

Středoškolská odborná činnost 2018/19

Obor 05 – geologie a geografie

Fluorescence uranových minerálů jako metoda určování druhu

Autor: Ondřej Cenek
Gymnázium Aloise Jiráska Litomyšl
T. G. Masaryka 590
570 01 Litomyšl, 2. ročník

Konzultanti:

Mgr. Petra Jaklová
Gymnázium A. Jiráska
T. G. Masaryka 590
Litomyšl 570 01

Ing. Pavel Dvořáček
Narran s.r.o.
Bayerova 802/33
Brno-střed 602 00

Prohlašuji tímto, že jsem soutěžní práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Petry Jaklové a uvedl v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další zdroje včetně internetu.

V Litomyšli dne

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat firmě Narran, jmenovitě panu Ing. Pavlu Dvořáčkovi za zapůjčení spektrometru HR8 a za poskytnutí cenných rad. Dále pak Mgr. Petře Jaklové z Gymnázia Aloise Jiráska v Litomyšli za konzultace při tvorbě této práce.

Anotace

Tato práce se zabývá studiem jedné z fyzikálních vlastností uranových minerálů, tedy fluorescencí pod UV zářením. Hlavní náplní práce je zjistit, které minerály z mé sbírky vykazují fluorescenci a v jaké vlnové délce a je-li tato vlnová délka emisního světla závislá na vlnové délce budícího UV záření.

V teoretické části shrnuji základní poznatky o uranových minerálech, jejich historii a o významných výskytech uranu v České republice. Součástí teoretické části je také řada vlastních mikro i makro fotografií těchto minerálů.

V praktické části provádím měření jednotlivých vzorků pomocí nejnovějšího spektrometru české firmy Narran, vytvářím přehlednou tabulku a fotografickou dokumentaci. V této části jsem si osvojil práci se spektroskopem a optickým mikrovlnkem. Zabývám se zde také možnostmi, jak toto pozorování využít v praxi při určování druhu minerálu.

Obsah

1	Teoretická část	8
1.1	Historie uranu	8
1.2	Nejvýznamnější lokality České republiky	8
1.2.1	Jáchymovský rudní revír	9
1.2.2	Příbramský rudní revír	10
1.2.3	Uranový revír Horní Slavkov	12
1.2.4	Rožná.....	13
1.2.5	Rýžoviště	14
1.2.6	Medvědin.....	15
1.2.7	Chotěboř	16
1.3	Minerály uranu	16
1.3.1	Autunit.....	17
1.3.2	Natrozippeit.....	17
1.3.3	Johannit	18
1.3.4	Torbernit.....	18
1.3.5	Zellerit	18
1.3.6	Schröckingerit	19
1.3.7	Andersonit	19
1.3.8	Zeunerit	19
1.3.9	Heinrichit.....	19
1.3.10	Haiweeit	20
1.3.11	Linekit	20
1.3.12	Sabugalit.....	20
1.3.13	Metaankoleit.....	20
1.3.14	Uranospinit	21
1.4	Metody výzkumu uranových minerálů.....	24
1.4.1	Rentgenová prášková difrakční analýza.....	24
1.4.2	Chemické složení	24
1.4.3	Morfologie krystalů.....	24

1.4.4	Fyzikálních vlastnosti.....	25
1.4.5	Pozorování fluorescence v UV-záření.....	25
1.5	Luminiscence minerálů.....	25
2	Praktická část	26
2.1	Metodika.....	26
2.1.1	Vzorky.....	26
2.1.2	Pomůcky.....	27
2.1.3	Postup práce	29
2.2	Výsledky.....	30
3	Závěr	42
4	Použitá literatura	43
5	Příloha číslo 1	7

Úvod

Již mnoho let se zabývám sběrem a studiem minerálů. Moje sbírka čítá již několik stovek vzorků z českých i zahraničních lokalit. Některé minerály hledám sám, jiné nakupuji od ostatních sběratelů a mineralogů na mineralogických burzách. V poslední době mě zaujaly minerály uranu. Minerály uranu většinou zůstávají stranou zájmu amatérských sběratelů kvůli obavám z jejich radioaktivního záření. Při dodržení několika technicky nenáročných zásad jsou však tyto obavy bezdůvodné.

Uranové minerály mají pro geologii České republiky historický význam. První uranové minerály i uran jako prvek byl poprvé nalezen v Jáchymově. Stejně tak přirozená radioaktivita byla popsána z jáchymovského smolince. Geologický výzkum byl v České republice v 2. pol. 20. stol. dosti ovlivněn utajováním informací o výskytech uranových rud, a proto zvýšený zájem odborníků o uranové minerály pozorujeme až dnes.

Jedná se o velmi pozoruhodnou skupinu nerostů jejichž počet se rok od roku zvyšuje. Díky novým metodám určování tato skupina již čítá 263 druhů, což činí asi 5 % ze všech známých druhů minerálů. Některé z těchto minerálů mají zvláštní fyzikální vlastnost. Pod UV světlem vykazují fluorescenci. Tento úkaz je nejen ze sběratelského a estetického hlediska velmi atraktivní, ale lze ho využít i pro bližší studium jednotlivých druhů.

Již poměrně dlouho hledám jednoduchou a spolehlivou metodu, jak určit jednotlivé druhy minerálů. Protože rozdíl v barvě fluorescence u některých minerálů je viditelný pouhým okem, přivedlo mě to na myšlenku určit přesnou barvu fluorescence pomocí spektrometru a jednotlivá spektra tak přiřadit k jednotlivým minerálům.

1 Teoretická část

1.1 Historie uranu

Uran jako prvek poprvé popsal M. H. Klaproth dne 24. září 1789. Klaproth nejdříve tento prvek definoval jako „*Uranit*“ ve své práci „*Über den Uranit, ein neues Halbmetall*“. Hned následující rok mění jeho název do dnešní podoby, a to na „*Uranium*“. Nikdo, ani sám Klaproth, však netuší, že se nejedná o čistý uran, ale o oxid uraničitý (UO_2), dnes známý jako *uraninit*. Čistý uran izoloval až v roce 1841 E. M. Péligot redukcí tetrachloridu uranu draslíkem (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). *Uraninit* jako minerál byl však objeven daleko dříve než byl definován prvek uran. Byl považován za směs rud zinku, cínu a wolframu. Pravděpodobně první zpráva pochází z roku 1565 od J. Kentmana. Kentman ho tenkrát pojmenoval jako „*Pechblende*“ a jeho nálezy uváděl z Krušných hor. Popis dalších (hlavně supergenních) minerálů uranu provádí Charpentier v roce 1778 (Pluskal 1971).

Uran je devadesátým druhým prvkem periodické soustavy prvků a patří do řady aktinoidů. Jedná se o nejtěžší přírodní kov. Čistý uran je stříbřitě bílý s modrým odstínem. Poločas rozpadu nejrozšířenějšího izotopu uranu v přírodě – ^{238}U je 4,47 miliardy let. ^{238}U tvoří cca 99,28 % veškeré uranové hmoty na Zemi. Další izotopy ^{235}U a ^{234}U jsou zastoupeny pouze v nepatrném množství. Přírozenou vlastností uranu a všech jeho sloučenin je neustálý proces rozpadu jader – radioaktivita (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

1.2 Nejvýznamnější lokality České republiky

Česká republika patřila k nejvýznamnějším světovým producentům uranu. Její celková produkce v letech 1946 – 2011 činí 111 000 tun uranu (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). Uran se využíval jak v jaderné energetice, výrobě uranového skla či barev, tak i pro válečné účely. Zde uvádím několik významných uranových revírů v ČR. Jsou to Jáchymov, Příbram, Horní Slavkov a Rožná. Dále pak tři menší ložiska významné hlavně sběratelsky: Rýžoviště, Medvědin a Chotěboř.

1.2.1 Jáchymovský rudní revír

Snad nejslavnější rudní uranový revír vůbec stál na prvopočátku všech výzkumů, co se týče radioaktivity, uranu a uranových minerálů. Právě odtud poprvé popsal, jak už bylo řečeno, Kentman v roce 1565 minerál „*Pechblendē*“, dlouho známý jako *smolinec*, dnes oficiálně pojmenovaný *uraninit*. A právě z tohoto jáchymovského *smolince* popsal Henri Becquerel poprvé na světě přirozenou radioaktivitu. Jáchymov se stal již ve středověku centrem hornictví, a to díky těžbě stříbra. Začátky dolování se datují do roku 1511 a téměř ihned po prvních pokusech těžby se objevují velice bohaté rudní žíly často vystupující až na povrch. V těchto dobách byly prý těsně pod povrchem nacházeny až 100 kg těžké kusy stříbra a v letech 1516 – 1600 bylo vytěženo zhruba 350 t stříbra (Hloušek 2016). Během 17. století prožíval Jáchymov těžký úpadek. Hornické činnosti byly zakázány a město chudlo.

Těžba v jáchymovských dolech byla obnovena teprve kolem roku 1859 kdy bylo objeveno využití *smolince* a cena uranu se zvýšila. Bylo otevřeno několik nových dolů. Nejvýznamnější důlní dílo nejen této doby neslo název Werner (v pozdější době Rovnost I), byla otevřena továrna na výrobu uranových barev v Jáchymově. Poté co obliba uranového skla a barev opadla, zažilo město druhý, ovšem ne tak drastický úpadek. Opětovného získání prestiže dosáhlo město po objevu radia Marií Curie-Sklodowskou a Piera Curie v odpadech v továrnách na výrobu uranového skla. Doly okamžitě získaly popularitu a těžba uranu byla později také znovu obnovena. V roce 1906 zde byly otevřeny lázně s radioaktivní vodou z důlních šachet a štol. Těžba uranu probíhala během první republiky i během druhé světové války. Již v roce 1945, několik dní po konci války byly doly obsazeny sovětským vojskem. Těžba probíhala ve třech dolech: Werner, Rovnost a Saských šlechticů. V dalších letech sem bylo přivezeno asi 12 000 německých zajatců ze Sovětského svazu. Během 50. let zde vznikalo množství táborů nucených prací, ve kterých pracovalo v nelidských podmínkách mnoho odpůrců režimu a politických vězňů. Odhaduje se, že celkem bylo v Jáchymově vytěženo 600 tun stříbra a 650 tun *uraninitu* (Hloušek 2016)



Obrázek 1: Těžní věž dolu Svornost, foto: Ondřej Cenek 2017



Obrázek 2: Johannit, Jáchymov - Svornost, šířka záběru 10 mm, foto: Ondřej Cenek

Z mineralogického hlediska se Jáchymov nachází na granitoidním masivu a uranové zrudnění se nachází od povrchu až ke kontaktu s tímto masivem (Pauliš 2016). Rudní i uranové žíly jsou rozmístěny nerovnoměrně. Celkem je známo asi 430 druhů minerálů nalezených v Jáchymově. Z toho 220 je sekundárních (Hloušek 2016). Velmi časté je arsenidové mineralizační stádium, tvořící žíly, ve kterých jsou kvalitní nálezy ryzího stříbra, proslulého jáchymovského *proustitu*, *skutteruditu*, *löllingitu* nebo *realgaru*. Objevují se také velice kvalitní nálezy dalších rudních minerálů (*pyrargirit*, *nikelín*, *akantit* a další). Z uranových minerálů jsou to hlavně až několik decimetrů či dokonce metrů čtverečních velké plochy čoček *uraninitu*. A také obrovské množství supergenních minerálů. Z nich lze jmenovat velice kvalitní a sběratelsky ceněné ukázky *johannitu*, *marécotitu*, *zelleritu*, *schrökingeritu* a dalších. Slavný důl, z něhož pochází nejvyšší vzorky supergenních minerálů nese název Svornost (Pauliš, Babka, Sejkora, Škacha 2016).

1.2.2 Příbramský rudní revír

Příbramský rudní revír si můžeme rozdělit do dvou částí. Na Březohorský revír a Příbramský Uranový revír. Jako první si popíšeme mladší Uranový revír, objevený v roce 1947. Tento komplex 41 jam a 4 štol se rozkládá na ploše 50 km². Těžba probíhala v hydrotermálních



Obrázek 3: Uraninit v křemenné žíle, Příbram - Uranový revír, foto: Ondřej Cenek

rudních žilách, jejichž velikost a koncentrace v tomto revíru je považována za jednu z největších na světě. Po geologickém průzkumu byly otevřeny první štoly v úseku Vojna. Následoval prudký nárůst těžby a v roce 1962 dosáhla 2 100 t uranu vytěženého v tomto roce. Celkem byl Uranový revír dělen do 9 hlavních úseků, pojmenovaných podle blízkých obcí. Těžba na tomto území dosáhla nebývalého rozsahu. Délka chodeb komínů a šachet předstihovala světové rekordy. Celkem bylo otevřeno 2500 hydrotermálních žil. Za jediný měsíc zde bylo vyraženo na jednom místě rekordních 1021,3 m chodby. Na těžbě se ve velké míře podíleli političtí vězni. Odhadem třetinu všech zaměstnanců dolů tvořili vězni komunistického režimu. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016)

Zmiňované hydrotermální žíly se zde nacházejí hlavně v metamorfovaných sedimentech (kontaktně i regionálně), malé množství rudy (asi 3,9%) bylo těženo v horninách kambria, nebo v granitoidních horninách. Uranový revír charakterizuje velká zvrásněná antiklinála s četnými zlomy. Právě díky tomu vznikla většina žil. Žíly měly délku někdy i přes 1 km a mocnost několik decimetrů, ojediněle metrů a výjimečně až 8 m. Jak už název oblasti napovídá, většina žil zde byla zrudněna uranem. Typická hydrotermální žíla měla nejstarší *siderit-sulfidové* stádium, obsahující také *galenit*, *sfalerit*, *baryt* či *dolomit*. Další je stádium *kalcitové* (*kalцит*, *goethit*, *hematit*) a za ním následuje stádium *kalцит-uraninitové* a poslední je stádium *kalцит-sulfidické* (*uraninit*, *antimonit*, ryzí prvky). V Příbrami bylo popsáno 200

minerálních druhů. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016) Sběratelsky ceněné jsou především vzorky *kalцитů*, ryzího antimonu, *uraninitu* a také supergenních uranových minerálů. Mezi nimi třeba *autunit*, *schoepit*, *sklodowskit*, *torbernit*, *uranofán*.

Další částí Příbramské rudní oblasti je revír Březohorský. Tentokrát se jedná o revír opravdu velmi starý. Začátky těžby odborníci odhadují dle archeologických nálezů na 13. stol. První písemné zmínky však pocházejí ze 14. stol. Těžba zaznamenala velký útlum v 16. stol. V 18. stol. byla pak těžba znovu plně obnovena. V roce 1892 došlo k tragickému požáru v jednom z dolů, ve kterém zahynulo přes 300 lidí. Zároveň s tím v roce 1893 světově prudce klesla cena stříbra. Následkem těchto okolností nastal velký útlum v těžbě. Později ve 20. století se těžba obnovila ve větších hloubkách. Úplné uzavření dolů a částečné zatopení pak proběhlo v roce 1979 (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). Doly v této části Příbramského revíru se staly pojmy pro sběratele minerálů. Právě odtud pochází nejkvalitnější rudní minerály. Jsou to např. „legendární“ doly Anna, Lill, Řimbaba, František atd.

Rudní žíly se zde nacházejí v slepencích, tufech a břidlicích. Na povrchu najdeme malé žilky o průměru několik centimetrů spojující se do několika velkých hlavních žil. Jejich výplň je hlavně *kalцит* a *galenit*. Dále vzácné minerály stříbra (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). Pocházejí odtud vynikající vzorky ryzího stříbra, často přímo v *kalцитové* žíle. Snad nejproslulejší jsou světové vzorky *dyskrazitu*. Dále vzácné minerály jako *tetraedrit*, *pyrargyrit*, *stefanit*, *polybasit*, *nikelín*, *pyromorfit*, *gudmundit*, *boulangerit* a další. Uran byl v této oblasti těžen jen výjimečně, přesto se v některých dolech vyskytly mineralogicky zajímavé supergenní minerály. Již ve starší literatuře bývá popisován vzácný *gummit* a *kasolit*, dále hojný *natrozippeit*, *zippeit* a vzácný *zinkzippeit* (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

1.2.3 Uranový revír Horní Slavkov

V Horním Slavkově se úplně poprvé začalo těžit stříbro, a to už v 16. stol. Na základě nálezů uranové rudy v těchto dolech, byl v roce 1946 proveden radiometrický průzkum v oblasti středověkých dolů. Hned na to byly otevřeny dvě jámy na žíle Zdař Bůh. V roce 1948 bylo objeveno další, větší uranové zrudnění. V centrální části Uranového revíru bylo otevřeno dalších několik jam a štol. Až do roku 1959 byl revír rozdělen na dvě velké samostatné části. Na závod Zdař Bůh a Barbora. Veškeré práce byly ukončeny v roce 1962. Z 16 km² velkého revíru bylo celkem vytěženo 2668 t uranu (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

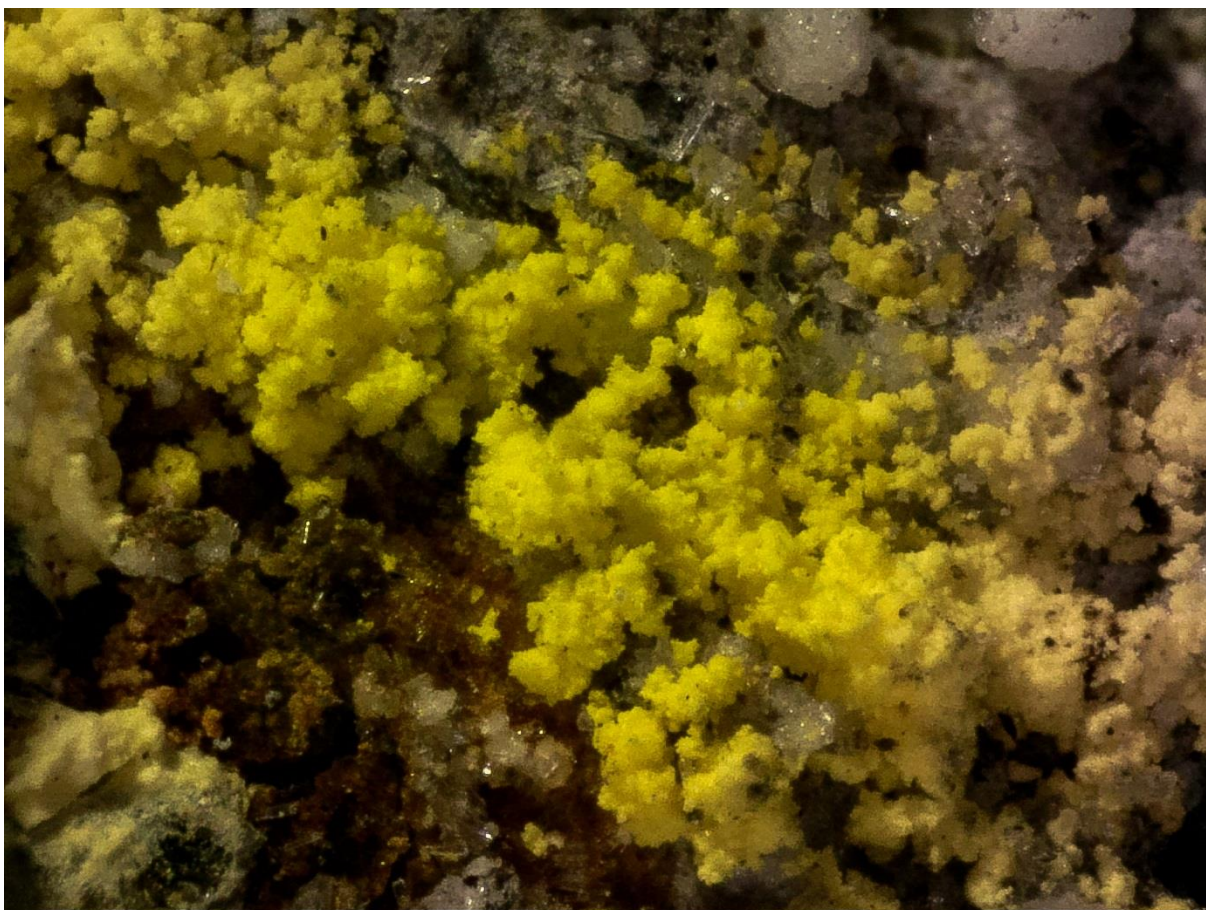
Revír je tvořen několika kilometry velkým zvrásněným tělesem metamorfovaných hornin. Celé těleso je pak narušeno řadou zlomů. Naprostá většina uranové mineralizace se pak

nachází v pararulách a amfibolech. Ruda byla těžena ve formě čoček rozsáhlých až několik desítek metrů² a žilách. Žíly měly typické *křemen-fluoritové*, *karbonátové*, *uran-sulfidické* a *arsenidové* stádia. Uranovou mineralizaci představoval *uraninit*, *coffinit*, a *nyngioit* a minerály supergenního prostředí, dosahujícího hloubky max. 450 m. Z významných lze jmenovat *torbernit*, *(meta)autunit*, *(meta)zeunerit*, *uranopilit*, a *uranofán*. Mimo uranovou mineralizaci Horní Slavkov vynikl i sběratelsky cennými vzorky *kasiteritu* a světovými vzorky *karfolitu* (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

1.2.4 Rožná

Důlní komplex Rožná byl posledním těženým uranovým ložiskem v ČR. Těžba započala v roce 1957 a skončila v roce 2017. Před začátkem těžby byl v Rožné proveden geologický a radiometrický průzkum, který objevil velké uranové zrudnění velice blízko povrchu. První stopy uranové mineralizace byly objeveny již 2,5 m pod povrchem. Komplex tvořily doly Rožná I a Rožná II. Do roku 1980 byly vytěženy všechny zdroje do hloubky 600 m. V dalších letech probíhala těžba do 900 m a v poslední fázi až 1200 m. Celkově bylo vytěženo cca 20 000 t uranu. Po Příbrami se tedy jedná o ložisko s největším množstvím vytěženého uranu (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

Revír je situován do části synklinály tělesa metamorfovaných hornin, hlavně rul, amfibolitů a krystalovaných vápenců. Uranové zrudnění se nachází hlavně u zlomů v dislokačních zónách a žilách. Pauliš, Babka, Sejkora a Škácha (2016) uvádějí že v současnosti se zde vyčleňuje 11 prostorových asociací. Z nich uvedu asociaci *kalcit-uraninitovou* a *banneritovou*, na které se podle nich nejčastěji váže uranové zrudnění. Uranové minerály, z nichž nejvýznamnější je *uraninit* jsou nacházeny v trhlinách a na plochách odlučnosti hornin.



Obrázek 4: Natrozippeit, Rožná - Bukov, šířka záběru 3 mm, foto: Ondřej Cenek

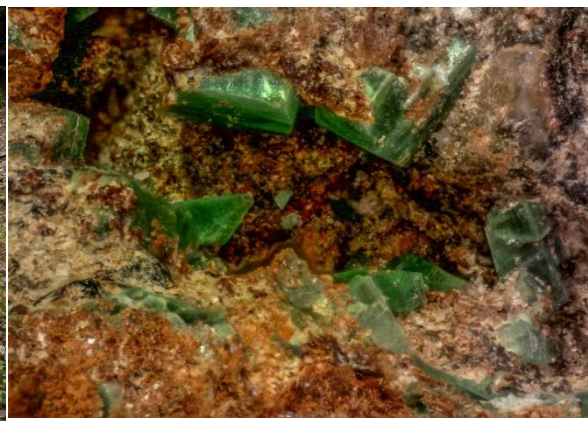
Zastoupeno je i velké množství supergenních minerálů. Z nich uvádím *andersonit* a *natrozippeit* z oblasti Bukov.

1.2.5 Rýžoviště

Rýžoviště je lokalita cca 3 km východně od Harrachova, tvořena nevelkou zarostlou haldou po pokusné těžbě v roce 1959. V roce 1958 zde byl proveden gamaprůzkum, kterým byly objeveny tři žíly uranového zrudnění. Brzy nato začala ražba průzkumné štoly, ze které



Obrázek 5: Rýžoviště - Zalesněná halda po pokusné těžbě, foto: Ondřej Cenek, 2017



Obrázek 6: Krystaly torbernitů pokryté horninou, Rýžoviště, šířka záběru 3 mm, nález 2017, foto: Ondřej Cenek

byla otevřena žíla H1. V roce 1959 byla provedena pokusná těžba, která vynesla 800 kg U. Hned po ukončení těžby byla lokalita opuštěna (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

Těžba probíhala ve svorech a fylitech v kontaktní zóně. Ze třech žil H1, H2 a H3 byly prozkoumány první dvě. Zásoby žíly H1 byly odhadnuty na 17,5 t U. Zásoby žíly H2 byly z ekonomického hlediska velmi malé. Uranové minerály zde představuje primární *uraninit* a supergenní minerály. Na haldě je většina *uraninitu* již přeměněna. Šita a Bradna (1972) uvádí *torbernit*, *zeunerit*, *sklodowskit*, *walpurgin* a *zeunerit*. Sejkora (1994) uvádí až 5 mm velké krystaly *metatorbernit* a *fosfuranylit*. Dále byl popsán *uranosférit* a *dewindit* (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). Já mohu z této lokality uvést max. 3 mm velké krystaly *torbernit*.

1.2.6 Medvědín



Obrázek 7: Medvědín – odval štoly č.1, foto: Ondřej Cenek 2017

Lokalita Medvědín, nacházející se asi 3 km severně od Špindlerova Mlýna, je uranové ložisko těžené v letech 1952 – 1959. V roce 1952 proběhl gamaprůzkum, po kterém následovala ražba dvou štol. Celkem bylo vyraženo asi 11 km chodeb a získáno 21 t U. Těžba probíhala v 6 z 20 objevených žil (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

Ložisko se nachází v sedimentech přeměněných na svory a fylity. Později byly fylity a svory kontaktně metamorfovány do rohovců a plodových břidlic (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). V současné době lokalitu tvoří mineralogicky perspektivní odval štoly č. 1. Z uranových minerálů je zde zcela určitě nejrozšířenější (*meta*)*torbernit*. Dále *uraninit* a *uranové černě*, agregáty *gummitu*, *autunit*, *kasolit*, *dewindit*, *sáleiit* a další (Plášil, Sejkora 2010). Z mých nálezů mohu zmínit do 2 mm velké tabulkovité krystaly *torbernit*, a 1 mm krystaly *autunitu*.



Obrázek 8: Autunit, Chotěboř, šířka záběru 10 mm, foto: Ondřej Cenek

1.2.7 Chotěboř

Ložisko vzdálené asi 1,5 km severně od Chotěboře, 14 km od Havlíčkova Brodu bylo těženo s přestávkami od roku 1956 do roku 1977. Objeveno bylo gamaprůzkumem v roce 1956. Z ložiska bylo celkem vytěženo 148 t U. Zrudnění se nacházelo v 16 žilách do hloubky 100 m (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

Ložisko tvoří metamorfované horniny složité tektonické stavby. „Tektonická skladba je velmi složitá a je dána pozicí v blízkosti křížení dvou zón hlubinného dosahu – přibyslavské hlubinné zóny a železnohorského zlomu“ – Pauliš, Sejkora, Škácha, Babka 2016. Uranových minerálů nebylo zjištěno mnoho druhů, zato však ve výborné kvalitě. Známé jsou například sběratelsky cenné ukázky *autunitu* na puklinách až několik desítek cm². Uváděny jsou také kvalitní ledvinité *uraninity*. Dále byl popsán *fosfuranylit* a *uranofán* (Pauliš 2016).

