fluorescence vzorků z Annabergu	26
5.1.2 Popis fluorescence vzorků z Wölsendorfu.....	26
5.1.3 Popis fluorescence vzorků z Freibergu	26
5.1.4 Popis fluorescence vzorků z lokality Čoruch Dajron a Čulut Tsagan Del.....	26
5.1.5 Popis fluorescence vzorků z Derbyshire.....	26

5.1.6 Popis fluorescence vzorků z čínských lokalit	27
5.1.7 Popis fluorescence vzorků z lokalit v České republice	27
5.1.8 Popis fluorescence vzorků z ostatních lokalit	27
5.6 Naměřené údaje spektrofluorimetrem FluoroMax-3	27
6 Diskuse	35
6.1 Shrnutí dat o Mutěnicích.....	35
6.2 Shrnutí výzkumu fluorescence	35
7 Závěr.....	37
8 Zdroje	39
Přílohy	40

1 Úvod

Fluorid vápenatý (CaF_2) je v přírodě poměrně hojně rozšířeným nerostem. V přírodě se snad nevyskytuje žádný jiný minerál, který by obsahoval tak vysoké procento fluoru (fluor tvoří asi 48,7 hm. % tohoto minerálu), a i kdyby, rozhodně by se nevyskytoval tak četně. Jenom v České republice se s ním můžete hojně setkat asi na 20 různých místech, občasný výskyt je ještě mnohem četnější (Fengl, 1998).

Jen málokdo si uvědomuje, jak veliký má pro nás – lidstvo – význam. To, že je velice jemně nadrcený přidáván do zubních past (obsah jednotek fluoru je označován jako ppm), by většinu lidí asi napadlo. Druhé, a možná i daleko důležitější využití, je však ve zdaleka jiném oboru, a to při zpracování železné rudy na železo. Vsázka, která je do vysokých pecí vkládána, není tvořena pouze železnou rudou, vápencem a koksem, jak se vyučuje na školách, v této směsi je navíc obsažen i drcený fluorit. Důvod je zcela jednoduchý. Bod tání železa se běžně pohybuje okolo 1600°C , což je již poměrně vysoká teplota. Fluorit je však schopen tuto teplotu snížit téměř na polovinu (obvykle okolo 900°C), a tudíž šetří hutníkům nejen čas, ale i spotřebovanou energii, která i tak není příliš malá. Oborů, kde se fluorit využívá, je daleko více: v chemickém průmyslu, ve sklářství (výroba speciálních leptaných skel), při výrobě glazur a emailů a v optice (z krystalů se vyrábí speciální čočky pro UV-paprsky; Matyášek & Suk, 2007)

Z tohoto důvodu se domnívám, že si fluorit zaslouží naši pozornost, a protože mě tento minerál okouznil i svými tvary a barvami, vybral jsem si ho jako téma své práce.

Kromě srovnávacího výzkumu a charakterizace fluorescence fluoritů ze světových ložisek ve sbírkách Jihočeského muzea jsem si jako místo studia geologického výskytu nerostu také vybral ne příliš známé naleziště nedaleko Strakonice – Mutěnice. Toto „ložisko“ nebylo z hlediska vytěženého množství materiálu příliš významné, nicméně jedno prvenství si přeci jen drží. Jedná se totiž o první těžené ložisko v České republice, a to na přelomu 19. a 20. století. I v dnešní době poskytuje sběratelům poměrně hezké vzorky a na jihu Čech je ojedinělé a poměrně často diskutované. Protože na něm byl poslední výzkum prováděn po polovině 20. století a názory na „ložisko“ se různí, rozhodl jsem se zpracovat informace z výzkumu, porovnat je s těmi dnešními a ověřit jejich věrohodnost, popř. doplnit některé informace (Kryl, 1962).

Silná, fialová fluorescence nerostu fluoritu se nabídla jako dostupná metoda výzkumu. Vzorky z Mutěnic byly porovnány se vzorky z dalších světových nalezišť. Přestože je jedním z nejznámějších fluorescenčních minerálů, teoretické informace (a to hlavně v češtině) o jeho fluorescenci jsou víceméně ojedinělé (Pelant & Valenta, 2014).

1.1 Fluorit (CaF_2)

Fluorit (neboli česky kazivec) je minerál patřící do skupiny halogenidů. Vyznačuje se dokonalou štěpností podle oktaedru (osmistěnu) $\{111\}$, lasturnatým až tříštivým lomem, skelným leskem a průsvitností až průhledností. V Mohsově stupnici tvrdosti mu náleží 4. stupeň, hustota se pohybuje okolo $3,2 \text{ g/cm}^3$ (Korbel & Novák, 1999).

Krystaly náleží do kubické (krychlové) soustavy. Tvoří několik tvarů, z nichž nejběžnější jsou krychle $\{100\}$ a oktaedr $\{111\}$, lze se však setkat i s rombickými dodekaedry $\{110\}$, tetrahexaedry $\{210\}$ a hexaotaedry $\{321\}$, někdy také s hexahedrony, často však tvoří různé spojky. Velice běžná jsou penetrační krystalová dvojčata (dva krychlové krystaly vzájemně prorostlé podle oktaedru). Časté jsou také oktaedrické krystaly, na nichž vyrůstají další malé krystalky, zpravidla různé spojky (Gramblička & Filippi, 2014).

Fluorit má mnoho barevných variant, tudíž se jedná o zbarvený minerál, nejběžnější formy jsou fialové, růžové, zelené a bezbarvé, méně časté až raritní jsou potom formy žluté, oranžové, červené, modré a černé. Vryp je bezbarvý. Toto množství barev je pravděpodobně způsobeno obsahem prvků vzácných zemin (REE – rare-earth elements). Obecně platí, že čím větší je

zastoupení prvků ve mřížce, tím je barva tmavší. Lze se setkat i s jinými teoriemi, které přisuzují barevnou rozmanitost strukturním poruchám či radioaktivnímu záření (Gramblička & Filippi, 2014).

Původ fluoritu je nejčastěji hydrotermální (většina fluoritů na území ČR se vyznačuje zonální stavbou) nebo metasomatický, vzácně magmatický. Často se však může jednat o různé kombinace, jako je tomu například u fluoritů z lomu ve Vlastějovicích.

Pro fluorit je typická také tzv. fluorescence; jedná se o minerál, na kterém byla poprvé popsána (viz Luminiscence).

Doprovodnými nerosty jsou nejčastěji baryt, křemen a kalcit (hydrotermální původ), doprovodné minerály při magmatickém původu jsou různé (ve Vlastějovicích např. spessartin, andradit, Ca-hornblend).

Naleziště fluoritu jsou četná nejen ve světě, ale i v České republice. Světová naleziště jsou asi bezkonkurenčně nejvíce zastoupena v Číně, odkud se fluority nejčastěji dováží pro následné použití v průmyslu. Další naleziště jsou např. v Mexiku, ve Velké Británii (důl Wheal Mary), v Pákistánu (důl Nagar). Asi nejvíce ceněné jsou oktaedrické krystaly z Göschenenu ve Švýcarsku či jiných alpských lokalit, kde velikost těchto krystalů dosahuje až 15 cm. Naleziště v ČR budou podrobněji popsána v kapitole Historie těžby fluoritu v ČR (Korbel & Novák, 1999).

1.2 Historie těžby fluoritu v ČR

Historie těžby v České republice není zdaleka tak stará, jako ta světová. První doly byly činné na počátku 20. století, těžba však byla poměrně omezená. Mezi tyto první lokality těžby patří např. Harrachov, Vejprty, Nové Zvolání, Hradiště u Kadaně, Křížany u Liberce, Kožlí u Ledče a Mutěnice (těmi se ve své práci budu zabývat podrobněji). Často však nebyly pro další těžbu ekonomicky významné (většinou byly po čase vytěženy, neboť fluoritové žíly většinou dosahovaly mocnosti pouze několik desítek cm; Fengl, 1998).

Až v druhé polovině 20. století lze hovořit o významnější těžbě fluoritu v ČR. Mezi tyto nově otevřené doly patří např. Vrchoslav u Teplíc, Jílové u Děčína, Běstvína, Hradiště u Kadaně, Moldava, Blahuňov nebo již dříve těžené ložisko Křížany u Liberce a Harrachov. Ložiska byla významná pro jejich kvalitní surovinu (zastoupení CaF_2 v surovině se pohybovalo od 40 do 60%). Přesto těžba na většině lokalit neprobíhala příliš dlouho, často se jednalo o přerušovanou těžbu a v 90. letech minulého století byly všechny fluoritové doly kompletně uzavřeny (Fengl, 1998).

V dnešní době již těžba fluoritu na žádné z lokalit v ČR neprobíhá, přestože některá naleziště stále nabízí mnoho kvalitní suroviny (např. Moldava). Důvodem jsou pravděpodobně vysoké náklady na těžbu, tudíž by nebyla možná konkurence s ostatními světovými doly.

Vrchoslav u Teplíc je vůbec první významnější důl v České republice, v němž těžba započala roku 1952. Ložisko bylo otevřeno 8 štolami, nejhlubší šachta sahala do hloubky 200 m. Těžba neprobíhala ani 20 let, v roce 1971 bylo již důlní dílo uzavřeno, probíhal průzkum na ložiska Sn, W a Mo. Fluoritové žíly se zde nacházely v porfyrech a metamorfitech, mocnost většinou nepřesahovala 1 m. Celkem se na tomto ložisku vytěžilo cca 320 kt fluoritové rubaniny (Fengl, 1998).

Jílové u Děčína je nejsevernější české fluoritové naleziště. Těžba započala roku 1955, po třech letech však byla přerušena kvůli průzkumu a znovu započala v roce 1968. Ložisko bylo otevřeno 8 štolami a 3 jamami, z nichž jedna ústí na povrch. Těžba byla z ekonomických důvodů ukončena v 90. letech minulého století. Ložisko Jílové je unikátní tím, že se fluoritové žíly nacházejí v sedimentech, a to hl. v křídových pískovcích a jílovito-křemenných sedimentech. Vytěženo bylo 202 kt fluoritové rubaniny (Fengl, 1998).

Křížany u Liberce jsou již starším důlním dílem, poprvé byl fluorit jaksi omylem těžen již v 17. a 18. století při těžbě železných rud. Nejvýznamnější těžba fluoritu však probíhala od roku

1956. Původně se mělo jednat o těžbu fluorit-barytových žil, po průzkumu se ale zjistilo, že těžba barytu by nebyla ekonomicky výhodná, a proto byla v roce 1956 zahájena těžba pouze fluoritových žil. Probíhala 5 let, poté byla přerušena a opět obnovena v 70. letech minulého století. S krátkými přestávkami poté ještě pokračovala do roku 1984, kdy byly všechny dostupné zásoby vytěženy. Těžba probíhala v 8 štolách s 2 jamami. Vytěženo bylo pouze cca 67 kt fluoritové rubaniny (Fengl, 1998).

Moldava je naše největší ložisko fluoritu. Těžba byla zahájena v 60. letech a probíhala až do roku 1994. Ložisko je vyvinuto v metamorfitech, hlavně pararulách, v nichž dosahovaly žíly mocnosti až 6 m. Na tomto území byl také nalezen největší krystal v ČR, a to neúplná krychle o velikosti 29 cm. Vytěženo bylo ohromných 690 kt fluoritové rubaniny a stále je ještě možné vytěžit asi 1,5 mil. t (Gramblička, Pauliš, & Mužák, 2014)

Blahuňov je nejmenší těžené ložisko na území ČR. Těžba probíhala v letech 1959-1961, vytěženo bylo jen 5,8 kt suroviny, která navíc nedosahuje příliš vysokých kvalit (obsahuje totiž asi jen 25% CaF₂; Gramblička, Pauliš, & Mužák, 2014).

Hradiště u Kadaně je známé již od 15. století těžbou železné rudy. Samotná těžba fluoritu zde probíhala od roku 1963 do r. 1977, kdy došlo na hlavní jámě k požáru, a těžba musela být ukončena. Vytěženo bylo asi 77 kt suroviny. (GRAMBLIČKA, PAULIŠ, MUŽÁK; 2014)

Harrachov bylo druhým největším ložiskem fluoritu v ČR. Těžba probíhala již v 17. století, těžen ale nebyl fluorit, nýbrž stříbrnosný galenit a později baryt. Těžba fluoritu probíhala v letech 1957-1993, bylo dosaženo hloubky 350 m. Celkem zde bylo vytěženo 390 kt suroviny, která obsahovala fluorit, baryt i stříbrnosný galenit s obsahem Ag až 400 g/t PbS (Gramblička, Pauliš, & Mužák, 2014).

Běstvina byla těžena v letech 1973-1994 do hloubky 150 m. Žíly se nacházely v biotitických rulách, dosahovaly mocnosti až 4 m. Celkem bylo vytěženo 163 kt fluorit-barytové suroviny (Gramblička, Pauliš, & Mužák, 2014).

1.3 Cíle práce

Práce byla rozdělena na 2 části.

V první části se zabývám fluoritovým nalezištěm Mutěnice u Strakonice v jižních Čechách. O tomto fluoritovém nalezišti je velice málo písemných záznamů, přičemž se většinou jedná o krátké zprávy v různých mineralogických časopisech, které však nikdy neshrnují vše podstatné. Proto jsem se rozhodl tyto zprávy sepsat dohromady pro lepší přehlednost, pokud možno ověřit jejich pravdivost a provést výzkum na lokalitě za účelem ověření či opravení informací, které jsem získal z různých článků z časopisů a také převážně z geologického průzkumu prováděného na lokalitě v letech 1962-63.

Fluorit se také vyznačuje velice silnou fluorescence, o níž však teoretické poznatky, a to hlavně v češtině (ale i v jiných jazycích je to poměrně málo zpracovávané téma), téměř chybí. Proto jsem se rozhodl zvolit si fluorescence tohoto nerostu jako druhou část své práce. Věnoval jsem se popisu fluorescence fluoritových vzorků jednak z lokality Mutěnice, jednak z různých světových nalezišť. Cílem zde bylo ověřit hypotézy, tedy do jaké míry může být luminiscence popsitelná pomocí obecných znalostí o lokalitě vzniku či vlastnostech daných vzorků. Stanovil jsem 3 hypotézy o závislosti fluorescence na vlastnostech vzorku či na vzniku, a to:

- a) Hypotéza č. 1 – Fluorescence fluoritu je závislá na barvě vzorku.
- b) Hypotéza č. 2 – Fluorescence fluoritu závisí na způsobu vzniku (magmatický nebo hydrotermální).
- c) Hypotéza č. 3 – Fluorescence fluoritu závisí na místě nálezů a době vzniku.

Pomocí fluorescence (jednak pod UV-lampou, jednak měřená na přístroji) jsem také ověřil svou domněnku, že mnou pozorované mutěnické fluority jsou stejného stáří (vznikaly všechny společně), a to jak zelené vzorky, tak i malé útvary fialového fluoritu koexistujícího se zeleným.

2 Fluorit v Mutěnicích u Strakonice

Obec Mutěnice leží asi 2,5 km jižně od Strakonice v Jihočeském kraji. Dnes se jedná již pouze o jakousi vesnici, do konce 19. století však měla daleko širší význam, neboť byl na lokalitě těžen fluorit.

2.1 Informace o těžbě a průzkumech

Těžba na lokalitě probíhala nepříliš dlouhou dobu. Poprvé se o fluoritu z Mutěnic zmiňuje Zippe roku 1840, v roce 1853 o něm o něco detailněji pojednává Zepharovich. Těžba však začíná až v roce 1898. Podle dokladů se pravděpodobně jednalo o soukromníka (jménem Želízko) pocházejícího z Mutěnic, který těžbu provozoval. Údajně měl podle autorů průzkumných prací v Mutěnicích pracovat pro rakouskou firmu Rosenzweig a Dr. Landau ve Vídni, která na základě jeho informací a nalezených vzorků chtěla lokalitu začít těžit. Této těžby se ujal právě p. Želízko, ale po několika letech se ukázalo, že se jednalo o těžbu fluoritové suroviny o nepříliš vysoké kvalitě a hl. kvantitě a byla záhy v roce 1901 ukončena. Úplně první těžba probíhala zajímavým způsobem, byla vyhloubena jáma o rozměrech přibližně 8×8×8 m, která poskytla zajímavé množství fluoritu. Díky ní se rozhodlo o těžbě na dané lokalitě. Později bylo vytvořeno několik chodeb, ale surovina z nich se ukázala jako příliš chudá a pro rakouskou firmu příliš málo významná, proto se rozhodlo o ukončení těžby (Cícha, 2014; Kryl, 1962).

V letech 1962-63 probíhaly na ložisku průzkumné práce, ve kterých byla podrobněji popsána těžená surovina, byly provedeny kontrolní vrty a rýhy pro detailnější určení výskytu fluoritu a shrnuta geologická stavba území. Je zde také uvedeno několik zajímavých informací o době, při které probíhala těžba. Samotná historie těžby však téměř uvedena není. Na vzorcích z lokality byly provedeny kontrolní analýzy vč. spektrální analýzy k určení zastoupení prvků ve fluoritu a ostatních minerálech, jiné analýzy ale nebyly provedeny dodnes. V závěru této práce je shrnut výskyt fluoritu na lokalitě. Vzhledem ke zjištěné krátké délce žíly nelze výskyt fluoritu považovat za ložisko (Morysek, 1964).

2.2 Geologie lokality

Naleziště se nachází v moldanubické oblasti převážně metamorfovaných hornin, tj. rul a ortorul. Mezi ně vstupují různě velká čočkovitá tělesa jiných metamorfitů, jako např. amfibolitů, hadců, krystalických vápenců apod. (viz obr. 1).

Podloží lokality – moldanubické krystalinikum – je tvořeno různými typy rul a ortorul s občasnými vložkami vápenců či migmatitů. Morysek ve své průzkumné práci zdokumentoval pomocí vrtů zdejší geologické podmínky a zjednodušeně sepsal tamní poměry od nadloží do podloží takto (Morysek, 1964):

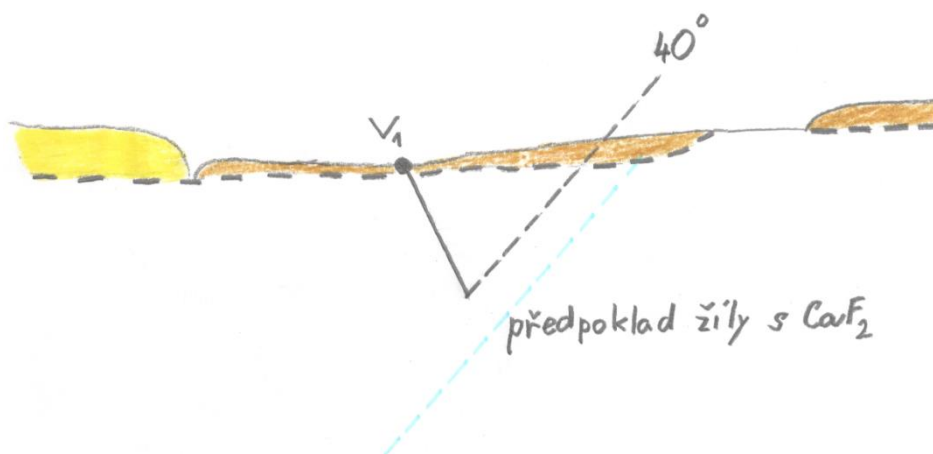
- 1) Silně zvětralé ruly tvořící nivy.
- 2) Těsné nadloží žíly → masivní biotitické ruly.
- 3) Křemenná žíla s fluoritem a uzavřeninami rul o mocnosti cca 1m.
- 4) Podloží žíly → ruly (mocnost kolem 3-5 m).
- 5) Nepravidelný žilník s drobnými křemennými žilkami s ojedinělými zrnky fluoritu postižený hydrotermální přeměnou.
- 6) Břidličnaté ruly.

Na SZ od lokality se nachází malý lom s krystalickými vápenci (Morysek, 1964).

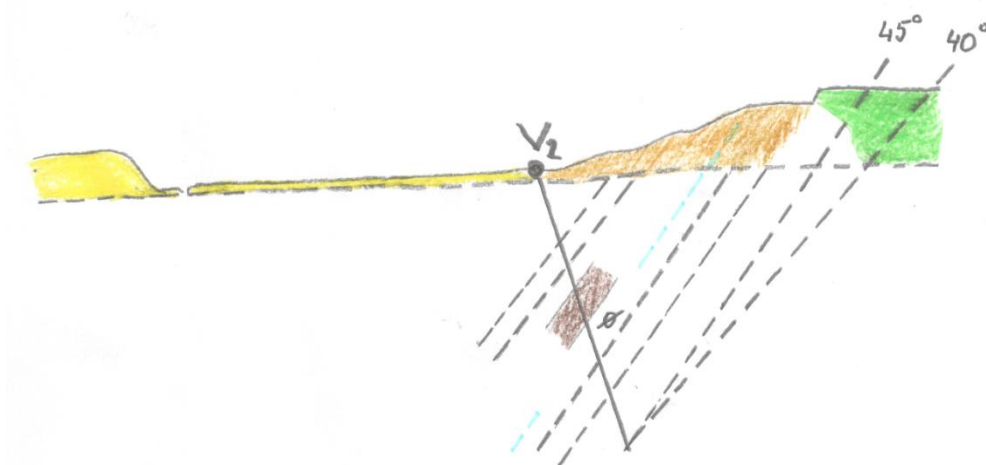
Celkem bylo provedeno 12 rýh a 2 vrty. Cílem rýh bylo jednak pozorovat fluorit-křemennou žílu na větší vzdálenosti, jednak dokázat nepřítomnost těchto žil na okolních místech (hl. u vodárny). Průzkum žíly pomocí rýh se však nepovedl, a proto byly provedeny 2 vrty, které měly být vedeny s úklonem 18° k fluorit-křemenné žíle. Nicméně ani jeden vrt neprokázal existenci

této žíly. Vrt č. 1 (viz obr. 2) byl vrtán pouze do hloubky 18,40 m a tam byl z technických důvodů ukončen. Vrt č. 2 (viz obr. 3) byl z hlediska dokumentace geologického nadloží úspěšnější, ale také neprokázal existenci fluorit-křemenné žíly, které v místě vrtu podle nákresů Moryska jaksí „mizí“. Byl vrtán do hloubky 38,40 m, hlouběji se nepokračovalo kvůli překročení předpokládaného umístění hledané žíly (Morysek, 1963; Morysek, 1964).

I přesto byl však vrt č. 2 přínosný, protože máme poměrně jasnou představu o nadloží a malé části podloží předpokládané fluorit-křemenné žíly. V těsné blízkosti povrchu jsou patrné aluviální nánosy drcených částic (v blízkosti obou vrtů se nachází potok) pocházející z kvartéru patrně silně navětralé (silná příměs Fe^{3+}), směrem do hloubky se však drť stává hrubší a méně navětralá. Tam se již nejedná o aluviální nánosy, ale o úlomky z metamorfovaných hornin. Tyto úlomky hornin postupně mizí a místo nich se začínají objevovat celistvé kusy hornin, převážně biotitických rul, migmatitů a krystalických vápenců. Podrobný popis z vrtu č. 2 naleznete v tabulce 1 (Morysek, 1963).