1.3 Minerály uranu

Primárně se uran v přírodě vyskytuje hlavně v akcesorických minerálech jako *monazit*, *xenotim*, *zirkon*, *allanit*. Vlivem radioaktivního procesu ztrácí tyto minerály uvnitř hornin odolnost vůči alteraci. Pokud tedy podlehnou nějaké formě eroze a uran se uvolní do roztoků,

může vysrážet například do *uraninitu* či jiných minerálů. Další možností vzniku různorodých uranových minerálů je vznik v supergenním prostředí za přítomnosti oxidace, například na stěnách důlních děl. Takto vzniklé druhotné minerály jsou pak často i hydratované (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

V primárních minerálech uranu, převažuje uran čtyřmocný. V supergenním prostředí pak převažuje uran šestimocný, a to ve formě uranylového kationtu (UO_2^{2+}) (Pauliš 2007).

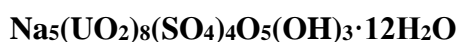
Počet uranových minerálů v současné době převyšuje 263 známých druhů a v ČR 130 druhů (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016), přičemž v 50. letech jich bylo známo něco málo přes 70 ve světě (Kašpar 1959). Nejvýznamnější a nejbohatší lokalitou ČR je Jáchymovský rudní revír s 97 známými uranovými nerosty (Hloušek 2016).

1.3.1 Autunit



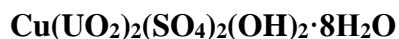
Autunit (ort.) je jeden z nejhojnějších uranových supergenních minerálů uranových oxidačních zón. Vytváří tmavě až světle zelené, někdy i žluté destičkovité krystaly. *Autunit* se přirozeně rozpadá na *metaautunit*, který je stabilnější a na většině vzorků převládá (Bernard, Rost a kolektiv 1992). Častý je v Jáchymově, Kladské, Chotěboři, Medvědině, i v Zálesí. Pozoruhodné vzorky se nacházely ve Fojtově u Nejdku (až 3 cm velké krystaly). Světové sběratelské vzorky pochází z Portugalska (Pauliš 2007). (viz obrázek 8, příloha – obrázek 12)

1.3.2 Natrozippeit



Natrozippeit (ort.) tvoří jasně žluté až oranžové práškovité a zemité agregáty. Jedná se o nejběžnější druh ze skupiny *Zippeitu*. V Jáchymově byl popsán ve formě nevelkých kulovitých agregátů. Další nálezy pocházejí z Příbrami a nejhojnější je *natrozippeit* v Rožné, hlavně v oblasti Bukov. Odtud jsou uváděny velmi hojné, jasně zlatavé agregáty o velkých plochách (Bernard, Rost a kolektiv 1992) (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). (viz obrázek 4)

1.3.3 Johannit



Johannit (trikl.) tvoří jehlicovité až sloupcovité protáhlé krystaly jasně tmavě zelené barvy. Poprvé na světě popsán z Jáchymova roku 1821 Johnem. Nejbohatší ukázky nabízí žíla Jan Evangelista dolu Svornost v Jáchymově. Mezi sběrateli se *johannit* brzy stal typickým minerálem Jáchymova. Většinou tvoří kuličkovité, případně nepravidelné agregáty s krystaly asi 2 mm. Dále byl zjištěn v Příbrami na šachtě č. 16 – Háje a na Jánské Žíle jako recentně vznikající minerál v opuštěných důlních prostorech (Škácha 2016). (viz obrázek 2)

1.3.4 Torbernit



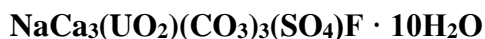
Torbernit (tet.) patří mezi nejhojnější supergenní uranové minerály. Většinou rychle dehydratuje na *metatorbernit*. Ačkoliv to tak nemusí být, většinou se krystaly dehydratací zakalí a dá se tedy orientačně usoudit, zda se jedná o *torbernit*, nebo *metatorbernit*. Toto ovšem není stoprocentní, je možné, že krystaly byly neprůhledné již od svého vzniku a nejedná se o *metatorbernit*, nebo naopak *metatorbernit* si zachoval svou čirost i po dehydrataci (Pauliš 2007). *Torbernit* tvoří smaragdově zelené, tabulkovité, nebo dipyramidální krystaly. Jeho výskyt byl popsán na většině českých lokalit (Jáchymov, Příbram, Zálesí, Medvědin, Kladská, Horní Slavkov...) (Bernard, Rost a kolektiv 1992) (Sejkora, Kouřimský 2005). (viz obrázek 6, příloha – obrázek 4, 5, 13)

1.3.5 Zellerit



Zellerit (ort.) je vzácný supergenní minerál. Vytváří světle žluté agregáty a povlaky tvořené mikroskopickými krystaly. Vzácně se vyskytuje v Jáchymově společně se *schrökingeritem*, *metazelleritem* a *ribbittitem*. (Pauliš 2007) (Bernard, Rost a kolektiv 1992). (viz příloha – obrázek 14)

1.3.6 Schröckingerit



Schröckingerit (trikl.) byl poprvé na světě popsán z Jáchymova (žila Jan Evangelista) J. Schröckingerem. Tvoří žlutozelené kulovité agregáty s krystaly asi 0,05 mm. Vyskytuje se ve společnosti s *čejkajitem*, *andersonitem* a dalšími. Nejvýznamnější nálezy pochází z Jáchymova, dále z Rožné, z Příbrami a Zálesí. (Bernard, Rost a kolektiv 1992) (viz příloha – obrázek 15)

1.3.7 Andersonit



Andersonit (trig.) je vzácný supergenní minerál, vázaný na rozpad *uraninitu*. Tvoří zelené, max. 3 mm velké krystaly v asociaci nejčastěji se *schröckingeritem*. Byl zjištěn v Jáchymově a nyní také v dole Rožná II, kde se nachází světové sběratelské vzorky. Byl objeven A. Andersonem v Arizoně, USA (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016). (viz příloha – obrázek 16)

1.3.8 Zeunerit



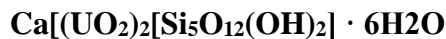
Zeunerit (tet.) vytváří zelené tabulkovité a destičkovité krystaly. Dehydratuje a mění se na *metazeunerit*. Při dehydrataci obvykle ztratí svou průhlednost (viz torbernit). Velikost krystalů obvykle dosahuje maximálně 2 mm, ojediněle v minulosti 5 mm a v Jáchymově byly nalezeny krystaly dokonce 1 cm velké. Vyskytuje se hojně v Jáchymově v dole Rovnost I, zcela typický je jeho výskyt na Cínovci, dále byl popsán v Příbrami a Horním Slavkově (Pauliš 2007) (Bernard, Rost a kolektiv 1992). (viz příloha – obrázek 17)

1.3.9 Heinrichit



Heinrichit (tet.) je vzácný uranový minerál vykazující silnou zelenou fluorescenci pod UV světlem. Tvoří většinou 1 mm velké krystaly a šupinkovité agregáty. Je žlutozelený, lesk má perleťový. Vyskytuje se většinou se *zeuneritem* a *nováčekitem* v Německu a USA. (Bernard, Rost a kolektiv 1992)

1.3.10 Haiweeit



Haiweeit (mon.) je velice vzácný supergení minerál tvořící jehličkovité krystaly, často tvořící paprscité agregáty. Je žlutý až zelenožlutý. Vyskytuje se v Minas Gerais v Brazílii a Kalifornii. (Bernard, Rost a kolektiv 1992). Byl nalezen v oxidovaných rudních vzorcích v Zadním Chodově (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

1.3.11 Linekit



Linekit (ort.) byl nedávno jako nový minerál popsán v dole Svornost v Jáchymově. Tvoří světle zelené mikroskopické tabulkovité krystaly tvořící agregáty do 1,5 mm. Vyskytuje se spolu s *liebigitem*, *čejkaiitem* nebo *andersonitem* (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016).

1.3.12 Sabugalit



Sabugalit (mon.) tvoří žlutozelené krystaly do 1 mm. Vykazuje velmi intenzivní fluorescenci v UV světle. Vyskytuje se na uranových ložiscích v Itálii nebo Francii. (www.mineralienatlas.de) U nás byl popsán ve Fojtově a na Kladské. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016)

1.3.13 Metaankoleit



Metaankoleit tvoří žluté destičkovité krystaly. Vykazuje silnou fluorescenci v UV světle. Objeven byl v Tirpersdorf v Německu a v Itálii (www.mindat.org).

1.3.14 Uranospinit



Uranospinit (tet.) je zelenožlutý minerál tvořící tenké tabulky. Vykazuje poměrně silnou nažloutlou fluorescenci v UV záření. Je znám ze Zálesí a Příbrami (Bernard, Rost a kolektiv 1992).

1.3.15 Cuprosklodowskit



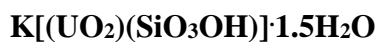
Cuprosklodowskit (trikl.) tvoří světle i tmavě zelené jehličkovité krystaly a kulovité agregáty. Bývá silně skelně lesklý. Jeho typová lokalita je Shaba v Kongu. (www.mindat.org) Pod jiným názvem byl ale již dříve nepříliš přesně popsán Johnem z Jáchymova. Z ČR se jeho nálezy uvádějí i třeba z Příbrami a Horního Slavkova. (Bernard, Rost a kolektiv 1992) (*viz obrázek č. 9*)

1.3.16 Kasolit



Kasolit (mon.) je minerál tvořící žluté až oranžové celistvé agregáty nebo tabulkovité a jehličkovité krystaly. U nás byl popsán například v Jáchymově, Medvědině, Rýžovišti a Zálesí. Vyskytuje se zejména v asociacích s jinými vzácnými supergenními minerály jako kulovité celistvé agregáty tvořené mikroskopickými krystaly. V ČR byl pouze vzácně popsán jako forma jehličkovitých krystalů (Škácha, Sejkora 2001). (*viz příloha obrázek č. 8*)

1.3.17 Boltwoodit



Boltwoodit (mon.) tvoří radiálně uspořádané agregáty silných jehlicovitých krystalů. Jeho barva je žlutá až žlutooranžová. V ČR byl popsán zejména z Olší. Jeho nálezy jsou uváděny také z Jáchymova a Kladské. Poměrně hojně se vyskytuje na uranových ložiscích Afriky a USA (Schumann 2015). (*viz příloha obrázek č. 10*)

1.3.18 Uranofán



Uranofán (mon.) je jeden z nejhojnějších uranových minerálů. Vytváří radiálně uspořádané agregáty tvořené až několik mm velkými žlutými jehlicovitými krystaly nebo jen zemité a celistvé agregáty žluté barvy. Hojně se nachází v Jáchymově, Rýžovišti, Medvědině, Chotěboři a dalších lokalitách. Najdeme jej na většině světových lokalit (Bernard, Rost a kolektiv 1992). (viz příloha obrázek č. 1)

1.3.19 Uranofán-beta



Uranofán-beta (mon.) vytváří průhledné až průsvitné sytě žluté jehlicovité krystaly v neuspořádaných agregátech i v radiálně uspořádaných agregátech. Byl poprvé popsán z Jáchymova v roce 1935. Zcela typický je jeho výskyt v Zálesí (Sejkora, Kouřimský 2005). (viz příloha obrázek č. 2)

1.3.20 Ťujamunit



Ťujamunit (ort.) je minerál tvořící žluté až žlutozelené povlaky a mikroskopické agregáty. Často dehydratuje na *metaťujamit*. V ČR se vyskytuje i na ne zcela typických lokalitách uranových minerálů, jako třeba v tufech v Rožmitálu u Broumova a melafyrech ve Studenci. Výskyt byl zaznamenán i v Jáchymově, Zálesí, nebo Příbrami (Sejkora, Kouřimský 2005). (viz příloha obrázek č. 9)

1.3.21 Marécottit



Marécottit (trikl.) tvoří oranžové a žluté průhledné a průsvitné agregáty, často v asociaci se *sádrovcem* nebo *zippeitem*. Jedná se o další typický jáchymovský minerál, přestože jeho první popis přichází ze Švýcarska. Hojně se vyskytoval v Jáchymově nebo v Rožné (Bernard, Rost a kolektiv 1992). (viz příloha obrázek č. 3)

1.3.22 Uranocircit



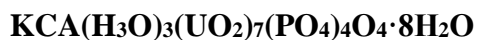
Uranocircit (tetr.) tvoří zelené tabulkovité krystaly až několik cm velké. Krystaly mohou být průsvitné, většinou jsou však zakalené. V UV záření vykazuje silnou fluorescenci. Typicky se vyskytuje v Německu (Bergen), Jáchymově nebo Olší (Pauliš 2007).

1.3.23 Liebigit



Liebigit (ort.) vytváří světle zelené protáhlé krystaly, zřídka dokonalé a většinou průsvitné. Krystaly nebývají pravidelné, mohou ale dosahovat až několikamilimetrových rozměrů. V UV vykazuje poměrně silnou fluorescenci. Poměrně hojně se vyskytuje v Jáchymově, Zálesí i jinde. (Sejkora, Kouřimský 2005)

1.3.24 Fosfuranylit



Fosfuranylit (ort.) je poměrně vzácný uranový minerál tvořící většinou nedokonalé tabulkovité krystaly a povlaky. Jeho barva je sytě žlutá. Vykazuje poměrně silnou zelenou fluorescenci v UV záření. Vyskytuje se v Zálesí, Jáchymově, Bergen v Německu a na mnoha světových lokalitách (www.mineralienatlas.de).

1.3.25 Saléit



Saléit (mon.) tvoří citrónově žluté mikroskopické tabulkovité krystalky. V ČR jsou kvalitní nálezy uváděny z Medvědína. Dále se nachází v Jáchymově. Většinou vykazuje zelenou fluorescenci v UV záření (Pauliš 2007).

1.4 Metody výzkumu uranových minerálů

1.4.1 Rentgenová prášková difrakční analýza

Rentgenová prášková difrakční analýza (PXRD) je pravděpodobně nejvhodnější metodou určení uranového minerálu. Funguje na principu ozáření rozpráškovaného vzorku minerálu rtg zářením a následným sběrem „difraktovaného“ záření. (www.xray.cz, 2019) Výhodou této metody je malé potřebné množství minerálu k provedení této analýzy (stačí 0,1 mg rozpráškovaných krystalů). Jistou nevýhodou této metody je možná změna struktury krystalů při rozpráškování (zejména dehydratace), což může u některých minerálů představovat problém. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016)

1.4.2 Chemické složení

Chemické složení vzorku je nejlepší důkaz náležitosti k určitému druhu. Zjistit kompletní chemické složení však není jednoduché a získáme ho pouze kombinací několika metod. Pro zjištění orientačního složení minerálu můžeme použít např. energiově disperzní spektrometr, který je součástí elektronových mikroskopů. Problémem je zde však energiový překryv, kvůli kterému od sebe nemůžeme rozeznat některé prvky. Další možností je elektronová mikrosonda s vlnově disperzními spektrometry. Zde je problém s nutností použití vakua a hlavně zde nemůžeme měřit některé lehké prvky. Nejpoužívanější metodou je dnes hmotnostní spektrometrie. Obsah karbonátů a molekulární vody pak stechiometricky dopočítáváme. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016)

1.4.3 Morfologie krystalů

Pozorováním morfologických znaků krystalů můžeme nejjednodušeji orientačně určit druh minerálu. Pozorujeme tvar, velikost a charakter krystalů nebo podobu agregátů. Při pozorování krystalů uranových minerálů se většinou nevyhneme použití optických mikroskopů. Studovat můžeme i povrchovou morfologii použitím elektronového mikroskopu. Zde je však nutné použít vakuum, kvůli kterému musíme povrch minerálu pokovovat, jinak by došlo k fyzikálnímu porušení a dehydrataci minerálu. (Pauliš, Babka, Sejkora, Škácha 2016)

1.4.4 Pozorování fyzikálních vlastností

Pozorováním základních fyzikálních vlastností užívaných v mineralogii můžeme jednoduše orientačně určit druh minerálu. Pozorujeme tvrdost, štěpnost, lom, barvu, průhlednost, průsvitnost a další. Jednou ze základních vlastností všech uranových minerálů je radioaktivita.

1.4.5 Pozorování fluorescence v UV-záření

Nejjednodušším poznávacím znakem je přítomnost nebo nepřítomnost fluorescence. Takto od sebe můžeme jednoduše odlišit některé druhy minerálů. Dále můžeme pozorovat barvu a sílu fluorescence. Pokusy s fluorescencí provádíme za pomoci UV světla různých vlnových délek. Obecně se používají vlnové délky 365 nm, 254 nm a případně 302 nm.

1.5 Luminiscence minerálů

Luminiscence je definována jako schopnost emitovat viditelné světlo po obdržení určité energie. Podmínkou pro vznik luminiscence je přítomnost tzv. aktivátorů neboli cizích iontů obsažených ve struktuře daného minerálu. Excitací se elektrony přechodných prvků (aktivátorů) dostávají do vyšších energetických hladin a následně se vrací. Při návratu do původní energetické hladiny vzniká světlo viditelných vlnových délek. Nejčastějším druhem luminiscence je právě fluorescence, kdy k excitaci elektronů dochází aplikací světla nízkých vlnových délek (UV záření). V závislosti na energii a vlnové délce budícího záření se mění intenzita fluorescence. Barva fluorescenčního záření pak nejvíce závisí na chemickém složení pozorovaného minerálu. Platí pravidlo, že emitované světlo má vždy nižší energii a delší vlnovou délku než světlo původní. Pokud je mezi excitovanou energetickou hladinou elektronu a návratem do původní energetické hladiny větší prodleva, záření přetrvává i po ukončení aplikace UV záření. Takový jev nazýváme fosforescence. Uvádí se, že v případě fluorescence by délka prodlevy neměla být větší než 10^{-5} s. V případě fosforescence je to 10^{-2} s až několik dní. Dalšími typy luminiscence jsou termoluminiscence, kdy k excitaci dochází díky ohřevu minerálu (např. kalcit) a triboluminiscence, kdy k excitaci dochází díky mechanickému porušování minerálu (např. fluorit). V případě uranových minerálů většinou zapříčiňuje fluorescenci kationt uranylu nebo jeho sloučeniny. (www.psych.lf1.cuni.cz)

Spektrum fluorescence se měří pomocí spektrometru.

2 Praktická část

2.1 Metodika

2.1.1 Vzorky

Pro výzkum jsem použil 30 vzorků uranových minerálů. Tyto určené vzorky jsem zakoupil od soukromých sběratelů a mineralogů. Druhy minerálů, které jsem použil ve své práci jsem vybíral podle četnosti výskytu. V této práci tedy figurují uranové minerály, které jsou obecně uznávané jako nejhojnější, případně jsou velmi významné pro mineralogii České republiky. Vzorky jsou očíslované od 1 do 30. Prvních 18 vzorků vykazuje fluorescenci a jejich fotografie pod UV světlem jsou obsaženy v kapitole 2.2 Výsledky. Dalších 12 vzorků fluorescenci nevykazuje a jejich fotografie pod běžným světlem jsou obsaženy v příloze.

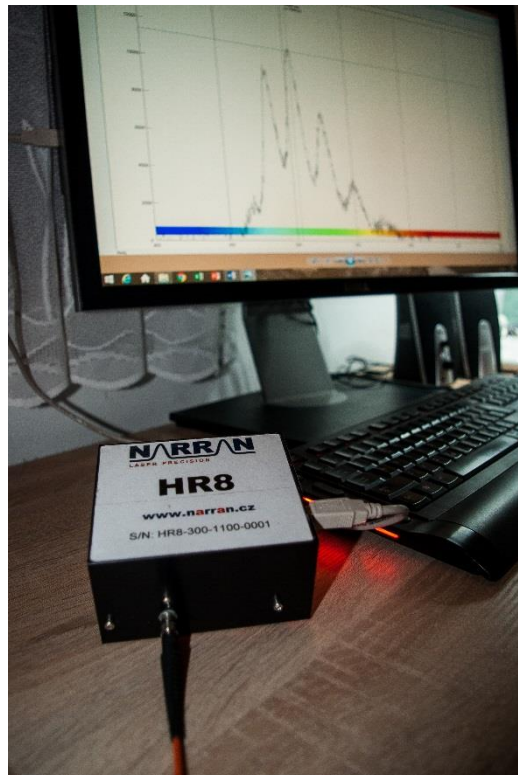


Obrázek 9: *Cuprsklodowskit*, Musonoi Mine, Zair, šířka záběru 1 cm, foto: Ondřej Cenek

2.1.2 Pomůcky



Obrázek 20: Dino Lite Edge Pro, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 19: Spektrometr HR8, foto: Ondřej Cenek

Pro měření spektra UV-záření jsem použil kompaktní spektrometr HR8 firmy Narran s kalibrací na přesnost 0,5 nm. Světlo je do spektrometru přiváděno optickým vláknem s konektorem SMA 905 a snímáno je detektorem Toshiba TCD1304DG. Doba expozice je nastavitelná od 2,4 ms do 50 s. Rozsah detektoru je od 200 do 1100 nm. Naměřené údaje jsou převedeny do PC pomocí USB a zpracované softwarem firmy Narran do spektrálního grafu. Vnitřní paměť spektrometru je 64 expozic.

Jako zdroj UV-záření jsem použil profesionální laboratorní UV lampu s otočným válcem s třemi UV-zářivkami, každá s jinou vlnovou délkou: 254 nm, 302 nm a 365 nm. Lampu jsem umístil nad zhotovený box potažený černou látkou, která co nejvíce pohlcuje světlo a ke vzorku jsem přivedl optické vlákno.

Mikrofotografie jsem pořizoval USB mikroskopem Dino-Lite Edge Pro se softwarem Dino-Capture 2.0. Rozlišení mikroskopu je 5MPix, zvětšení 10x – 140x. Pro fotografie bylo použito stereoskopické osvětlení.



Obrázek 21: Pentax K10D a UV lampa, foto: Ondřej Cenek

Makrofotografie jsem pořizoval digitálním fotoaparátem Pentax K10D s makroobjektivy Pentax 100 (100mm) a Pentax 50 (50mm). Fotografie vznikaly za použití stativu s makrosáňkami, prosvětlovacího stanu a reflektory s denním a bílým světlem.

Fotografie jsem upravoval v softwarech Adobe Lightroom a Adobe Photoshop. Problém malé hloubky ostrosti jsem vyřešil použitím softwaru Helicon Focus 5, ve kterém jsem skládal jednotlivé expozice s rozdílným zaostřením do výsledného obrázku. Většina zvláště mikrofotografií v této práci je skládaná.

2.1.3 Postup práce

Studiem odborné literatury jsem si určil, které vzorky by byly pro mojí práci ideální a co nejvíce jsem jich zajistil. Nejprve jsem vzorky vyfotografoval v běžném světle. Dále jsem vyfotografoval luminiscenci těchto vzorků v každé ze tří vlnových délek UV-světla. Při fotografování jsem použil stejnou expozici, aby bylo možné porovnáním všech tří fotografií určit, ve které vlnové délce je fluorescence minerálu nejvýraznější. Nakonec jsem pořídil fotografii každého vzorku v bílém světle se zapnutou UV lampou. Zároveň jsem pořizoval různé mikrofotografie a detaily, které jsou v příloze nebo v teoretické části.

Druhým krokem bylo měření spektra luminiscence spektrometrem. Do vytvořeného boxu potaženého černou látkou jsem položil vzorek a nad něj umístil zdroj UV-záření. Do vzdálenosti cca 1 mm jsem přiložil konec optického vlákna a v jinak absolutní tmě jsem provedl několik expozic. Délka expozice byla většinou nastavená na 2 s (doba expozice je u každého grafu uvedena). Po sobě jsem provedl měření ve všech třech vlnových délkách – 254 nm, 302 nm a 365 nm. Měřítka jsem u všech třech grafů každého vzorku ponechal stejné, aby bylo možné porovnat intenzitu světla. V každém grafu je uvedena hodnota nejvyššího peaku grafu.

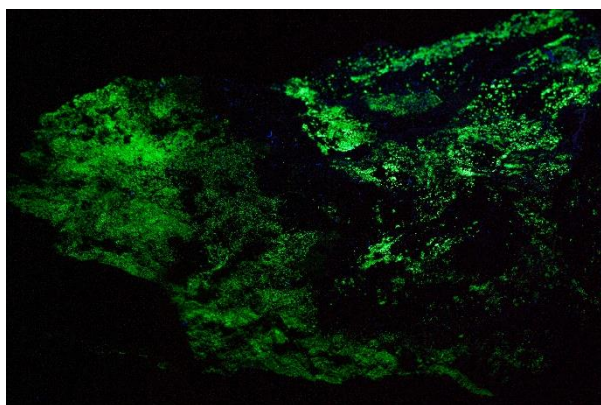
2.2 Výsledky

č. vz.	Minerál	lokalita	UV 365	UV 302	UV 254
1	Autunit	Chotěboř, ČR	525,36	525,36	525,36
2	Autunit	Assuncao, Portugalsko	525,36	525,36	525,36
3	Autunit	Kirchberg, Sasko	525,36	525,36	525,36
4	Metaautunit	Fojtov u Nejdku, ČR	525,36	525,36	525,36
5	Andersonit	Rožná - Bukov, ČR	504,07	504,07	504,07
6	Natrozippeit	Rožná – Bukov, ČR	538,18	538,18	538,18
7	Uranocircit	Bergen, Německo	533,92	533,92	533,92
8	Fosfuranilit	Kladská, ČR	533,38	533,38	533,38
9	Liebigit	Zálesí, ČR	501,63	501,63	501,63
10	Saléit	Kladská, ČR	522,94	522,94	522,94
11	Schröckingerit	Jáchymov, ČR	503,80	503,80	503,80
12	Schröckingerit	Rožná, Bukov	503,80	503,80	503,80
13	Heinrichit	Repete Mine, San Juan, Utah, USA	527,50	527,50	527,50
14	Linekit	Jáchymov, Svornost, ČR	501,63	501,63	501,63
15	Sabugalit	Kladská, ČR	522,94	522,94	522,94
16	Metaancoleit	Tirpersdorf, Německo	526,16	526,16	526,16
17	Autunit	Chotěboř, ČR	525,36	525,36	525,36
18	Uranospinit	Příbram, ČR	522,94	522,94	522,94
19	Andersonit	Rožná, ČR	503,80	503,80	503,80
20	Haiweeit	Teofylo Otoni, Minas Gerais, Brazílie	522,68	522,68	522,68
21	Uranofán	Zálesí, ČR	0	0	0
22	Uranofán - beta	Zálesí, ČR	0	0	0
23	Marécotit	Jáchymov, ČR	0	0	0
24	Torbernit	Rýžoviště, ČR	0	0	0
25	Torbernit	Kasolo mine, Kongo	0	0	0
26	Torbernit	Medvědí, ČR	pozn.	pozn.	pozn.
27	Cuprosklodowskit	Musonoi Mine, Zair	0	0	0
28	Kasolit	Příbram, ČR	0	0	0
29	Ťujamunit	Prachovice, ČR	0	0	0
30	Boltwoodit	Rösing uraniumm, Namíbie	0	0	0
31	Zeunerit	Cínovec, ČR	0	0	0
32	Johannit	Jáchymov, ČR	0	0	0

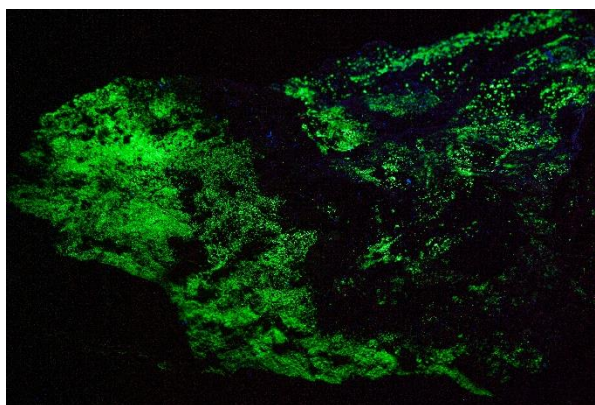
Tabulka č. 1 – Přehled vzorků a jejich fluorescence. Hodnotou fluorescence je myšlena hodnota nejvyššího peaku grafu. Uváděna je v nm.

pozn. – Plášil a Sejkora (2010) uvádějí z Medvědína zvláštní Torbernit vykazující fluorescenci v UV-záření. Toto se mi potvrdilo, avšak fluorescence nebyla měřitelná. Okem je však fluorescence jasně patrná.

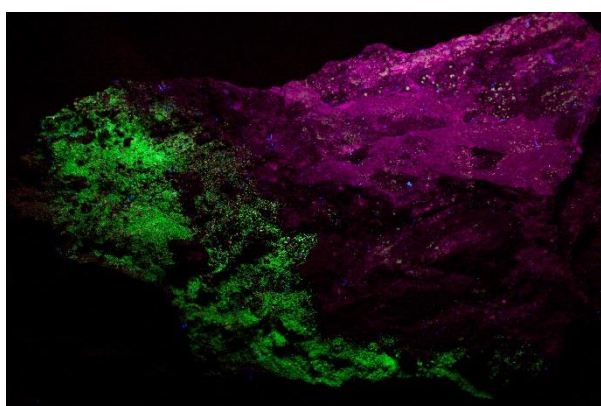
Vzorek č. 1



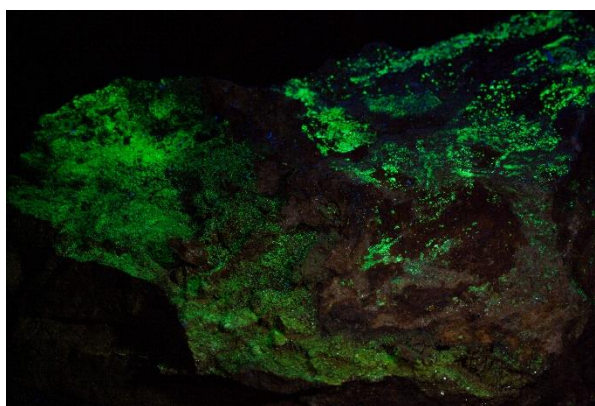
Autunit, Chotěboř, ČR, 254 nm



Autunit, Chotěboř, ČR, 302 nm



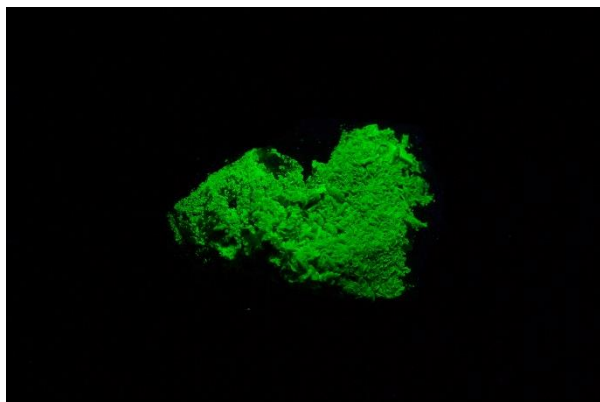
Autunit, Chotěboř, ČR, 365 nm



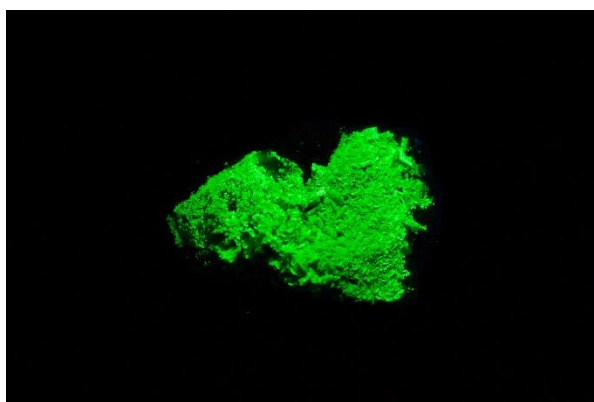
Autunit, Chotěboř, ČR, 302 nm + b

Vzorek č. 1 má velikost cca 14 x 9 cm. Jedná se o část stěny pukliny horniny porostlou krystaly *autunitu*. Krystaly nedosahují velikosti větší než 1 mm. Barva *autunitu* je světle zelená v zachovalých částech vzorku a přechází v zelenošedou ve více zoxidovaných částech vzorku. Fluorescence je okem jasně viditelná. Barva fluorescence je zelená. Nejvyšší intenzitu fluorescence pozorujeme ve vlnové délce 302 nm. Ve vlnové délce 365 nm je intenzita o něco menší než v 302 nm a nejmenší je intenzita v 365 nm.

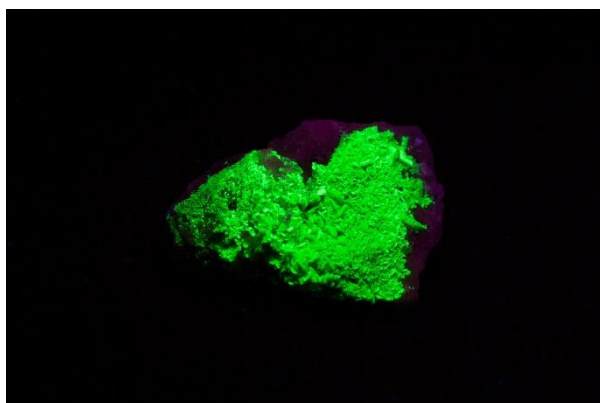
Vzorek č. 2



Autunit, Assuncao, Portugalsko, **254 nm**



Autunit, Assuncao, Portugalsko, **302 nm**



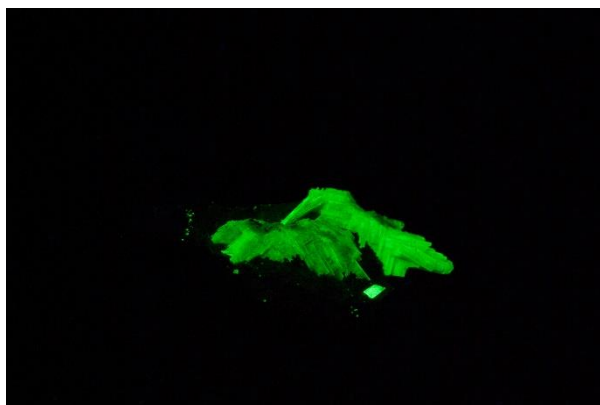
Autunit, Assuncao, Portugalsko, **365 nm**



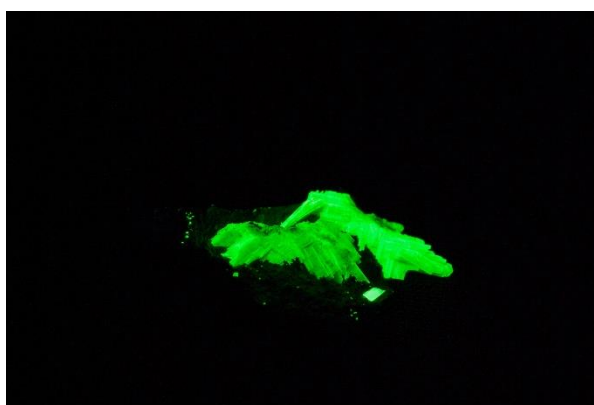
Autunit, Assuncao, Portugalsko, **320 nm + b**

Vzorek č. 2 je vzorek čistého *autunitu* z portugalské oblasti Assuncao. Vzorek o rozměrech cca 6 x 5 cm je porostlý až 3 mm velkými krystaly *autunitu* na křemeni. *Autunit* tvoří typické jasně zelené neporušené destičkovité krystaly. Některé krystaly jsou průsvitné. Fluorescence je velmi jasná a má světle zelenou barvu. Nejvyšší intenzitu fluorescence vzorek vykazuje v 302 nm. Velmi vysokou intenzitu vykazuje i ve vlnové délce 365 nm. Nejnižší je pak v 254 nm.

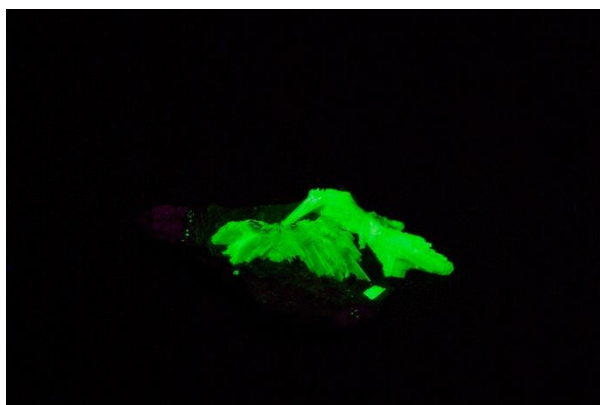
Vzorek č. 3



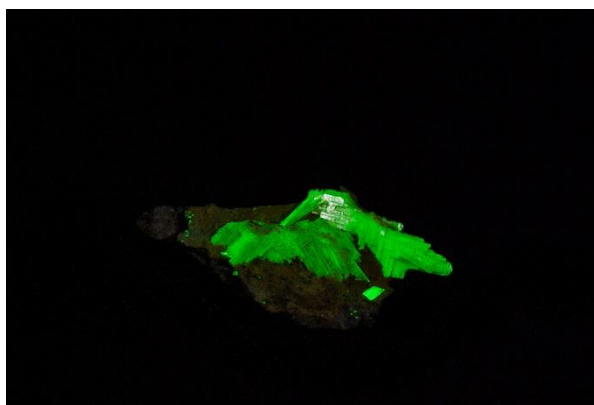
Autunit, Kirchberg, Německo, **254 nm**



Autunit, Kirchberg, Německo, **302 nm**



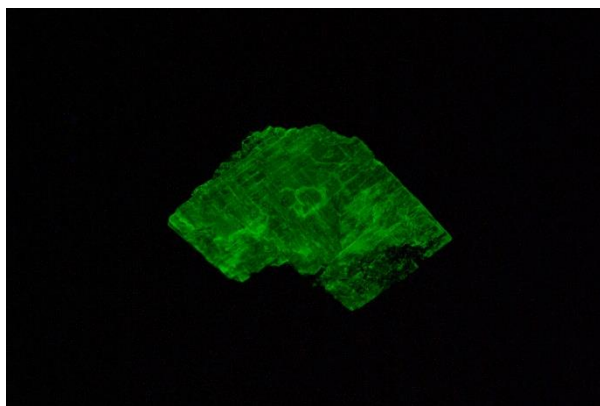
Autunit, Kirchberg, Německo, **365 nm**



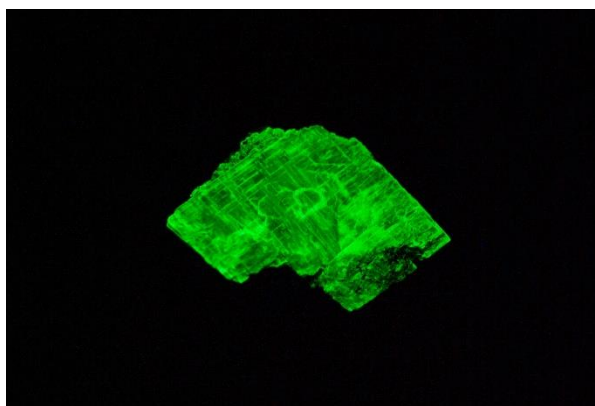
Autunit, Kirchberg, Německo, **302 nm + b**

Vzorek č. 3 tvoří destičkovité krystaly *autunitu* maximální velikosti 5 mm. Vzorek má velikost cca 3,5 x 2 cm. Destičkovité krystaly jsou uspořádány radiálně kolmo k horninové podložce. Krystaly mají citrónově zelenou barvu a vysoký lesk. Fluorescence je nejvýraznější v 302 nm a je typicky pro *autunit* velmi jasná a světle zelená. Vysoká intenzita je i v 365 nm. V 254 nm je fluorescence výrazně nižší.

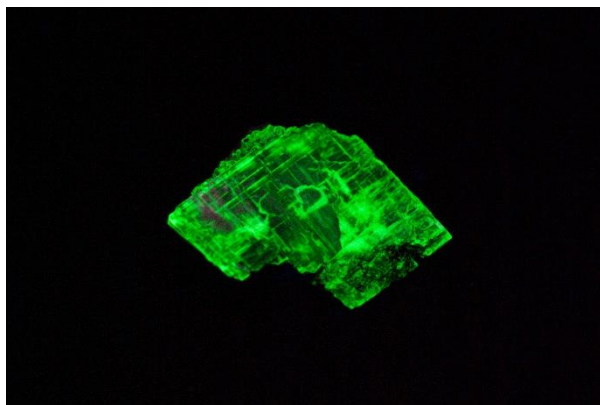
Vzorek č. 4



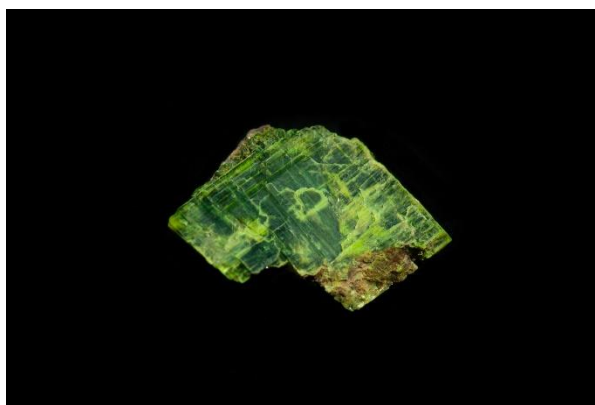
Metaautunit, Fojtov, ČR, 254 nm



Metaautunit, Fojtov, ČR, 302 nm



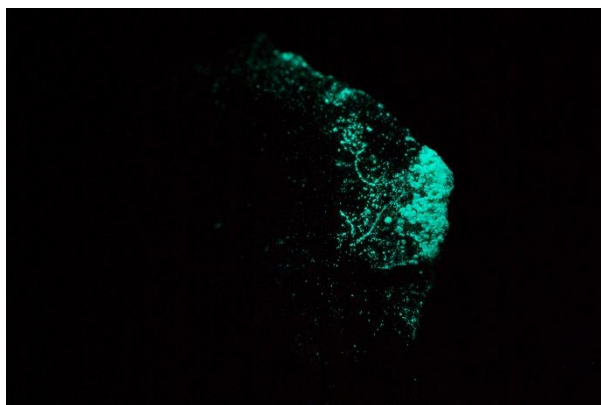
Metaautunit, Fojtov, ČR, 365 nm



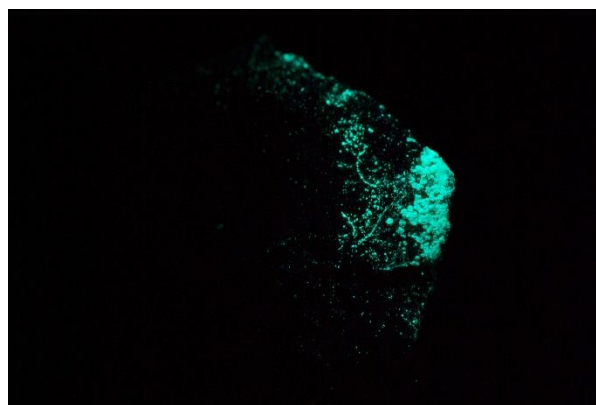
Metaautunit, Fojtov, ČR, 302 nm + b

Vzorek č. 4 je velký krystal *metaautunitu* z již nečinného povrchového lomu Fojtov u Nejdku. Krystal má rozměry cca 3 x 2 cm. Jeho povrch je lesklý a přechází od tmavě do světle zelené. Na krystalu jsou zřejmé čtvercové rýhy. Intenzita fluorescence je velmi vysoká. Nejvyšší je ve vlnové délce 302 nm. Intenzita ve vlnové délce 365 nm je také vysoká a je patrnější při okrajích krystalu. Nejnižší fluorescence je ve vlnové délce 254 nm. Barva fluorescence je světle zelená.

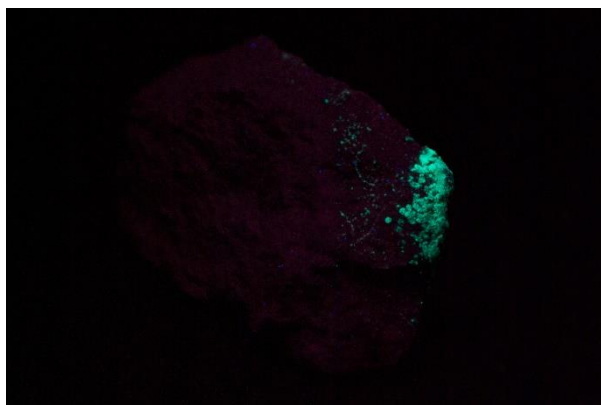
Vzorek č. 5



Andersonit, Bukov, ČR, 254 nm



Andersonit, Bukov, ČR, 302 nm



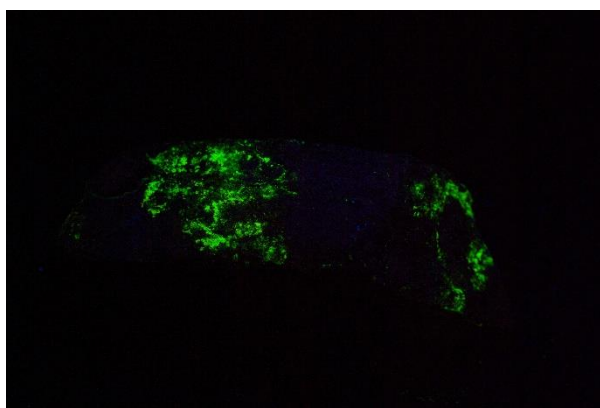
Andersonit, Bukov, ČR, 365 nm



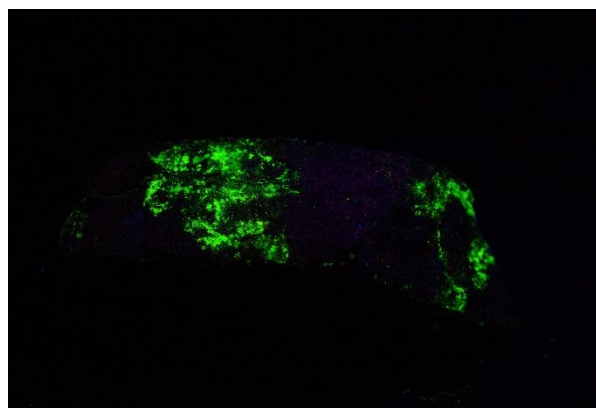
Andersonit, Bukov, ČR, 302 nm + b

Vzorek č. 5 má rozměry cca 4 x 3 cm a jedná se o nedokonale vyvinuté mikroskopické krystaly *andersonitu* z ložiska Rožná, konkrétně z oblasti Bukov kde je jeho výskyt typický. Krystaly mají tmavě zelenou barvu. Barva fluorescence je zelenomodrá a nejvyšší intenzitu má ve vlnové délce 302 nm. Ve vlnové délce 302 nm je intenzita téměř stejná. Výrazně nižší je pak v 365 nm.

Vzorek č. 6



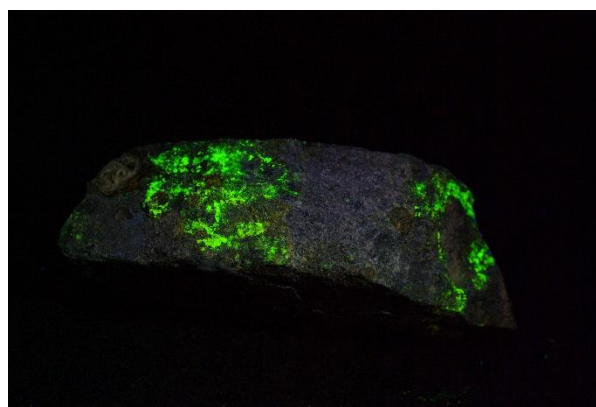
Ntrozippeit, Bukov, ČR, 254 nm



Ntrozippeit, Bukov, ČR, 302 nm



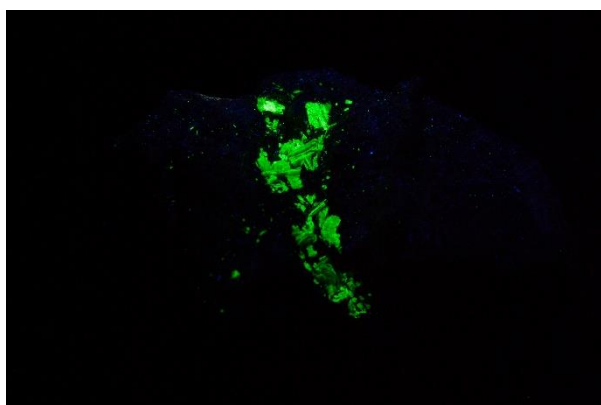
Ntrozippeit, Bukov, ČR, 365 nm



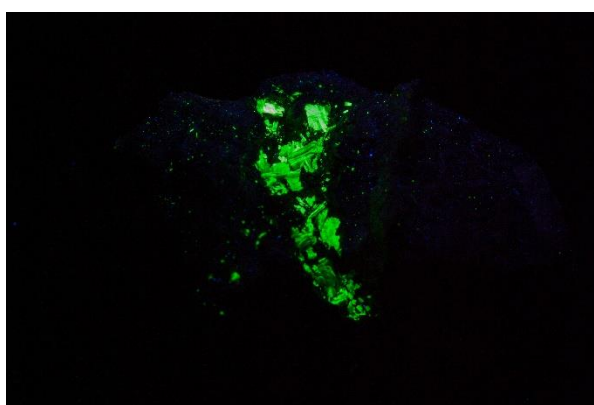
Ntrozippeit, Bukov, ČR, 302 nm + b

Vzorek č. 6 je asi 9 x 4 cm velký úlomek horniny ze všech stran porostlý mikroskopickými krystaly *natrozippeitu* opět z oblasti Bukov v Rožné. Krystaly pod mikroskopem vytváří zajímavé kuličkovité agregáty světle žluté barvy. Fluorescence je poměrně výrazná a je zelenožlutá. Nejvýraznější je v 254 nm. Poměrně silná je i v 365 nm. Slabší intenzita je pak v 302 nm.

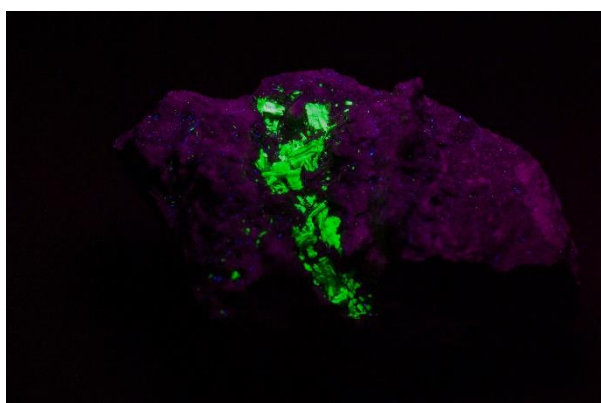
Vzorek č. 7



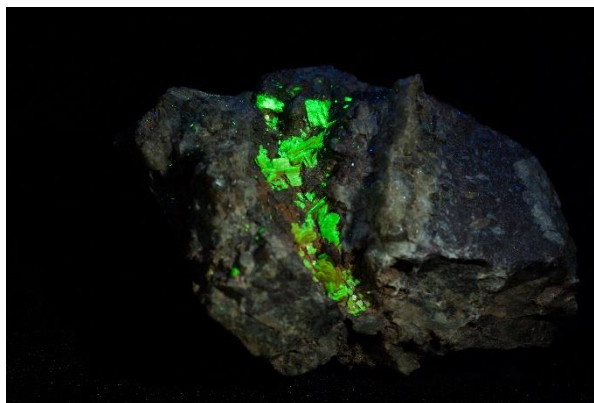
Uranocircit, Bergen, Německo, **254 nm**



Uranocircit, Bergen, Německo, **302 nm**



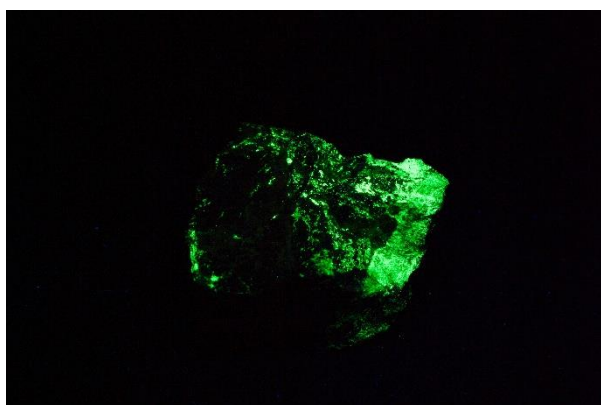
Uranocircit, Bergen, Německo, **365 nm**



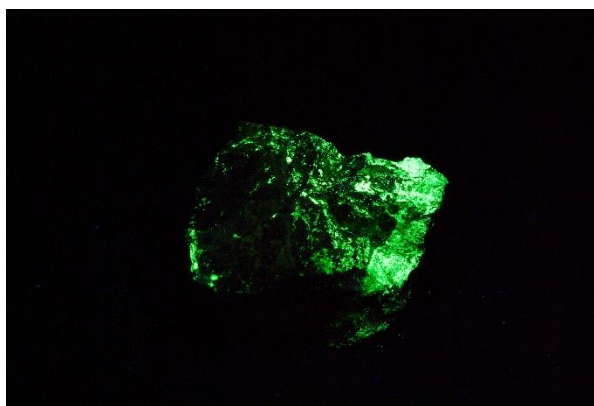
Uranocircit, Bergen, Německo, **302 nm + b**

Vzorek č. 7 má rozměry cca 9 x 6 cm a jedná se o krystaly *uranocircitu* místy až 7 mm velké. Krystaly vyplňují křemennou žílu a mají světle zelenou barvu. Jsou neprůhledné a mají nízký lesk. Mají destičkovitý tvar. Vzorek pochází z dolů v německé oblasti Bergen. Fluorescence je vysoká a má zelenou barvu. Nejvyšší intenzitu má v 302 nm. Nižší v 365 nm a výrazně nižší v 254 nm.

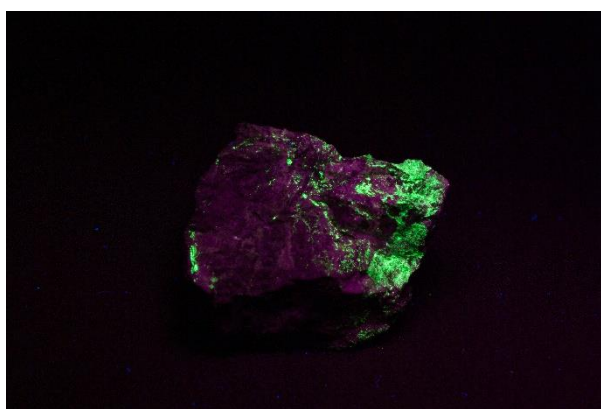
Vzorek č. 8



Fosfuranylit, Kladská, ČR, **254 nm**



Fosfuranylit, Kladská, ČR, **302 nm**



Fosfuranylit, Kladská, ČR, **365 nm**



Fosfuranylit, Kladská, ČR, **302 nm + b**

Vzorek č. 8 je asi 6 x 5 cm velký úlomek horniny na který nasedají nedokonale vyvinuté krystaly *fosfuranylitu*. Vzorek pochází z ložiska Kladská. Krystaly nemají jasně zřetelné hrany a mají světle žlutou barvu. Fluorescence je jasně viditelná a má zelenou barvu. Nejintenzivnější je ve vlnové délce 302 nm. Poměrně intenzivní je i v dalších dvou vlnových délkách. Nejméně intenzivní je v 365 nm.