Obr. 2 – nákres vrtu č. 1. Zdroj: Morysek 1963 (překresleno)



Obr. 3 – nákres vrtu č. 2. Zdroj: Morysek 1963 (překresleno)

Hloubka (m)	Pozorovaný materiál či hornina
0-1,35	Hnědé jílovito-písčité hlíny s úlomky erlánu
1,35-3,00	Světle šedá jemná drť; 2 úlomky ve 3 m o mocnosti 10 cm aplitické ortoruly zasazené v zelenorezavě šmouhovaném jílu
3,00-4,60	Hrubozrnná slídnatá malá drť; od 4 do 4,6 m 20% zbytků silně provrásněného migmatitu
4,60-5,00	Jemnozrnné slídnaté úlomky bez členění složek do proužků; místy nazelenalé (obsah chloritu)
5,00-8,40	Jemnozrnná rulová drť; v 8 m 20 cm mocný erlán; v 8,4 m úlomky silně hybridních aplitických nástříků
8,40-9,80	Injikované křemité ruly 100% jádra
9,80-10,30	30% úlomků vápnito-silikátových hornin erlánového charakteru s žilkami křemene, často písmenková textura; zbytek rezavé chloritické drti
10,30-11,00	Silně chloritická středně zrnitá rezavá drť
11,00-12,30	Velmi jemnozrnná šedá drť
12,30-14,00	Nadrcené úlomky velmi nečistých silně navětralých erlánových vápenců; závalky jílových zvětralin
14,00-14,30	Hrubozrnná drť erlánových vápenců 10% jádra
14,30-15,00	Porucha – jílová výplň – zvětralin y erlánových vápenců bílé a zelenožluté; ostře žluté a žlutozelené zvětralin y v závalcích
15,00-16,00	Jílovitá výplň; na spodní části zaoblené úlomky a štěrk erlánových vápenců v jílovitých zvětralinách
16,00-17,30	Hrubozrnná slídnatá drť migmatitu
17,30-17,60	Migmatity – jádro biotitické šupiny jako vyrostlice
17,60-18,50	Migmatity s převládající světlou aplitickou složkou
18,50-19,35	Velmi jemnozrnná bohatě biotitická drť
19,35-20,50	Erlány (10% jádra – téměř čistě křemité)
20,50-21,40	Jemnozrnná bohatě slídnatá drť
21,40-26,80	80% jádra migmatity s nástříky aplitických žul a křemene
26,80-29,50	Středně zrnitá drť s dvěma úlomky migmatitu
29,50-30,00	5 úlomků erlánu; zbytek drť
30,00-34,00	Drť
34,00-35,40	20% jádra – pyroxenicko-biotitické ruly
35,40-35,50	Erlánový vápenec
35,50-36,30	85% jádra – místy pyroxenické jemnozrnné biotitické ruly s žilkami křemene
36,30-37,50	Jemnozrnné biotitické ruly; drť; několik úlomků ortonástříků a pyroxenických rul
37,50-38,40	Jemnozrnné biotitické ruly; 10% jádra pouze slídnaté ruly

Tabulka 1 – podrobná dokumentace materiálů z vrtu č. 2 vrtaného do hloubky 38,40 m. Zdroj: Morysek 1963 (částečně upraveno)

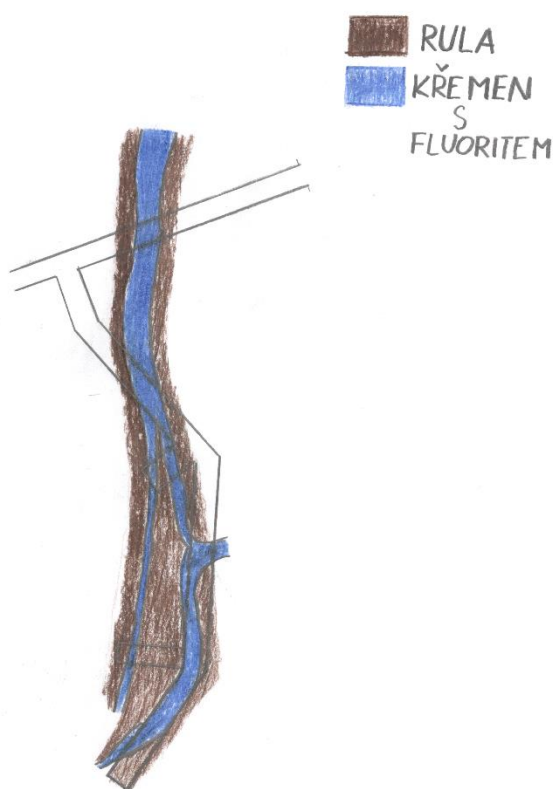
2.3 Mineralogie lokality

Nejčastějším minerálem na lokalitě je křemen různých generací s krystaly o velikosti kolem několika milimetrů (viz obr. 4), který v sobě uzavírá čočkovité útvary fluoritu. Mezi vedlejší minerály nacházené na lokalitě patří především hematit a limonit. Limonit v silně navětralém stavu často tvoří rezavé povlaky na povrchu křemene nebo fluoritových krystalů (viz obr. 5), zatímco hematit společně s minerálem goethitem tvoří drobné žilky ve zdejších křemenech. Popsané jsou i nálezy ilmenitu. Velice zajímavý úkaz je pseudomorfóza (neboli český klamotvar) křemene po tzv. papírovém kalcitu (viz níže; viz obr. 6, 7, 8, 24; Bouška, 1964).

Bouška v průzkumné práci uvádí i sukcesní vztahy křemene, fluoritu, hematitu a limonitu pozorované na lokalitě (viz tab. 2). Tyto vztahy ale nemohou být plně pravdivé, převážně z jednoho důvodu. Bouška popisuje, že křemen na lokalitě je mladší než fluorit, tedy že fluorit vznikl ještě před křemem. Fluorit se na lokalitě poměrně hojně vyskytuje ve formě krystalů uzavřených v křemenu. Není ale možné, aby fluorit vykrytalizoval pouze v „prázdnotě“ či ve zcela jiné hornině a následně byl nějakým způsobem transportován do nově vzniklého křemene, či aby ho křemen „obtekl“ tak, že společně vytvořily křemen-fluoritovou žílu. Teploty, které na lokalitě panovaly, v žádném případě nedosahovaly vysokých hodnot (bavíme se o stovkách °C, jinak bychom nemohli brát v úvahu hydrotermální, nýbrž magmatický původ). Přesnější teploty bychom mohli stanovit např. pomocí mikrotermometrie, každá lokalita má teploty rozdílné. Bouška ještě zmiňuje existenci pozdnějšího fialového fluoritu na lokalitě, ale osobně jsem ještě tento fluorit viděl pouze ve velmi malém množství ve vlastním vzorku, čímž ovšem nemůžu tvrdit, že se fialový fluorit nevyskytoval hojněji. V mém vzorku se však fialový fluorit vyskytuje současně s fluoritem zeleným, tudíž je nemožné, aby vznikl až v pozdějších fázích (Bouška, 1964).

Z výše uvedených důvodů se tedy budu držet vlastních sukcesních vztahů (viz tab. 3), které jsem vypracoval podle vlastních vzorků a vzorků z Jihočeského muzea pocházejících z lokality.

2.4 Důlní situace



O první těžbě nelze mluvit jako o důlní, neboť probíhala pouze povrchově. Byla vykopána jáma o rozměrech přibližně 8 m v průměru a 8 metrů do hloubky. Ta poskytla poměrně velké množství suroviny a rozhodlo se o důlní těžbě, která již tak úspěšná nebyla. Dílo (viz obr. 10) bylo těženo pouze v jednom patře, chodby buďto sledovaly, nebo protínaly pod malým úhlem křemennou žílu. Fluorit se v žíle vyskytoval pouze na malé části křemenné žíly, a proto se po nepříliš dlouhé době rozhodlo ukončit těžbu (Morysek, 1964).

V dnešní době lze vzorky fluoritu najít pouze na málo místech, a to převážně na haldě, kam byla navážena hlušina při těžbě, anebo na blízkém poli či v hrázi rybníka. Důvod je jednoduchý, při stavbě hráze byla využita právě hlušina z haldy na zpevnění.

Obr. 10 – mutěnické důlní dílo. Zdroj: Morysek 1964 (překresleno)

2.5 Mutěnický fluorit a těžená surovina

Jak jsem již zmínil, těžba na lokalitě skončila převážně díky malé výnosnosti (viz výše). Zdejší surovina se vyznačovala téměř nulovým procentem obsahu barytu (těživce, BaSO_4), přičemž tento druh výskytu fluoritu je obvykle ekonomicky pozitivní, neboť baryt často způsobuje příměsi, které se musí ze suroviny složitými způsoby odstraňovat, aby byl získán čistý fluorit. Přestože byla tedy zdejší surovina bez barytu, ekonomický přínos pro majitele příliš vysoký nebyl. Obsah čistého fluoritu v surovině se pohyboval v rozmezí mezi 10-15% na 1 m mocnou žílu, což je opravdu ekonomicky nevýhodné množství. Těžba probíhala na 1-1,5 m mocné fluoritové žíle SSV-JJZ směr (2-3 h). Zpočátku se vytěžený fluorit dodával do rakouských firem, po ukončení těžby projevil o tamní krystaly zájem vídeňský zábavní park Prátr, který je použil na výzdobu jeskyní (Morysek, 1964; Cícha, 2014).

Fluorit se na lokalitě vyskytuje převážně ve formě hrubozrnných štěpných agregátů, je zaznamenán též poměrně hojný výskyt krystalů. Těmi je toto ložisko poměrně významné, protože většina krystalů světových ložisek má habitus krychle $\{100\}$. Mutěnice jsou ovšem raritou, zdejší krystaly mají tvar oktaedru (neboli osmistěnu) $\{111\}$, a to i o velikosti do 8 cm. Méně časté jsou i spojky $\{100\} \{111\}$. Barva fluoritu se pohybuje v odstínech zelené, tato barva je jedna z nejčastějších na ložiskách hydrotermálního původu. Popsány byly i fialové fluority (Kryl, 1962; Bouška, 1964), které se na lokalitě momentálně nachází pouze ve velmi nízkém množství. Vznik těchto fluoritů se odhaduje na konci období variského vrásnění, tedy období spodního permu – cca 300 Ma (Cícha, 2014; Chlupáč, Brzobohatý, Kovanda, & Stráník, 2011).

3 Luminiscence

3.1 Obecně o luminiscenci

Luminiscence je jev, při kterém pozorované těleso vyzařuje záření, které je oproti tzv. rovnovážnému záření jaksí navíc. Luminiscenční záření je tedy obdobné tzv. infračervenému záření (záření vlnových délek větších než 750 nm ($\lambda_{\text{infra}} > 750 \text{ nm}$)), nikoliv však stejné. Rozdílů je hned několik. Již na základní škole se vyučuje, že infračervené záření vyzařuje každé těleso, avšak o různých teplotách. Pouhým okem je neviditelné, protože splňuje podmínku viz výše. Není to však úplná pravda. U některých těles se totiž za teplot vyšších než 1000°C jaksí posunuje vlnová délka tohoto záření do nižších hodnot (1 μm a méně). Pokud těleso zahřejeme dostatečně, klesne vlnová délka záření až do oblasti viditelného spektra (ca 400-750 nm) a nám se předmět jeví jako doruda rozžhavený, bílý apod. Typickým příkladem je rozžhavené železo či wolframové vlákno žárovky. Stále je však většina záření přeměňována na tepelnou energii, a proto hovoříme o tzv. teplém světle. Luminiscence je však opak, světlo studené (k částečnému zahřátí tělesa také dochází, ale o nepatrnou teplotu), což je z hlediska těchto dvou záření hlavní rozdíl. Dalším rozdílem může být také fakt, že se luminiscenční záření může pohybovat ve vlnových délkách odpovídajících jak ultrafialovému, tak i viditelnému či infračervenému světlu (tzn., že ne všechna záření jsou viditelná lidským okem, spíše naopak). Je však důležité si uvědomit, že luminiscence je záležitostí elektronů a elektronového obalu, které přechází do orbitalů s jinými hodnotami energie, což umožňuje luminiscenci vybudit. Nejedná se tedy o žádné radioaktivní záření (procesy v atomovém jádře), jak se mnoho lidí domnívá (Pelant & Valenta, 2014).

Přesná definice zní takto: „Luminiscence je nerovnovážné záření, vysílané tělesem navíc oproti rovnovážnému záření popsanému Planckovým zákonem.“ (Pelant & Valenta, 2014) Jak si to představit? Pokud mluvíme o rovnovážném záření, máme na mysli stav, při kterém je záření tělesem přijímané a vyzařované v rovnováze (to je důvod, proč se tělesa samovolně nezchladí pod teplotu nižší než je teplota okolí). Luminiscence je však záření navíc oproti tomuto stavu. Z fyzikálního hlediska není možné, aby těleso samovolně začalo vyzařovat luminiscenci, protože by porušilo právě rovnovážný stav a začalo by se samovolně ochlazovat. Proto je nutné záření nějakým způsobem vyvolat, tedy vybudit neboli excitovat. Podle způsobu vybudění luminiscence rozdělujeme tělesa do několika skupin: fotoluminiscence (vybudění pomocí zdroje světla), triboluminiscence (vybudění na základě mechanického poškození krystalické mřížky látky), termoluminiscence (vybudění díky zahřátí či zchlazení tělesa), chemiluminiscence (doprovází některé exotermní chemické reakce), elektroluminiscence (vybudění na základě průchodu elektrického proudu látkou), atd. Ve své práci se však budu zabývat pouze fotoluminiscencí, kterou podrobněji popíši (Pelant & Valenta, 2014).

Je však důležité si uvědomit, že schopnost vyzařovat luminiscenci nemají zdaleka všechna tělesa. Obecně není vůbec jednoduché říci, zdali bude např. nově syntetizovaná chemická substance tuto schopnost „ovládat“. Jedno obecné pravidlo však platí, i když s optickými vlastnostmi nemá vlastně nic společné – je založeno na elektrických vlastnostech látky (konkrétně na vodivosti elektrického proudu). Platí, že elektricky vodivé materiály nemají schopnost luminiscence, kdežto polovodiče a izolanty ano, samozřejmě ale ne všechny (Pelant & Valenta, 2014).

3.2 Fotoluminiscence

Luminiscence je vybudena proudem fotonů, které posunují „bombardované“ těleso do vyšší energetické úrovně. To se poté po různé době (každý materiál má jinou dobu, po kterou musí být ozařován, aby došlo k excitaci fotonů) vrátí do stavu s původní energií a přebytečná energie

je excitována ve formě fotonů (záření). Pro excitaci fotoluminiscence postačí pouhá UV-lampa (se rtuťovou nebo xenonovou výbojkou). V dnešní době se však od těchto zdrojů světla upouští, protože rtuťová výbojka mění vzdušný O_2 na O_3 (ozon), který pro lidský organismus příliš vhodný není. Navíc toto osvětlení není selektivní, tzn., že osvětlení je plošné a nelze světlo soustředit do malého místa. V případě laseru je paprsek veden přes soustavu optických čoček do spektrografu, kde se prosvítí skleněný hranol a ten rozloží spektrum laseru na jednotlivé vlnové délky. Za hranolem je poté umístěno další zařízení, které světelné paprsky převede na elektrický signál. Výhodou je nejen selektivita paprsku (lze si vybrat, jaké místo chceme osvětlit), ale i rychlejší vybudování luminiscence (Pelant & Valenta, 2014).

Pro výběr vhodného zdroje záření je nutné dodržet Stokesův zákon, který zjednodušeně říká, že záření ze zdroje budící luminiscenci musí mít kratší vlnovou délku, než luminiscenční záření. To je důvod, proč luminiscenční záření, která chceme pozorovat pouhým okem, musíme vybudit UV-zářením. Pokud bychom chtěli záření vybudit např. červeným spektrem viditelného světla, posune se luminiscenční záření do oblasti vlnových délek infračerveného záření a pro naše oko bude neviditelné (Pelant & Valenta, 2014).

Podle délky trvání luminiscence po odstranění zdroje záření rozlišujeme 2 druhy fotoluminiscence (Pelant & Valenta, 2014).

Fluorescence je druh fotoluminiscenčního záření, poprvé popsán na minerálu fluoritu. Obecně platí, že po odstranění zdroje záření luminiscence téměř okamžitě vymizí (je však nutné, aby trvala alespoň 10^{-13} s, abychom se mohli bavit o vyzařování luminiscence a ne pouze o osvětlení tělesa; Pelant & Valenta, 2014).

Fosforescence je opět druh fotoluminiscenčního záření, na rozdíl od fluorescence však luminiscence po odstranění zdroje záření po jistou dobu přetrvává. Abychom mohli hovořit o fosforescenci, musí záření po odstranění zdroje přetrvat alespoň 10^{-2} s. Materiálů, které mají schopnost fosforescence, je však znatelně méně, než materiálů se schopností fluorescence (Pelant & Valenta, 2014).

3.3 O fluorescenci fluoritů

Fluorescenci u jednoduchých solí (i u fluoritu – CaF_2) způsobují speciální příměsi v krystalické mřížce soli a není většinou nijak ovlivněna krystalickou strukturou hostitelské fáze. Konkrétně je fluorescence těchto nerostů způsobena ionty lanthanoidů, které se však musí nacházet na správných pozicích v krystalické mřížce. Konkrétní ionty, které fluorescenci způsobují, jsou nejčastěji Eu^{2+} a Sm^{3+} , nicméně se může jednat i o jiné ionty prvků ze skupiny lanthanoidů, jako např. Sm^{2+} , Dy^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , Ho^{3+} atd. (Czaja, Bodyl-Gajowska, Lisiecki, Meijerink, & Mazurak, 2012).

Fluorescence fluoritů však nemusí být vždy stejné barvy. Nejčastější barvy emisního spektra jsou v oblastech fialové a modré, nicméně se můžeme setkat i s růžovou, či dokonce žlutou fluorescencí nerostu, která je typická a zatím zcela raritní pro jednu lokalitu v Japonsku a je způsobena obsahem iontů Dy^{3+} (Sidike, Kusachi, & Yamashita, 2003).

Barva fluorescence však nemusí být konstantní ani na jednom a tom samém vzorku, neboť je její barva závislá také na vlnové délce excitačního spektra. Nejčastěji jsou používány vlnové délky UV-záření v rozmezí 254-350 nm (Czaja, Bodyl-Gajowska, Lisiecki, Meijerink, & Mazurak, 2012).

3.4 Emisní a excitační spektrum

Emisní a excitační spektrum jsou veličiny, které se na vzorcích pozorují. V obou případech se jedná o závislost intenzity fluorescence (ve fotonech/s) na vlnové délce (v nm). Liší se však ve způsobu buzení.

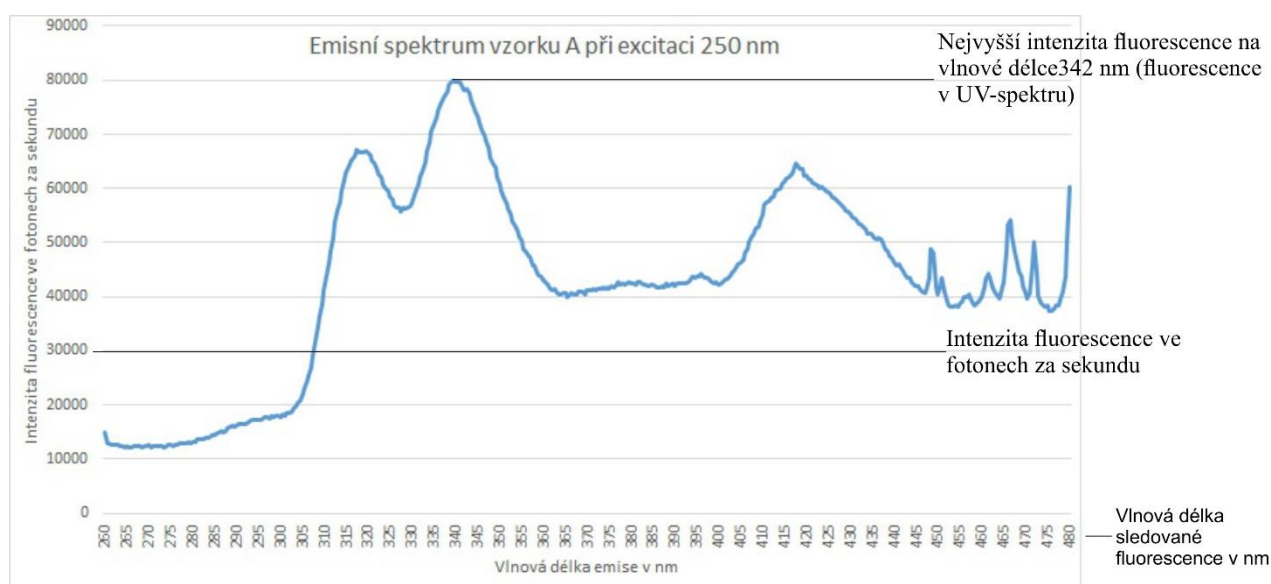
Emisní spektrum je definováno jako závislost intenzity fluorescence na vlnové délce emise při konstantní vlnové délce excitace (buzení).

Excitační spektrum je naopak závislost intenzity fluorescence na vlnové délce excitace při konstantní vlnové délce emise.

V praxi (při mém pozorování vzorků pod UV-lampou) se setkávám vlastně jen s emisním spektrem, a to tak, že vlnová délka emise odpovídá barvě fluorescence, kterou okem vidím. Pokud bychom chtěli nějakým způsobem zviditelnit excitační spektrum, museli bychom mít několik lamp o různých vlnových délkách, které bychom museli pravidelně střídat.

3.5 Grafy

Grafy pro zaznamenání emisního či excitačního spektra jsou zcela běžné, 2D grafy s osami x a y navzájem kolmými. Pro představu, jak se z takového grafu čtou informace, jsem přidal testovací graf (viz graf 1). Na ose x je vždy znázorněna vlnová délka fluorescence, v případě emisního spektra se jedná o vlnovou délku emise, v případě spektra excitačního o vlnovou délku excitace. Na ose y je v případě obou spekter znázorněna intenzita fluorescence ve fotonech za sekundu.



Graf 1 - Ukázka grafu emisního spektra. Zdroj: vlastní graf

4 Metodika

4.1 Podklady k lokalitě Mutěnice a sběr vzorků

Pro tuto práci bylo v první řadě nutné sehnat podklady a popravdě, nebylo to lehké. Přestože jsou Mutěnice v jižních Čechách nejvýznamnější naleziště fluoritu a sběrateli minerálů je často navštěvované, materiálů o tomto nalezišti opravdu není mnoho.

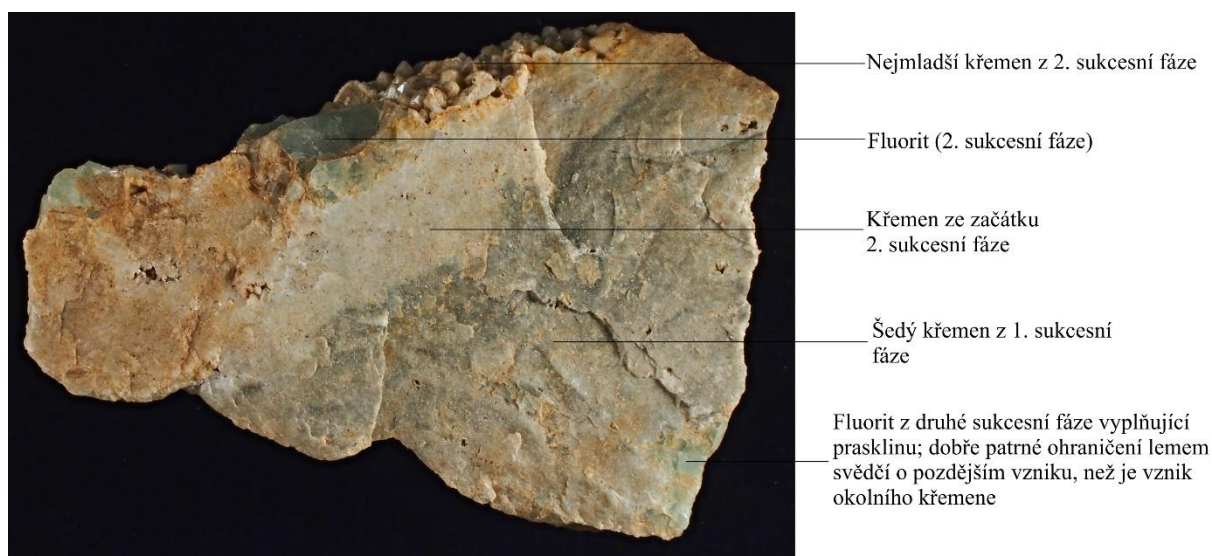
Jako první zdroj informací pro mou práci jsem si zvolil některé články z časopisu Minerál, které byly zaměřené buďto na fluoritová naleziště v České republice, nebo na fluority mladovariského stáří, mezi něž patří i fluorit z Mutěnic. Bohužel tyto informace o dané lokalitě nebyly dostatečné.

Nejvýznamnějším zdrojem informací pro mě však byla zpráva z pražského Geofondu. Na lokalitě totiž probíhal mezi lety 1962-63 výzkum, který byl ovšem na rozdíl od mého zaměřen spíše na sledování fluorit-křemenné žíly na lokalitě. Podrobnější popisy vzorků v práci zahrnutý nebyly. Geofond jsem navštívil společně s mým vedoucím práce, na vyzvednutí zprávy je totiž nutné být zaregistrován v evidenci České geologické služby a pracovat pro nějakou instituci, která má s geologií něco společné.

Po sehnání teoretických informací pro práci jsem navštívil dané naleziště pro zjištění, v jakém stavu se lokalita nachází. Na lokalitě jsem také nasbíral vzorky, které budu převážně využívat až příští rok, a to na mikrotermometrické studium. Nasbíral jsem nejen fluority, ale i drobné drúzy křemenných krystalků a pseudomorfózy křemene po papírovém kalcitu.

Další studium vzorků již probíhalo v depozitáři Jihočeského muzea, kde jsem jak nasbírané, tak již zaevidované vzorky z Mutěnic podrobně prozkoumal, nafotil a popsal.

Sukcesní vztahy jsem následně ověřoval a vytvářel podle muzejních vzorků, převážně dle jednoho, na kterém byly jednotlivé fáze velice hezky patrné (viz obr. 12).



Obr. 12 – vývoj jednotlivých fází na vzorku. Zdroj: vlastní foto

4.2 Pozorování fluorescence fluoritu pod UV-světlem

Ze všeho nejdříve bylo nutné sehnat UV-lampu, dostatečně silnou na to, aby dokázala vyvolat fluorescenci fluoritu takové intenzity, aby bylo možné fluorescenci zaznamenat fotoaparátem. Nakonec jsme UV-lampu sehnali od archeologů z Tábora. Jedná se o prototyp UV-lampy Geo-cz 2006 (viz obr. 13, 14). Tato UV-lampa se skládá z dvou částí, a to z transformátoru, který převádí elektřinu na požadovanou hodnotu proudu, a rtuťové výbojky, která je právě schopná vyvolat UV-záření. Rtuťová výbojka je jakási trubice z křemenného

skla, v níž se nachází rtuťové páry. Ty jsou právě zdrojem velice intenzivního UV-záření. Protože však rtuťová výbojka produkuje i viditelné světlo, je na lampě umístěn UV-filtr, který propouští pouze UV-záření. Výsledná vlnová délka záření se pohybuje mezi 254 nm (převážně) až 350 nm. Je však nutné poznamenat, že celé toto studium je umožněno především díky novým technologiím (digitálním fotoaparátům, speciálním počítačovým programům, atd.), protože představa, že bych musel fotografovat na speciálně barevné filmy či pomocí speciálních filtrů, není zcela reálná, navíc by požadovaný efekt stejně nebyl dokonalý.

Protože bylo potřeba pracovat v temném prostředí, aby byla fluorescence co nejlépe viditelná, musel jsem pracovat v jediné temné místnosti v muzeu, a to koupelně. Následně jsem si sestavil „provizorní“ aparaturu (viz obr. 15), která byla složena ze dvou stativů na fotoaparát. Na jednom jsem měl připevněn fotoaparát a na druhém byla „přidělána“ rtuťová výbojka z UV-lampy. Mezi těmito dvěma stativy byl stojánek, na který jsem položil bílou podložku a tu jsem potom využíval jako podklad při focení vzorků a pro kalibraci vyvážení bílé v počítačovém programu. Později jsem aparaturu ještě vylepšil, a to tak, že jsem výbojku přidělal na stojan od saxofonu a fotil jsem na černé podložce (bílá již nebyla nutná, protože jsem konfiguraci v programu provedl na bílé podložce a ta se nemění).

Jakmile byla aparatura připravená, bylo nutné správně nastavit fotoaparát. Používal jsem manuální režim na bezzrcadlovém fotoaparátu Olympus Pen Em – 1 s objektivem Zuiko digital 14-42 mm. Od majitelů lampy jsem dostal radu, že by se mělo fotit se silně uzavřenou clonou a šesti minutovou dobou expozice. Tyto fotografie se však po vyfotografování jevily jako čistě bílé, a proto jsem začal postupně ubírat. Nakonec jsem zjistil, že nejlepší fotografie (takové, které vypadají stejně, jako je já naživo vidím) fotoaparát pořizoval za této konfigurace: doba expozice $\frac{1}{4}$ sekundy, clona (f) 5,6-8,0; expozice -1.0 (clona se měnila, protože vzorek nebyl vždy rovnoměrně osvětlen).

Potom jsem již začal pracovat. Po několika pokusech jsem zjistil, že je nejlepší fotografovat vzorky co nejbližší u výbojky, neboť je zde UV-záření nejsilnější a fluorescence vzorku je tedy nejlépe patrná.

4.3 Úprava pořízených fotografií na PC

Po nafocení požadovaných vzorků následovala jedna z posledních fází, úprava v počítačovém programu. Přestože jsem si jistý, že by tyto úpravy zvládlo mnoho programů, uvedu právě jeden, se kterým jsem pracoval: Zoner Photo studio 17. Vynikající na tomto programu je, že pracuje rychle, je přehledný a přitom zvládá všechny požadované funkce. Úpravy v programu probíhaly z jednoho prostého důvodu: fotografie vyfocené pod UV-lampou jsou zbarveny do fialova, tudíž pořízená fotografie neodpovídá skutečnosti, protože fialové světlo zbarvuje celý minerál a na fotografii se nepozná, co je fluorescence a co pouhé zbarvení fialovým světlem (pouhým okem je efekt patrný docela dobře, ale pouze u světle zbarvených vzorků).

Postup úprav: Nejdříve bylo nutné převést fotografii z formátu RAW na JPEG, aby bylo možné úpravy provádět. Při převádění do tohoto formátu jsem vyvažoval bílou barvu (to byl také hlavní důvod, proč jsem fotografoval na bílé podložce; při vyfotografování se podložka jeví fialově, a já tedy musím v programu vyvážit barvy tak, aby podložka byla zase bílá) – ve stupnici stupňů K jsem se dostal na nejvyšší možnou hodnotu – 15000 K. Následně jsem fotografii vyvolal (tím proběhl převod do formátu JPEG) a potom ještě vstoupil do editoru, kde proběhly závěrečné úpravy. Tam jsem opět upravoval vyvážení bílé, zde již pouze na 7750 K (celková „teplota“ bílé barvy je tedy 22750 K), dále zřetelnost na +59, černý bod na +28 a stíny na +22 (uvažujeme, že počáteční hladina těchto tří úprav je 0). Finální úpravou v editoru bylo vyrovnání expozice (zatímco u některých fotografií stačilo zvýšit expozici z 0,0 na +0,5, jiné vyžadovaly zvýšení až na +2,0 kvůli nerovnoměrnému osvětlení vzorků), kterou se pěkně zvýraznila fluorescence vzorků (pokud k ní došlo) a zonalita. Výsledkem je tedy fotografie, ze

kteří jsme již „odstínili“ fialovou barvu a viditelná je tedy pouze fialová fluorescence fluoritu (u některých fotografií se fialový odstín stále mírně vyskytuje, protože naprosté odstínění není zcela možné).

Pro lepší představivost jsem nakonec ještě nafotil vzorky podrobené UV-světlu i v běžném světle a vyobrazil jsem je vedle sebe, aby bylo patrné, v jakých částech vzorku byla fluorescence intenzivní, v jakých méně či v jakých fluorescence úplně chyběla.

4.4 Výzkum fluorescence na MFF UK

Poslední fází výzkumu fluorescence byla práce na přístroji měřícím emisní a excitační spektra na MFF UK u pana profesora Jaromíra Pláška.

V první řadě bylo nutné vybrat vhodné vzorky (především z Mutěnic), aby se vešly do přístroje, který je primárně uzpůsoben na drobné ampulky obsahující buněčnou hmotu. Jednalo se o úlomky o přibližné velikosti do 2 cm.

Přístroj, který jsem na měření používal – spektrofluorimetr FluoroMax-3 (viz obr. 16) – je složen z následujících komponentů: xenonová výbojka – spojná čočka – mřížkové monochromátory – spojná čočka – štěrby – držák na vzorek.

Spektrofluorimetr naměřená data posílá do počítače, kde se v programu DataMax vykresluje graf závislosti intenzity fluorescence na vlnové délce.

Vzorek v přístroji jsem upevnil běžnou modelovací hmotou tak, aby paprsek dopadajícího světla dopadal pouze na měřený krystal (viz obr. 17). Po upevnění bylo nutné správně nakonfigurovat přístroj, s čímž mi pomohl pan profesor. Konfigurace probíhá tak, že na vzorku provedeme pouze rychlé měření emisního a excitačního spektra s obvyklým nastavením. Po vykreslení grafu pak již pouze upravíme některé hodnoty v nastavení tak, abychom dostali co nejpresnější měření s co nejmenším šumem, který se v grafu projevuje vysokými výchyly hodnot. Proto je později nutné aproximovat získané hodnoty a graf proložit křivkou s nejpravděpodobnějšími hodnotami a je tedy lepší se šumu vyhnout. Z tohoto prvního grafu také dostáváme určitý interval pro vlnovou délku excitace při měření emisního spektra.

Dále následovalo měření emisního spektra. Z prvního testovacího grafu jsem zjistil, že je optimální začít excitaci na 250 nm vlnové délky, převážně i z toho důvodu, že jsem při měření muzejních vzorků používal tuto vlnovou délku na excitaci fluorescence zkoumaných fluoritů. Optimální ukončení měření bylo poté na ca 400 nm, neboť dále se již žádná fluorescence neobjevovala.

Poté jsem tedy začal měřit s následující konfigurací: vlnová délka excitace 250-400 nm (postupovalo se vždy po 15 nm); začátek skenování na vlnové délce o 15 nm vyšší, než je délka excitace (při menších hodnotách by mohlo dojít k poškození optické mřížky); konec skenování na dvojnásobku vlnové délky excitace minus 20 nm (na násobcích vlnové délky excitace totiž dochází k jakémusi odrazu světla, který se projeví vytvořením vysokého peaku o intenzitě emitovaného záření totožné s intenzitou excitace); velikost excitační štěrby 10 nm; velikost emisní štěrby 0,5 nm; doba záření na těleso o jedné vlnové délce 1 s (postup vlnových délek byl vždy po 0,5 nm). Na základě této konfigurace tedy jedno měření trvalo asi 10 min a na jednom vzorku bylo provedeno měření asi 11 emisních spekter za různých vlnových délek excitace.

Poté jsem na vzorku provedl měření excitačního spektra s následující konfigurací: vlnové délky emise 318, 340, 420, 449 a 466 nm získané z emisního spektra; začátek skenování vždy na vlnové délce 250 nm; konec skenování na vlnové délce o 10 nm nižší než je vlnová délka emise (opět by mohlo dojít k poškození přístroje); excitační štěrbina 2 nm; emisní štěrbina 1 nm; doba záření jednou vlnovou délkou 0,5 s. Toto měření probíhalo rychleji, cca 6 min.

Celkem jsem emisní a excitační spektra měřil na 3 vzorcích, z toho důkladně na 2 vzorcích z Mutěnic a orientačně na 1 vzorku z lokality Stollberg (tam jsem dobu záření jednou vlnovou délkou upravil na pouhé 0,3 s a vlnové délky excitace jsem zvyšoval po 50 nm).

Mezi poslední fáze patřilo zpracování získaných grafů. To jsem prováděl pomocí programu export.exe, který dokáže exportovat graf na soubor txt (zapíše binární relace určující křivku grafu). Tyto převedené hodnoty jsem nakonec zpracoval v programu Microsoft excel do grafu.

Poslední fází bylo určení látek způsobující fluorescenci měřených fluoritů. To bylo poněkud složitější, bylo nutné vyhledat si látky, jejichž vlnová délka emise a excitace odpovídá vlnové délce některého z naměřených peaků. Od pana profesora jsem se dozvěděl, že vlnová délka emisního spektra 318 a 340 nm odpovídá pravděpodobně nějaké organické sloučenině, naopak 420, 449 a 466 nm (a další, viz 5.6 Údaje naměřené na MFF UK) pravděpodobně patří některým anorganickým sloučeninám či prvkům. Protože jsem věděl, že fluorescenci fluoritu způsobují hlavně lanthanoidy, svou pozornost jsem zaměřil převážně na ně.

Výsledky tohoto měření viz 5.6 Naměřené údaje spektrofluorimetrem FluoroMax-3.

5 Výsledky

5.1 Sukcesní vztahy minerálů na lokalitě Mutěnice

Na lokalitě byly vytvořeny původní vztahy Bouškou (viz tab. 2; Bouška 1964). Na základě vlastního pozorování jsem však dospěl k závěru, že tyto sukcesní vztahy jsou mírně řečeno nepřesné.

V první řadě v nich kompletně chybí zmínka o papírovém kalcitu, který byl na lokalitě prokazatelně nejdříve, neboť z něho vznikaly často nalézané útvary – pseudomorfózy (klamotvary) křemene po papírovém kalcitu (viz obr. 6, 7, 8, 9). V práci bylo též řečeno, že se jedná o útvary vzniklé zatlačením tabulkovitých krystalů barytu, nicméně ani tuto věc nelze považovat za pravdivou. Proti ní svědčí hned několik faktů: fluorit-křemenná žíla se v Mutěnicích vyskytuje bez barytu (minimálně ho tam nemohlo být dostatečné množství); útvary jsou popsány také v Topografické mineralogii jižních Čech jako pseudomorfózy po papírovém kalcitu; tyto útvary se vyskytují i na lokalitách s nulovým obsahem barytu, avšak vysokým obsahem CaCO_3 (kalcitu či vápence).

Dále jsou Bouškovy sukcesní vztahy na základě mého výzkumu nepřesné ještě v několika ohledech. V první řadě si myslím, že limonit a hematit na lokalitě nedosahuje zdaleka tak vysoké důležitosti, aby ho bylo nutné uvádět do tabulky sukcesních vztahů, neboť jimi vznik ostatních minerálů na základě mého pozorování nebyl nijak výrazně ovlivněn. Na lokalitě se totiž limonity vyskytují převážně jako rezavé povlaky na fluoritech, hematit jsem tam nepozoroval vůbec.









Bouškovy sukcesní vztahy ještě uvádí vznik fluoritu ve dvou fázích, od sebe relativně časově vzdálených. Popisuje v nich, že mladší fluorit je fialové barvy. Na základě pozorování vlastních vzorků jsem však došel k závěru, že se na lokalitě fialový fluorit v současné době vyskytuje pouze v téměř zanedbatelném množství. Na několika mých vzorcích koexistoval s fluoritem zeleným, nebyl od něj ohraničen žádným lemem, ani se nějak jinak (až na barvu) neodlišoval od fluoritu zeleného, a to ani fluorescencí. Proto se domnívám, že fluorit na lokalitě (alespoň na základě mých vzorků) vznikal všechen ve stejnou dobu, jak uvádí tabulka 3.

Sukcesní fáze č. 1 (viz obr. 12): V první řadě došlo na lokalitě k vytvoření zárodků (nukleů) krystalů papírového kalcitu. Později však bylo původní fluidum zcela ochuzeno o C (tedy i o CO_2 , který při kontaktu s vodou vytvoří kyselinu uhličitou (H_2CO_3); ta poté reaguje se zásadou obsahující Ca a neutralizací vzniká CaCO_3 (a voda)) a naopak výrazně obohaceno o oxid křemičitý (SiO_2), který se začal „nabalovat“ na původní kalcitové krystaly a vznikla tedy pseudomorfóza (klamotvar) křemene po papírovém kalcitu (svůj název dostal podle toho, že vzhledově krystal vypadá přesně jako krystal kalcitu, látkové složení krystalu je však zcela jiné (namísto CaCO_3 SiO_2) a jedná se tedy o křemen). Bouška ve své práci popisuje vznik těchto útvarů jinou cestou – zatlačením tabulkovitých krystalů barytu. Autor je však „sám proti sobě“, protože o několik stránek dříve uvedl, že se jedná o fluorit-křemennou žílu bez barytu. I když je možné, že nějaké stopové množství barytu na lokalitě nalézt lze, rozhodně by ale nebylo dostatečné pro vznik těchto útvarů, které jsou v Mutěnicích poměrně hojné. Dokonce je součástí jeho práce i ocitovaná část knihy Topografická mineralogie jižních Čech, kde je jasně popsán tentýž původ, jako jsem popsal já. Navíc tyto útvary vznikaly i na jiných lokalitách, kde se prokazatelně baryt nevyskytuje, naopak kalcit je tam převládající minerál. Výsledkem této první sukcesní fáze je šedý rohovcový křemen se značnou zrnitostí a pseudomorfózy křemene po papírovém kalcitu (Bouška, 1964).






Sukcesní fáze č. 2 (viz obr. 12): V této fázi opět převládala křemité fluida, ale vzniklé křemeny se liší hlavně barvou a zrnitostí. Zatímco rohovcovitý křemen vykazuje poměrně značnou zrnitost a je šedý, křemen z této fáze je mléčný a zrnitost víceméně chybí. V průběhu fáze došlo ke zvýšení obsahu CaF_2 ve fluidech, které vyvolalo vznik minerálu fluoritu. Ten se

v křemenu vyskytuje převážně jako výplň dutin, při dostatku místa došlo i k jeho krystalizaci. Fluorit se objevuje jako metasomatické útvary s částečně odbarveným lemem (viz obr. 12) i v rohovcovém křemenu z 1. sukcesní fáze. Jedná se však stále o totéž fluidum, což lze soudit nejen díky stejné barvě a vlastnostem, ale i díky výraznému ohraničení čočkovitých útvarů fluoritu v rohovcových křemenech, které v mléčném křemenu chybí. Speciální jsou nálezy rohovcových křemenů zbarvené do fialova, které se tvrdostí tváří jako křemen (ametyst), ve skutečnosti se však jedná o metasomaticky zatlačovaný rohovcový křemen fluoritovou výplní a při prozkoumání vzorku pod lupou lze vidět miniaturní fialové krystaly fluoritu v kombinaci s šedým křemem. Výskyt těchto „fluoritokřemenů“ je však poměrně vzácný. Protože se barva fluoritu všude pohybuje v odstínech zelené s občasným výskytem fialových zrn a vzorky pod ultrafialovým světlem nevykazují žádné odchylky ve fluorescenci, můžeme téměř s jistotou říci, že jsou všechny fluority stejného stáří. Kdyby se totiž na lokalitě vyskytovaly fluority různého stáří, muselo by dojít alespoň ke změně barvy či intenzity fluorescence, protože by fluidum nemohlo mít stále stejné vlastnosti a tentýž obsah prvků. Po fluoritových fluidech začaly na lokalitě vznikat hlavně hematit-goethitové žíly a limonitové povlaky na vzniklých fluoritech. Na konci fáze došlo k průniku dalších křemitých fluid, vzniklý křemen vykrytalizoval a ohraničil fluorit-křemennou žílu.

Tato celá žíla vznikala v prasklině uvnitř horniny (hlavně ruly).

Minerál	Sukcesní fáze č. 1	Sukcesní fáze č. 2	Sukcesní fáze č. 3
Fluorit			
Křemen			 
Hematit			
Limonit			

Tabulka 2 – sukcesní vztahy na lokalitě Mutěnice podle Boušky. Směrem vpravo roste čas. Zdroj: Bouška 1964 (překresleno)

Minerál	Sukcesní fáze č. 1	Sukcesní fáze č. 2
Fluorit		
Křemen		 
Kalcit		

Tabulka 3 – vlastní sukcesní vztahy. Směrem vpravo roste čas. Zdroj: vlastní obrázek

5.2 Popis zkoumaných vzorků z Mutěnic

Fluoritové vzorky na lokalitě (viz obr. 18, 20, 22, 24, 26) se vyznačují především svou barvou a krystalovými tvary. Jak jsem již uvedl výše, podle Boušky se na lokalitě nachází dvě barvy fluoritů – zelená a fialová. Zelená barva fluoritu je v Mutěnicích zcela nejčastější, barvu fialovou se mi ve větším množství nalézt vůbec nepodařilo. Ověřoval jsem si, zda se na lokalitě vzorky této barvy nachází, nicméně až na pár fotografií, které nebyly příliš valné kvality, jsem se s fialovými fluority z lokality nesetkal.

Všechny zkoumané vzorky jsou zcela shodné barvy, a to světle zelené.

Krystalové tvary, jak jsem již uvedl (viz 2.5 Mutěnický fluorit a těžená surovina), patří mezi vzácnější z hlediska fluoritu. Jedná se totiž o oktaedry {111}, či spojky oktaedru s krychlí. Tyto tvary se nachází pouze na několika málo světových nalezištích. Avšak narazit v Mutěnicích na krystal není zcela jednoduché, většina fluoritů se totiž vyskytuje ve formě hrubozrnných štěpných agregátů či čoček uvnitř křemene, já osobně jsem na krystal narazil pouze jednou.