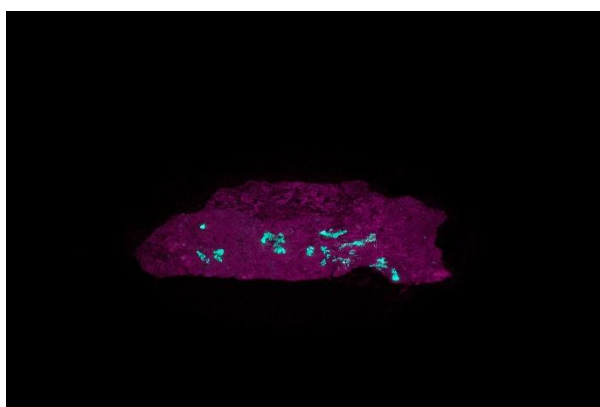
Vzorek č. 9



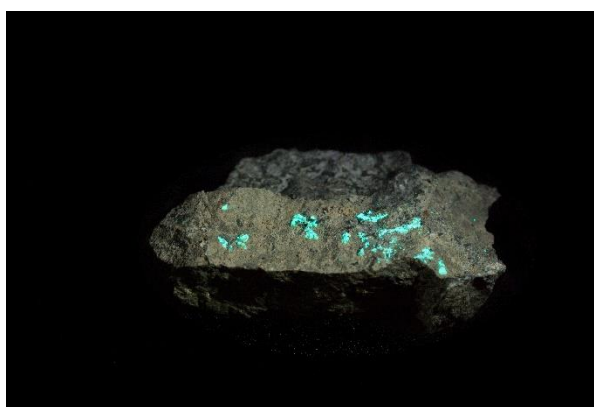
Liebigit, Zálesí, ČR, 254 nm



Liebigit, Zálesí, ČR, 302 nm



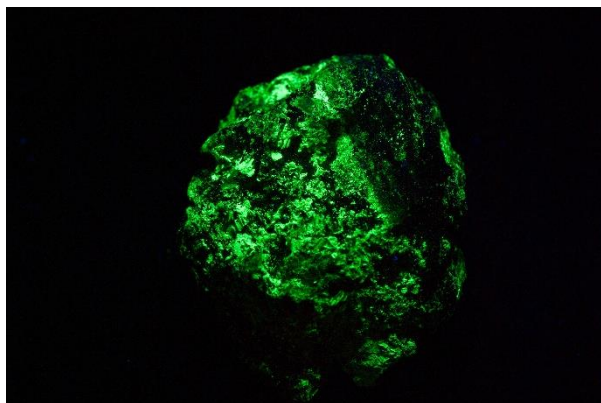
Liebigit, Zálesí, ČR, 365 nm



Liebigit, Zálesí, ČR, 302 nm

Na vzorku č. 9 jsou okolo 2 mm velké krystaly *liebigitu* nasedající na horninovou podložku, jejíž rozměry jsou cca 8 x 5 cm. Krystaly mají světle zelenou barvu a mají typický protáhlý tvar. Některé jsou průsvitné. Fluorescence je poměrně jasná a má modrozelenou barvu. Největší intenzitu pozorujeme ve vlnové délce 254 nm. Ve vlnové délce 302 nm je intenzita téměř stejná, zřetelně menší je pak v 365 nm.

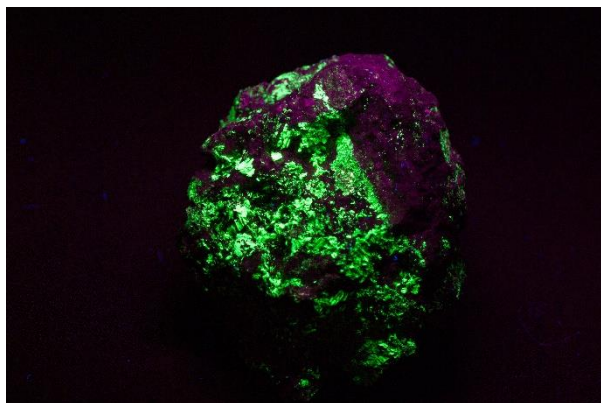
Vzorek č. 10



Saléit, Kladská, ČR, **254 nm**



Saléit, Kladská, ČR, **302 nm**



Saléit, Kladská, ČR, **365 nm**



Saléit, Kladská, ČR, **302 nm + b**

Vzorek č. 10 je poměrně bohatá ukázka *saléitu* z Kladské. Krystaly zde vyplňují žilovinu a jsou přítomny v celém vzorku. Poměrně častá je při určování záměna *autunitu* za *saléit*. Krystaly mají destičkovitý tvar a dosahují velikosti až 3 mm. Jsou průsvitné. Fluorescence je velmi výrazná a její barva je zelená. Nejvýraznější je v 302 nm. Ve vlnové délce 365 nm je intenzita nižší a nejnižší je v 254 nm.

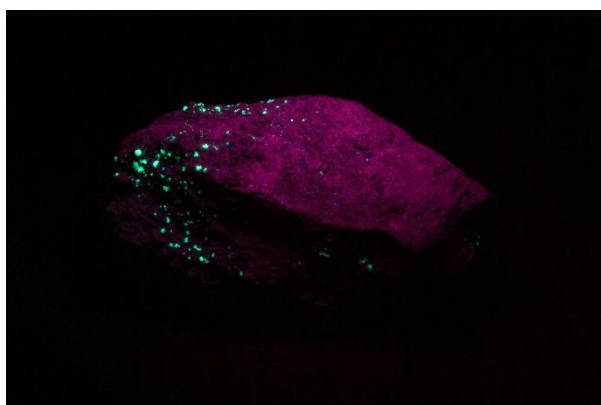
Vzorek č. 11



Schröckingerit, Jáchymov, ČR, 254 nm



Schröckingerit, Jáchymov, ČR, 302 nm



Schröckingerit, Jáchymov, ČR, 365 nm



Schröckingerit, Jáchymov, ČR, 302 nm + b

Vzorek č. 11 má rozměry cca 12 x 6 cm a je posetý do 3 mm velkými agregáty typického jáchymovského minerálu *schröckingeritu*. Tvar agregátů je typicky kulovitý a viditelný pouhým okem. Krystaly narůstají na částečně erodované horninu a mají světle žlutou barvu. Fluorescence je výrazná a její barva je modrozelená. Největší intenzity dosahuje ve vlnové délce 302 nm, o něco nižší je v 254 nm a nejnižší je v 365 nm.

3 Závěr

Zjistil jsem, že rozdíly mezi spektry jednotlivých druhů minerálů jsou více než patrné. Například schröckingerit vykazuje nejsilnější emisní záření ve vlnové délce 503,80 nm. Naproti tomu natrozippeit vykazuje záření v hodnotě 538,18 nm. Tento rozdíl lze pozorovat pouhým okem. Při použití dostatečně přesného spektrometru lze však zachytit i rozdíly emitovaného světla v rámci jednotek nm. Jako příklad může posloužit autunit vykazující záření o délce 525,36 nm a saléeit vykazující záření o délce 522,94. Tento rozdíl už není možné rozeznat pouhým okem. Z toho lze vyvodit, že hodnota emisního záření je jedinečným poznávacím znakem. Z teoretického hlediska se tedy metoda jeví jako účinná. Z praktického hlediska však narážíme na několik aspektů, které použití metody limitují:

1. Minerální osazení jednotlivých vzorků není vždy unikátní. To znamená že v praxi se na jednom vzorku mísí více druhů minerálů. Existují dokonce případy, kdy jeden minerál pozvolna přechází v druhý, což téměř znemožňuje použití této metody.
2. Minerály uranu většinou krystalizují v mikroskopických rozměrech, které poskytují tak malé množství záření, že je téměř nemožné jej zaměřit a detekovat.
3. Měření je velmi ovlivněno kalibrací používaného přístroje. Např. Marcus Noller (2017) uvádí hodnotu nejvyššího peaku spektra autunitu 523 nm a G. Barmarin uvádí hodnotu 524 nm. Já jsem při svém výzkumu naměřil hodnotu 525,36 nm. Přičemž jsem zjistil že tento rozdíl nemůže být způsobený použitím zářiče o jiné vlnové délce (viz *tabulka č.1*).
4. Neexistuje žádná oficiální databáze hodnot emisního záření k jednotlivým minerálům. Zřejmě z důvodu výše popsaných nedostatků. Pro použití této metody by bylo nutné vytvořit si vlastní databázi hodnot s přihlédnutím ke kalibraci a typu používaného přístroje.

Domnívám se, že metodu určování minerálu pomocí měření spektra emitovaného světla pod UV zářičem není možné použít jako metodu základní, lze ji použít pouze jako metodu pomocnou.

4 Použitá literatura

SEJKORA, Jiří a Jiří KOUŘIMSKÝ. *Atlas minerálů České a Slovenské republiky*. Praha: Academia, 2005. Atlas (Academia). ISBN 80-200-1317-2.

SCHUMANN, Walter. *Minerály: 500 nejznámějších minerálů z celého světa: se systémem rychlého určování*. Přeložil Jiří ŠEVČÍK. Praha: Beta-Dobrovský, 2015. Průvodce přírodou (Ševčík). ISBN 978-80-7291-241-4.

BERNARD, Jan Hus. *Minerály České republiky: stručný přehled*. Praha: Academia, 2000. ISBN 80-200-0350-9.

BERNARD, Jan Hus a Zdeněk PORUBA. *Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu*. 1. Praha: Academia, 1986.

BERNARD, Jan Hus a Rudolf ROST. *Encyklopedický přehled minerálů*. Praha: Academia, 1992. ISBN 80-200-0360-6.

Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze. Praha: Mgr. Jiří Sejkora ve spolupráci s Národním muzeem a Slovenskou mineralogickou společností, 2014, **2014**(2). ISSN 1211-0329.

PAULIŠ, Petr, Karel BABKA, Jiří SEJKORA a Pavel ŠKÁCHA. *Uranové minerály ČR a jejich nejvýznamnější naleziště: Uranium minerals and their the most important occurrences in the Czech Republic*. Kutná Hora: Kuttna, 2016. ISBN 978-80-86406-80-0.

PLUSKAL, Oskar. *Úvod do geologie uranových ložisek*. Praha, 1972.

KAŠPAR, Jan Václav. *Nerosty radioaktivních prvků, jejich vznik a vývoj*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959.

PAULIŠ, Petr, Stanislav KOPECKÝ a Pavel ČERNÝ. *Uranové minerály České republiky a jejich naleziště: Uranmineralien der Tschechische Republik und ihre Fundstellen*. Kutná Hora: Kuttna, 2007. ISBN 978-80-86406-45-9.

HLOUŠEK, Jan. *Jáchymov: Joachimsthal: Jáchymov, horský urbanistický skvost, který o návštěvníky nestojí...* Drobně opravené druhé vydání. vlastním nákladem vydala: Kateřina Hloušková, 2016. ISBN 978-80-270-2156-7.

Mindat.org [online]. Hudsonův institut mineralogie, 1993 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.mindat.org/>

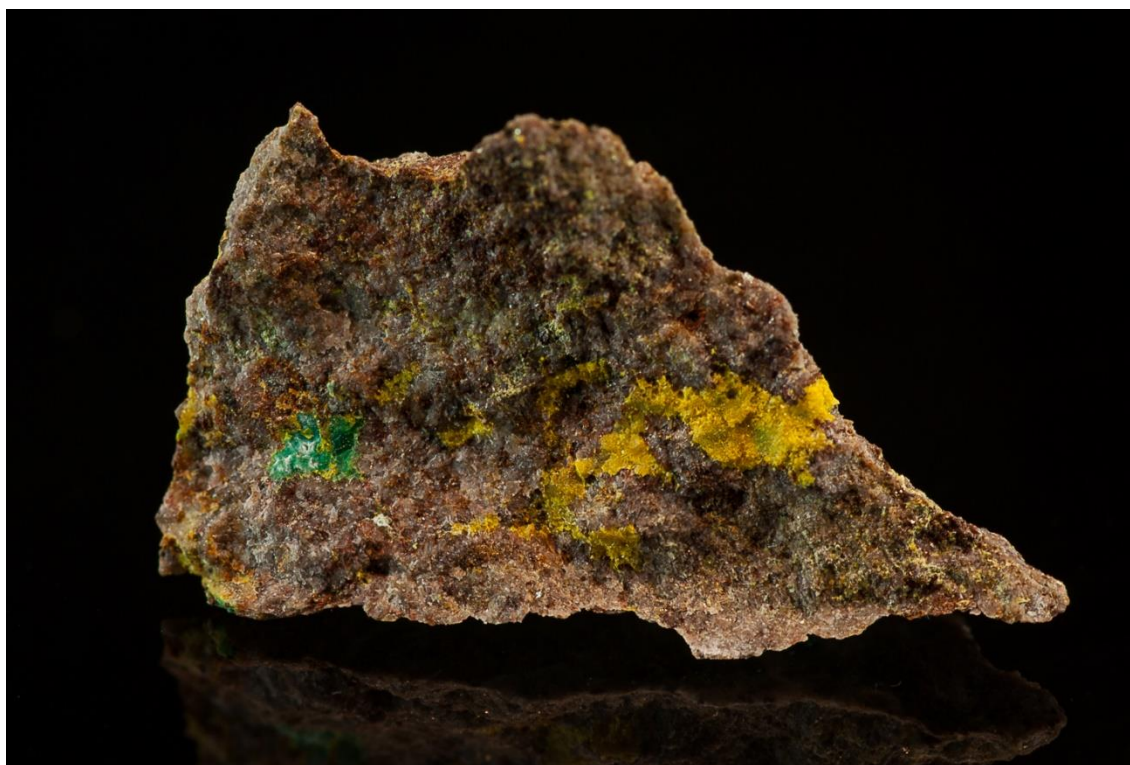
Minerální atlas-fosilní atlas [online]. Stefan Schorn a kolektiv, 1999 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.mineralienatlas.de/>

Xray.cz [online]. 2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <http://www.xray.cz/kfes/vyuka/lp/pd>

5 Přílohy



Obrázek 1: Uranofán, Zálesí, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 2: Uranofán-beta, Zálesí, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 3: Marécottit na sádrovci, Jáchymov, štola Vladimír, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 4: Torbernit, Rýžoviště, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 5: Torbernit, Kasolo Mine, Kongo, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 6: Schröckingerit, Jáchymov, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 7: Cuprosklodowskit, Musonoi Mine, Zair, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 8: Kasolit, Příbram, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 9: Tujamunit, Prachovice, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 10: Boltwoodit, Rössing uraniumm, Namibie, foto: Ondřej Cenek



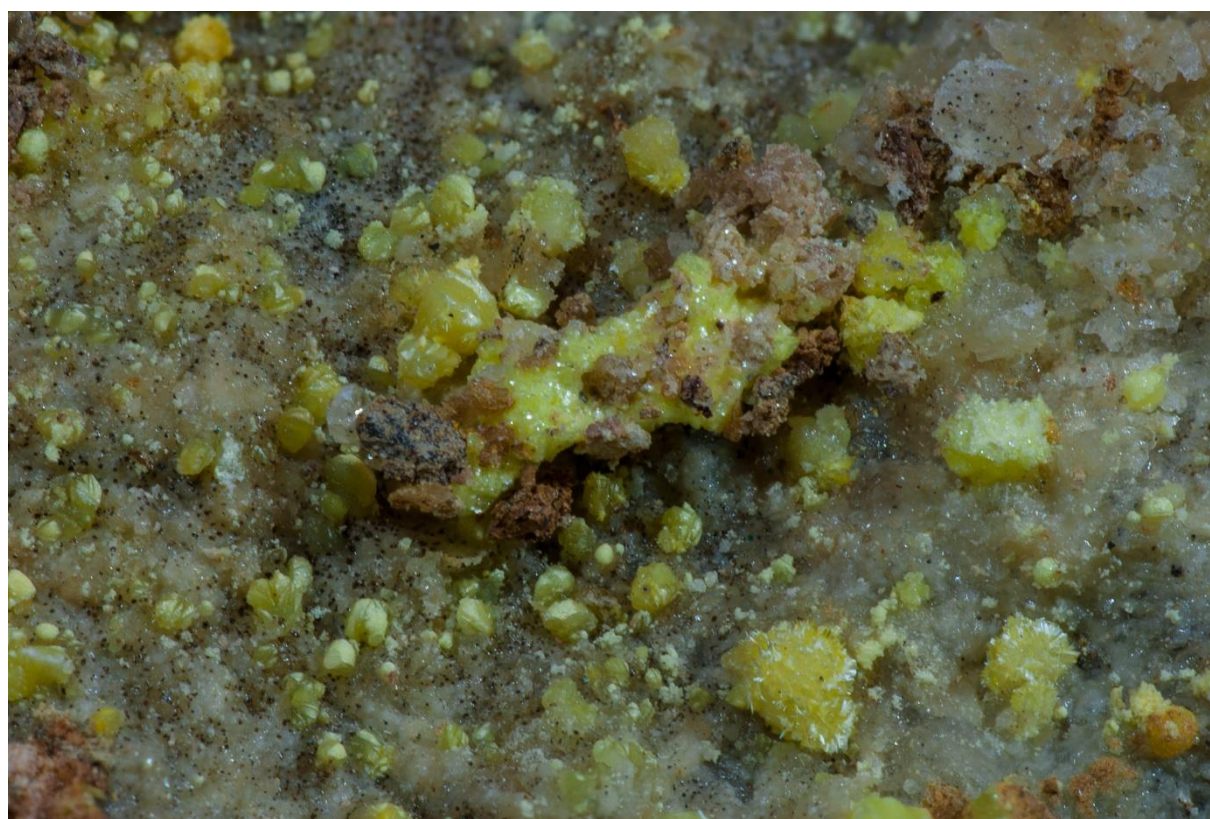
Obrázek 11: Zeunerit, Cínovec, ČR, foto: Ondřej Cenek



Obrázek 12: Autunit, Assuncao, Portugalsko, šířka záběru 3 mm, foto Ondřej Cenek



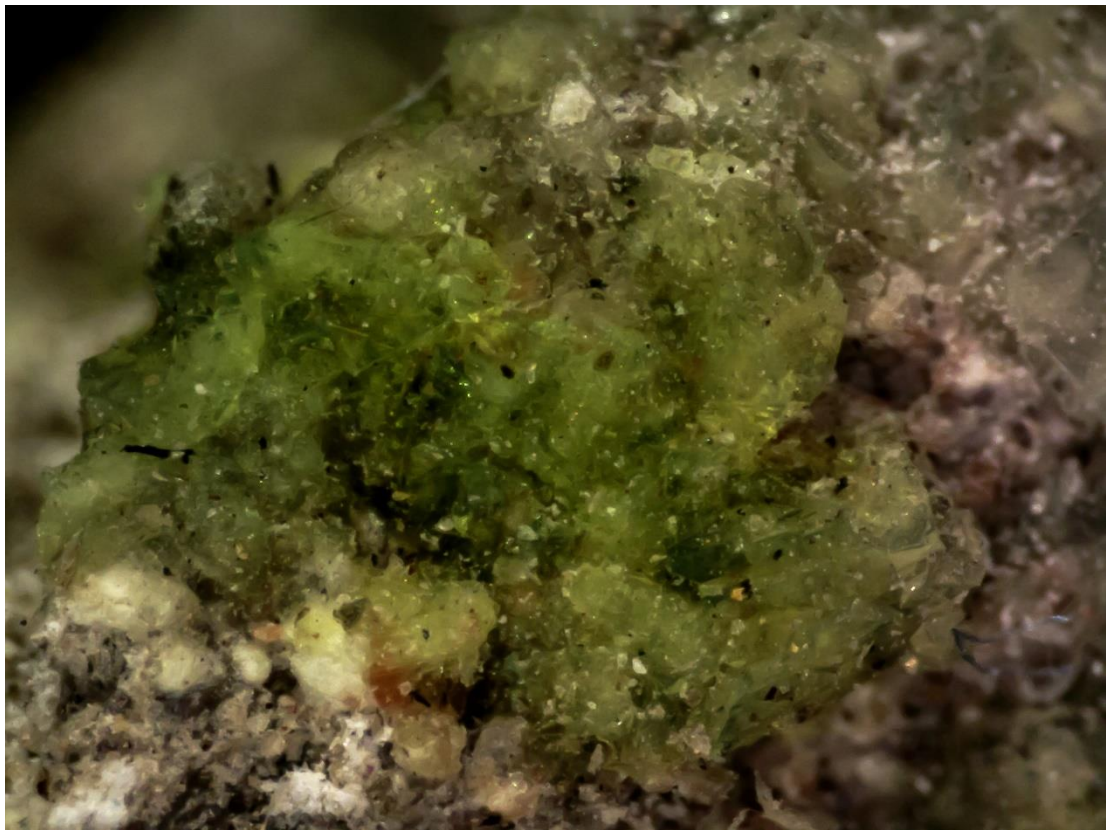
Obrázek 13: Torbernit, Medvědín, ČR, šířka záběru 3 mm, foto: Ondřej Cenek



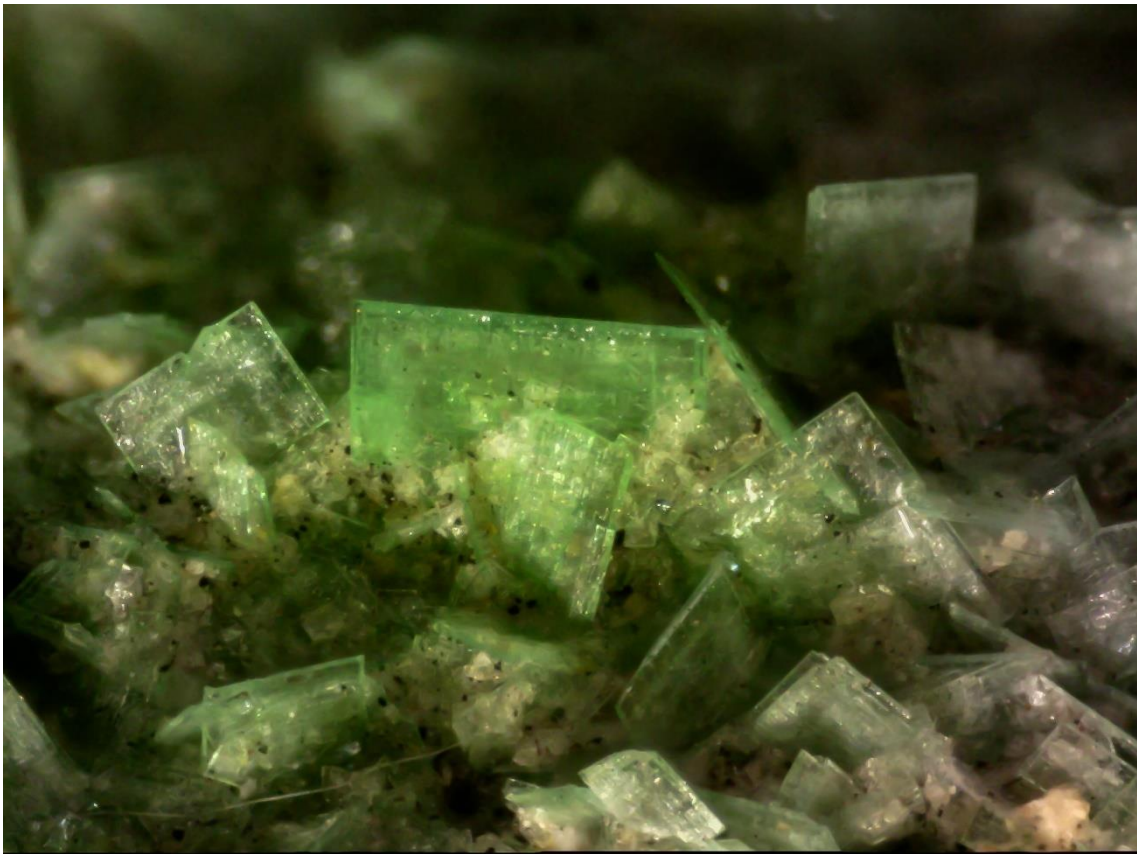
Obrázek 14: Zellerit, schröckingerit, Jáchymov, ČR, šířka záběru 1 cm, foto: Ondřej Cenek



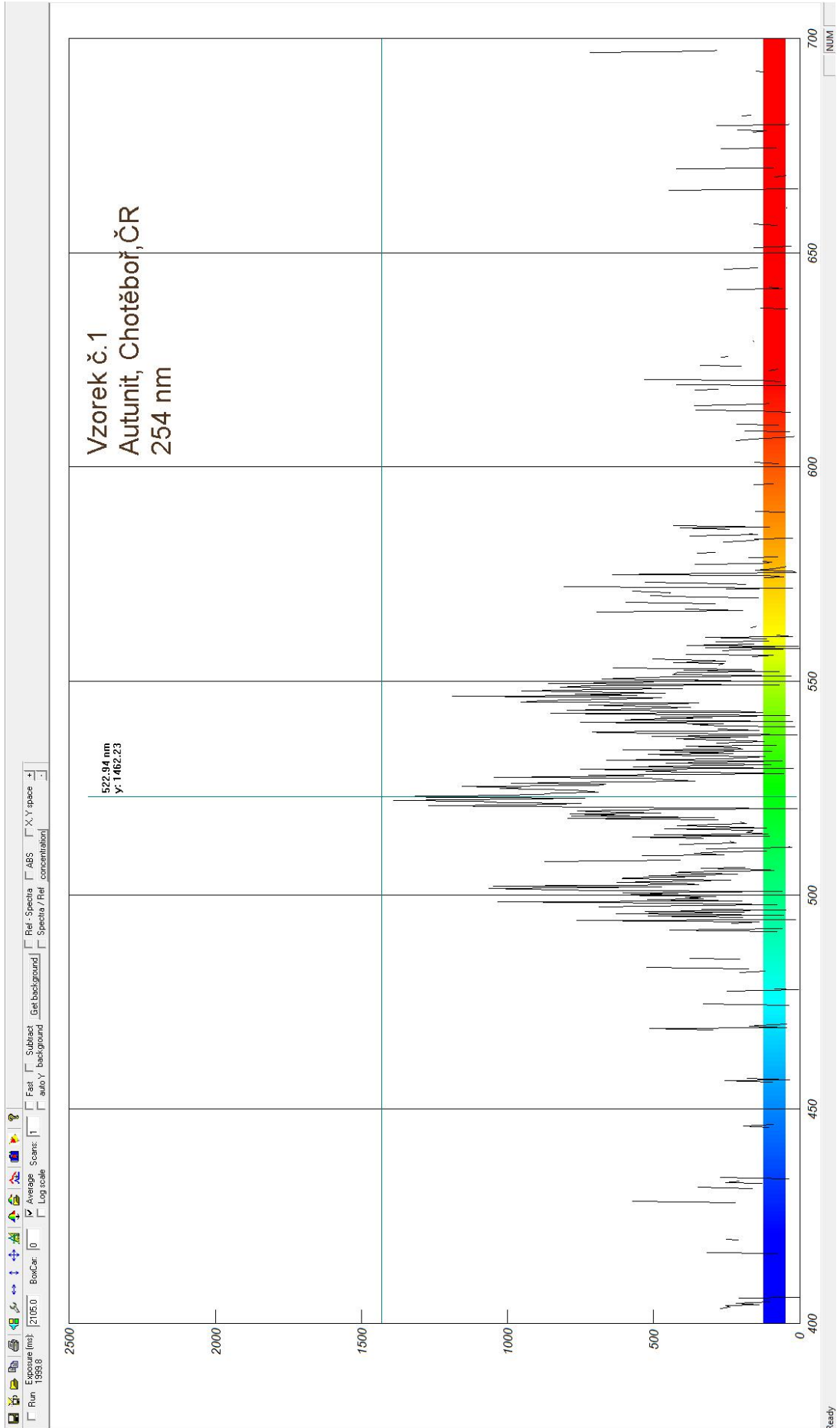
Obrázek 15: *Schröckingerit*, Jáchymov, ČR, šířka záběru 6 mm, foto: Ondřej Cenek