Na některých vzorcích jsou též velmi hezky vyvinuté pseudomorfovy křemene po papírovém kalcitu. Díky tomu, že je v nich fluorit uzavřen, můžeme tvrdit, že tyto útvary vznikly dříve než samotný fluorit.

5.3 Závislost luminescence na vlastnostech vzorku

První, co mě napadlo, bylo, že by intenzita fluorescence mohla odpovídat zbarvení minerálu (tedy že by se prvky způsobující fluorescenci minerálu projevily na jeho zbarvení). To jsem ovšem po prozkoumání intenzity fluorescence na několika vzorcích fluoritu o stejné barvě, ale z různých nalezišť musel alespoň z části vyloučit. Nejprve jsem předpokládal, že bezbarvé fluority nebudou fluorescenci vykazovat vůbec. Na několika vzorcích z rozdílných nalezišť se mi tato hypotéza nejdříve potvrdila. Pak jsem ale použil bezbarvé krystaly fluoritu z Annabergu v Sasku (viz obr. 28), které po vložení pod UV-lampu začaly silně zářit (viz obr. 29). U ostatních barev (vždy jsem však zkoumal fluority stejné barvy) se mi tato hypotéza také nepotvrdila, protože se fluorescence často nelišila pouze intenzitou, ale i barvou. Jedině u zcela tmavých vzorků jsem se dostal k určitému závěru, a to, že tyto hodně tmavě zbarvené fluority obvykle nevykazovaly fluorescenci vůbec, anebo ve velmi malém množství na vrcholu krystalů, kde byla barva světlejší a kde bylo možné pozorovat alespoň částečnou průsvitnost. Nejčastěji se barvy těchto vzorků pohybovaly v oblasti temně zelené až temně fialové a při prvním pohledu se jevíly jako černé. Předpokládám však, že nemožnost pozorování fluorescence na těchto vzorcích nevychází z toho, že by se v krystalických mřížkách těchto vzorků nenacházely lanthanoidy zodpovědné za fluorescenci. Podle mě je to způsobeno právě velmi tmavou barvou vzorků, tedy že fluorescenční záření nedosahuje tak vysoké intenzity, aby bylo schopné prosvítit neprůhledný vzorek, a tudíž se fluorescence při běžném pozorování neprojeví. Pravděpodobně by bylo zajímavé podrobit tento vzorek průzkumu pod laserovým paprskem, který by měl vyvolat fluorescenci daleko větší intenzity. Ten jsem však neměl k dispozici.

Následně jsem se rozhodl vyzkoušet, zdali by intenzita a barva fluorescence mohla souviset se způsobem vzniku, tedy zdali daný vzorek fluoritu vznikl za hydrotermálních, či magmatických podmínek. Tato hypotéza se na muzejních vzorcích projevila jako pravdivá. Zatímco hydrotermální fluority až na výjimky vykazovaly silnou fluorescenci, u magmatických fluoritů (jako např. z lomu ve Vlastějovicích; viz obr. 28) nedocházelo k žádné fluorescenci (viz obr. 29). Je však nutné poznamenat, že jsem k tomuto výzkumu neměl k dispozici dostatek vzorků magmatického původu, abych mohl tuto vlastnost zcela dokázat.

Poslední způsob, jakým mě napadlo klasifikovat fluorescenci vzorků, bylo podle naleziště. Předpokládal jsem, že by fluida (roztoky, ze kterých fluority vznikají) měla obsahovat stejnou koncentraci prvků, které se poté vážou do krystalických mřížek vzniklých fluoritů a způsobují fluorescenci, tzn., že nezáleží na barvě. Některá světová naleziště takto klasifikovat lze poměrně jednoduše, u některých je to složitější.

Pokud totiž fluority vznikaly všechny ve stejnou dobu, lze fluidum považovat z hlediska koncentrace zastoupených prvků jako konstantní (neměnné), a proto by měly všechny vzorky z tohoto druhu lokality vykazovat stejnou míru fluorescence. Typickým příkladem tohoto druhu lokality je britské naleziště Derbyshire. Tamní fluority vznikaly všechny ve stejnou dobu, a tudíž i příměsi by měly mít v mřížce stejné zastoupení. Při průzkumu pod UV-lampou všechny vykazují totožnou fluorescenci – vysoká intenzita záření a stejná barva fluorescence – přestože barva vzorků není totožná – některé mají světle fialovou barvu (nejčastější), jiné šedou – což vylučuje moji předchozí úvahu, že by se míra luminiscence projevila na barvě vzorku, a naopak zčásti potvrzuje úvahu s lokalitami.

Složitější situace nastává, pokud fluorit na lokalitě není všechn stejného stáří, tzn., že vznikal v několika fázích. Pak totiž vlastnosti fluida č. 1 (nejstarší) nebudou s nejvyšší pravděpodobností shodné s vlastnostmi fluida č. 2, protože na lokalitě mohou panovat naprosto odlišné podmínky. Pokud známe sukcesní vývoj minerálů na lokalitě a víme, které vzorky vznikaly ve stejnou dobu, můžeme stále s těmito vzorky poměrně jednoduše pracovat. Rozdělíme je vždy na skupiny stejného stáří. Problém nastává v případě, že si buďto nejsme jisti, zda vůbec na lokalitě existují mladší a starší fluority, anebo zase nevíme, z jaké sukcesní fáze vzniku vzorek pochází. Určovat totiž sukcesní vztahy pouze podle několika vzorků, navíc ještě upravených tak, aby převážnou většinu vzorku tvořil pouze fluorit, a tudíž doprovodné minerály a hornina obvykle chybí, je naprosto nemožné. Proto není zcela jednoduché rozlišit fluorescenci fluoritů podle jednotlivých nalezišť. Přesto se však tato hypotéza jeví jako nejvíce věrohodná a já tuto klasifikaci dále využiji.

Ideální pro následný výzkum by bylo vzorky podrobit analýzám pro určení prvků v mřížce, porovnat výsledky ze všech vzorků a pokusit se určit, který prvek či prvky se vyskytují ve všech fluoreskujících vzorcích (a ideálně zjistit, že v těch bez fluorescence chybí). Nakonec by bylo nejlepší porovnat relativní zastoupení dříve vytipovaného prvku v mřížce u jednotlivých vzorků (tedy kolik % z celého absolutního obsahu všech prvků tvoří právě tento) a zjistit souvislosti mezi daným prvkem a fluorescencí. Nejvyšším problémem tohoto výzkumu je však finanční, časová i materiállová náročnost (je nutné analyzovat co nejvíce vzorků pro co nejpřesnější výsledky).

5.4 Popis fluorescence vzorků z Mutěnic

Na vzorcích z lokality Mutěnice (viz obr. 18, 20, 22, 24, 26) jsem dospěl k závěrům, které jsem předpokládal už od průzkumu vzorků.

Protože fluorit na lokalitě je všechn stejného stáří, předpokládal jsem podle předešlých úvah, že fluorescence všech vzorků bude jak do intenzity, tak do barvy shodná (viz obr. 19, 21, 23, 25, 27). Po průzkumu pod UV-lampou jsem si tyto předpoklady utvrdil.

Všechny vzorky vykazovaly fluorescenci naprosto stejné barvy i intenzity, a musím říci, že při porovnání s fluorescencí z jiných světových lokalit se mi tato barva líbila snad nejvíce.

Popis fluorescence: Fluorescence na vzorcích z lokality Mutěnice nevykazovala žádné odchylky. Vždy se jednalo o fluorescenci **světle fialové** barvy, fluoreskovaly všechny vzorky podrobené UV-světlu. U jednoho ze vzorků se barva jeví spíše do tmavě fialové, ale to je způsobeno pouze nedokonalým vyrovnáním bílé barvy (u tohoto vzorku se vyrovnání příliš nedařilo, o tom svědčí i barva podkladu).

5.5 Popis fluorescence vzorků ze světových nalezišť

Fluorescence fluoritů ze světových lokalit už tak jednotná nebyla. Vyskytovaly se zde vzorky, které vykazovaly jemnou, světle fialovou fluorescenci, některé fluoreskovaly spíše do tmavě fialové až modré a některé nefluoreskovaly vůbec.

Pro svá pozorování jsem si zvolil převážně německé lokality, neboť z těchto lokalit bylo v muzeu nejvíce vzorků, nicméně použil jsem i vzorky z České republiky, Číny i Anglie. Problém u čínských vzorků je však ten, že u většiny z nich není známá přesná lokalita, a tudíž jsem tedy nemohl srovnávat fluorescence těchto vzorků s neznámou lokalitou nálezů stejně, jako ty, u kterých je lokalita jistá. Proto jsem tyto vzorky použil spíše pro pouhou ukázkou fluorescence, neboť se jednalo o velice pěkné vzorky a byla by škoda jejich fluorescence nevyzkoušet.

Použil jsem vzorky z těchto lokalit: Wölsendorf (Německo), Annaberg (Německo), Freiberg (Německo), Čoruch Dajron a Čulut Tsagan Del (Mongolsko), Desbyshire (Anglie), Jílové u Děčína (Česká republika), Vrchoslav (Česká republika), Hradiště u Kadaně (Česká republika), Čína, Okorusu (Namibie) a Berbes (Španělsko).

5.1.1 Popis fluorescence vzorků z Annabergu

Fluority z Annabergu (viz obr. 30, 32, 34) vykazovaly téměř stejnou fluorescence. Celkem jsem pod UV-lampou prozkoumal 5 vzorků, z toho 4 svítily **světle fialovou** barvou (viz obr. 31, 35) a u jednoho byla fluorescence navíc zbarvena do **ružové** barvy (viz obr. 33).

Na jednom vzorku je také velice hezky patrná koexistence kalcitu a fluoritu (viz obr. 34), neboť kalcit v tomto vzorku vykazuje oranžovou barvu fluorescence a fluorit světle fialovou (viz obr. 35).

5.1.2 Popis fluorescence vzorků z Wölsendorfu

Vzorky z Wölsendorfu (viz obr. 36, 38, 40, 42, 44, 46) typicky ukazují mou hypotézu, že příliš tmavé fluority nevykazují fluorescence, anebo ji vykazují pouze slabě. Světlé vzorky vykazovaly pěknou **fialovou** fluorescence (viz obr. 37, 39, 41, 43, 47). Tmavé vzorky však byly naprosto odlišné, jeden z nich nefluoreskoval vůbec, a druhý velmi slabou **modrofialovou** barvou (viz obr. 45).

5.1.3 Popis fluorescence vzorků z Freibergu

Freibergské fluority (viz obr. 48) se svou luminiscencí velice lišily. Celkem jsem sice prozkoumal pouze 2 vzorky, nicméně byly přibližně stejné barvy, a to oranžové. Zatímco jeden z nich vykazoval velice intenzivní fluorescence **fialové** barvy (viz obr. 49), druhý nefluoreskoval vůbec.

5.1.4 Popis fluorescence vzorků z lokality Čoruch Dajron a Čulut Tsagan Del

Vzorky z lokality Čoruch Dajron a Čulut Tsagan Del (viz obr. 50, 52) fluoreskovaly **světle fialovou** barvou. U prvního vzorku byla fluorescence ještě o něco světlejší než u druhého. Obecně zde však platilo, že fluoreskovaly pouze vzorky bezbarvé (viz obr. 51, 53), zatímco fialové žilky fluoritu v křemeni či hornině nevykazovaly žádnou fluorescence.

5.5.5 Popis fluorescence vzorků z Derbyshire

Vzorky z britské lokality Derbyshire (viz obr. 54, 56, 58) vykazovaly bezkonkurenčně nejintenzivnější fluorescence ze všech pozorovaných vzorků fluoritu. Jednalo se o fluorescence **světlé fialové** barvy (viz obr. 55, 57, 59).

Na jednom z pozorovaných vzorků (viz obr. 54) je krásně vidět koexistence krystalů dělového kalcitu s krychlovými krystaly fluoritu. Na tomto vzorku, na rozdíl od annabergského, kalcit fluoreskuje červenou barvou (viz obr. 55).

5.1.6 Popis fluorescence vzorků z čínských lokalit

Čínských fluoritů bylo pozorováno hned několik (viz obr. 60, 62, 64, 66, 68), speciální zde bylo, že se jednalo o pozorování leštěných vzorků. Celkem jsem pod UV-lampou pozoroval 5 čínských vzorků. 4 z nich vykazovaly fluorescenční **světle fialové** barvy (viz obr. 61, 65, 67, 69). Jeden však vykazoval pouze slabou fluorescenci, a to velice světlé, fialové barvy (viz obr. 63). Na tomto vzorku bylo speciální, že fluoreskovala pouze barevná část fluoritu, kdežto bílá část nevykazovala fluorescenci žádnou.

Na jednom z pozorovaných vzorků (viz obr. 68) bylo pozoruhodné, že přestože se jednalo o celou leštěnou desku fluoritu (bez jakýchkoliv dalších minerálů), docházelo v určitých místech k naprostému utlumení fluorescence (viz obr. 69), jakoby mezi fluorit vstupoval nějaký další minerál, který však při pozorování v běžném světle viditelný nebyl.

5.1.7 Popis fluorescence vzorků z lokalit v České republice

Kromě vzorků z lokality Mutěnice jsem ještě výzkumu fluorescence podrobil fluority z jiných českých lokalit, a to z lokalit Jílové u Děčína, Vrchoslav a Hradiště u Kadaně.

Jílové u Děčína: Vzorky z této lokality (viz obr. 70, 72, 74) se vyznačovaly velice světlou barvou, obvykle s lehkým nádechem zelené, nicméně pozoroval jsem i vzorek fialové barvy. Intenzita fluorescence vzorků z této lokality byla velice nízká. Její barva je **velmi slabě fialová**, jinak fluorescenci nevykazovaly vlastně vůbec (viz obr. 71, 73, 75).

Vrchoslav: Z této lokality jsem pozoroval pouze jediný vzorek (viz obr. 76). Jeho barva fluorescence se však značně odlišovala od ostatních vzorků, neboť se jednalo o barvu **růžovo-fialovou**, objevovaly se i oblasti se **žlutou** fluorescencí. (viz obr. 77; barva je podobná jako u jednoho vzorku z Annabergu). Intenzita fluorescence nebyla nijak zvlášť vysoká.

Hradiště u Kadaně: Pozorován byl pouze jeden vzorek (viz obr. 78). Fluorescence vzorku z této lokality byla opět rozdílná (viz obr. 79), jednalo se o podobnou barvu fluorescence jako u vzorku z Vrchoslavi, a to **růžovo-fialovou**.

5.1.8 Popis fluorescence vzorků z ostatních lokalit

Z obou těchto lokalit byl pozorován pouze 1 vzorek, protože se jich v depozitáři muzea více nenacházelo.

Berbes: Vzorek z této lokality byl temně fialové barvy (viz obr. 80) a **žádnou fluorescenci** nevykazoval (viz obr. 81).

Okorusu: Tamní vzorek byl velice temně zelené barvy (na první pohled černé) s lehce nazelenalými špičkami krystalů (viz obr. 82). Dolní části krystalů fluorescenci nevykazovaly, zatímco horní fluoreskovaly se slabou intenzitou a **tmavě fialovou** barvou (viz obr. 83).

5.6 Naměřené údaje spektrofluorimetrem FluoroMax-3

Práce na MFF UK přinesly poněkud neočekávané údaje, nicméně velice potěšující. Celkem jsem analyzoval 3 vzorky, z toho kvalitně 2 mutěnické a orientačně 1 ze Stollbergu.

Vzorek A (viz obr. 84): Vzorek A je mutěnický fluorit. Zajímavé u mutěnických vzorků je, že se ostré peaky odpovídající vlnovým délkám emise 430-470 nm v emisním spektru vykreslovaly pouze do vlnové délky excitace 275 nm včetně. Tyto ostré peaky odpovídají jednotlivým lanthanoidům (jeden peak odpovídá jednomu prvku z této skupiny), konkrétně: Tb^{3+} , Dy^{3+} a Eu^{2+} . Za vlnových délek 318 a 342 nm došlo k vytvoření vysokých peaků, které se vzrůstající hodnotou excitace stoupaly (tedy stoupala intenzita fluorescence za těchto vlnových délek emise), ale na vlnové délce excitace 320 nm se náhle tyto vysoké peaky přestaly vykreslovat úplně, přestože do skenované oblasti ještě zasahují (alespoň jeden z nich, viz graf 3). Na 420 nm se objevuje peak, který se vzrůstající hodnotou vlnové délky excitace stále roste

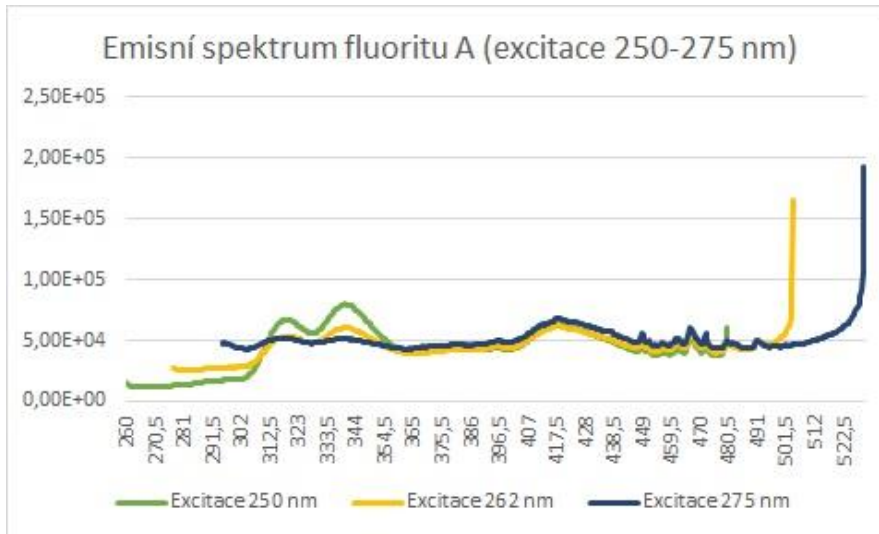
a za vlnových délek vyšších než 335 nm je to jediná vlnová délka emise s intenzivní fluorescencí (viz graf 4). U tohoto peaku je zajímavé, že se na grafu 1 (tedy za vlnových délek excitace 250-275 nm) zcela patrně vyskytuje s intenzitou okolo 70000 fotonů za sekundu, na grafu 2 však tento peak chybí a znovu se objevuje na grafu 3, kde hodnota intenzity tohoto peaku dosahuje několika milionů fotonů za sekundu. Ve skutečnosti se však vyskytuje i na grafu 2 (s hodnotou intenzity asi 370 000 fotonů za sekundu), ale nedosahuje zdaleka tak vysoké intenzity, jako peak na vlnové délce 340 nm. Peaky na vlnových délkách 318, 340 nm pravděpodobně odpovídají fluorescenci nějakých organických látek, jejichž konkrétní zástupce se mi bohužel nepodařilo zjistit. Peak na vlnové délce emise 420 nm je pravděpodobně způsoben příměsí určitého iontu kovu, konkrétního zástupce jsem však také nezjistil. Pokud tedy vyhodnotíme tyto údaje, zjistíme, že za vlnových délek excitace 250-275 nm vzorek vykazoval fluorescenci fialovo-modré barvy vlnové délky 420-470 nm, ale také fluorescenci v ultrafialovém spektru odpovídající vlnovým délkám emise 318 a 340 nm. Za vlnové délky excitace 305 nm vzorek vykazoval fluorescenci velice vysoké intenzity v UV spektru na již uvedených vlnových délkách a na vyšších hodnotách vlnové délky excitace (320-395 nm) pak fluoreskoval vzorek opět fialovomodrou barvou, ale již pouze fluorescencí vlnové délky 420 nm (vlnová délka emise). Získané hodnoty viz graf 2, 3, 4 a 5. Co se týče excitačního spektra (viz graf 6), emitoval jsem ho zářením o vlnových délkách 318, 340, 420, 449 a 466 nm a peaky s vysokou intenzitou zde vybíhaly na vlnových délkách excitace 305 nm, kde byla intenzita fluorescence rozhodně nejvyšší a klesala se zvyšující se vlnovou délkou emise, dále poté na 336, 353 a 370 nm, kde byl trend zcela opačný.

Vzorek B (viz obr. 85): Vzorek B byl také mutěnický fluorit. Co se týče emisních spekter (viz graf 7, 8, 9, 10) měřených za stejných vlnových délek excitace jako vzorek A, téměř se nelišily. Peaky se vykreslovaly na týchž vlnových délkách emise, jako v grafech 2, 3, 4, 5, jediný rozdíl byl v intenzitách. Tyto rozdíly však mohou být způsobeny tím, že fluidum, ze kterého fluority vznikaly, sice obsahovalo stále stejný obsah prvků, ale do fluoritu nevstupovaly všechny ve stejném množství a poměru. V některých fluoritech tedy může být větší obsah REE (prvků vzácných zemin), a tudíž i intenzita fluorescence může dosahovat vyšších hodnot. Proto intenzita fluorescence nehraje až tak vysokou roli. Díky těmto naměřeným výsledkům tedy již můžeme s jistotou tvrdit, že zelené fluority vznikaly v Mutěnicích ve stejnou dobu (viz 2.5 Mutěnický fluorit a těžená surovina). Excitační spektrum viz graf 11. Výsledky víceméně totožné se vzorkem A (viz výše).