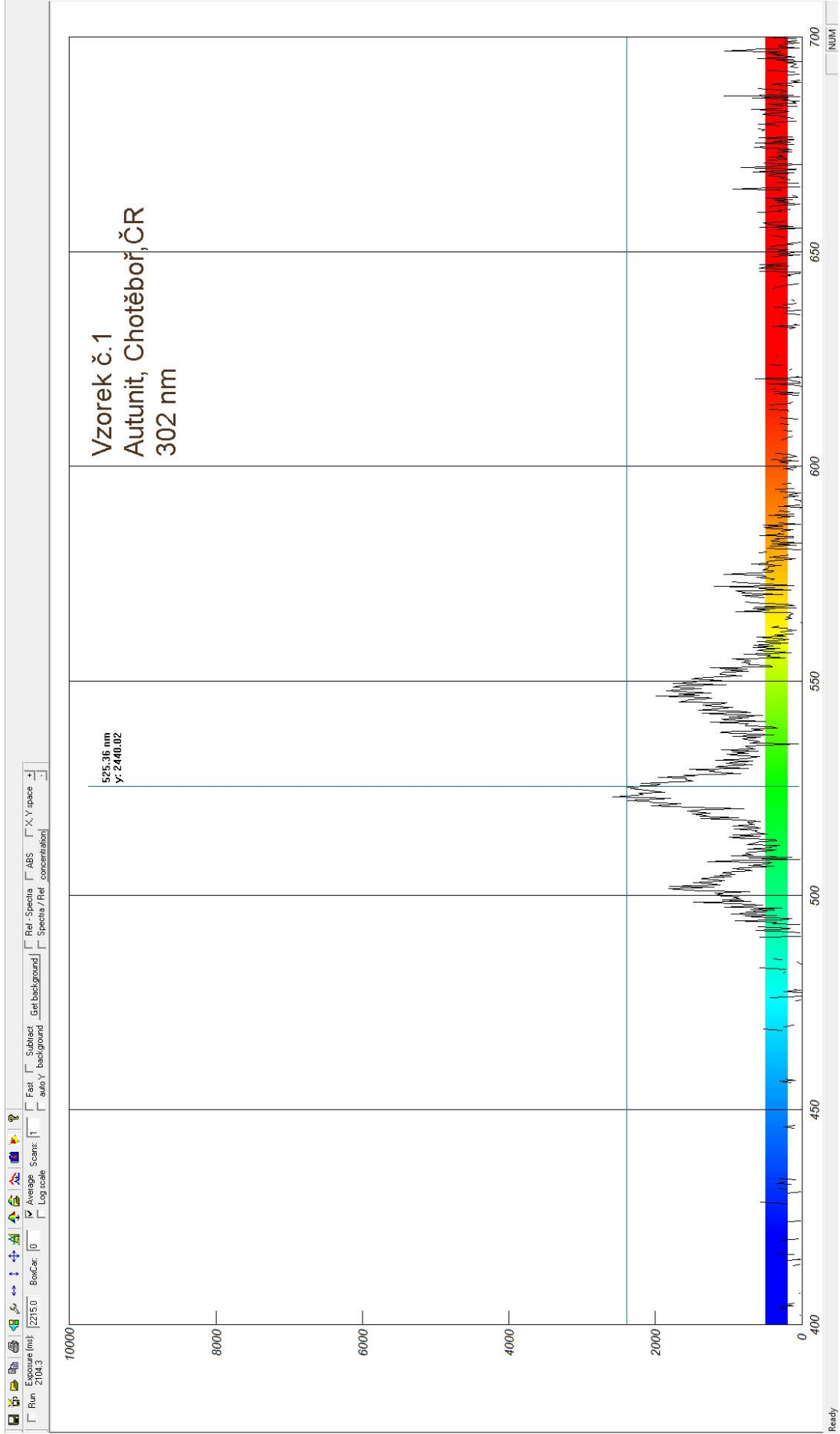


Obrázek 16: *Andersonit*, Bukov, ČR, šířka záběru 3 mm, foto: Ondřej Cenek

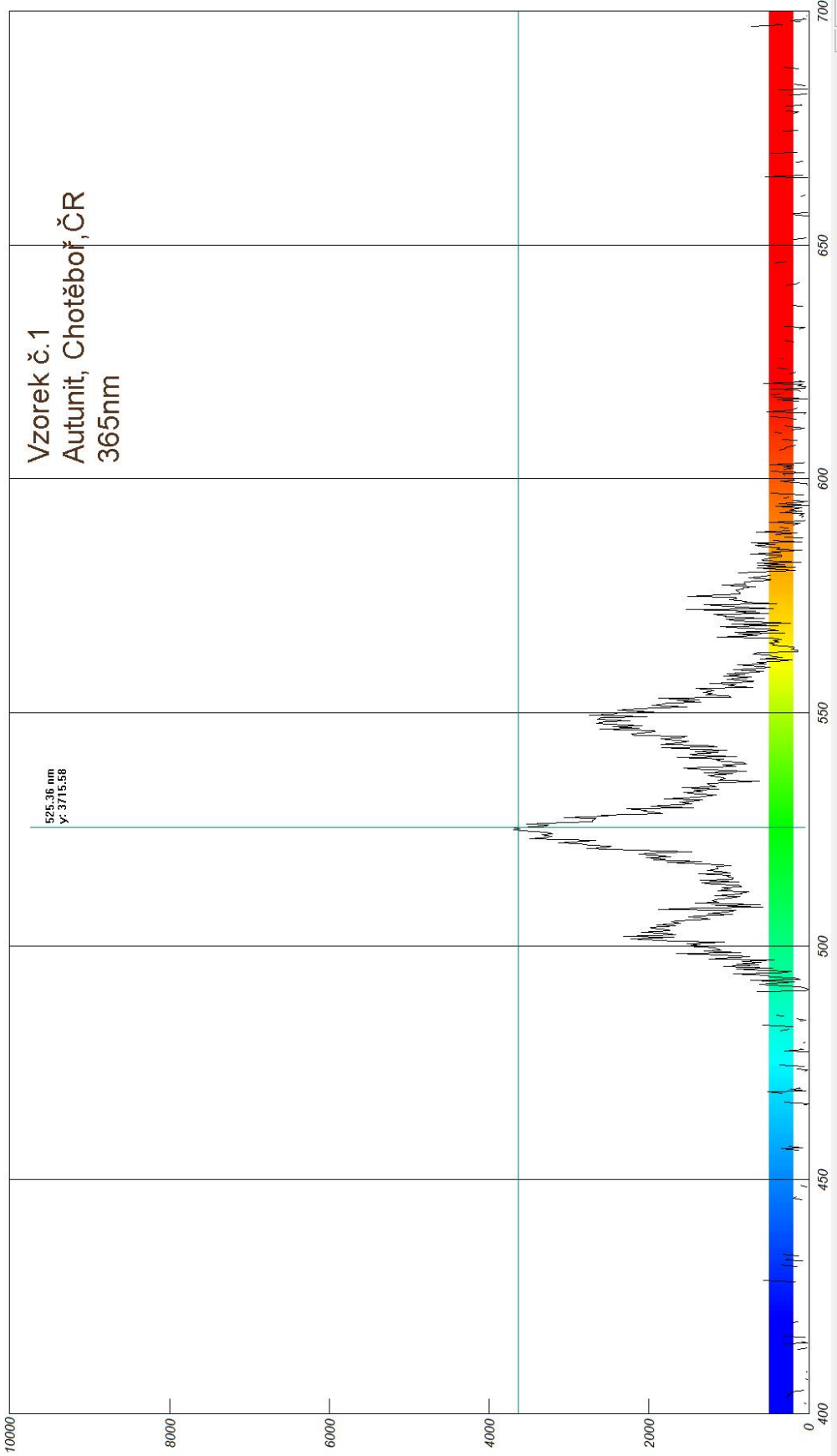


Obrázek 17: Zeunerit, Cínovec, ČR, šířka záběru 2 mm, foto: Ondřej Cenek

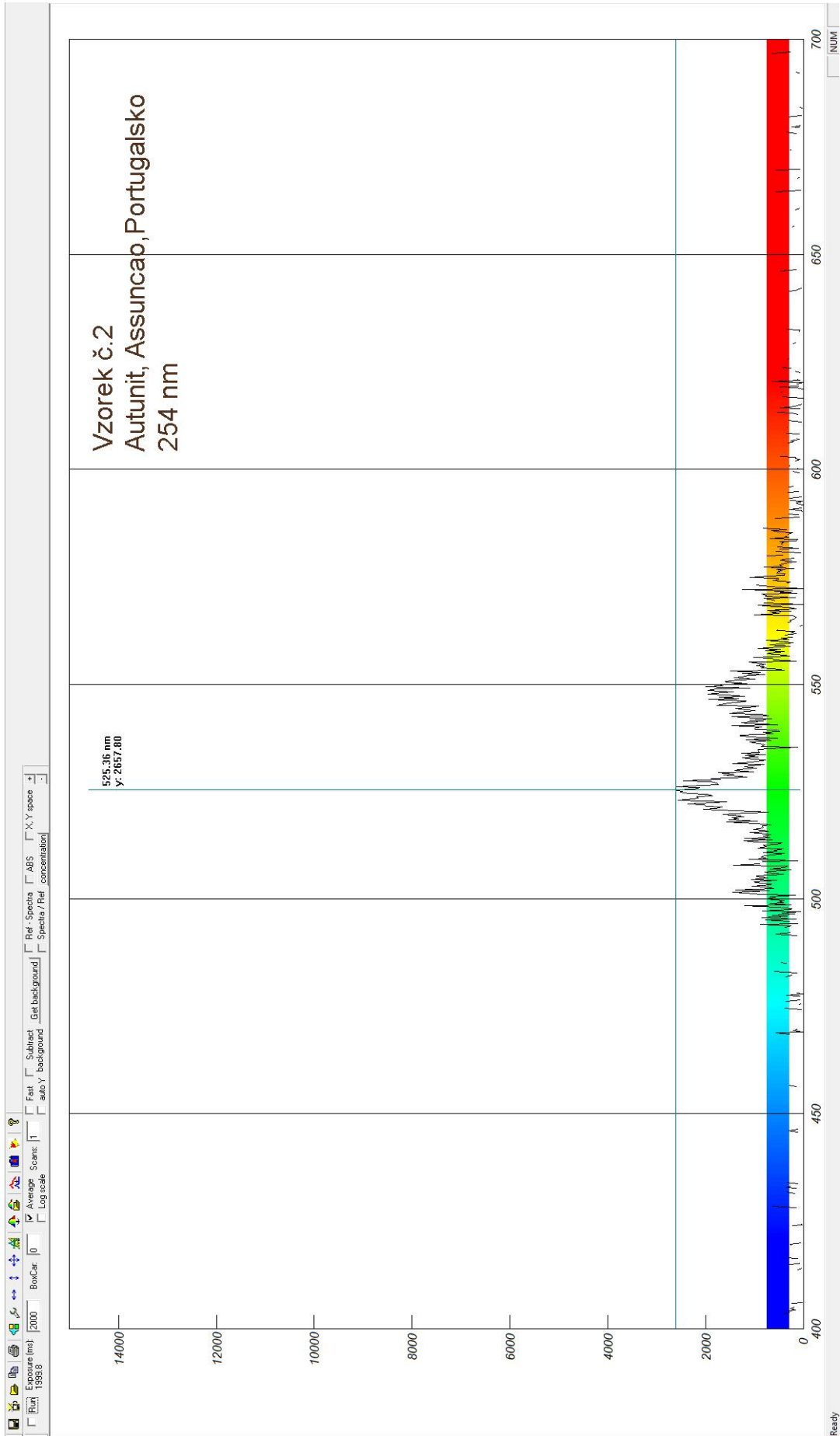


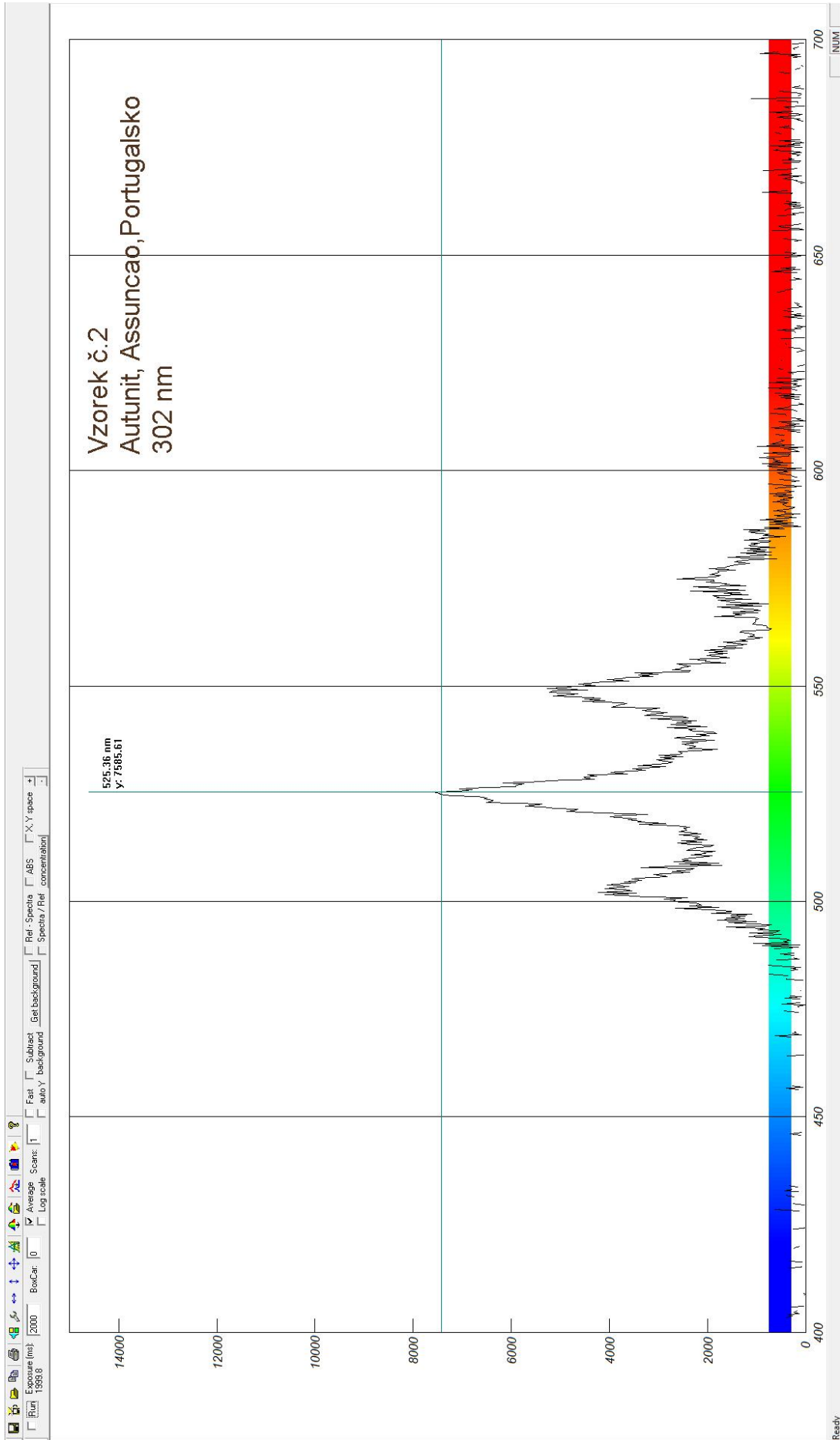


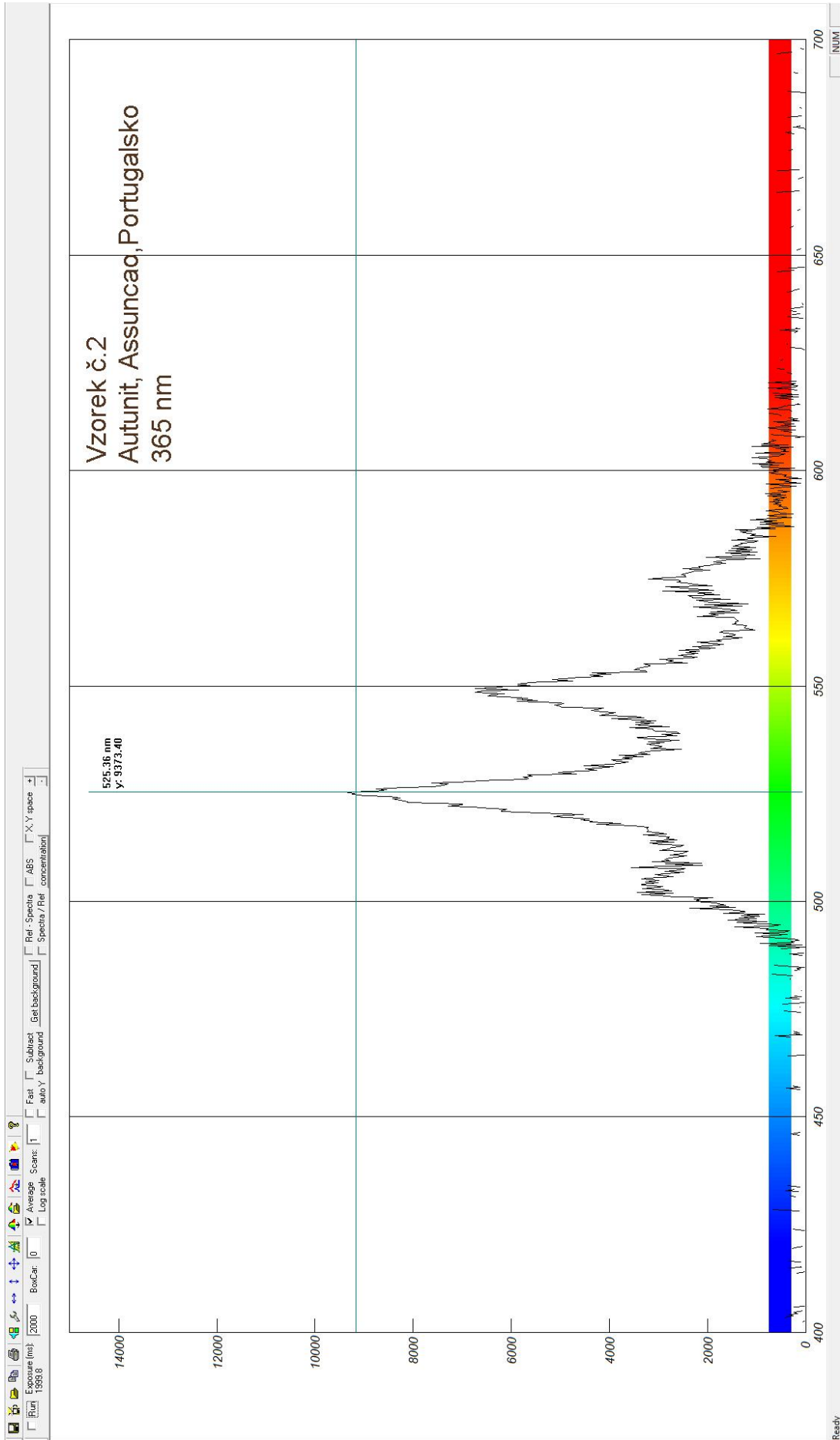
Run 2104.3 Exposure (ms): 2105.0 BoxCar: 0 Average Scans: 1 Log scale Fast auto Y background Subtract background Gel background Ref. Spectra ABS X, Y space Spectra / Ref concentration

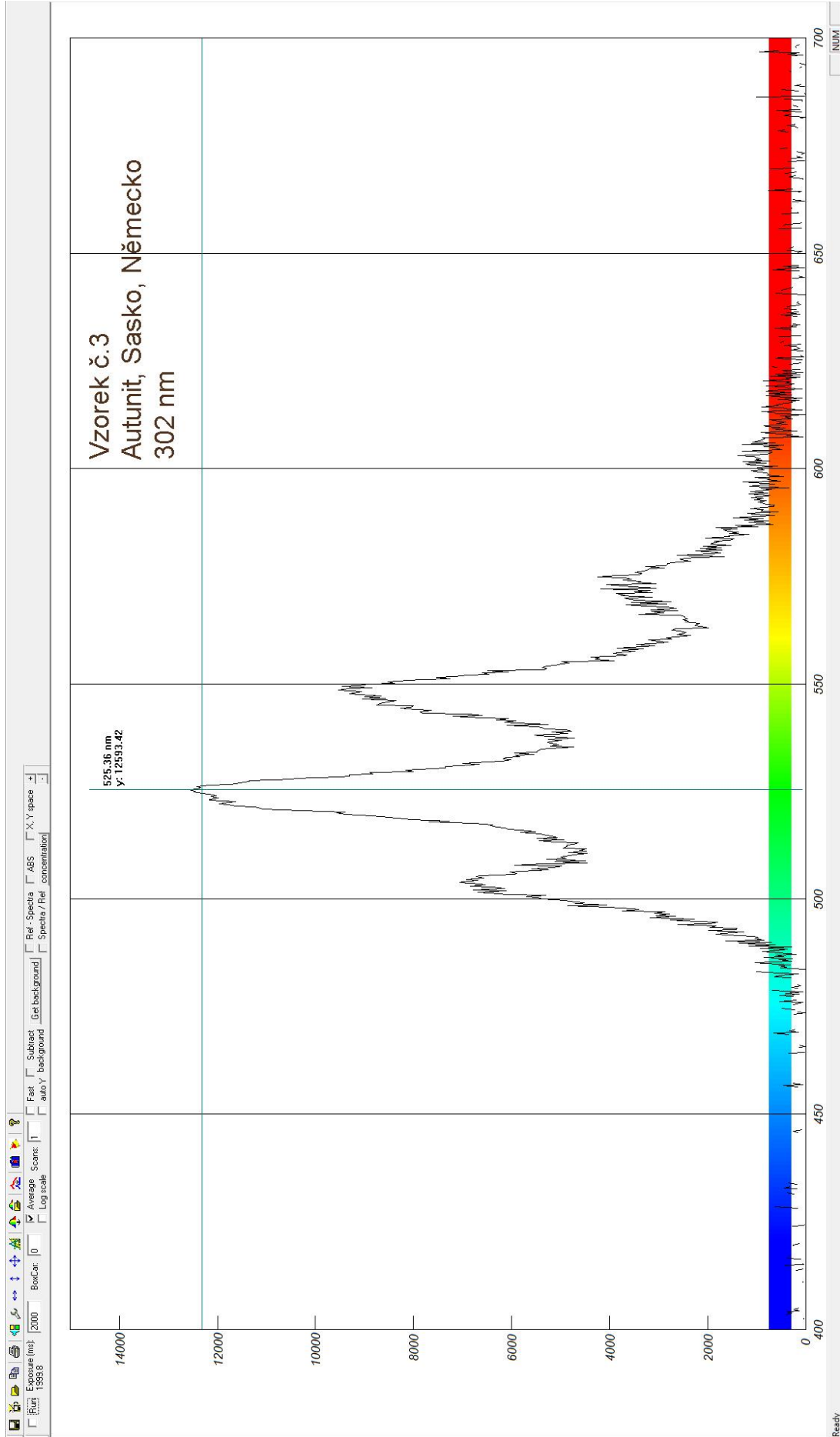


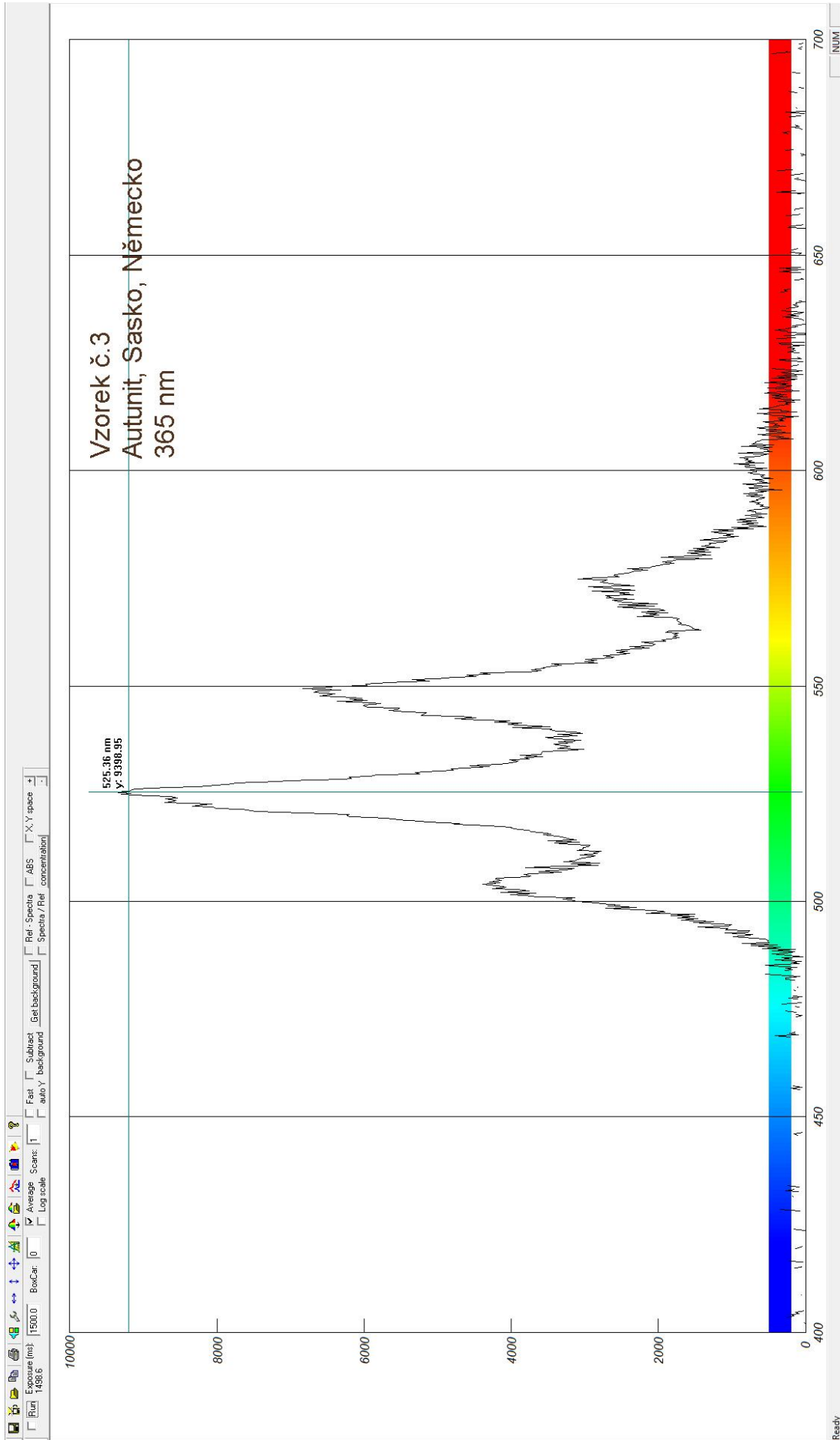
Ready

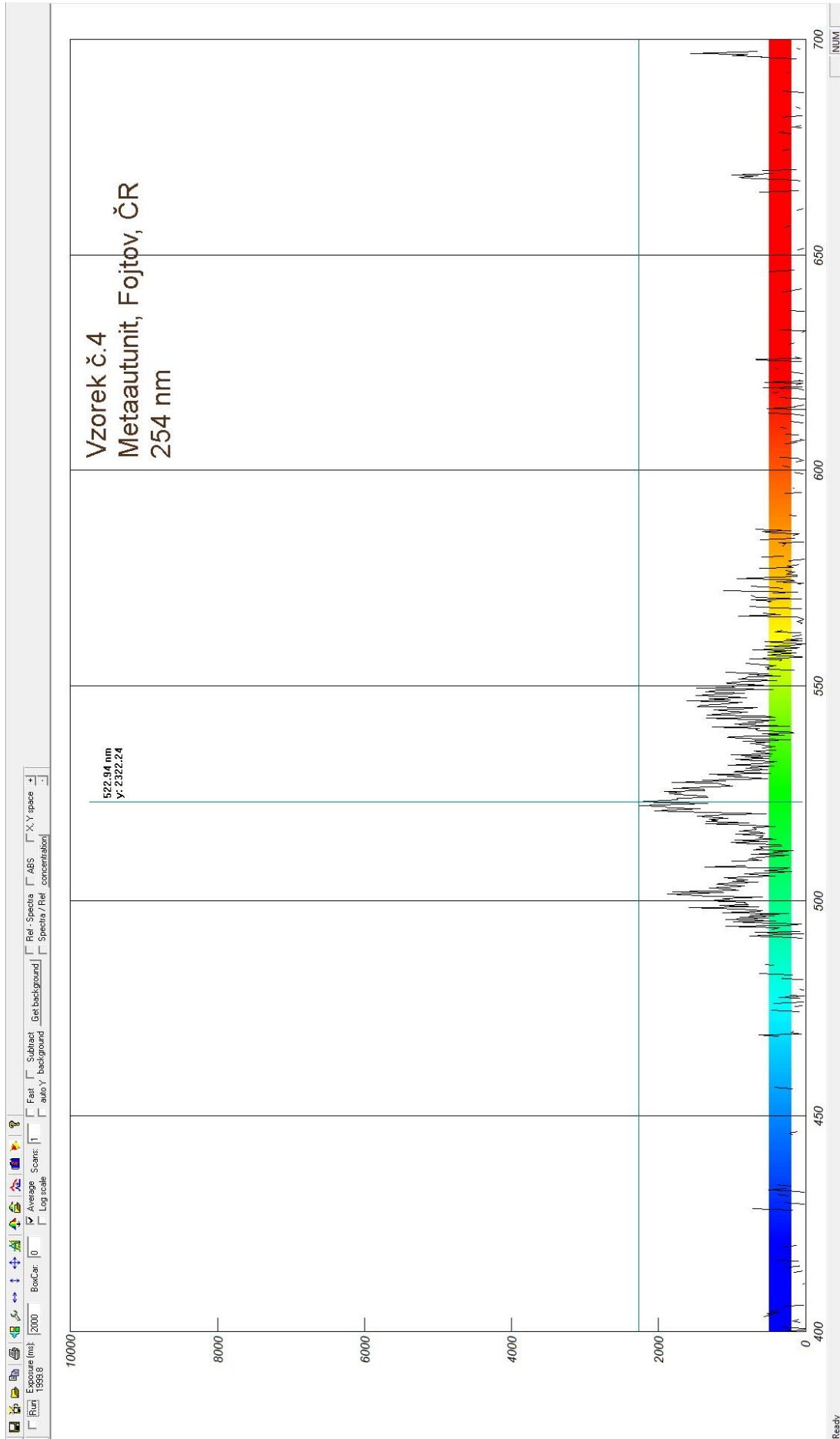


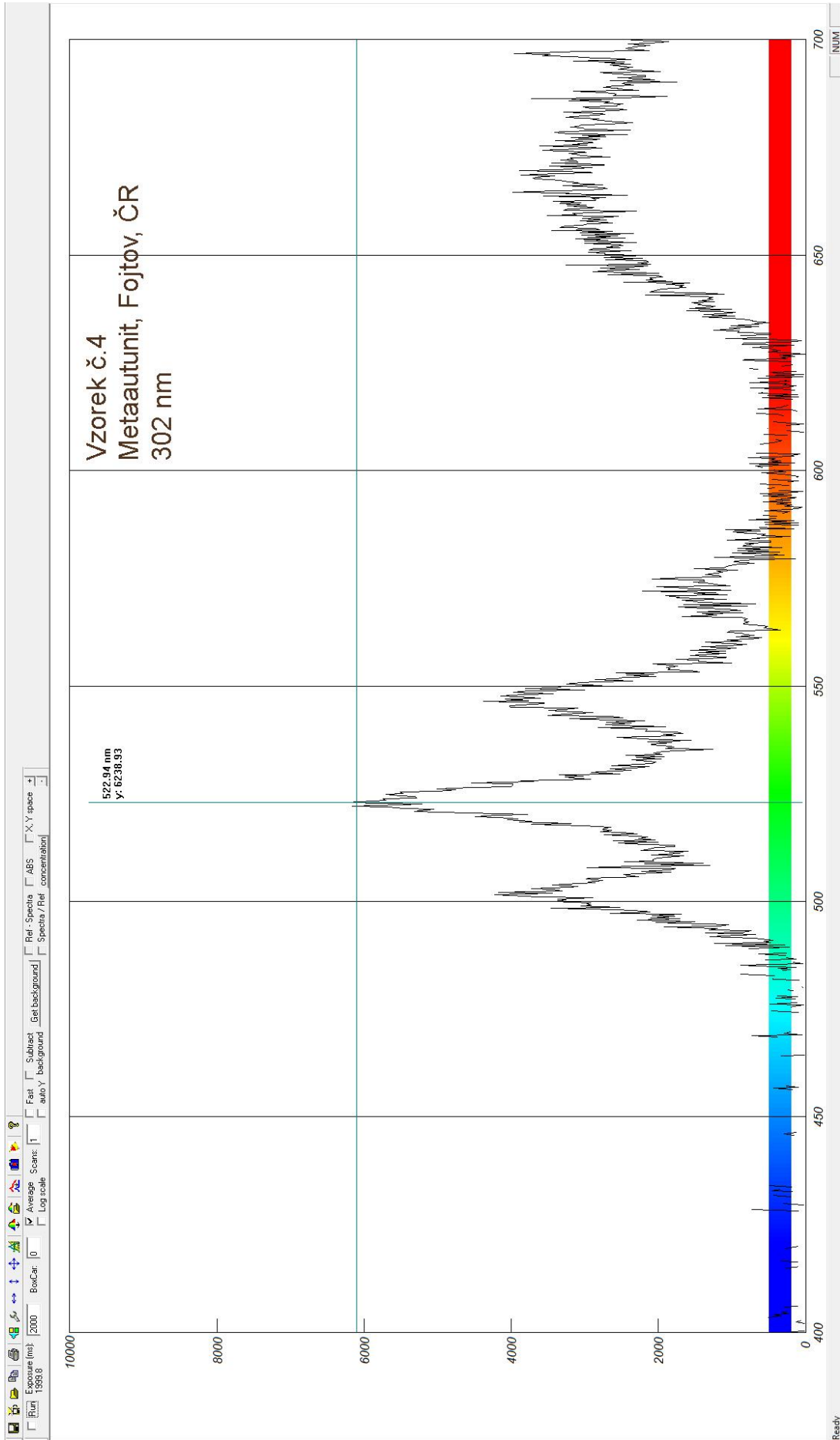


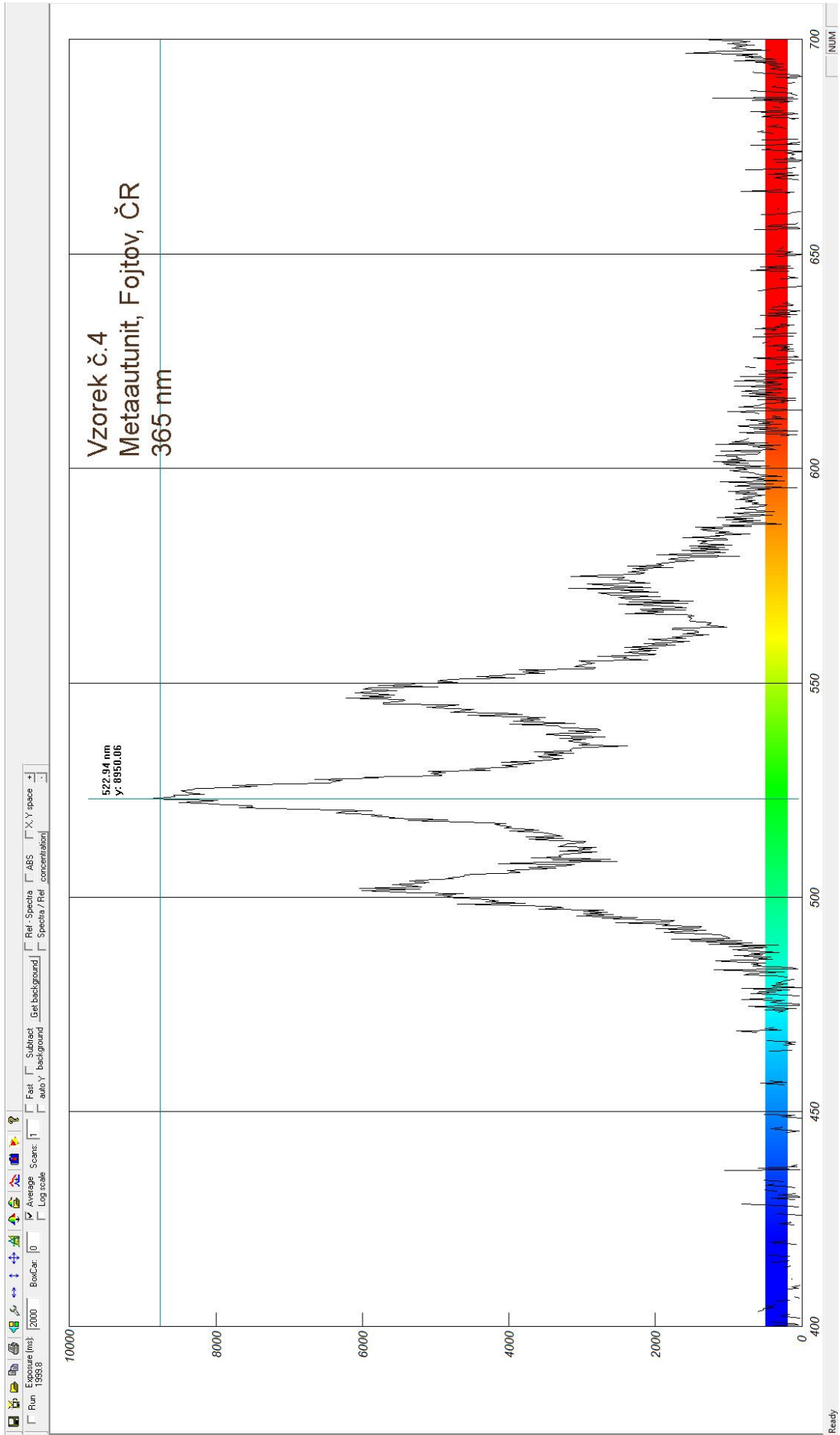


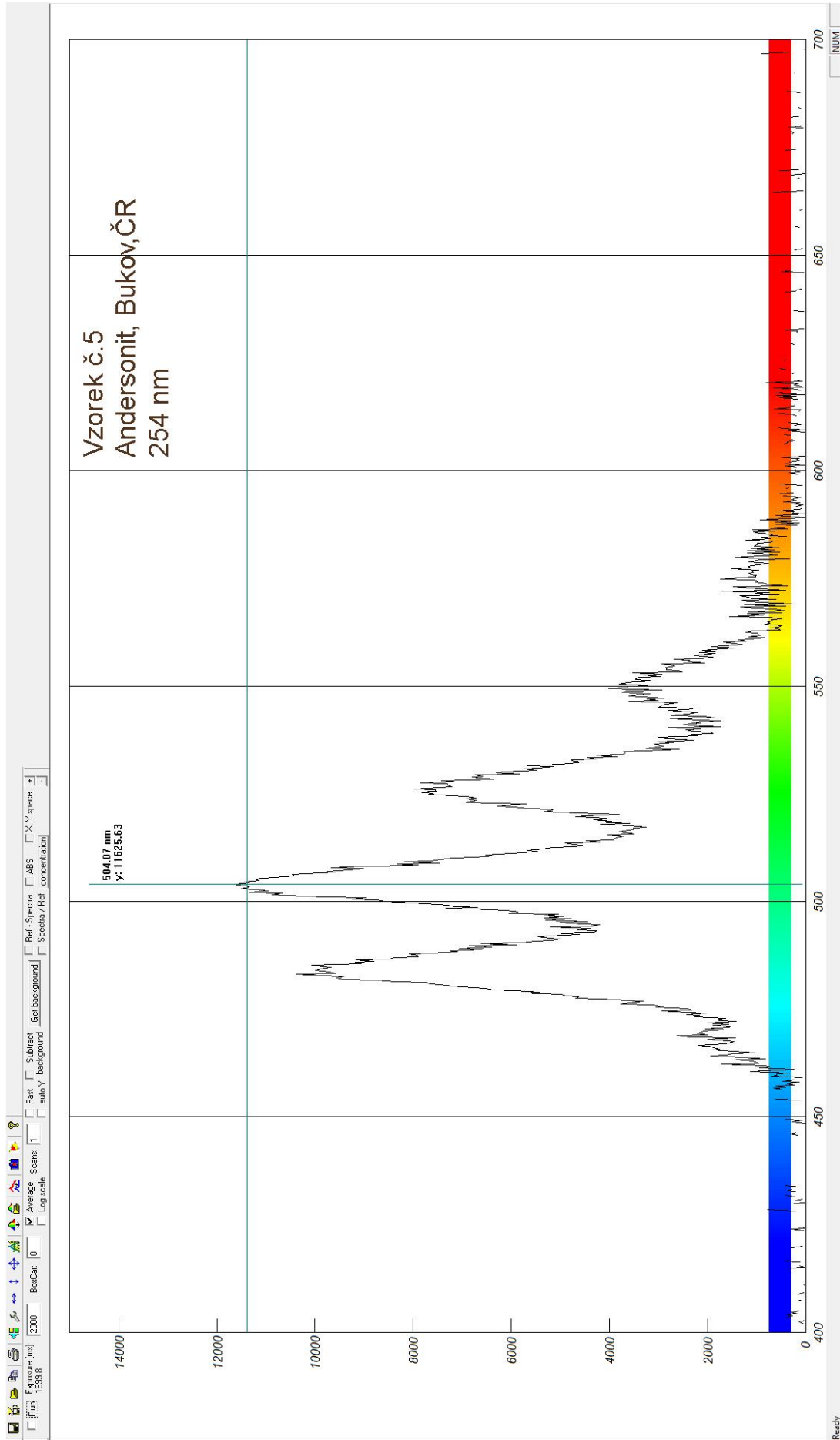


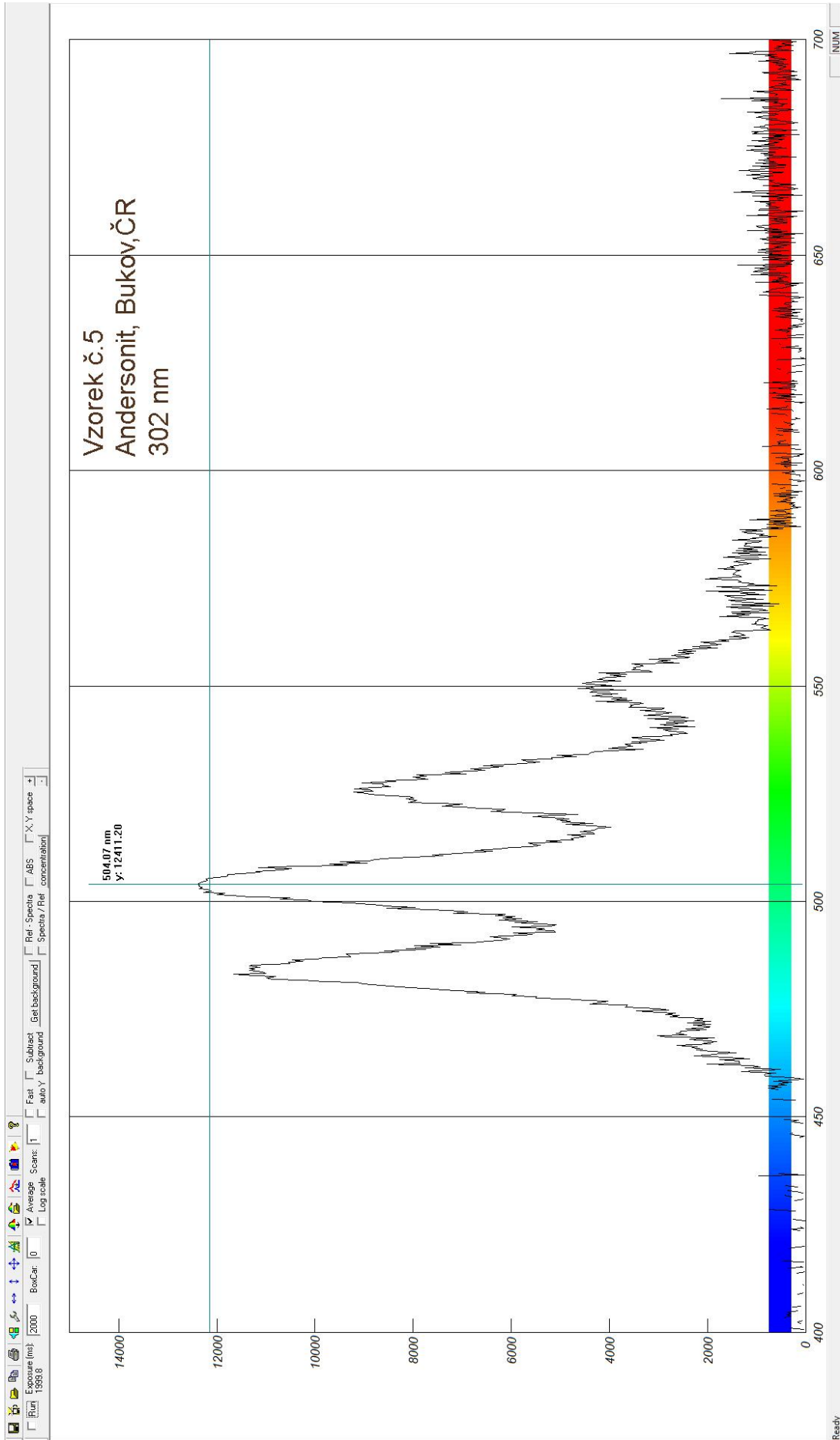




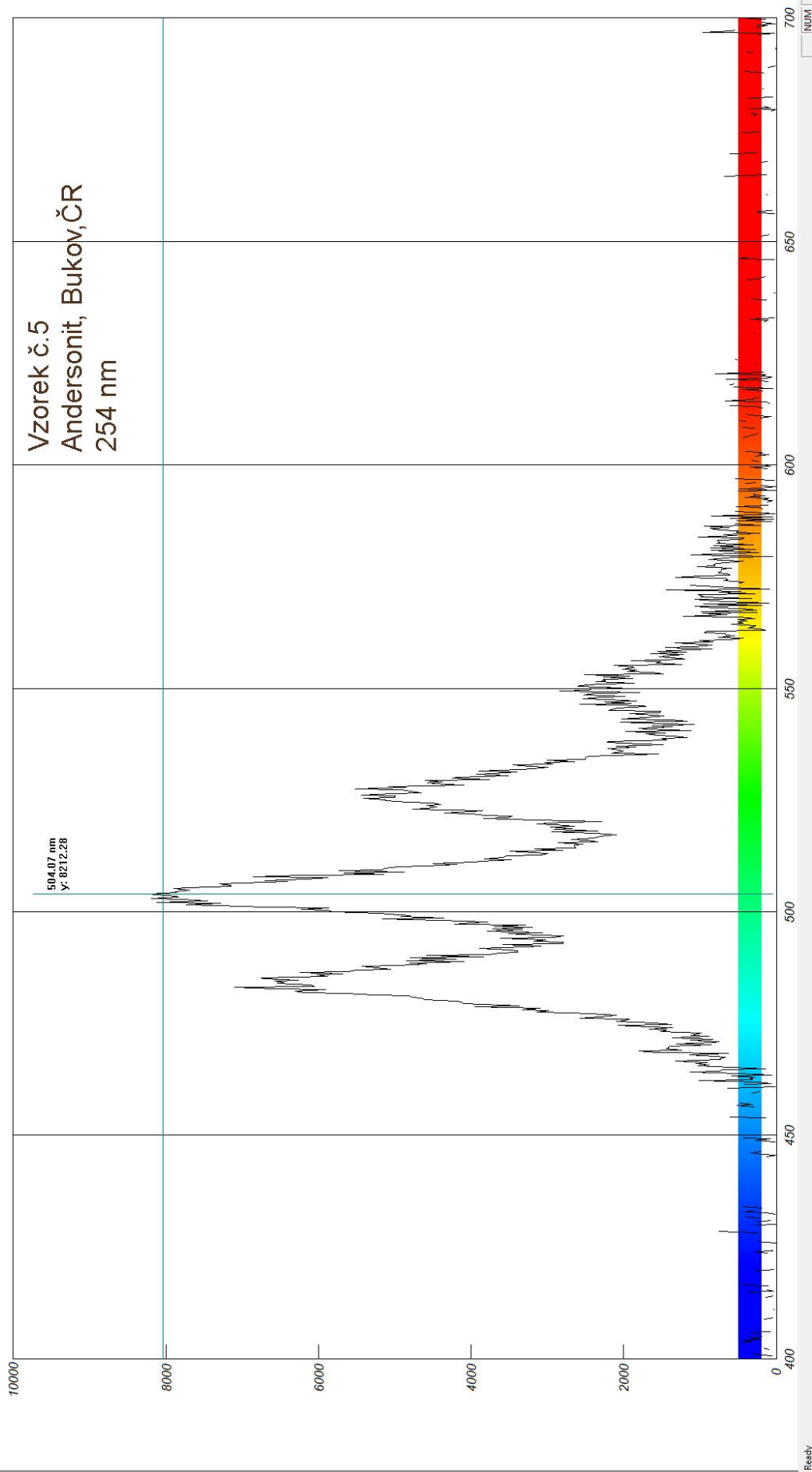




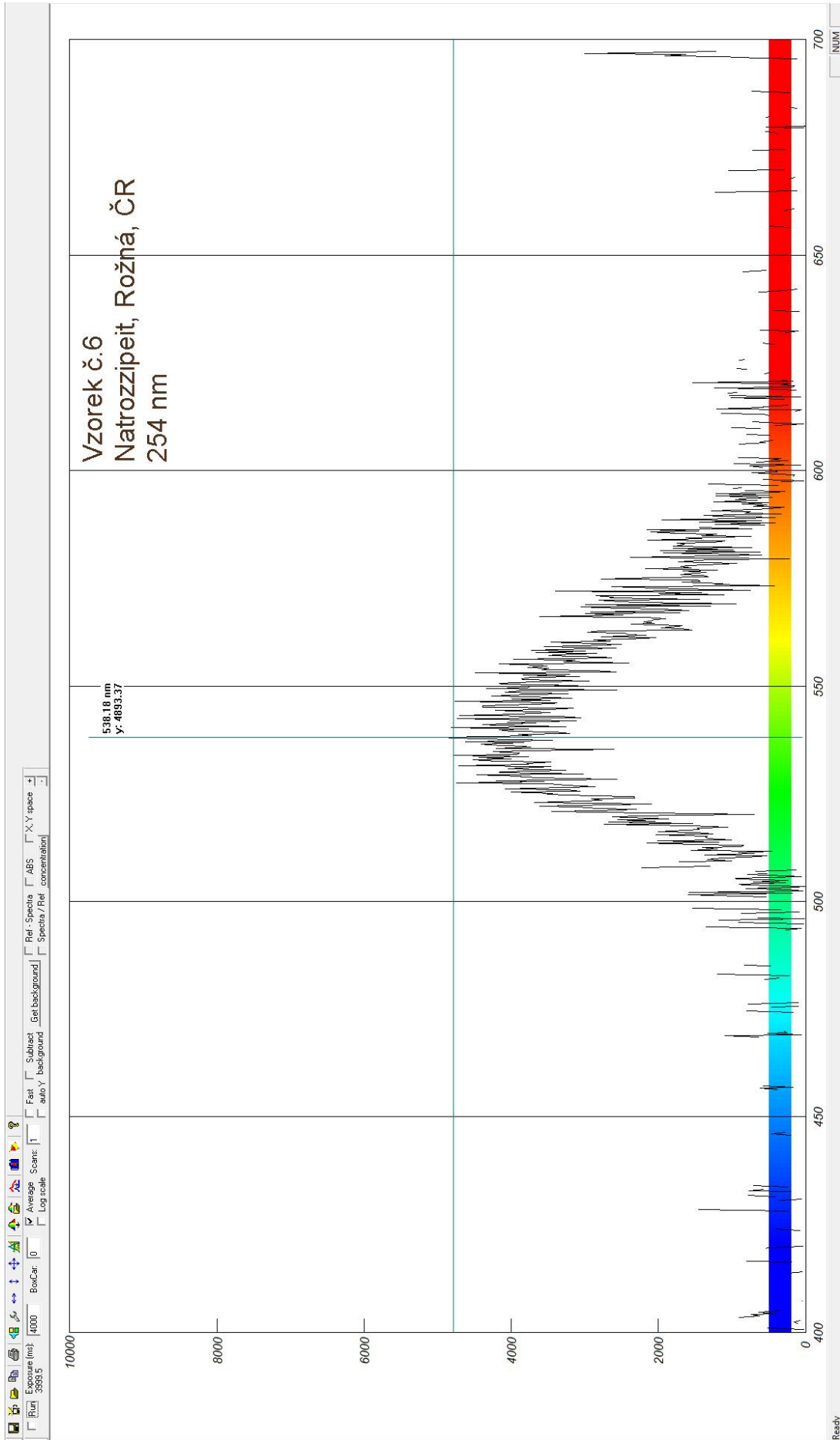


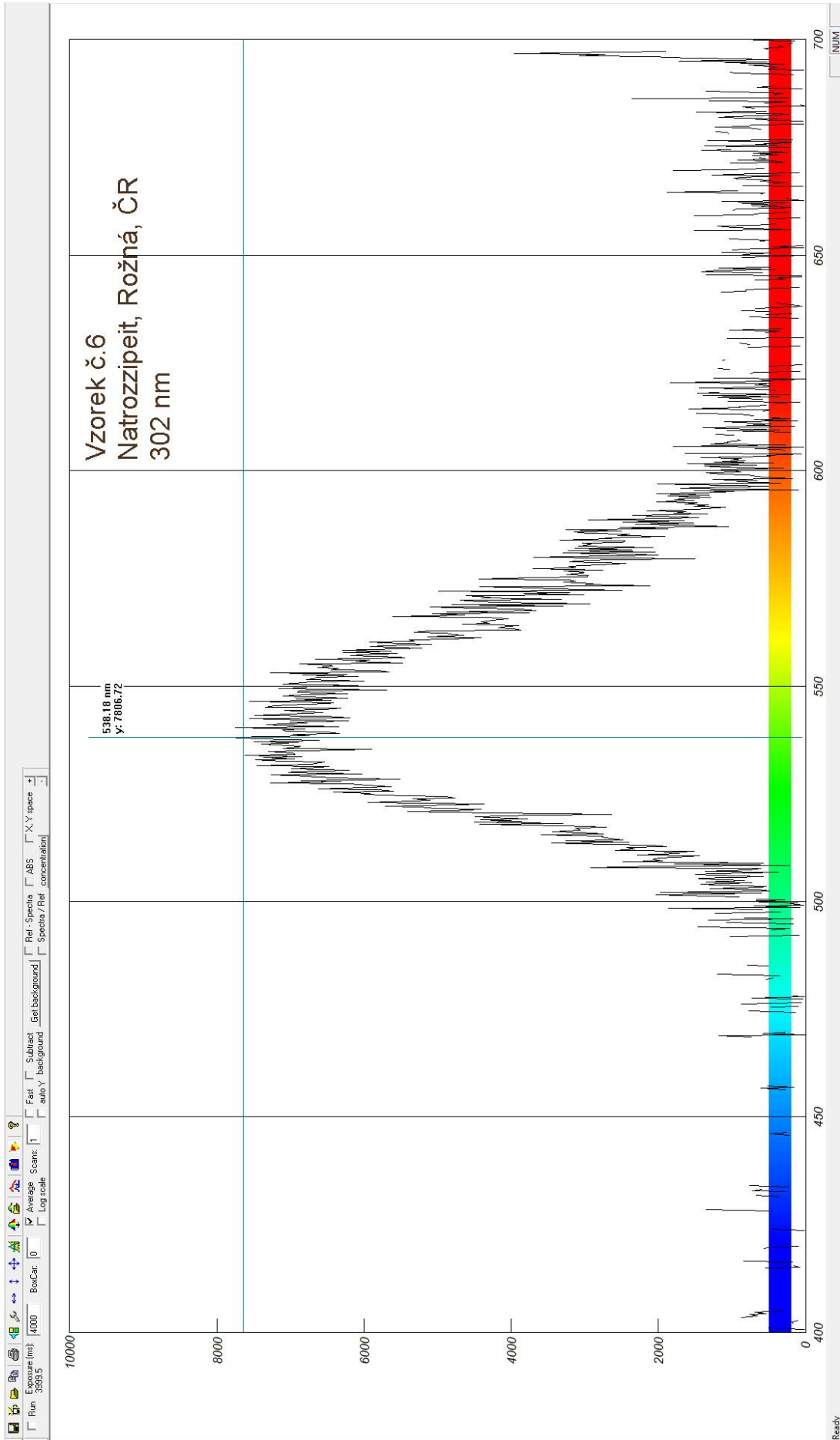


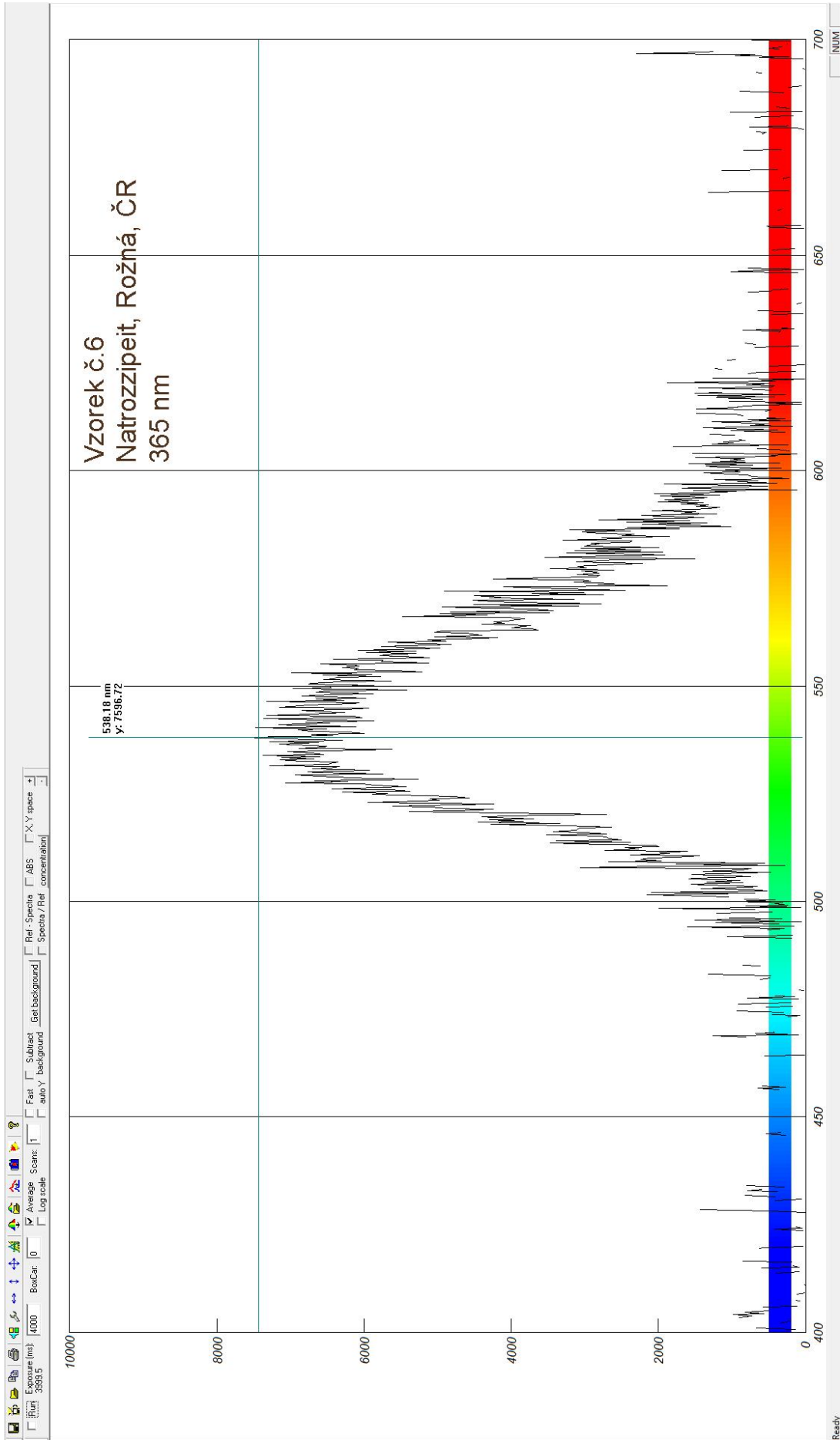
Exposure (ms): 2000