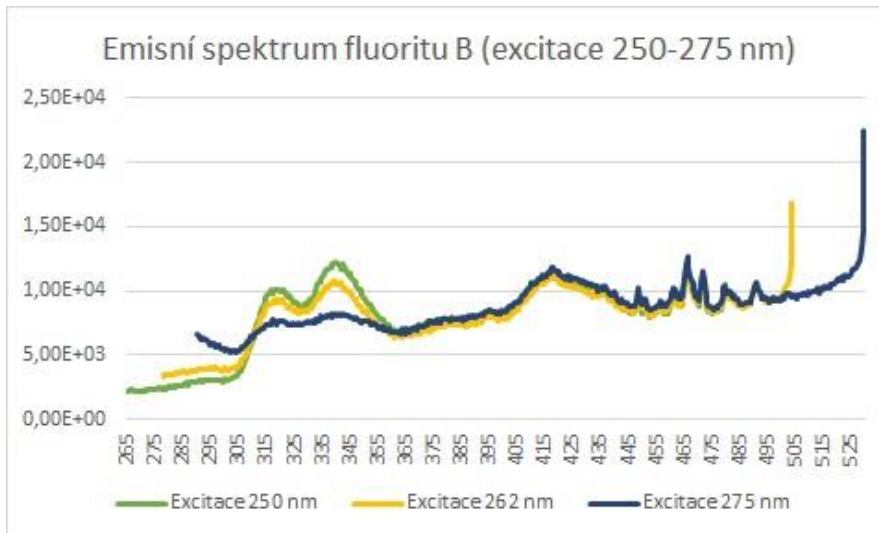
Vzorek C (viz obr. 86): Vzorek C je fluorit z lokality Stollberg. Měření na něm bylo prováděno pouze orientačně (emisní spektrum bylo na rozdíl od mutěnických fluoritů měřeno s rozestupy mezi vlnovými délkami excitace okolo 40-50 nm), jednak kvůli nedostatku času a jednak proto, že pro srovnání se spektry mutěnických fluoritů není potřeba příliš vysoká kvalita (na grafech je patrný mírný šum). Emisní spektrum tohoto fluoritu (graf 12 a 13) se od mutěnických z hlediska vlnových délek až na výjimky příliš nelišilo, rozdíl byl však v intenzitě. Na rozdíl od vzorků A a B se při vlnové délce excitace 250 nm se ještě před vlnovou délkou emise 318 nm objevuje jeden nízký peak (s nízkou intenzitou fluorescence) na vlnové délce emise 293 nm, který se u fluoritů z Mutěnic nevyskytoval vůbec. Peaky na vlnových délkách emise 318 a 340 se od mutěnických vzorků neliší stejně jako peak vlnové délky emise 420 nm, ale peaky lanthanoidů na vlnových délkách emise 440-470 nm se liší rapidně. Oproti mutěnickým fluoritům je intenzita fluorescence na těchto vlnových délkách mnohonásobně nižší a některé peaky, které se u mutěnických fluoritů v tomto intervalu vyskytovaly, zde chybí. Na vlnových délkách excitace v intervalu 300-400 nm se vlnové délky emise s peaky nelišily od mutěnických fluoritů vůbec, intenzity se lišily pouze mírně. Co se týče excitačního spektra (graf 14), to je od mutěnických fluoritů výrazně odlišné. Sice se příliš neliší vlnové délky peaků, ale intenzita je zcela odlišná. Vysoký peak na vlnové délce excitace 305 nm vybíhal pouze

za vlnových délek emise 318 a 340 nm, peaky na vlnových délkách excitace 336, 353 a 370 nm dosahovaly vyšší intenzity pouze za vlnové délky emise 420 nm.

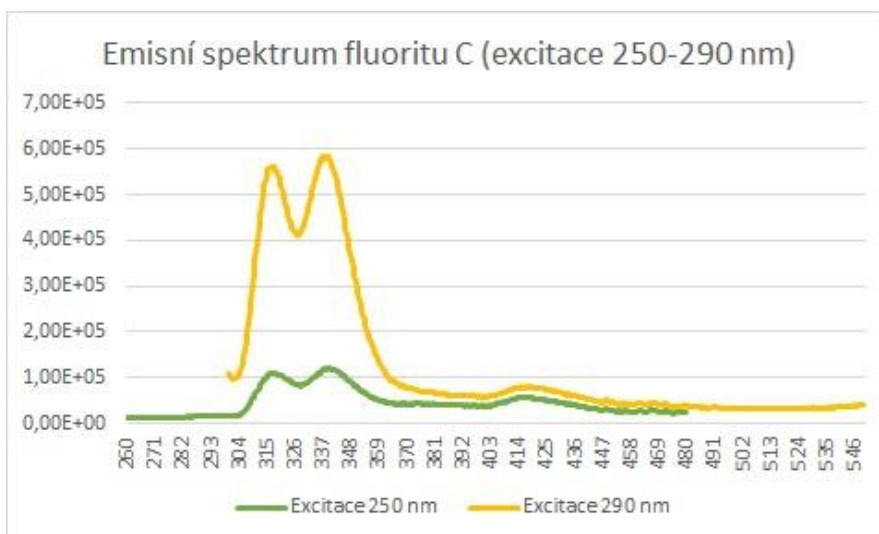
Emisní spektra vzorků A a B za vlnových délek excitace 250-275 nm a vzorku C za vlnové délky excitace 250-290 nm



Graf 2 - Emisní spektrum fluoritu A za vlnových délek excitace 250, 262 a 275 nm. Zdroj: vlastní graf

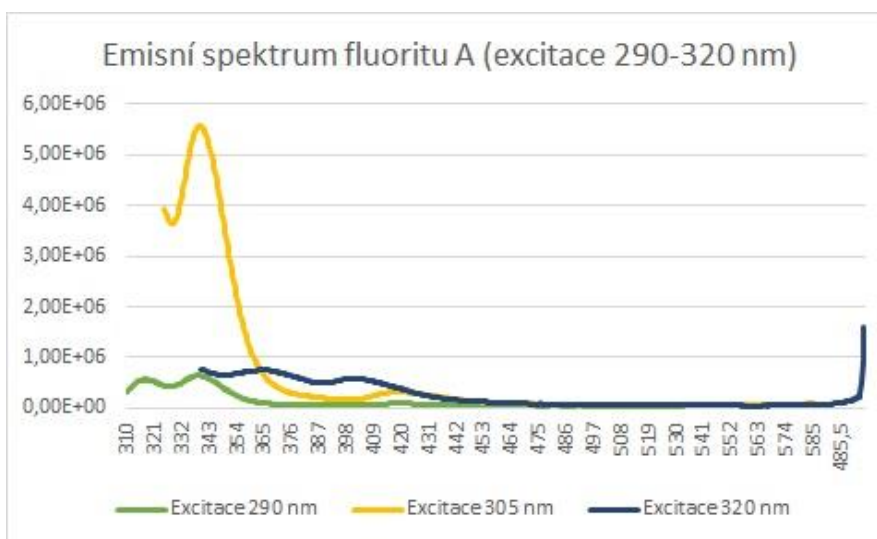


Graf 7 - emisní spektrum fluoritu B za vlnových délek excitace 250, 262 a 275 nm. Zdroj: vlastní graf

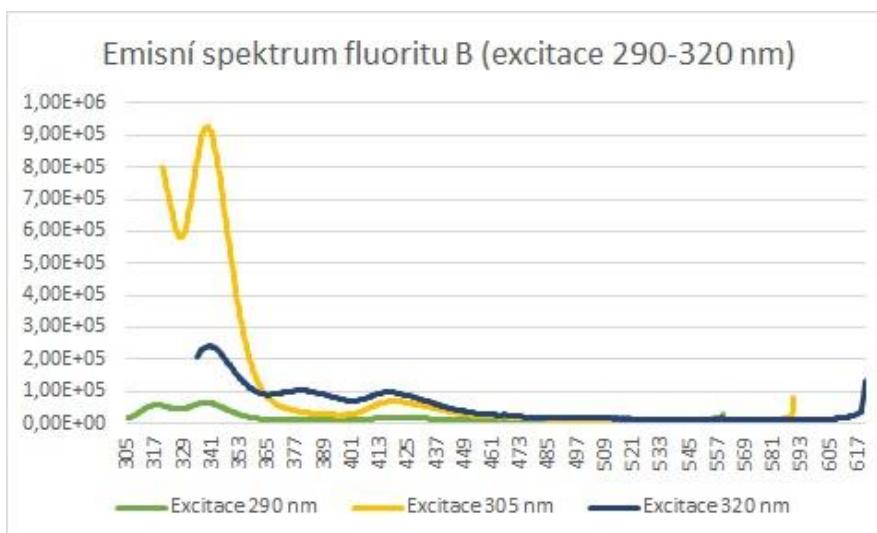


Graf 12 - emisní spektrum fluoritu C za vlnových délek excitace 250 a 290 nm. Zdroj: vlastní graf

Emisní spektra vzorků A a B za vlnových délek excitace 290-320 nm

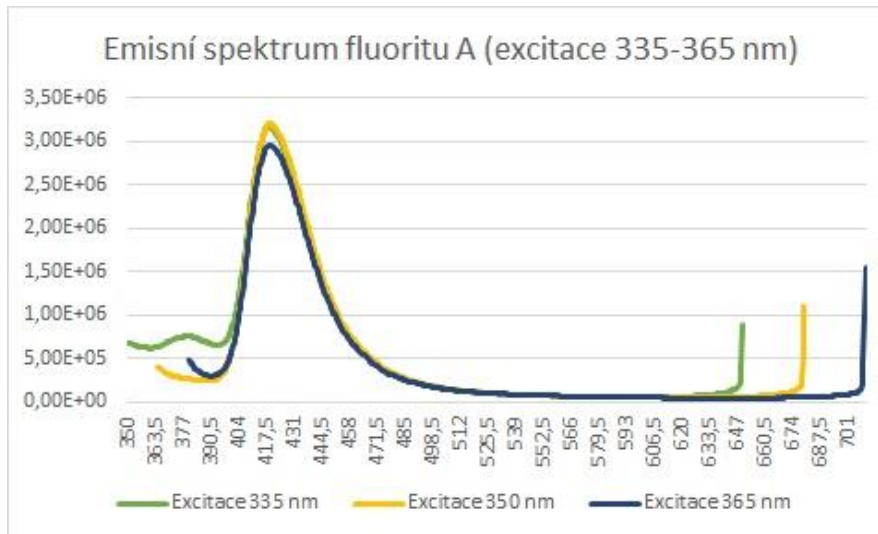


Graf 3 - emisní spektrum fluoritu A za vlnových délek excitace 290, 305 a 320 nm. Zdroj: vlastní graf

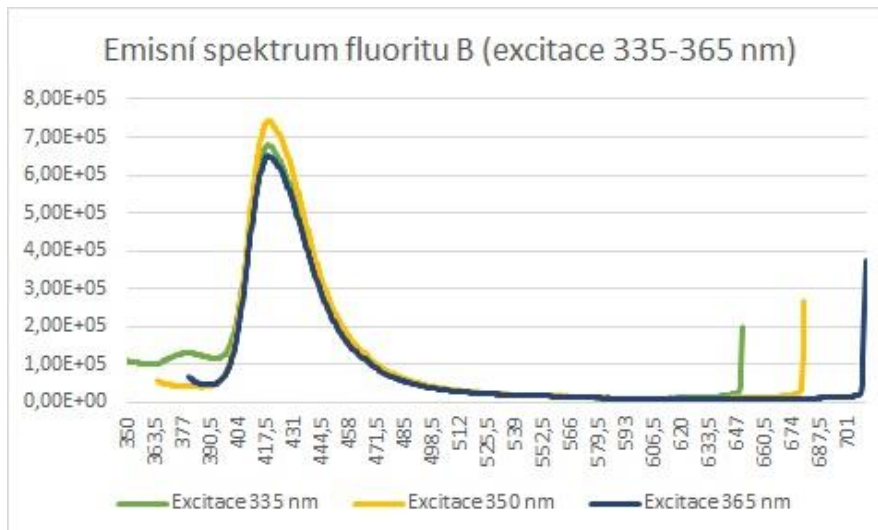


Graf 8 - emisní spektrum fluoritu B za vlnových délek excitace 290, 305 a 320 nm. Zdroj: vlastní graf

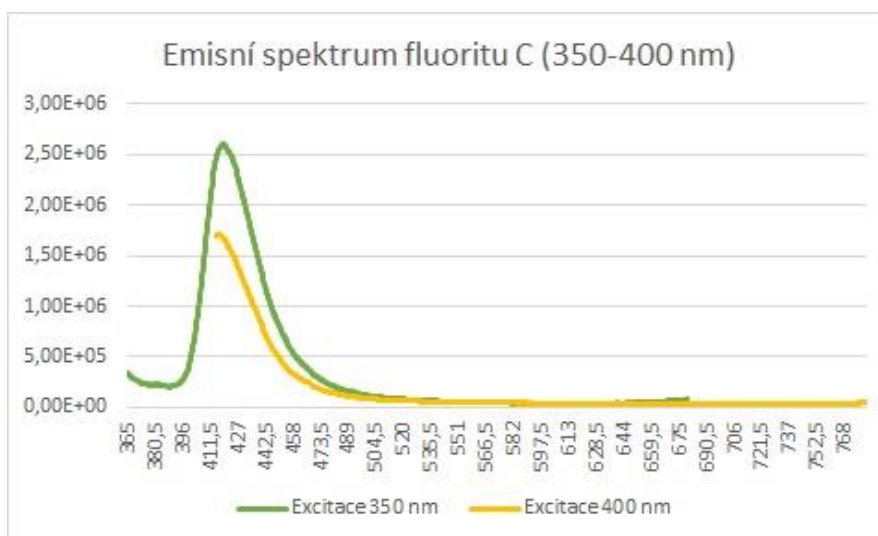
Emisní spektra vzorků A a B za vlnových délek excitace 335-365 nm a vzorku C za vlnových délek excitace 350-400 nm



Graf 4 - emisní spektrum fluoritu A za vlnových délek excitace 335, 350 a 365 nm. Zdroj: vlastní graf

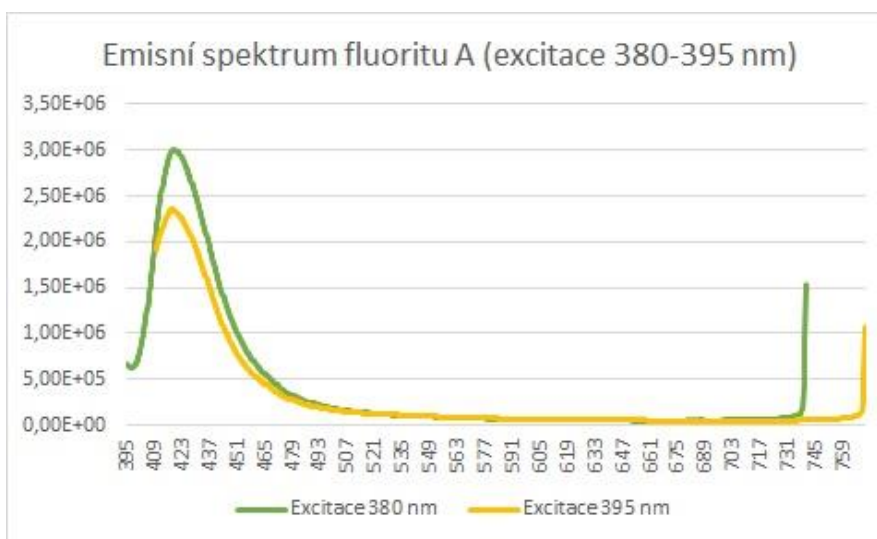


Graf 9 - emisní spektrum fluoritu B za vlnových délek excitace 335, 350 a 365 nm. Zdroj: vlastní graf

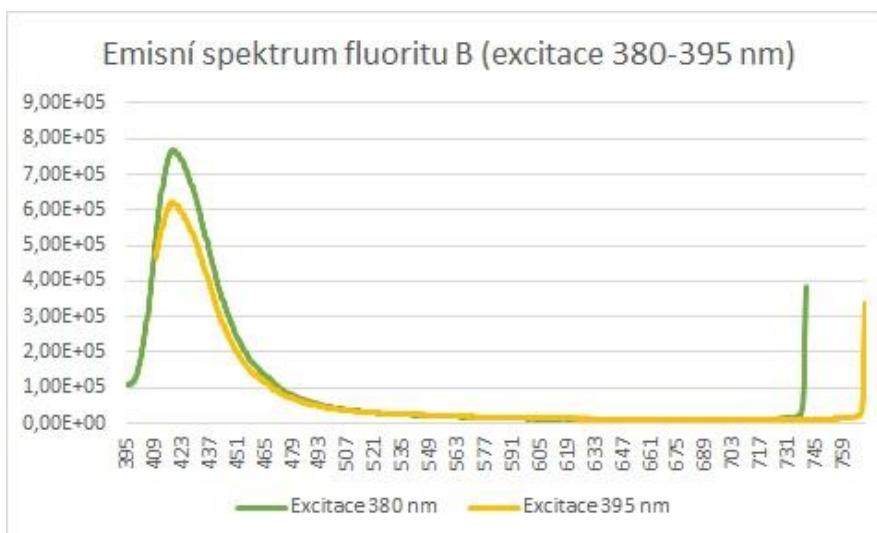


Graf 13 - emisní spektrum fluoritu C za vlnových délek excitace 350 a 400 nm. Zdroj: vlastní graf

Emisní spektra vzorků A a B za vlnových délek excitace 385-390 nm

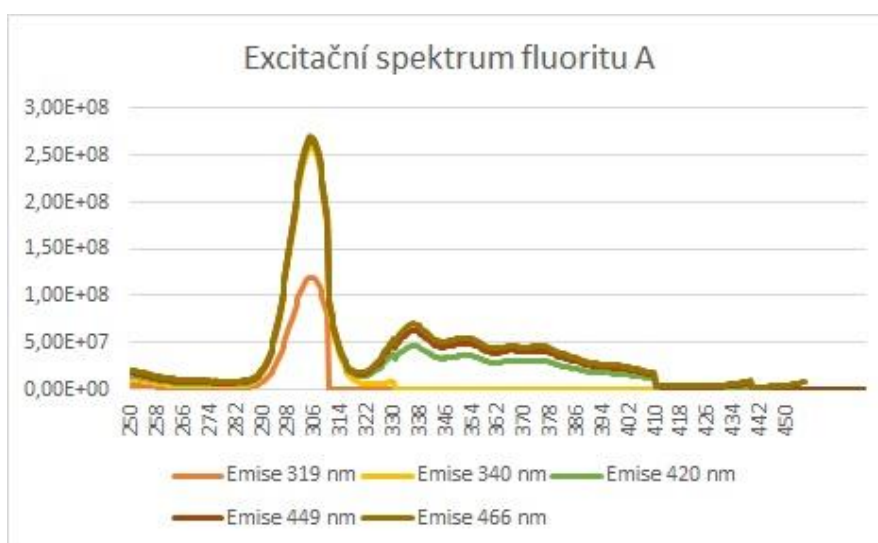


Graf 5 - emisní spektrum fluoritu A za vlnových délek excitace 380 a 395 nm. Zdroj: vlastní graf

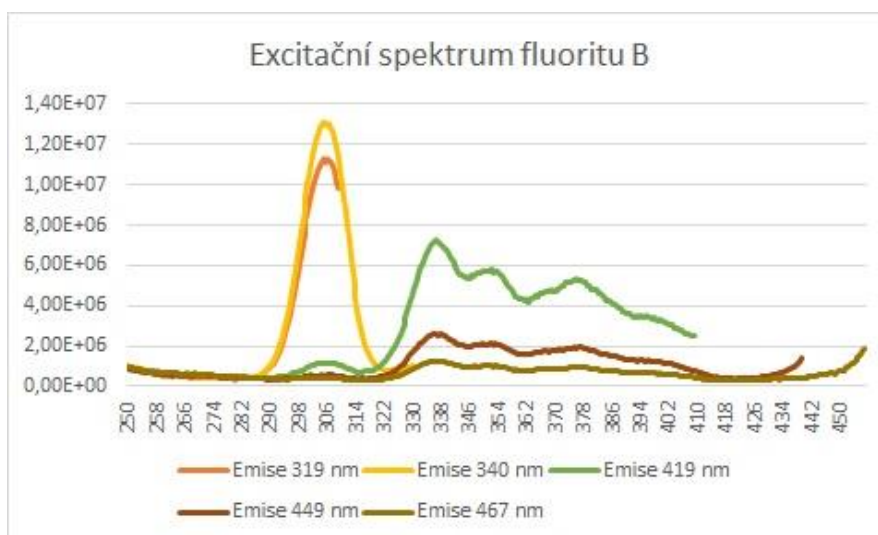


Graf 10 - emisní spektrum fluoritu B za vlnových délek excitace 380 a 395 nm. Zdroj: vlastní graf

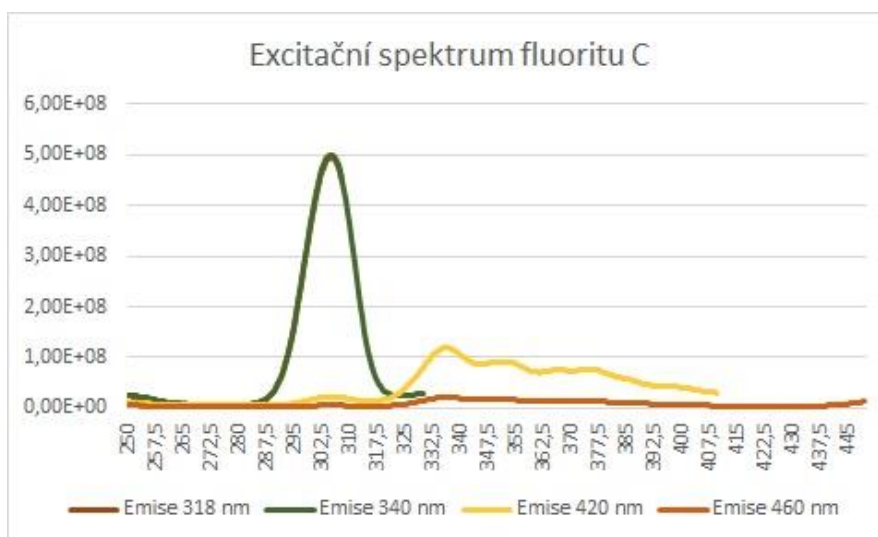
Excitační spektra vzorků A, B, C



Graf 6 - excitační spektrum fluoritu A za vlnových délek emise 318, 340, 420, 449 a 466 nm. Zdroj: vlastní graf



Graf 11 - excitační spektrum fluoritu B za vlnových délek emise 319, 340, 419, 449 a 467 nm. Zdroj: vlastní graf



Graf 14 - excitační spektrum fluoritu C za vlnových délek emise 318, 340, 420 a 460 nm. Zdroj: vlastní graf

6 Diskuse

6.1 Shrnutí dat o Mutěnicích

V práci jsem shrnul data o nalezišti Mutěnice, vytvořil nové sukcesní vztahy na lokalitě, dále jsem potom vytvořil pravděpodobnou závislost luminiscence na vlastnostech vzorku a popsal fluorescenci vzorků fluoritů z různých významných světových nalezišť.

Na lokalitě Mutěnice byla v letech 1962-63 prováděna průzkumná práce, která pro mě sloužila jako zdroj informací. Obsahuje jednoduše shrnutou geologii lokality, stručný popis vzorků, částečnou historii těžby na nalezišti a několik analýz vzorků. Je však nutné podotknout, že přestože práce byla prováděna specializovanou firmou, obsahuje značné nepřesnosti, jako např. nepřesné sukcesní vztahy, žádné zmínky o papírových kalcitech či jejich pseudomorfózách, nepřesné jsou i některé analýzy. Nepřesnost analýz však není vinou autorů, neboť ty se v dané době prováděly o hodně jednodušeji než dnes a byly tedy velmi náchylné na chyby. Nicméně nepopsání pseudomorfóz je závažnější problém této práce. Autoři se nad vysvětlením těchto útvarů vůbec nepozastavovali, popis těchto útvarů jsem tedy do shrnutí informací o lokalitách musel doplnit sám, na základě pozorování na jiných lokalitách, ať už fluoritových, či zcela jiných. Se sukcesními vztahy je to již složitější. Ty se většinou vytváří tak, že se v důlní chodbě vybere určité místo, kde jsou jednotlivé „vrstvy“ dobře patrné, a na základě pozorování této posloupnosti a předpokládaného vývoje minerálů dojde k vytvoření těchto vztahů. Já jsem bohužel musel vypracovat sukcesní vztahy pouze podle vlastních vzorků či vzorků muzea, neboť tento malý důl v Mutěnicích je dnes již zcela nedostupný. Zvážit, zda se na lokalitě vyskytoval i fialový fluorit, mladší než zelený, je tedy kvůli nedostatku vzorků fialových fluoritů jaksí nemožné. Já jsem fialový fluorit sledoval pouze na 2 vzorcích a tam byl evidentně stejného stáří, jako zelený. To, že však autoři vytvořili sukcesní fáze tak, že na lokalitě byla první fáze tvorba fluoritu a až poté křemene, pokládám za naprostý nesmysl (důvody viz 2.3 Mineralogie lokality) a to byl také hlavní důvod, proč jsem pro lokalitu vytvořil sukcesní vztahy vlastní. Uvažte, že vznik fluoritu ve volném prostoru je z fyzikálního i geologického hlediska naprosto nemožný. Ze svého pozorování jsem navíc vyvodil, že fluorit vzniká až po poměrně dlouhé době od prvního průniku fluida, a to fluida tvořícího základy papírových kalcitů. Tato fáze byla sice krátká, ale za ní následovala tvorba šedého křemene, která je prokazatelně nejdelší fází na lokalitě vůbec. Přesto je však tato zpráva jako jediný celistvější zdroj informací. Objevují se i další články, jako další dobrý zdroj informací slouží i časopis Minerál. Zajímavé nicméně je, že jsem v Geofondu mohl nahlédnout do složky této práce, která však byla otevřena asi tak třikrát za celou dobu existence, a přesto je v jižních Čechách tato lokalita autory neustále uváděna. Otázkou tedy zůstává, kde shání informace.

Studium Mutěnic přineslo nové poznatky o lokalitě: nové sukcesní vztahy, shrnutí informací, ale hlavně opravu nepřesností.

6.2 Shrnutí výzkumu fluorescence

Ve své práci jsem také sepsal údaje o luminiscenci, a to převážně o fluorescenci fluoritu. Hned na začátku je nutné poznamenat, že v češtině existuje o luminiscenci velice málo publikací i zpráv a o teoretických informacích fluorescence fluoritů už tedy nemá smysl mluvit vůbec. Mým zdrojem se stala kniha Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři, která je podle mého velice povedená, na své si přijdou nejen odborníci, ale i laici. Byla však zdrojem pouze obecných informací o luminiscenci celkově. Zdrojem pro teoretickou část fluorescence fluoritu se mi nakonec staly vědecké práce (bohužel psané v angličtině), ve kterých byly velice pěkně shrnuty ionty prvků, které luminiscenci způsobují.

V mém vlastním praktickém studiu fluorescence tohoto minerálu jsem se postupně dostával k určitým hypotézám. Ještě než však začnu diskusi o výsledcích, musím podotknout, že celé toto studium záviselo na subjektivním odhadu. V praxi to znamená, že jsem intenzitu fluorescence neměřil žádnými přístroji, intenzitu a odstín barvy jsem tedy určoval pouhým okem, a proto se může někomu zdát barva trochu jiná (až na výzkum fluorescence na MFF).

První, co jsem předpokládal a zároveň doufal, že bude vyhovovat, bylo, že by mohla fluorescence souviset s barvou (alespoň tak, že tmavé nebudou fluoreskovat kvůli příliš tmavé barvě a bílé také ne, protože by se v nich nenalézalo dostatečné množství iontů). Nicméně jsem zjistil, že tyto ionty lanthanoidů vázané v mřížce minerálu se na vzorku nijak neprojeví, tzn., že barva vzorku převážně nesouvisí s fluorescencí. Některé bezbarvé vzorky totiž nefluoreskovaly vůbec (jako např. vzorek z Dalněgorsku), některé naopak velmi silně. Přesto jsem se zde dostal k určité závislosti, a to, že velmi tmavé vzorky zpravidla nevykazovaly žádnou fluorescence. Předpokládám však, že to není způsobeno nepřítomností iontů v mřížce, ale příliš slabou intenzitou fluorescence, která tedy nemůže „prosvítit“ velmi špatně průsvitný minerál.

Dále jsem vytvořil hypotézu, že fluorescence souvisí se vznikem (nebo spíše se způsobem vzniku). Tu jsem ale nemohl popřít ani vyvrátit z důvodu nedostatku vzorků vzniklých magmatickými pochody.

Poslední hypotéza (a zdá se nejpravděpodobnější) je, že vzorky vzniklé na jedné lokalitě ve stejnou dobu vykazují fluorescenci o stejných vlastnostech. Tato hypotéza má vlastně jen jeden nedostatek, a to, že nevím, zda fluority na lokalitě vznikaly najednou, či jsou některé mladší a některé starší. Přesto ji však lze považovat za potvrzenou, protože až na několik odchylek docházelo k fluorescenci podobných vlastností z hlediska dané lokality.

Díky výzkumu fluorescence na MFF UK jsem se dostal k výsledkům, které jsem na začátku práce ani neočekával. Nejenže jsem dokázal, že fluority z Mutěnic vznikaly ve stejnou dobu na základě vlastností jejich fluorescence, ale dokonce jsem zjistil, jaké látky a prvky fluorescenci v mutěnických fluoritech způsobují. To, že mutěnické fluority vznikaly ve stejnou dobu (alespoň ty zelené), můžeme tvrdit díky přítomnosti stejných látek, které způsobují jejich fluorescenci (projevuje se peaky na stejných vlnových délkách). Mírná odchylka intenzit je způsobena tím, že fluorescenční látky z fluida do fluoritů nevstupují ve stejném množství, a tudíž můžeme mírné odchylky intenzity pro důkaz stejné doby vzniku zanedbat. Pro porovnání jsem pozoroval i stollbergský fluorit, který vykazoval fluorescenci spíše modré než fialovomodré barvy. Tento vzorek se od mutěnických lišil převážně intenzitou fluorescence, ale i fluorescencí, která se vyskytla i na jiné vlnové délce.

Studium fluorescence lze tedy považovat za úspěšné nejen kvůli vytvoření závislosti fluorescence na vlastnostech vzorku, ale i díky nafocení velice pěkných fotografií a popsání fluorescence mnoha vzorků z různých světových lokalit. Nejvyšší hodnotu však má zjištění látek přítomných ve fluoritech v Mutěnicích, které způsobují jejich fluorescenci.

7 Závěr

V práci jsem pracoval na dvou hlavních tématech – popis lokality Mutěnice a fluorescence fluoritů.

V prvním tématu jsem shrnul poznatky o dříve těžené lokalitě Mutěnice: historie těžby, geologie a mineralogie lokality, důlní situaci atd. Navíc jsem ještě opravil a doplnil nedostatky zdrojů, a to hlavně vypracování nových sukcesních vztahů a zjištění vysoké míry důležitosti papírového kalcitu na další vývoj. Zdroje totiž uváděly chybné sukcesní vztahy, převážně kvůli určení fluoritové mineralizace na ložisku jako nejstaršího pochodu. Prokazatelně fluorit vznikl až v pozdějších fázích vzniku minerálů, naopak jsem jako nejstarší minerál na lokalitě doplnil papírový kalcit. Ten vytvářel zárodky krystalů, po celkem krátké době však došlo ke změně obsahu látek ve fluidu a začalo docházet ke vzniku křemene, který se nabaloval i na již vzniklé zárodky krystalů papírového kalcitu. Tím vysvětluji vznik útvarů, nazývaných jako klamotvary (pseudomorfozy) křemene po papírovém kalcitu. Práce však obsahuje i popis tamních vzorků, jedná se o zelené fluority (existenci fialových fluoritů se mi nepodařilo ověřit), které se vždy nachází ve formě čočkovitých těles, agregátů či drobných oktaedrických krystalů uvnitř křemene. Lokalita se z dnešního pohledu jeví jako zdroj fluoritů do sbírek sběratelů, nicméně průmyslové využití lokality či jiné je nemožné.

Druhé téma zahrnovalo průzkum fluorescence fluoritových vzorků. V první řadě jsem sepsal teoretické informace o této vlastnosti, převážně jsem čerpal z vědeckých prací v anglickém jazyce. Pozoroval jsem vzorky nejen z lokality Mutěnice, ale i jiných světových nalezišť tohoto minerálu. Na základě svého pozorování jsem vytvořil 3 hypotézy, z hlediska závislosti fluorescence na vnějším znaku minerálu či znalosti jeho vývoje a naleziště.

- a) **Hypotéza č. 1 (vyvrácena):** Závislost fluorescence na barvě fluoritu se nepotvrdila. Existovaly fluority stejné barvy, přičemž každý vykazoval jinou barvu či intenzitu, některé dokonce nevykazovaly fluorescenci žádnou. U velice tmavých a velmi špatně průsvitných vzorků však luminiscence zpravidla chyběla, pravděpodobně kvůli příliš slabé intenzitě na to, aby vzniklé záření vzorek prosvítalo.
- b) **Hypotéza č. 2 (nepotvrzena):** Závislost fluorescence na způsobu vzniku byla prověřena pouze na 1 vzorku magmatického původu (ostatní zkoumané vzorky byly původu hydrotermálního). Magmatický fluorit fluorescenci nevykazoval, zatímco hydrotermální většinou ano. Pro nedostatek vzorků magmatického původu však hypotézu nelze potvrdit ani vyvrátit.
- c) **Hypotéza č. 3 (potvrzena):** Závislost fluorescence na místě nálezů a době vzniku na dané lokalitě se projevila jako pravdivá. Většina vzorků z každé lokality vykazovala fluorescenci o stejných vlastnostech, některé výjimky ji nevykazovaly kvůli příliš tmavé barvě. Pokud však fluorit na dané lokalitě vznikl v několika fázích, je též velice pravděpodobné, že fluorit vzniklý v pozdější fázi se bude od toho staršího ve vlastnostech fluorescence odlišovat (důvodem je možný obsah rozdílných iontů ve fluidu).

Fluorescence mutěnických vzorků mi pomohla na základě potvrzené hypotézy č. 3 k podepření mého závěru, že mnou zkoumané fluority z Mutěnic jsou všechny stejného stáří. Vykazovaly totiž stejnou intenzitu i barvu fluorescence.

Fluorescenci mutěnických vzorků jsem nakonec i změřil na MFF UK na přístroji FluoroMax-3. Zjištěním z tohoto měření bylo, že za vlnové délky excitace, která odpovídá vlnové délce UV-záření vycházejícího ze rtuťové výbojky, kterou jsem používal v muzeu, vzorek vykazoval luminiscenci jak ve viditelném spektru na vlnové délce emise 420 nm, a poté v rozmezí vlnových délek emise 440-480 nm, tak i ve spektru UV – na vlnových délkách emise 318 či 319 a 340 nm. Fluorescenci vlnových délek emise 440-480 nm způsobují 3 ionty lanthanoidů, a to Eu^{2+} , Tb^{3+} a Dy^{3+} , které jsou ve fluoritech poměrně časté a způsobují

fluorescenci fialovo-modré barvy. Fluorescence na vlnové délce emise 318 (či 319) a 340 nm je pravděpodobně způsobena organickými látkami, na 420 nm potom pravděpodobně iontem určitého kovu. Rozdíl mezi oběma zkoumanými mutěnickými vzorky je pouze nepatrný v intenzitách fluorescence, tudíž můžeme tvrdit, že fluority vznikaly ze stejného fluida ve stejnou dobu.

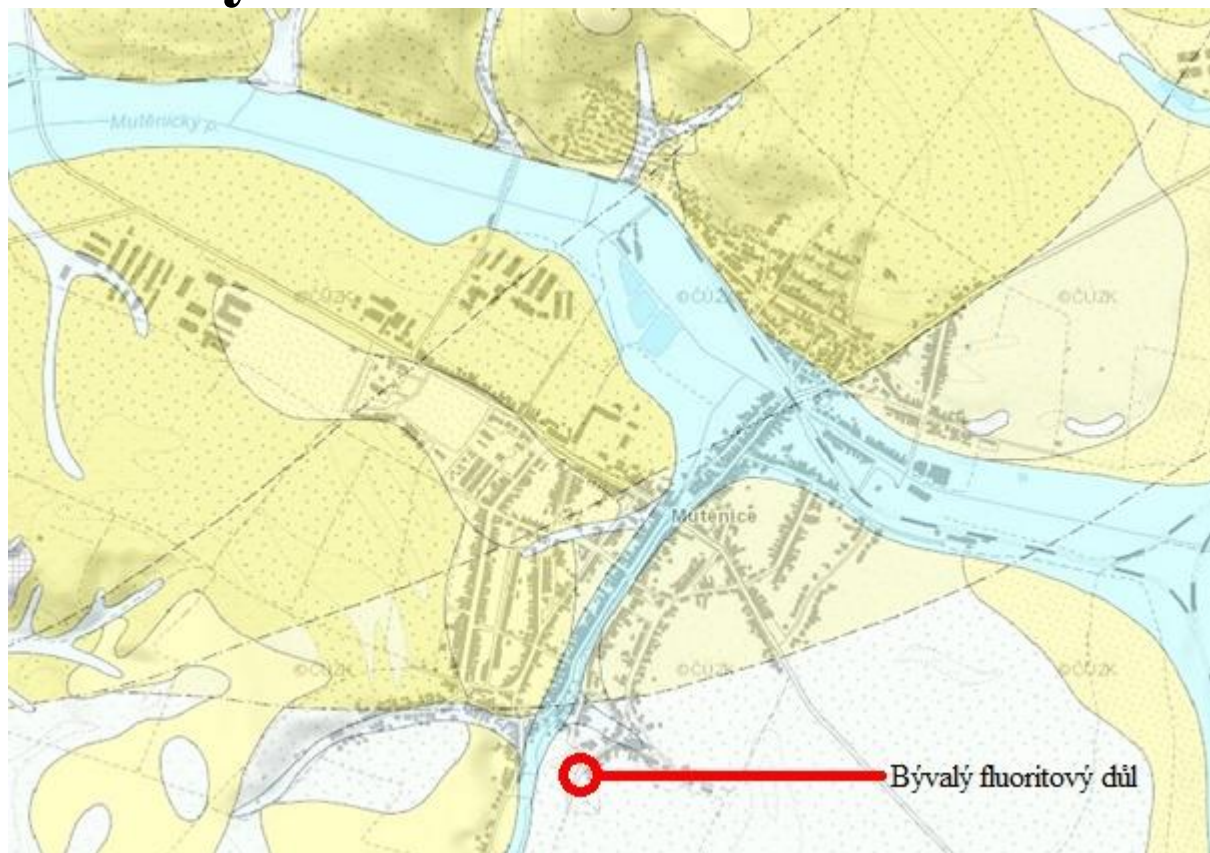
Výsledkem pozorování fluorescence vzorků fluoritu z různých světových nalezišť jsou velice pěkné fotografie a zdokumentování fluorescence vzorků z jednotlivých nalezišť. Dále je to zjištění iontů lanthanoidů přítomných v krystalických mřížkách fluoritů z Mutěnic a ověření vzniku mutěnických zelených fluoritů ve stejnou dobu.

Celkově považuji vytyčený cíl práce v rámci daných možností za splněný. Byla zpracována data o lokalitě Mutěnice a sestaven věrný obraz sukcesních vztahů lokality. Výzkum fluorescence přinesl zajímavé závěry, zpracoval jsem teoretické informace o fluorescenci fluoritu, vytvořil jsem závislost fluorescence na místě nálezů, době vzniku a v případě mutěnických fluoritů i na obsahu stopových prvků. Byla též charakterizována fluorescence fluoritů z řady světových lokalit.

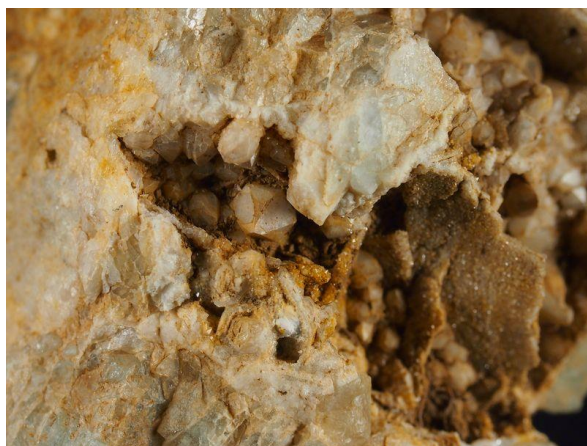
8 Zdroje

- Bouška, J. (1964). Mineralogická charakteristika fluorito-křemenné žíly. *Geologický průzkum lokality Mutěnice*. Nepublikováno. Geofond. Praha.
- Cícha, J. (říjen 2014). Fluority mladovariské křemen-fluoritové mineralizace v jižních Čechách. *Minerál*, stránky 458-460.
- Czaja, M., Bodyl-Gajowska, S., Lisiecki, R., Meijerink, A., & Mazurak, Z. (2012). The luminescence properties of rare-earth in natural fluorite. *Phys Chem Minerals*, 639-648.
- Fengl, M. (1998). Mineralogie těžených fluoritových ložisek. *Minerál*, stránky 82-88.
- Gramblička, R., & Filippi, M. (říjen 2014). FLUORIT - minerál mnoha barev. *Minerál*, stránky 385-398.
- Gramblička, R., Pauliš, P., & Mužák, P. (říjen 2014). Současné možnosti sběru minerálů na dřívě těžených ložiskách fluoritu. *Minerál*, stránky 399-411.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., & Stráník, Z. (2011). *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia.
- Korbel, P., & Novák, M. (1999). *Minerály*. Praha: Granit s.r.o.
- Kryl. (1962). Historie výskytu. *Geologický průzkum lokality Mutěnice*. Nepublikováno. Geofond. Praha.
- Matyášek, J., & Suk, M. (2007). *Fluorit*. Načteno z Přehled minerálů a hornin: http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pedf/js07/mineraly/materialy/mineraly/halogenidy_fluorit.html
- Morysek, A. (1963). Psaná dokumentace jádrových vrtů. *Geologický průzkum lokality Mutěnice*. Nepublikováno. Geofond. Praha.
- Morysek, A. (1964). Závěrečná zpráva Mutěnice. *Geologický průzkum lokality Mutěnice*. Nepublikováno. Geofond. Praha.
- Pelant, I., & Valenta, J. (2014). *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Praha: Academia.
- Sidike, A., Kusachi, I., & Yamashita, N. (2003). Natural fluorite emitting yellow fluorescence under UV light. *Phys Chem Minerals*, 478-485.

Přílohy



Obr. 1 – geologická mapa obce Mutěnice. Zdroj: snímek obrazovky na URL: http://mapy.geology.cz/geocr_25/



Obr. 4 – krystaly křemene v dutině z Mutěnic.
Zdroj: vlastní foto



Obr. 5 – povlak limonitu na křemeni z Mutěnic.
Zdroj: vlastní foto



Obr. 6, 7 – Pseudomorfózy křemene po papírovém kalcitu. Mutěnice. Zdroj: vlastní foto



Obr. 8 – Pseudomorfóza křemene po papírovém kalcitu. Mutěnice. Zdroj: vlastní foto



Obr. 11 – metasomaticky zatlačovaný křemen fialovým fluoritem. Mutěnice. Zdroj: vlastní foto



Obr. 13 – UV lampa (transformátor a výbojka). Zdroj: vlastní foto



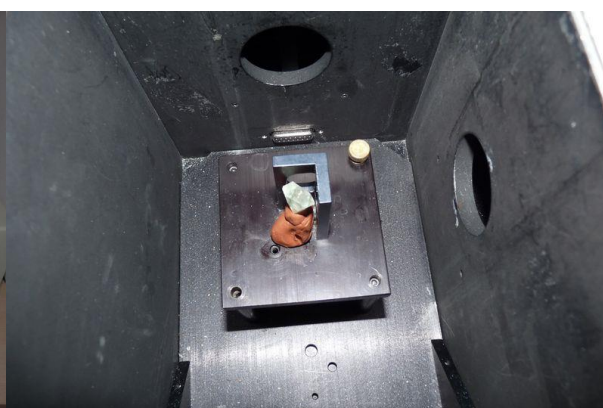
Obr. 14 – detail výbojky bez nasazeného filtru.
Zdroj: vlastní foto



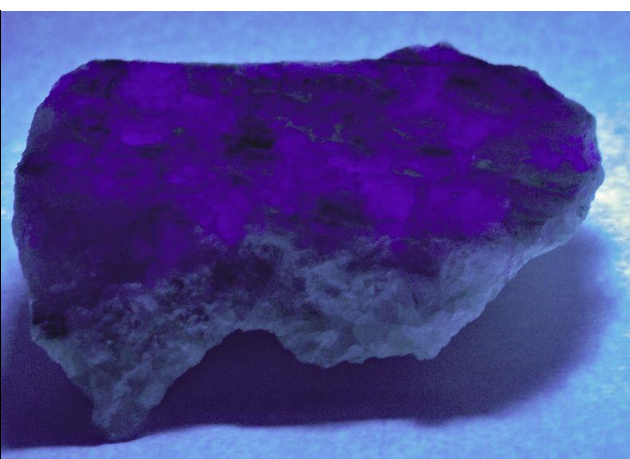
Obr. 15 – provizorní aparatura. Zdroj: vlastní foto



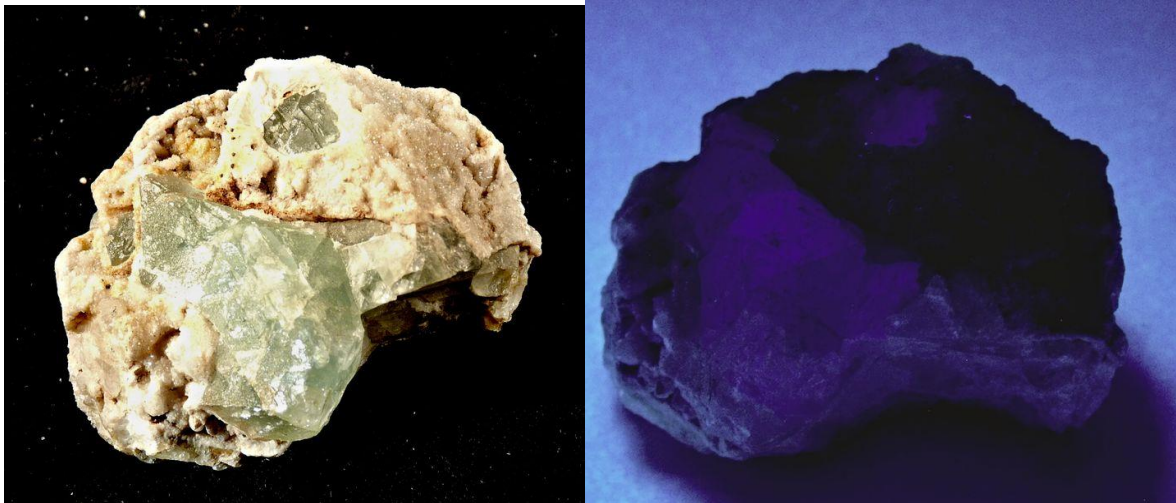
Obr. 16 – přístroj na měření emisních a excitačních spekter (FluoroMax-3). Zdroj: vlastní foto



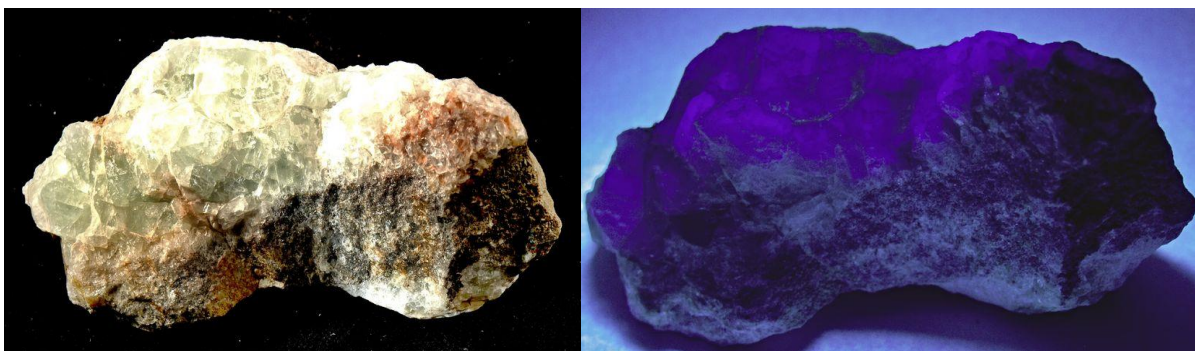
Obr. 17 – provizorní usazení vzorku v přístroji.
Zdroj: vlastní foto



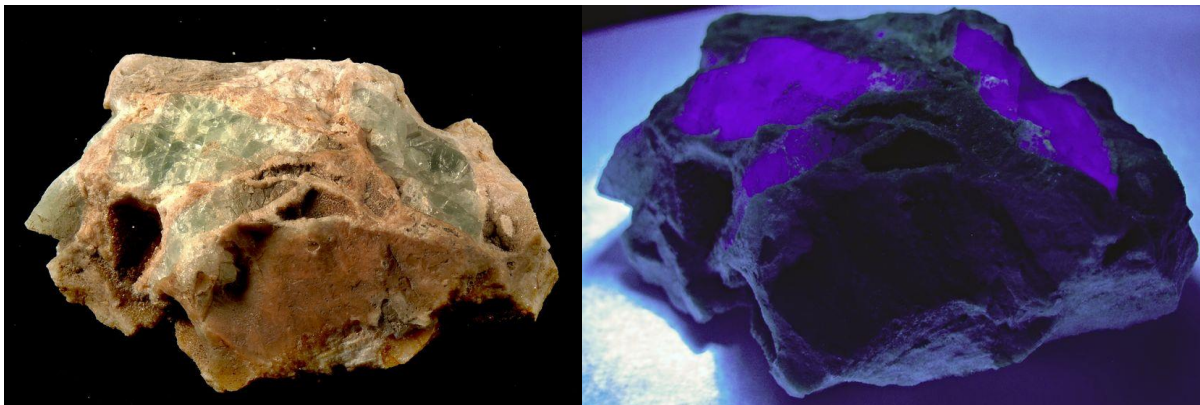
Obr. 18, 19 – leštěný fluorit z Mutěnic a jeho fluorescence. Zdroj: vlastní foto



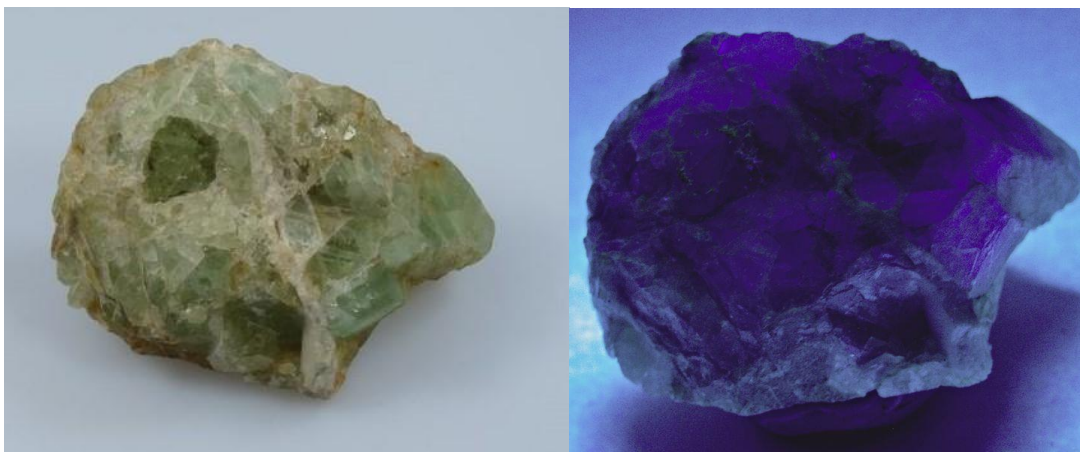
Obr. 20, 21 – Část krystalu fluoritu z Mutěnic vrostlá do křemene a jeho fluorescence. Zdroj: vlastní foto



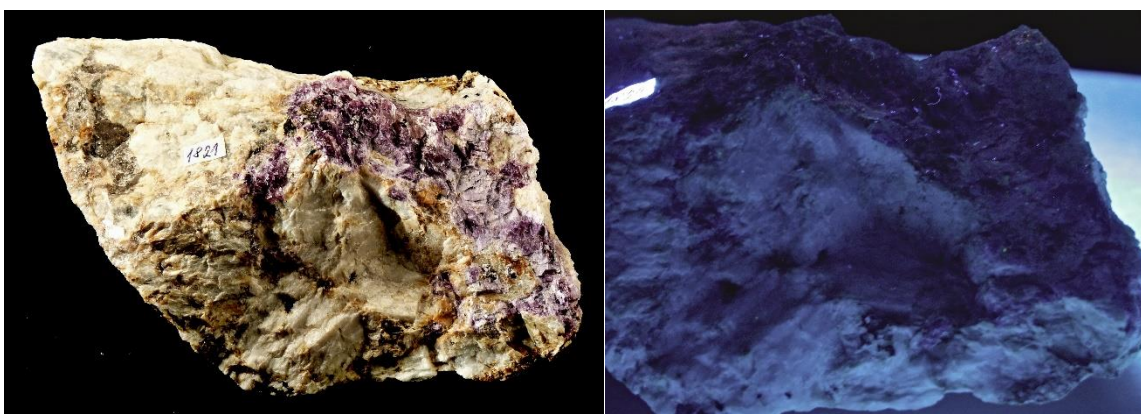
Obr. 22, 23 – vzorek mutěnického fluoritu a jeho fluorescence. Zdroj: vlastní foto



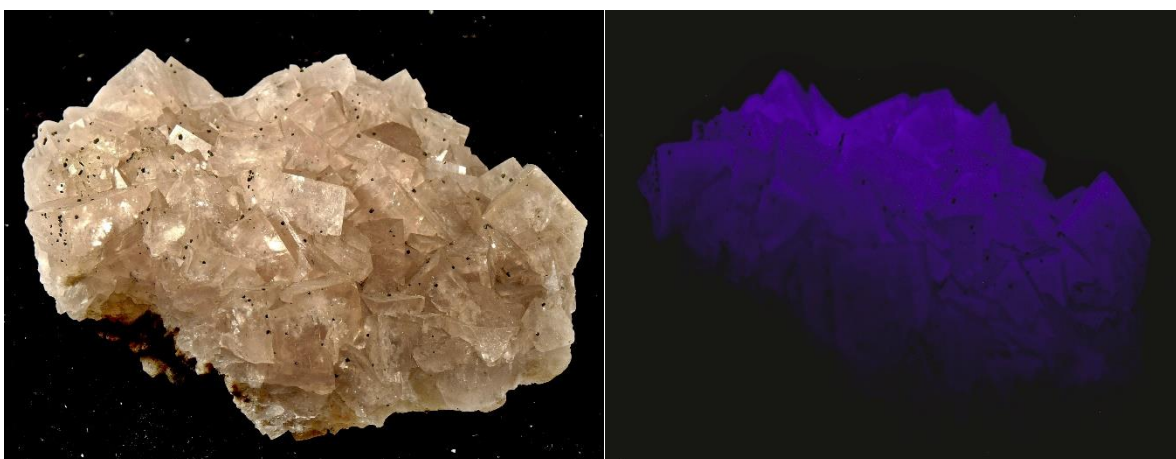
Obr. 24, 25 – Vzorek mutěnického fluoritu s pseudomorfózou křemene po papírovém kalcitu s fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



Obr. 26, 27 – zrnité agregáty fluoritu z Mutěnic a jejich fluorescence. Zdroj: vlastní foto



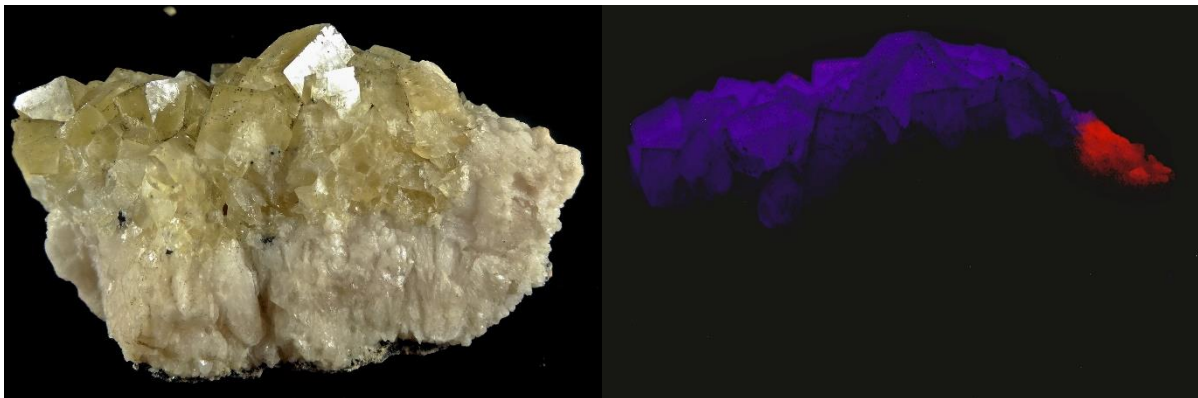
Obr. 28, 29 – vzorek magmaticky vzniklého fluoritu z Vlastějovic, který nevykazuje žádnou fluorescenci. Zdroj: vlastní foto



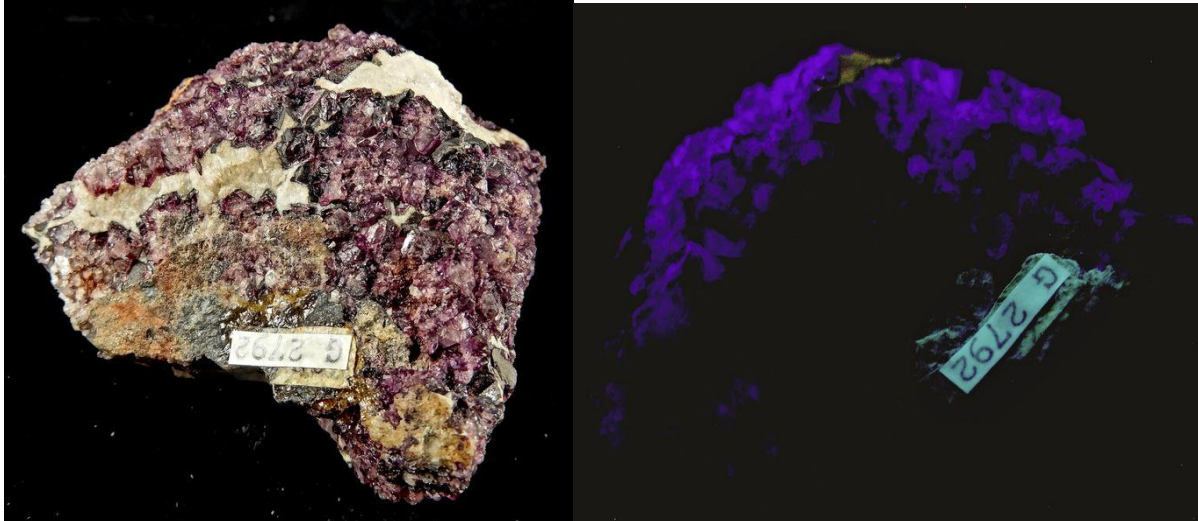
Obr. 30, 31 – světlý fluorit z Annabergu s intenzivní fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



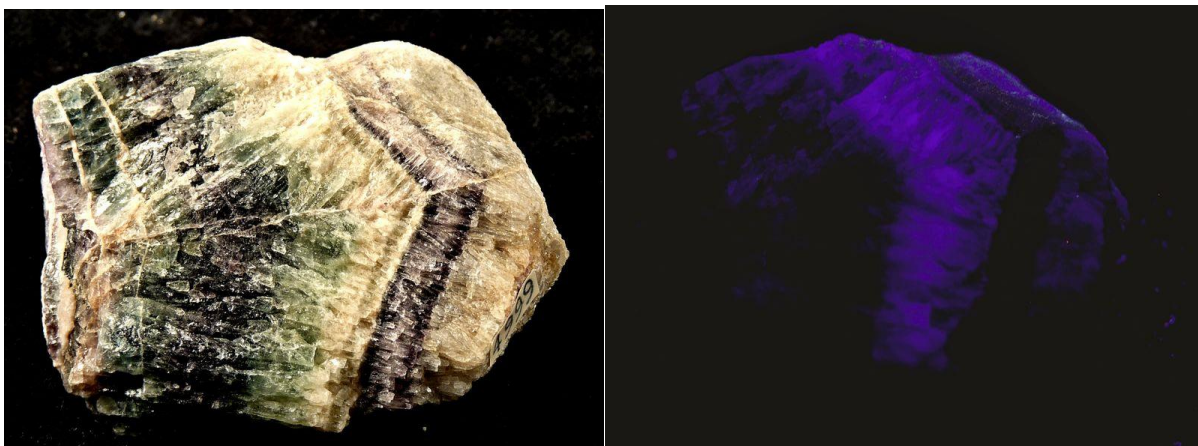
Obr. 32, 33 – rezavý fluorit z Annabergu se specifickou fluorescencí do fialovo-růžové barvy. Zdroj: vlastní foto



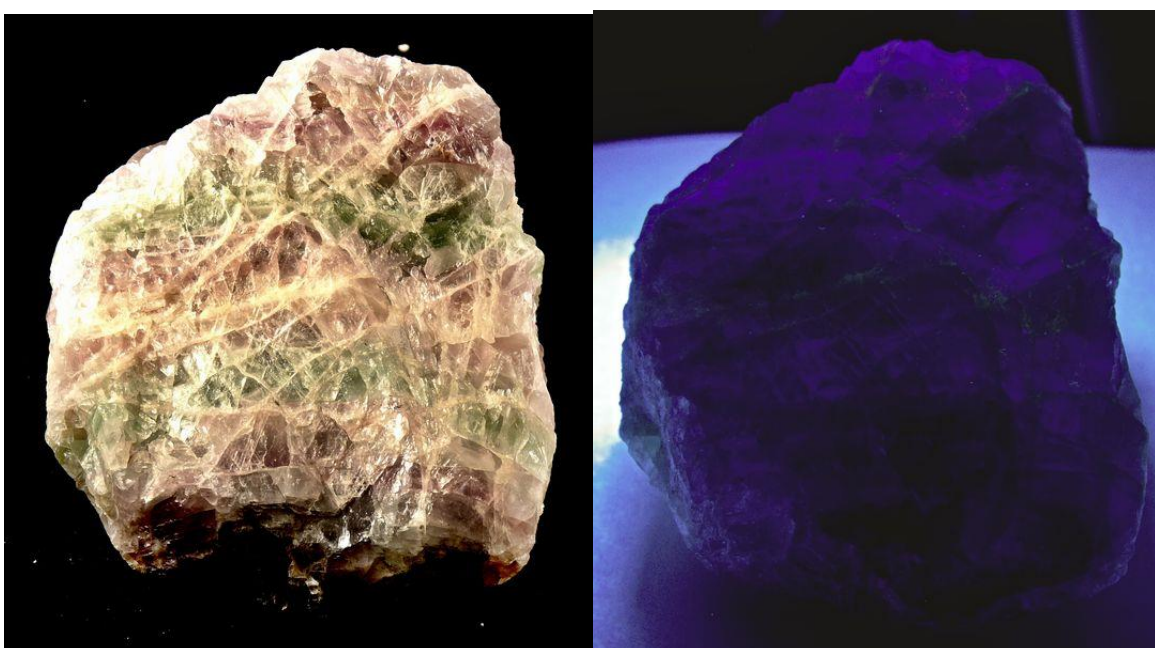
Obr. 34, 35 – vzorek annaberského fluoritu, v jehož pravé části je kalcit, který vykazuje fluorescenci oranžové barvy. Zdroj: vlastní foto



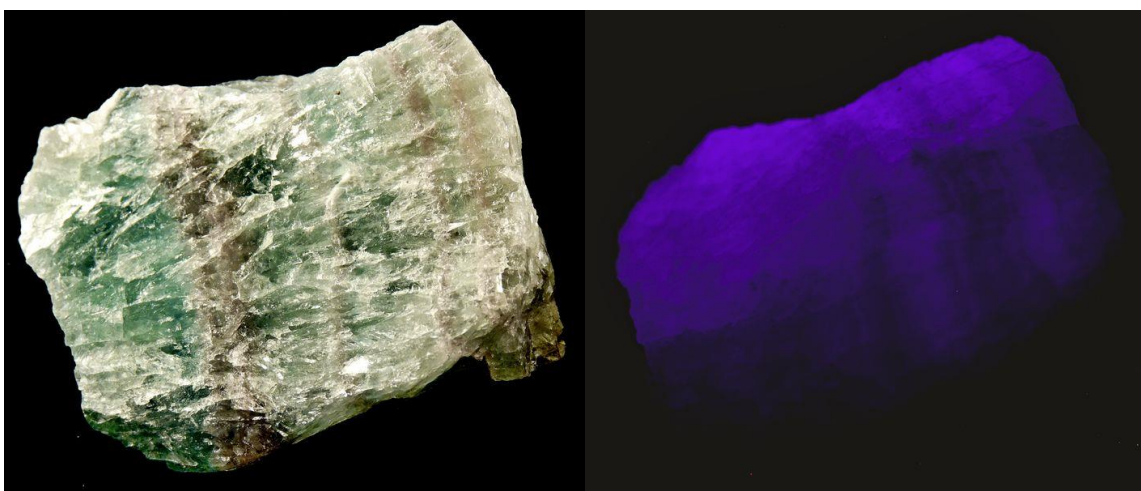
Obr. 36, 37 – wölsendorfský fluorit s jeho intenzivní fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



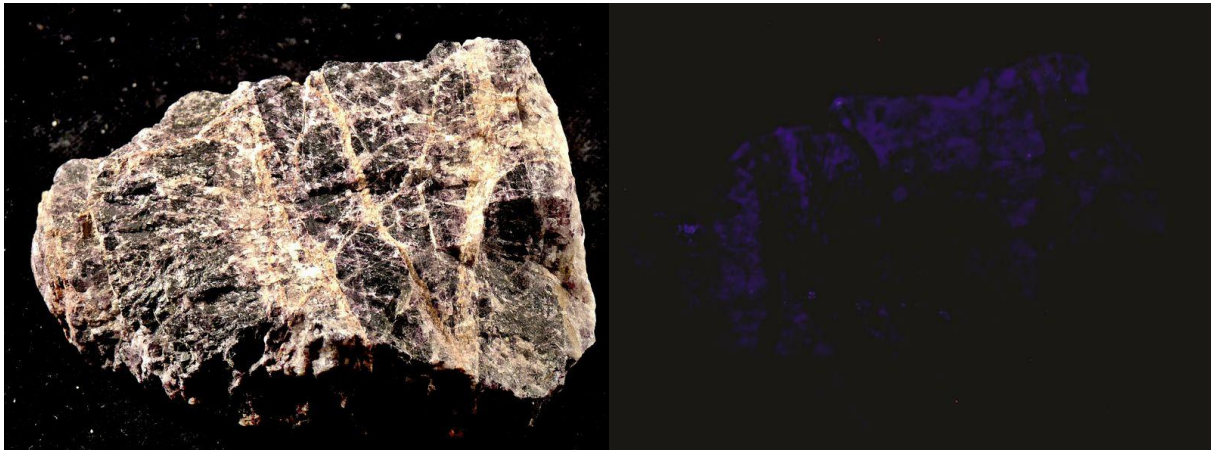
Obr. 38, 39 – wölsendorfský fluorit různých barev. Na obrázku vpravo je hezky patrná fluorescence pouze světých částí.
Zdroj: vlastní foto



Obr. 40, 41 – fluorit z Wölsendorfu a jeho fluorescence. Zdroj: vlastní foto



Obr. 42, 43 – Fluorit z Wölsendorfu s různými odstíny zelené. Vykazuje silnou fluorescenci. Zdroj: vlastní foto



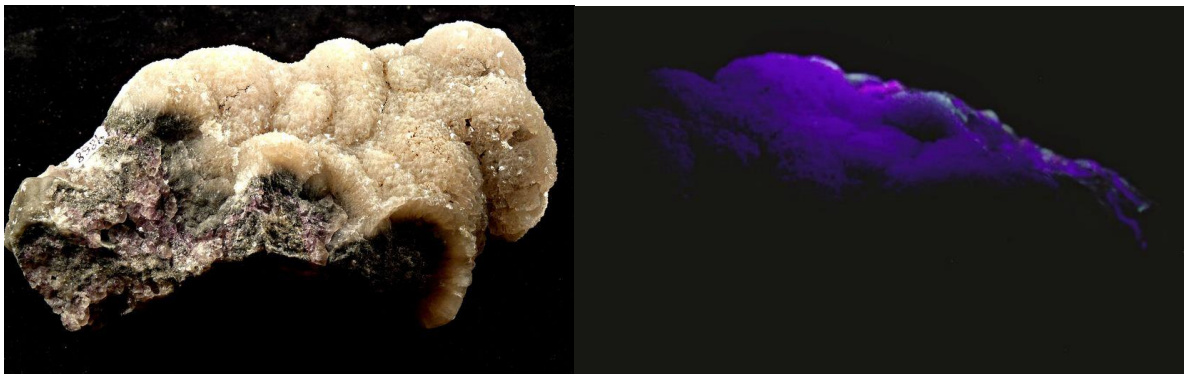
Obr. 44, 45 – temně fialový vzorek wölsendorfského fluoritu s nízkou intenzitou fluorescence



Obr. 46, 47 – temně fialový wölsendorfský fluorit bez fluorescence. Zdroj: vlastní foto



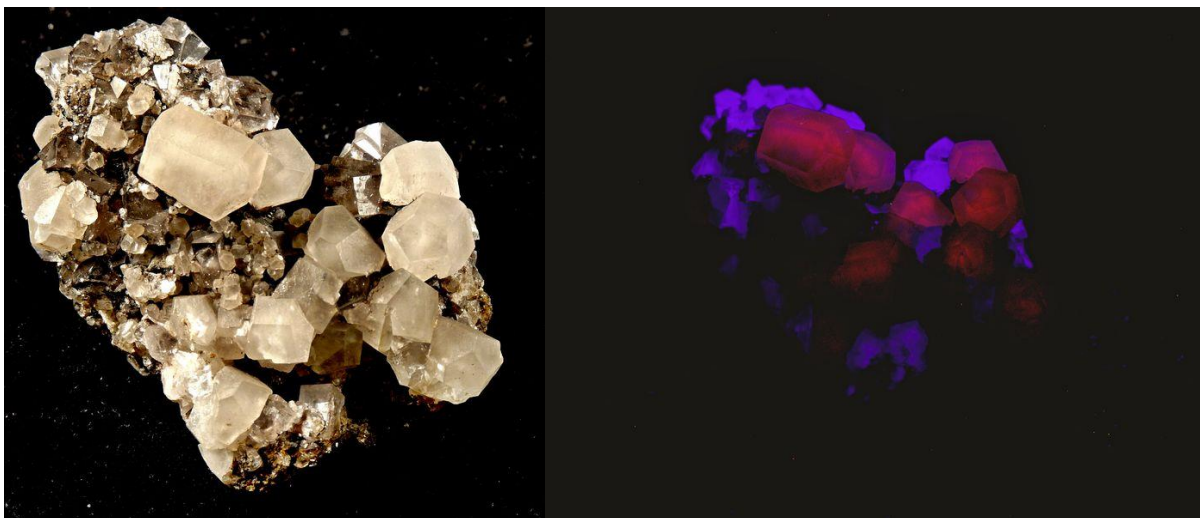
Obr. 48, 49 – fluorit z Freibergu se zvláštní fluorescencí pouze v centrální části vzorku. Zdroj: vlastní foto



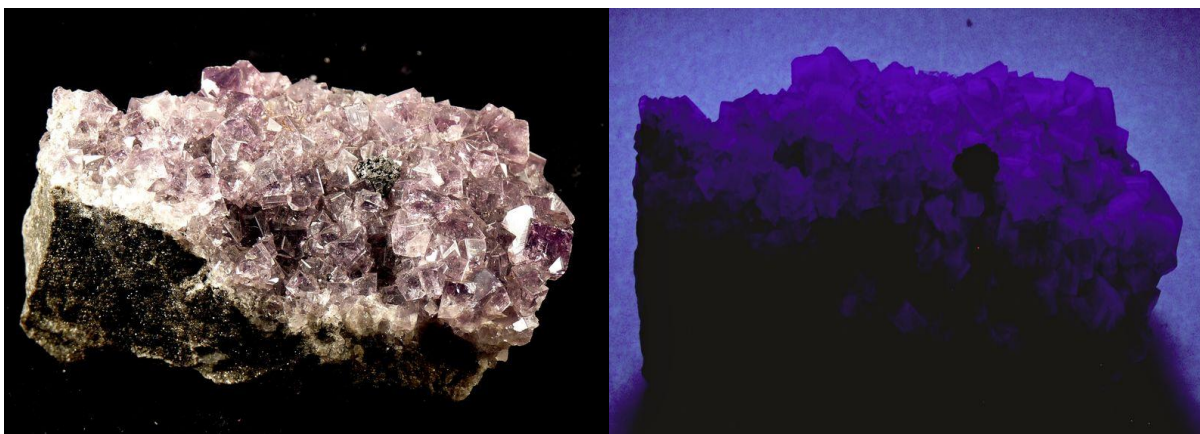
Obr. 50, 51 – Fluorit z lokality Čulut Tsagan Del. Intenzivní fluorescenci vykazuje pouze světlá část, jež je mírně zbarvena do růžovo-fialové barvy; fialový fluorit nefluoreskuje vůbec. Zdroj: vlastní foto



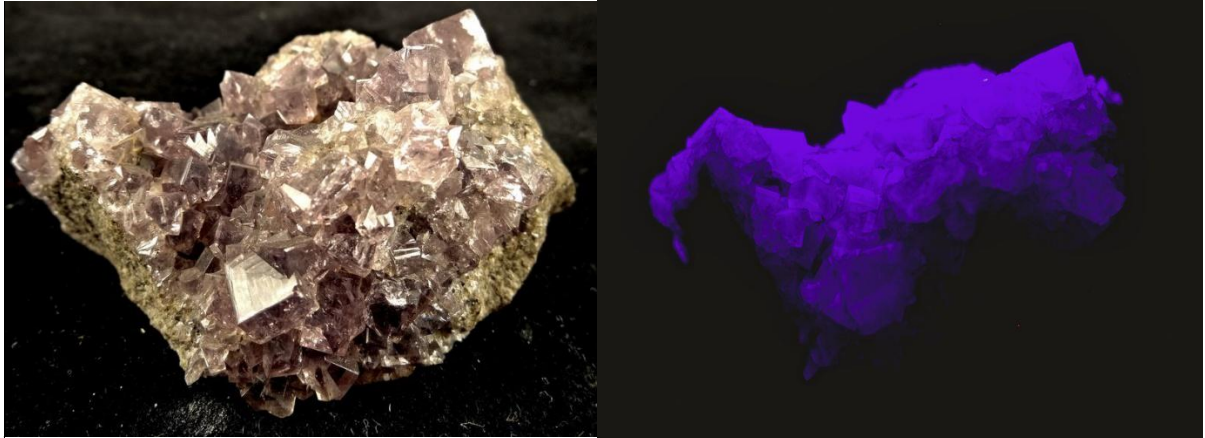
Obr. 52, 53 – krystalický vzorek fluoritu z Čoruch Dajronu s modro-fialovou fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



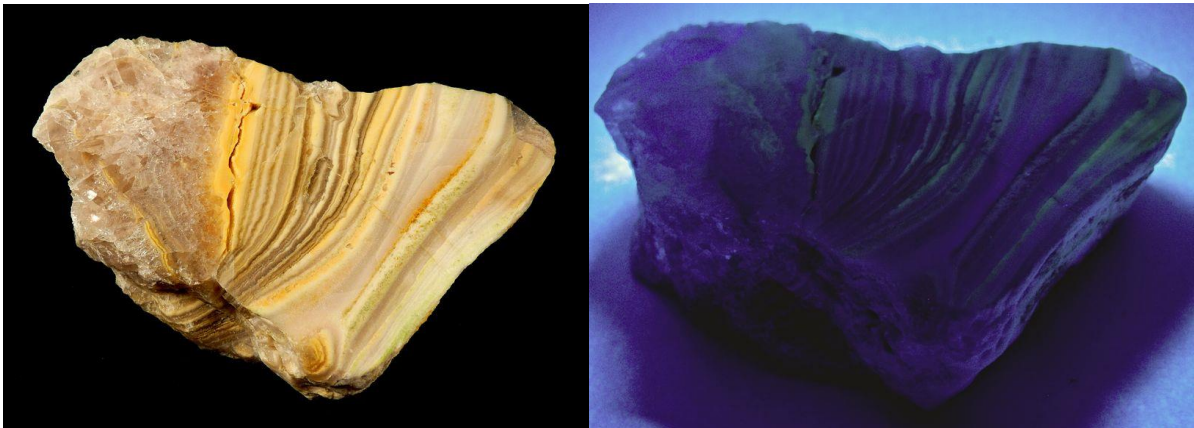
Obr. 54, 55 – světle šedý fluorit koexistující s krystaly dělového kalcitu z Derbyshiru. Na fotografii vpravo je krásně viditelná červená fluorescence kalcitu. Zdroj: vlastní foto



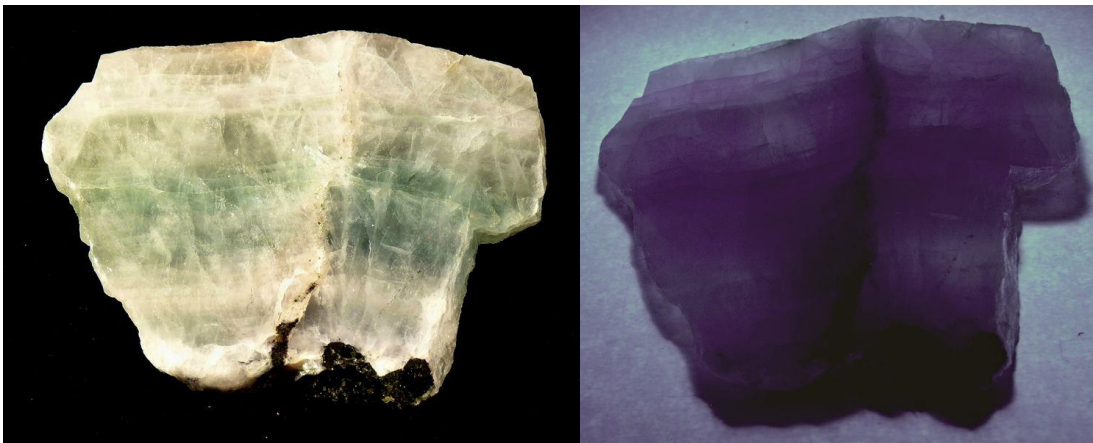
Obr. 56, 57 – jemnozrně krystalický fluorit z Derbyshiru s intenzivní fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



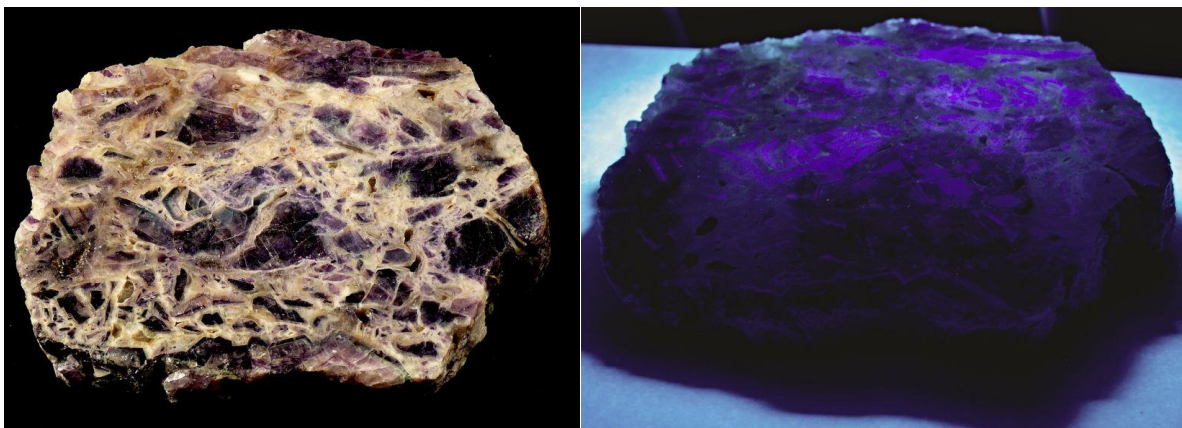
Obr. 58, 59 – krystalický fialový fluorit z Derbyshiru a jeho velice intenzivní fluorescence. Zdroj: vlastní foto



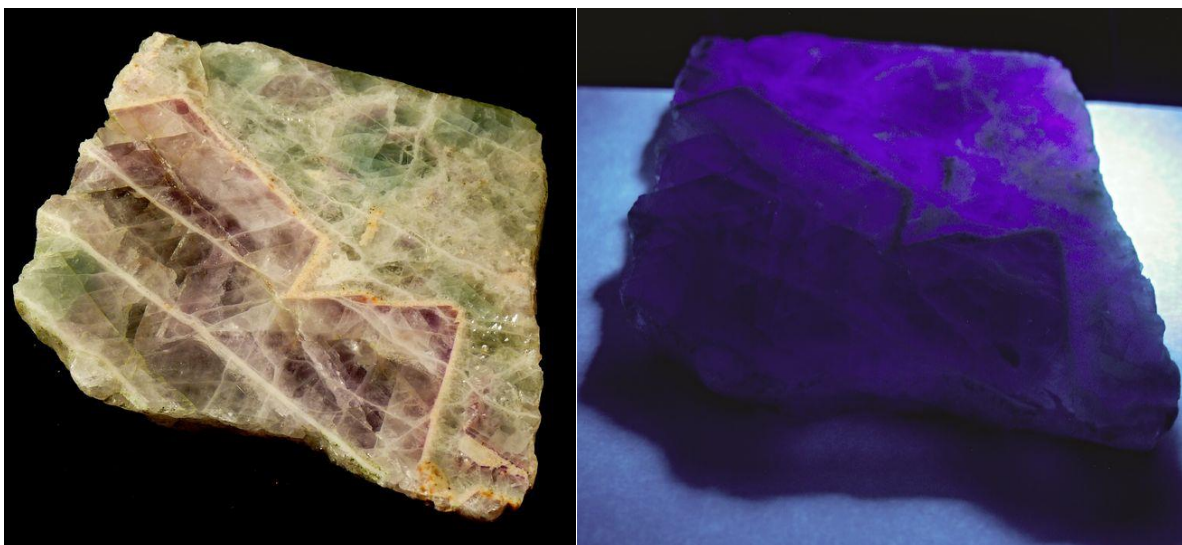
Obr. 60, 61 – páskovaný fluorit z Číny a jeho fluorescence. Zdroj: vlastní foto



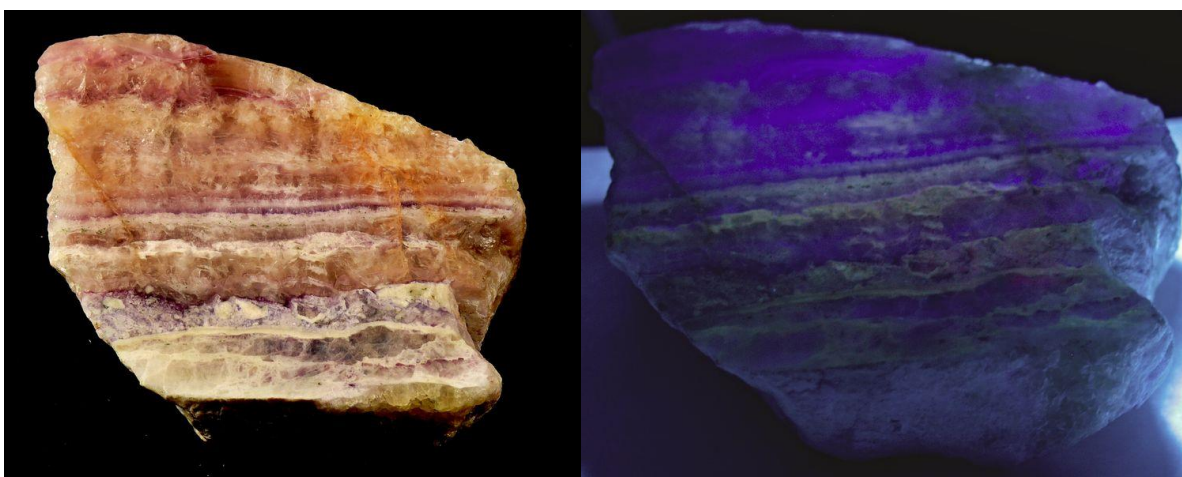
Obr. 62, 63 – bílo-zelený fluorit z Číny. Na fotografii vpravo je patrná fluorescence pouze v zelených oblastech. Zdroj: vlastní foto



Obr. 64, 65 – brekciový tmavě fialový fluorit z Číny vyhojený fluoritem světlým. Fluorescenci vykazuje pouze světlá část.
Zdroj: vlastní foto



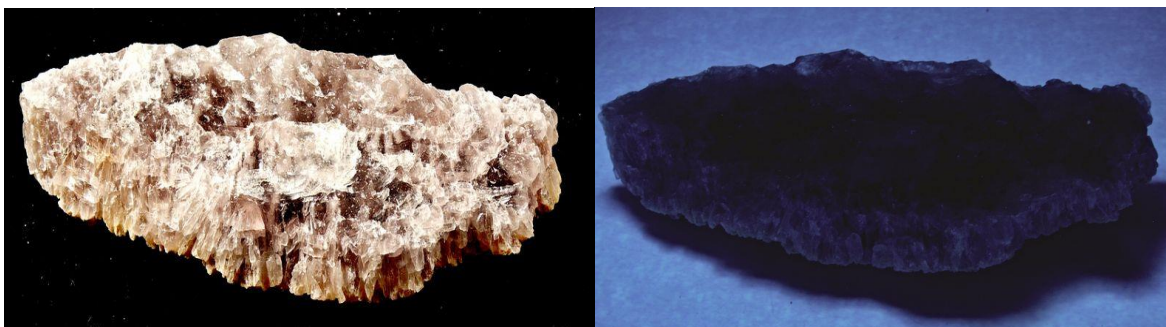
Obr. 66, 67 – zeleno-fialový fluorit z Číny s intenzivní fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



Obr. 68, 69 – rezavý páskovaný fluorit z Číny. Na obrázku vpravo jsou patrné oblasti, které nevykazují fluorescenci.
Zdroj: vlastní foto



Obr. 70, 71 – bílý vzorek fluoritu z Jilového u Děčína s velmi slabou, světle fialovou fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



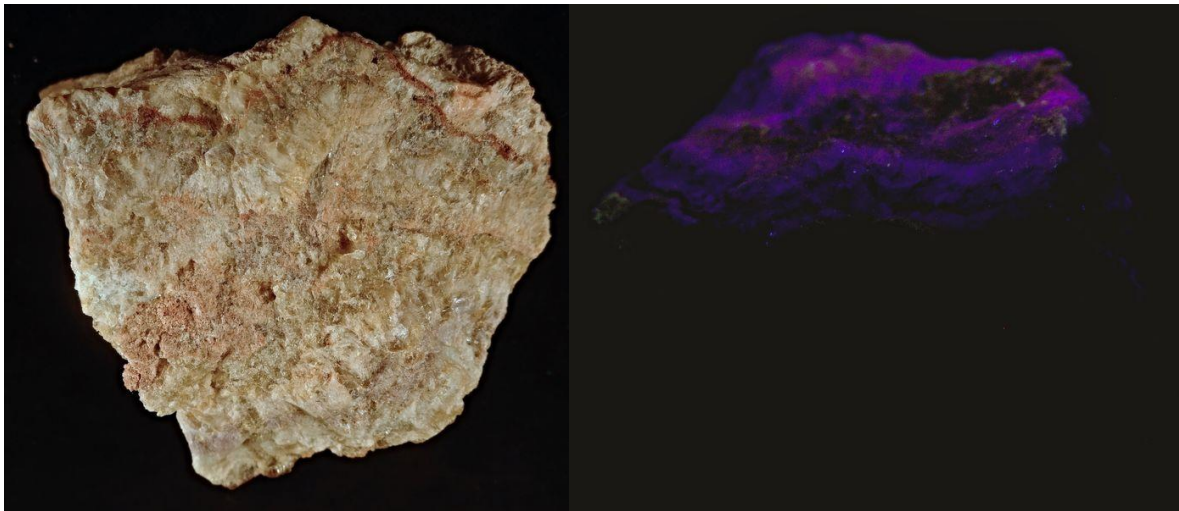
Obr. 72, 73 – fialový vzorek fluoritu z Jilového u Děčína s téměř žádnou fluorescencí.



Obr. 74, 75 – světle zelený vzorek z Jilového u Děčína vykazující málo intenzivní fialovou fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



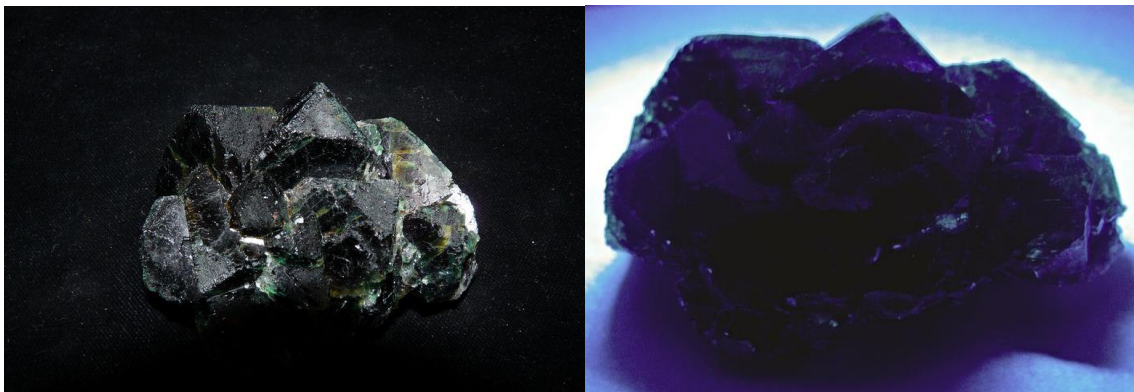
Obr. 76, 77 – vrchoslavský fluorit, jehož barva fluorescence se pohybuje od fialové, přes růžovou až po žlutou.
Zdroj: vlastní foto



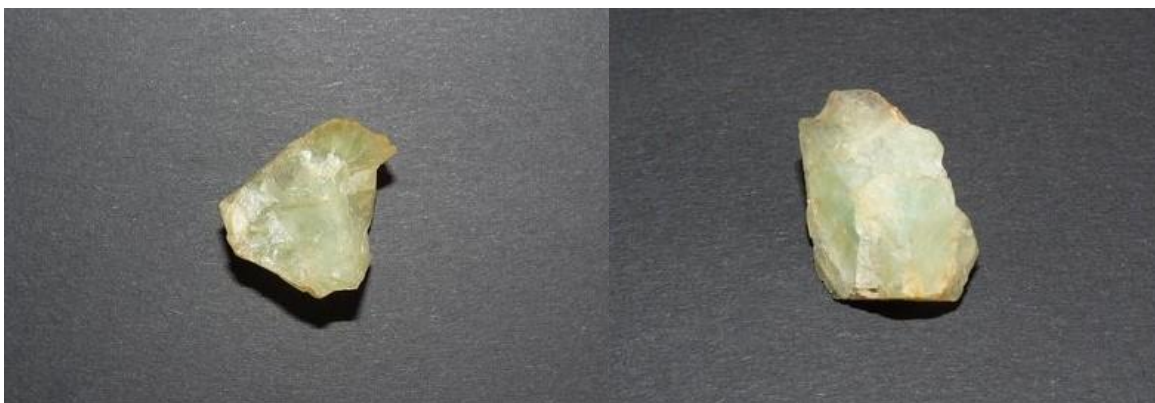
Obr. 78, 79 – vzorek fluoritu z Hradiště u Kadaně s fialovo-růžovou fluorescencí. Zdroj: vlastní foto



Obr. 80, 81 – fialový fluorit z lokality Berbes ve Španělsku bez fluorescence. Zdroj: vlastní foto



*Obr. 82, 83 – tmavě zelený fluorit z lokality Okorusu v Namibii. Fluorescenci vykazují pouze světlejší špičky krystalů.
Zdroj: vlastní foto*



Obr. 84 – vzorek A (mutěnický fluorit). Zdroj: vlastní foto

Obr. 85 – vzorek B (mutěnický fluorit). Zdroj: vlastní foto



Obr. 86 – vzorek C (fluorit z lokality Stollberg). Zdroj: vlastní foto