BoxCar: 0
Average: Average
 Log scale
Fast Subtract Get background Ref. Spectra ABS X, Y space
auto y background Spectra / Ref concentration



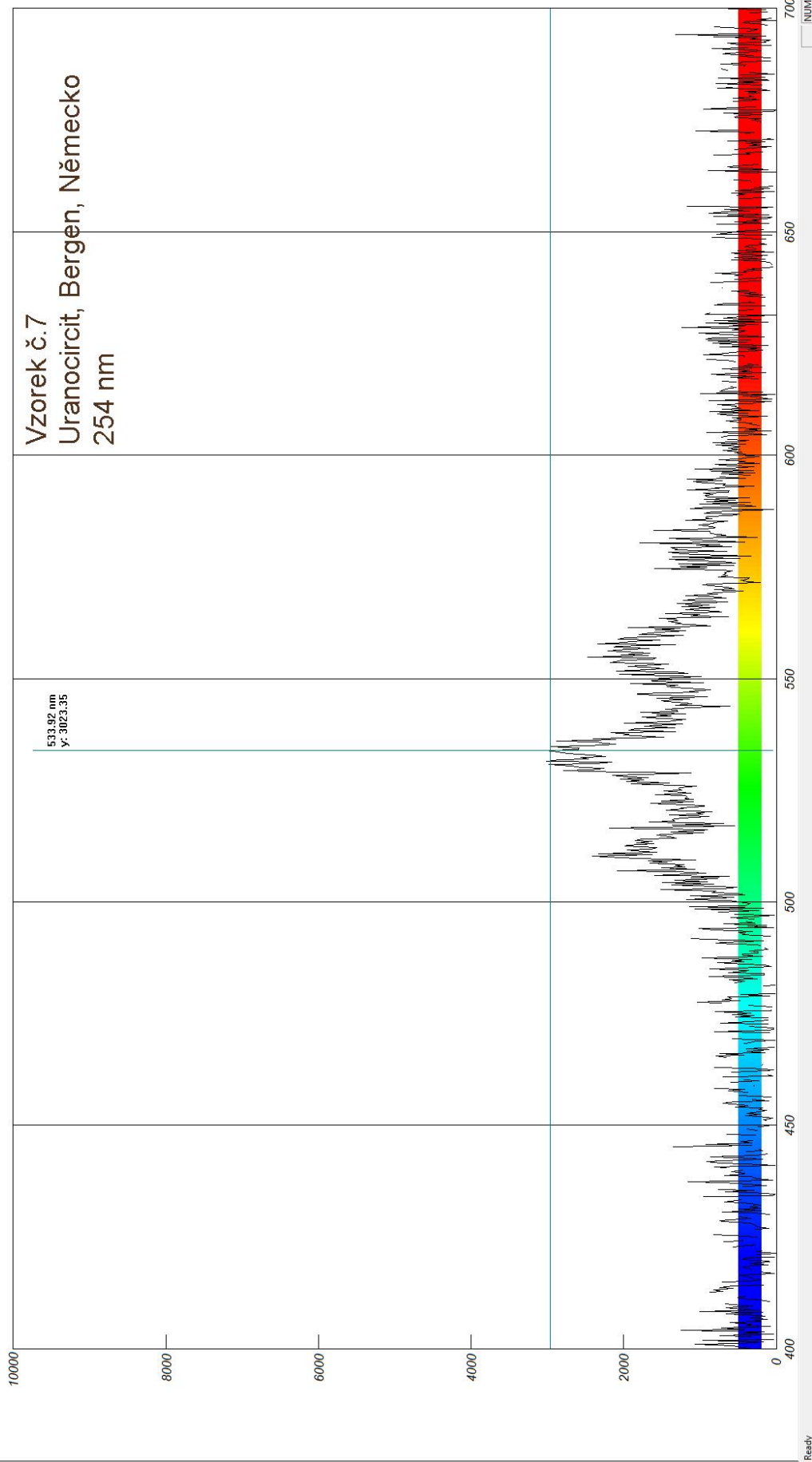
Ready



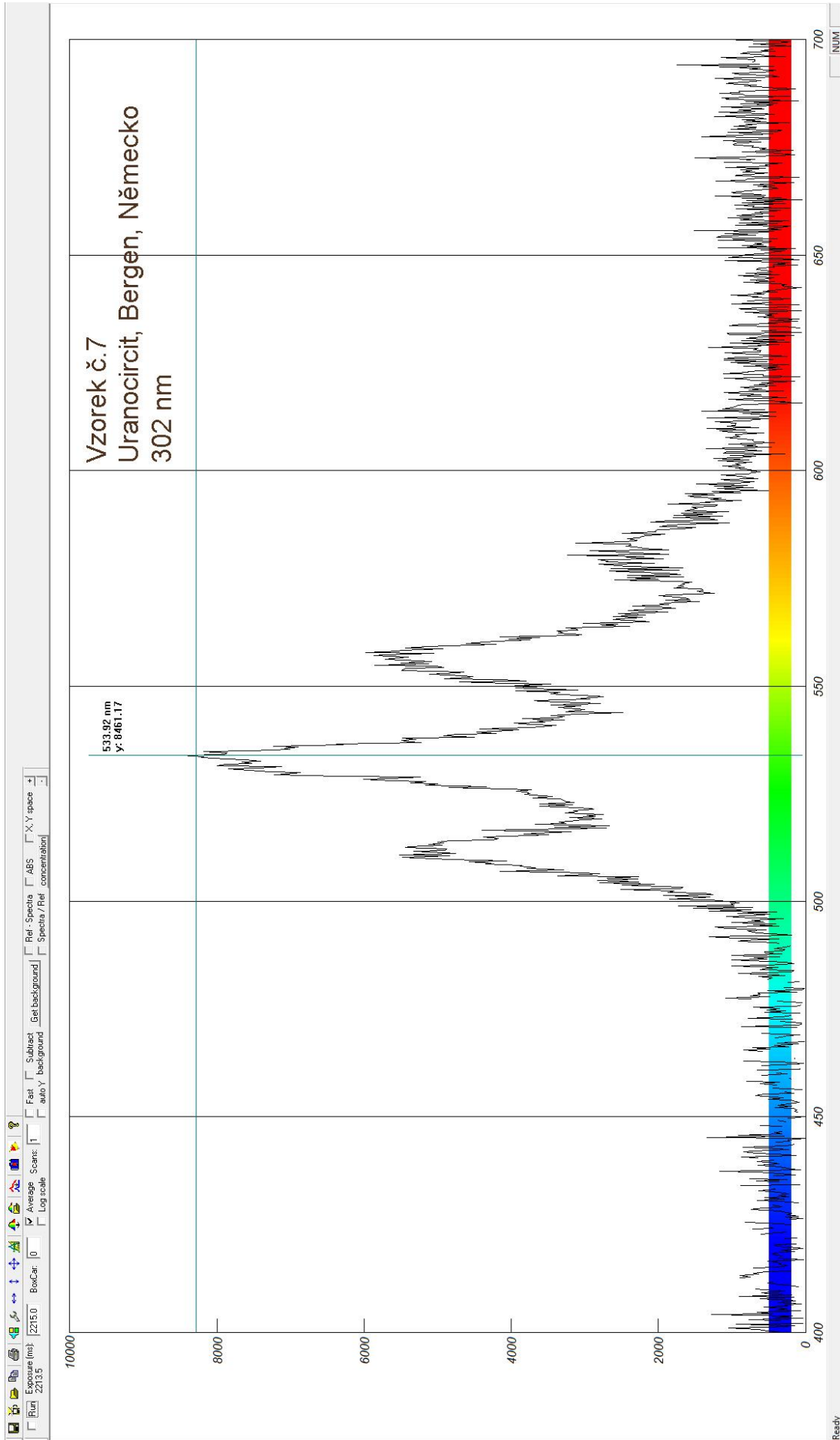


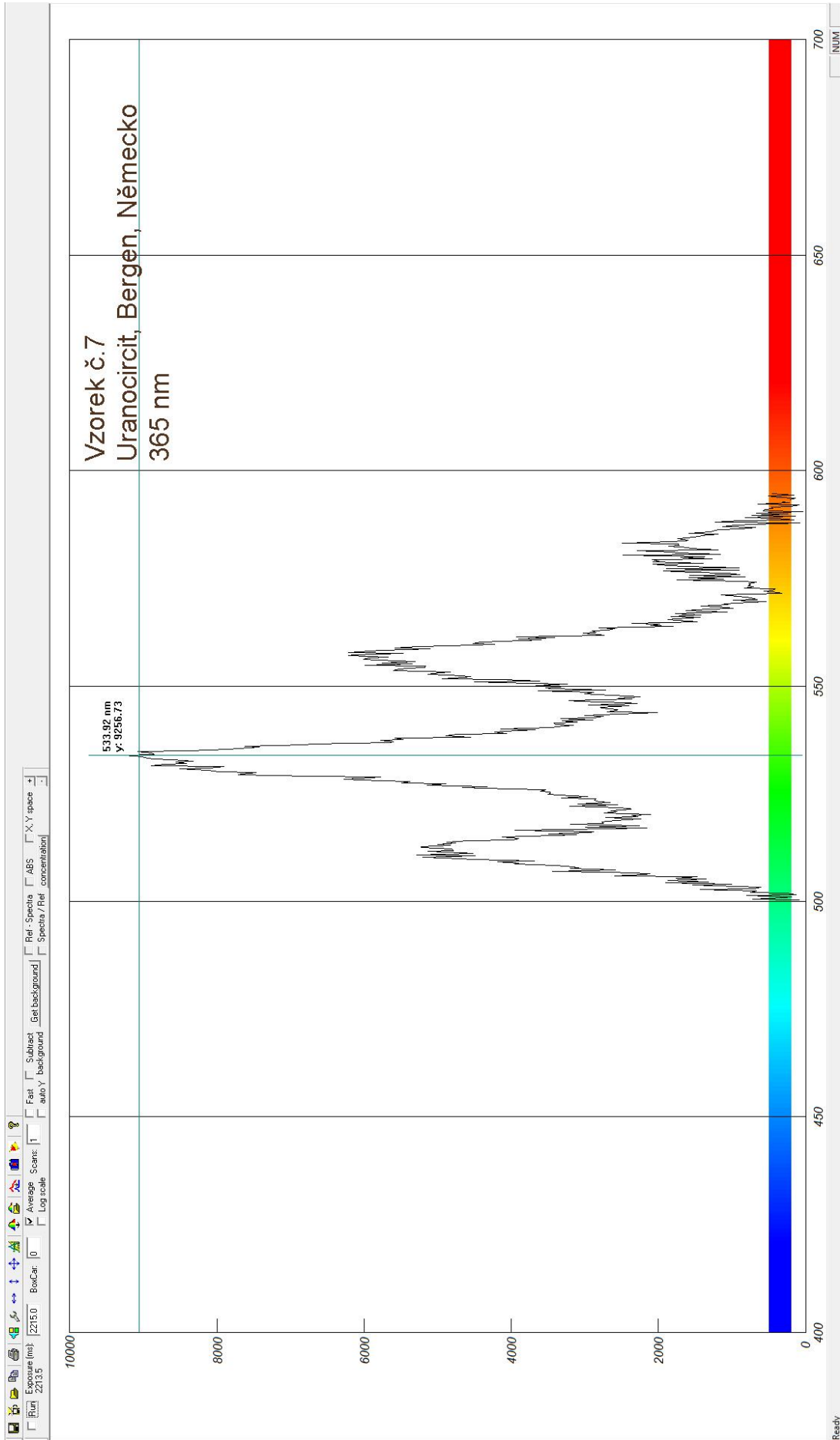


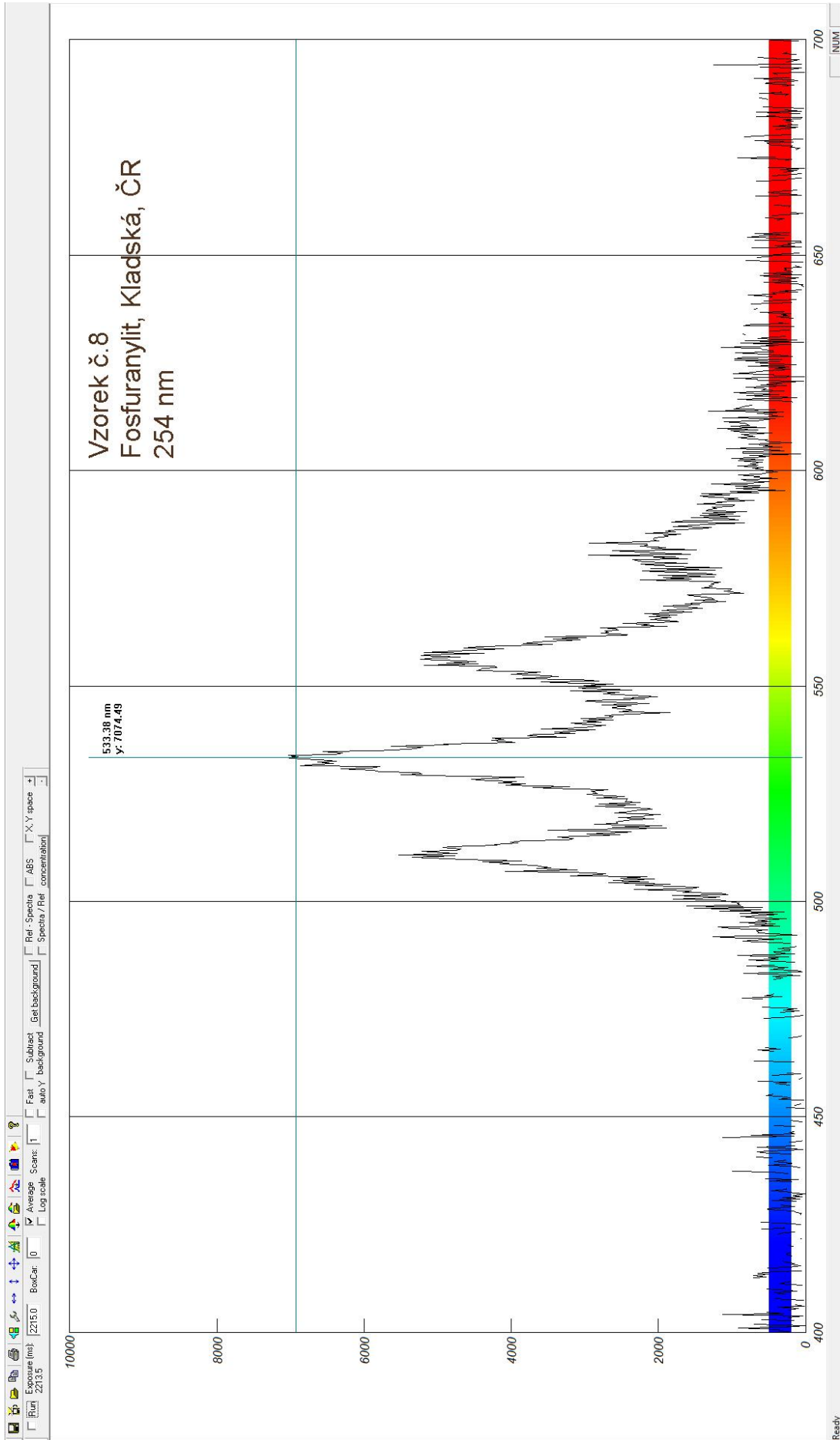
Exposure (ms): 2215.0
BoxCar: 0
Average:
Log scale:
Fast: Subtract: Get background: Ref.: Spectra ABS X, Y space:
auto y background: Spectra / Ref.: concentration:

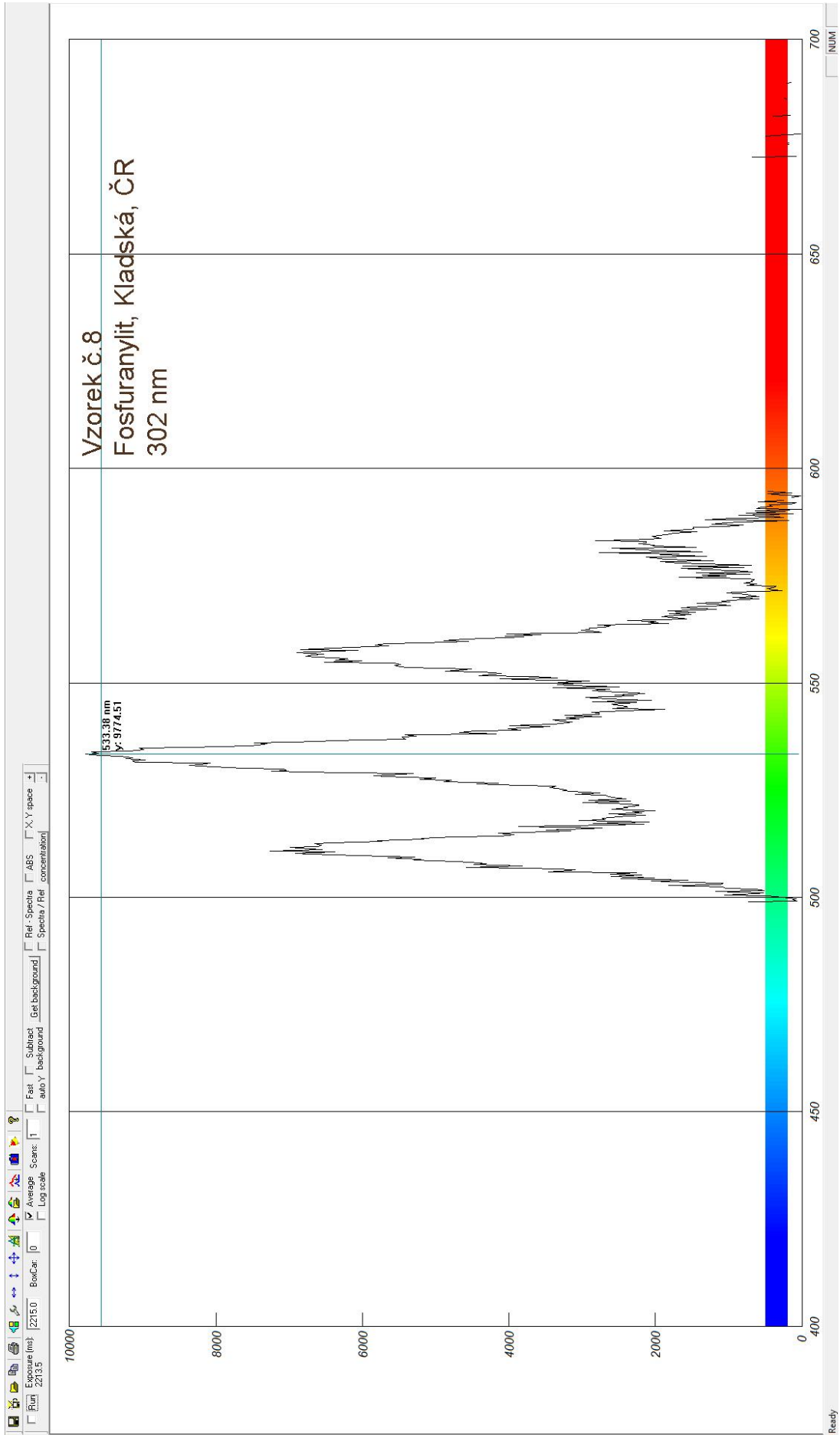


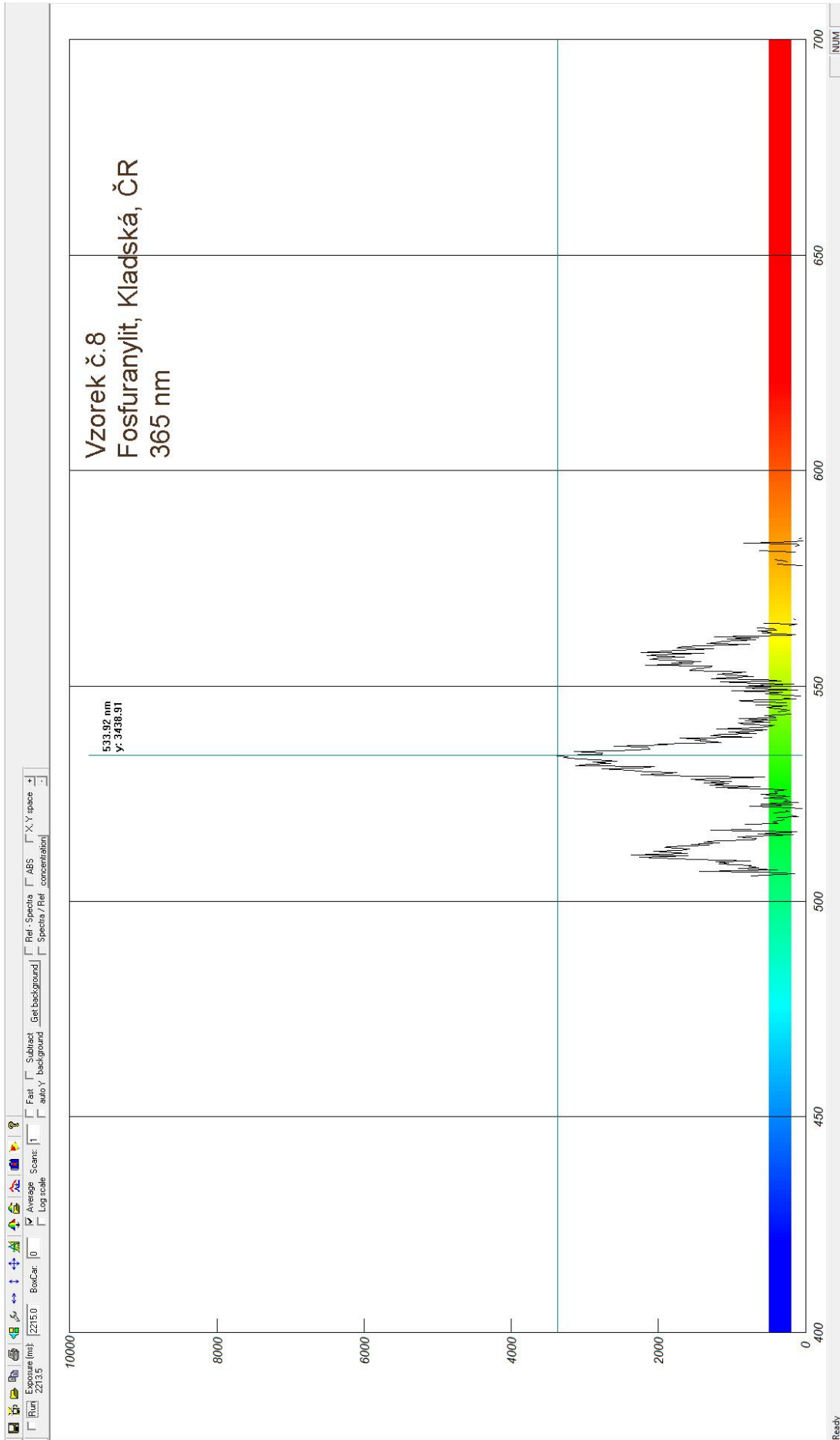
Ready



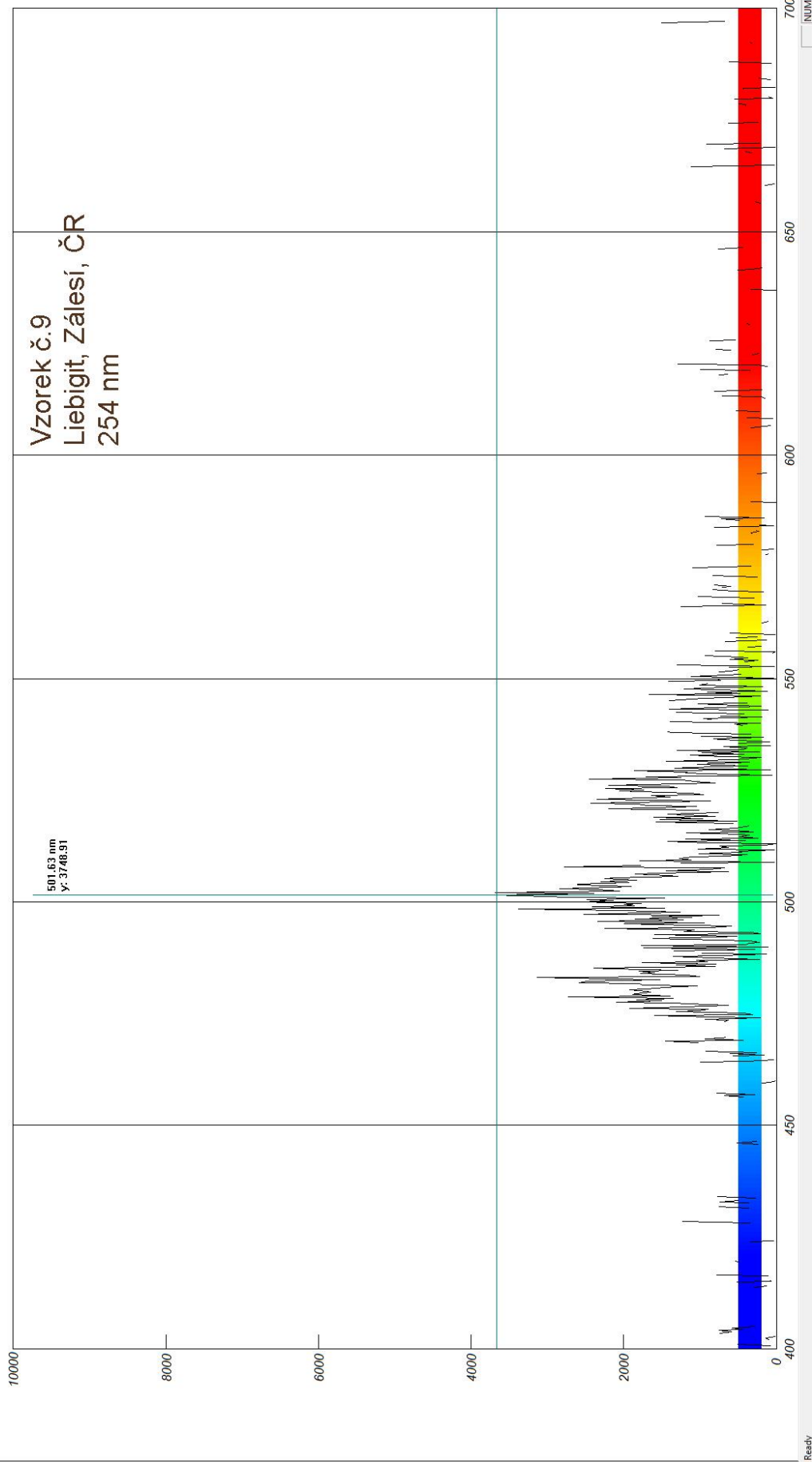


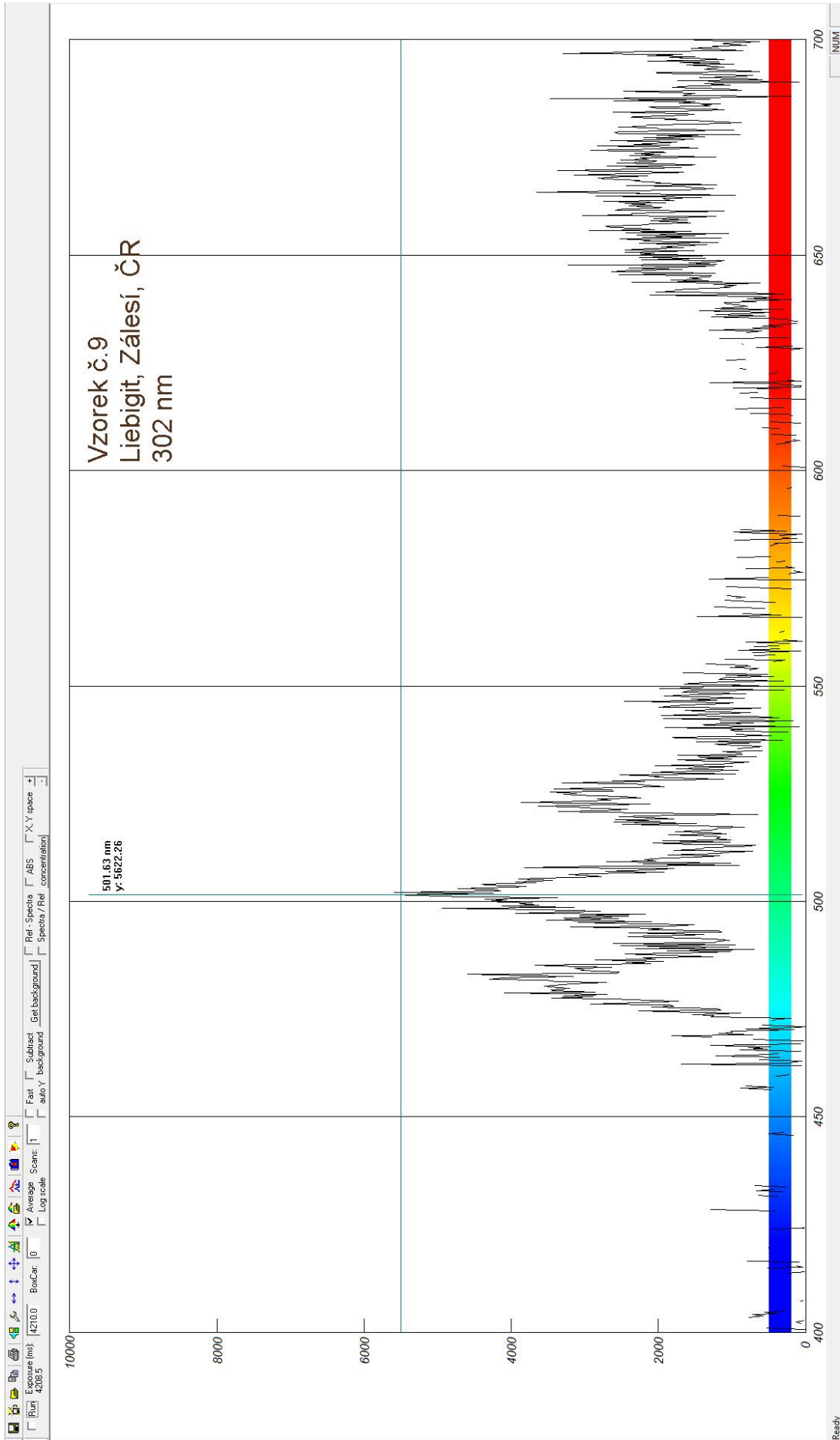


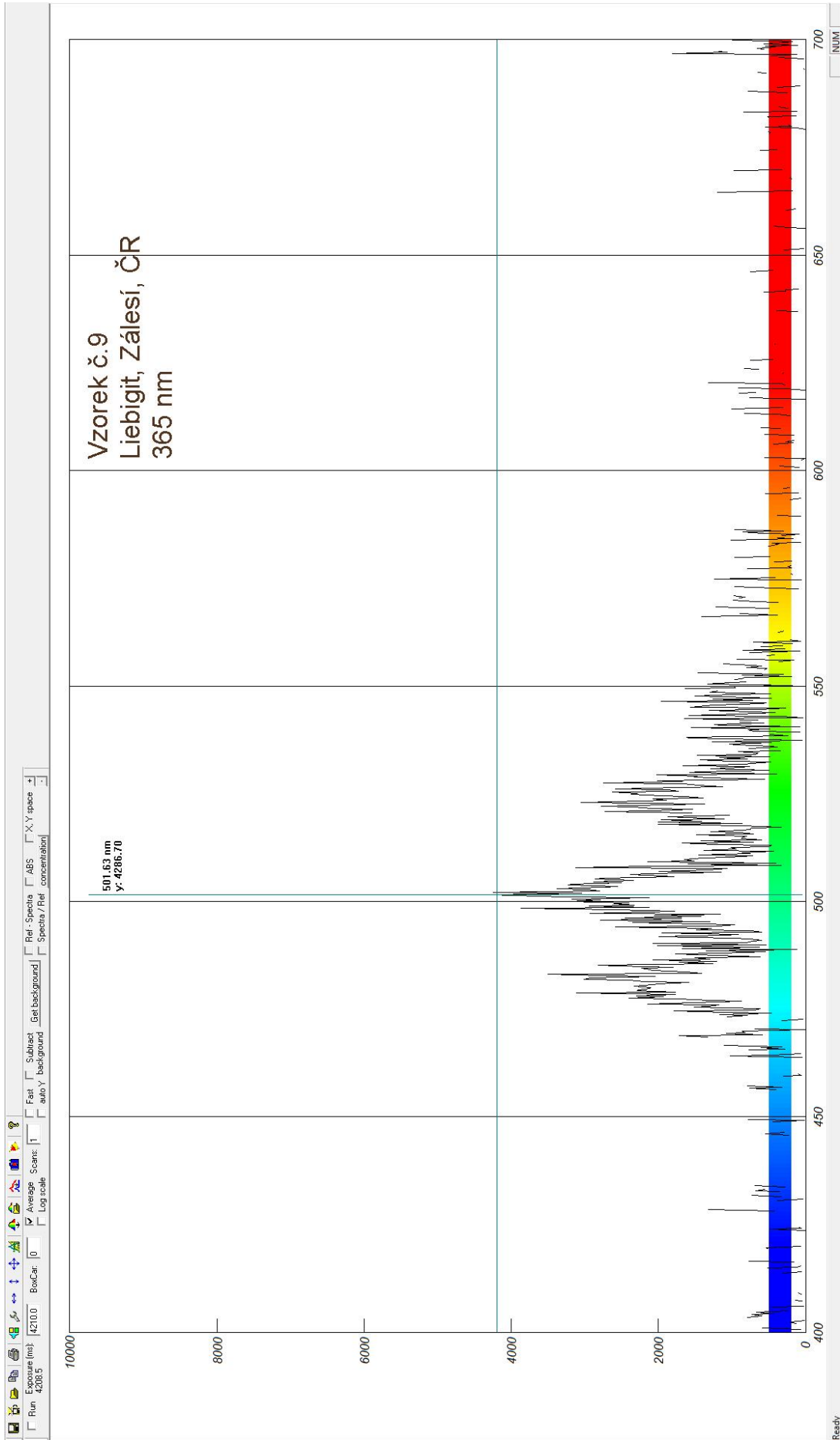


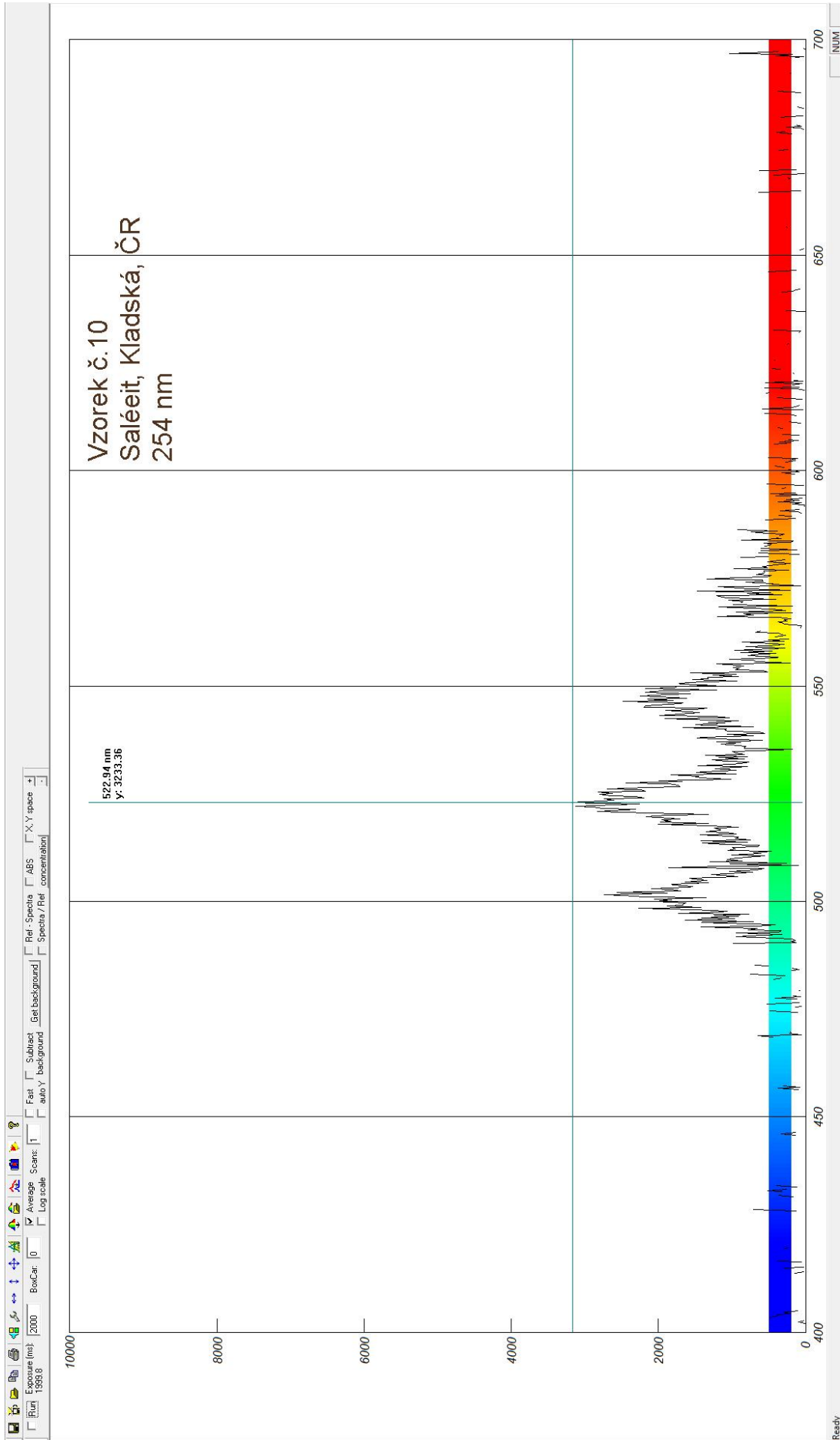


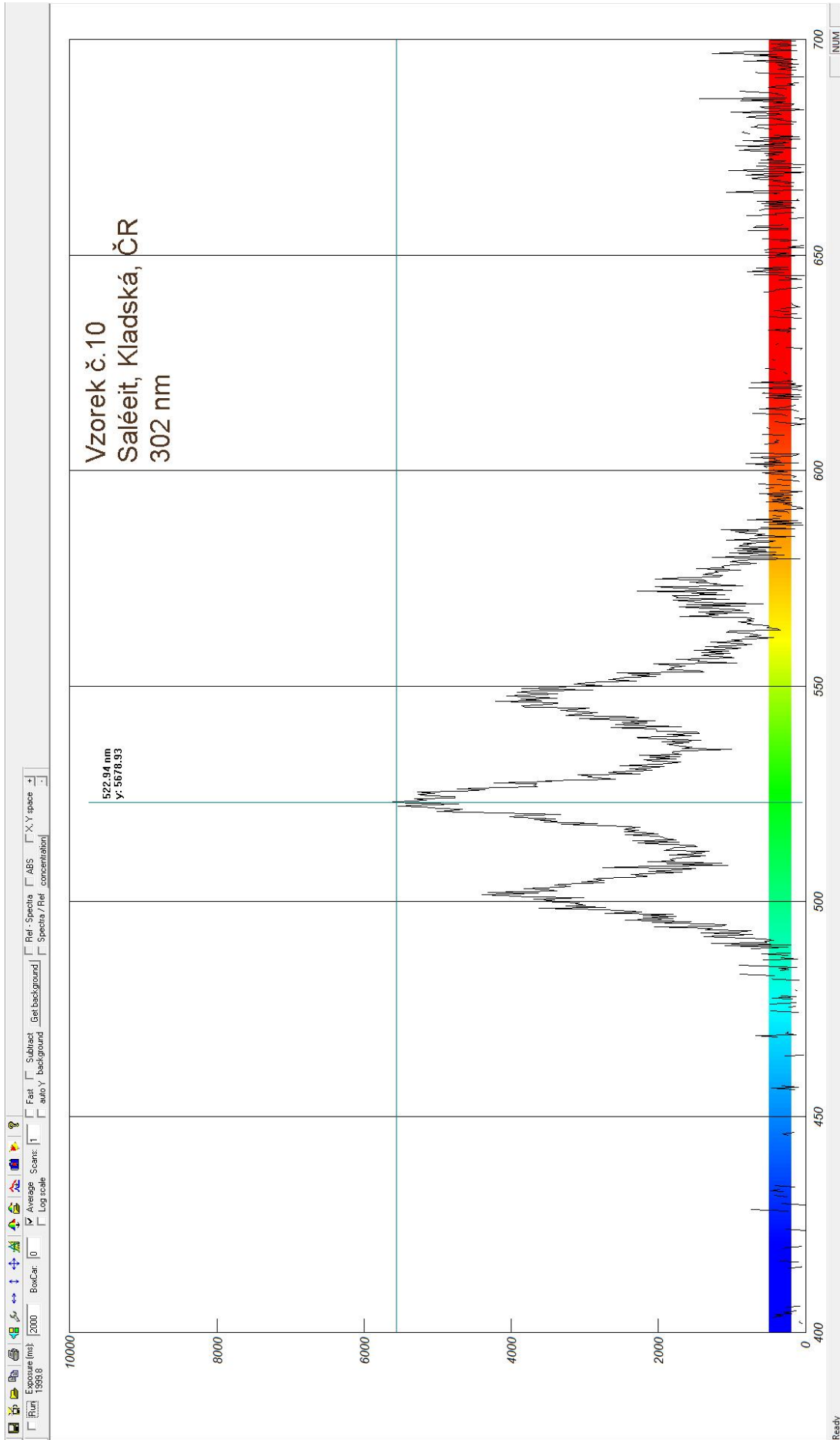
Exposure (ms): 42100
BoxCar: 0
Fast auto y background
Subtract background
Ref. Spectra
ABS X, Y space
Average Scans: 1
Log scale
Spectra / Ref. concentration

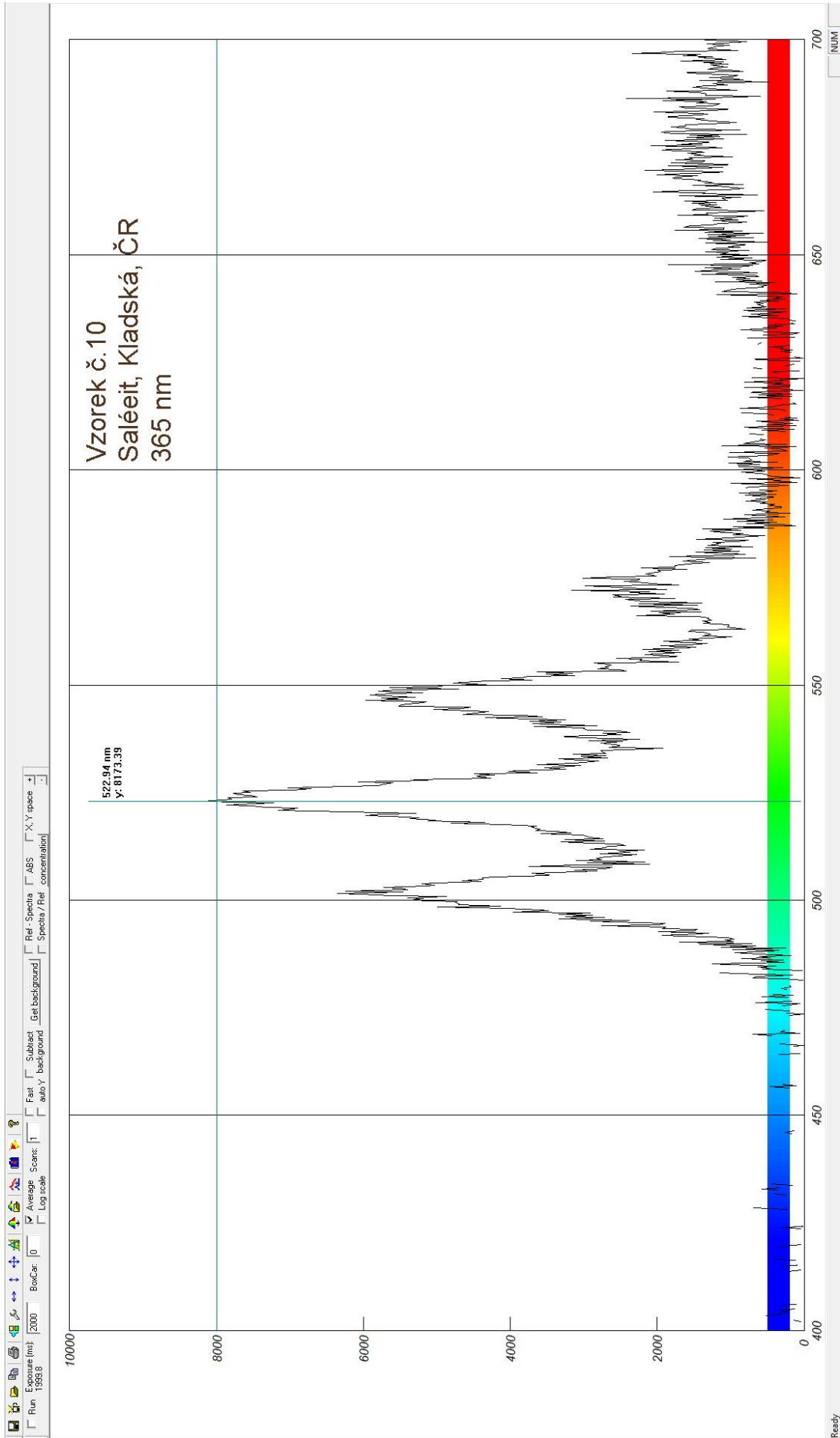




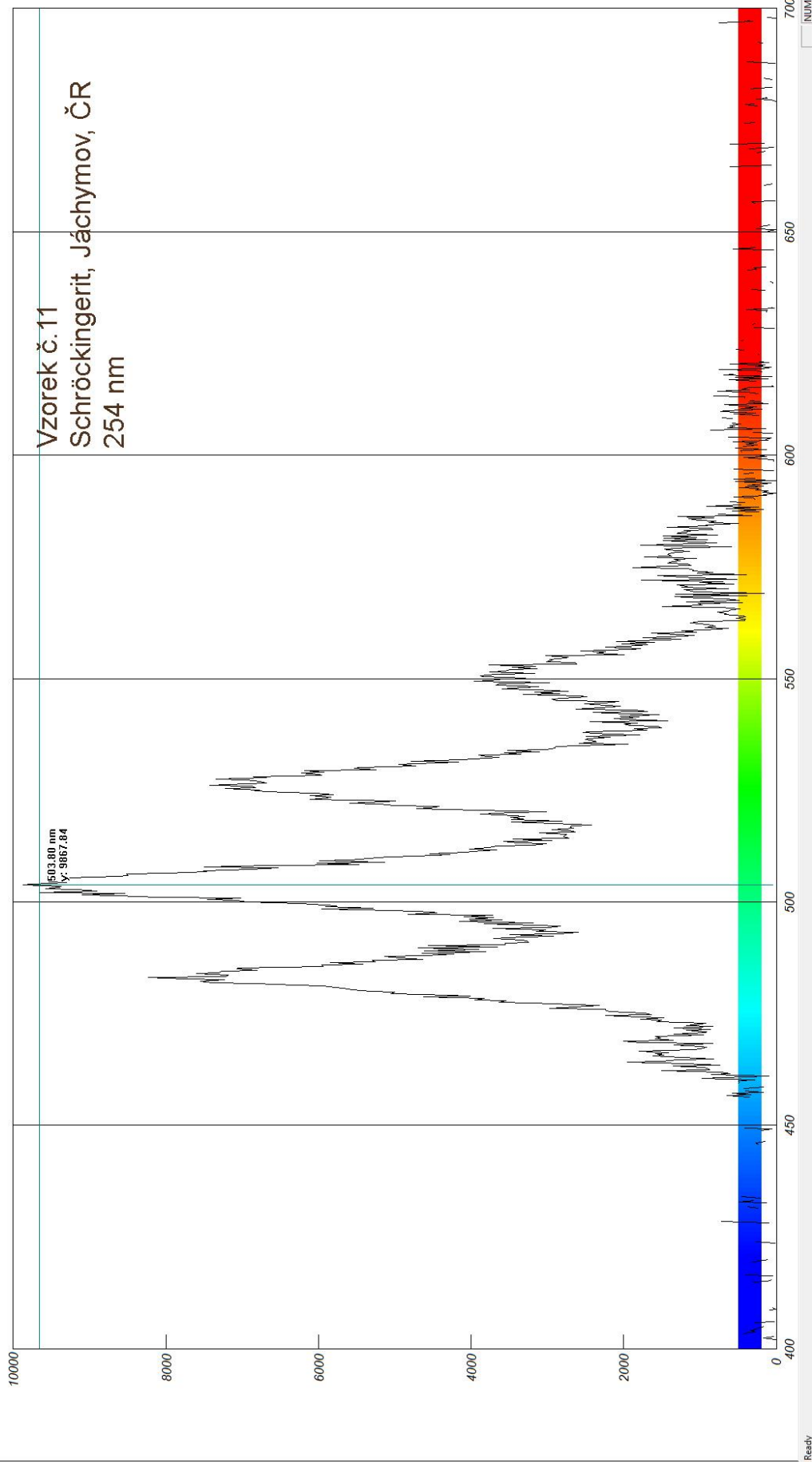




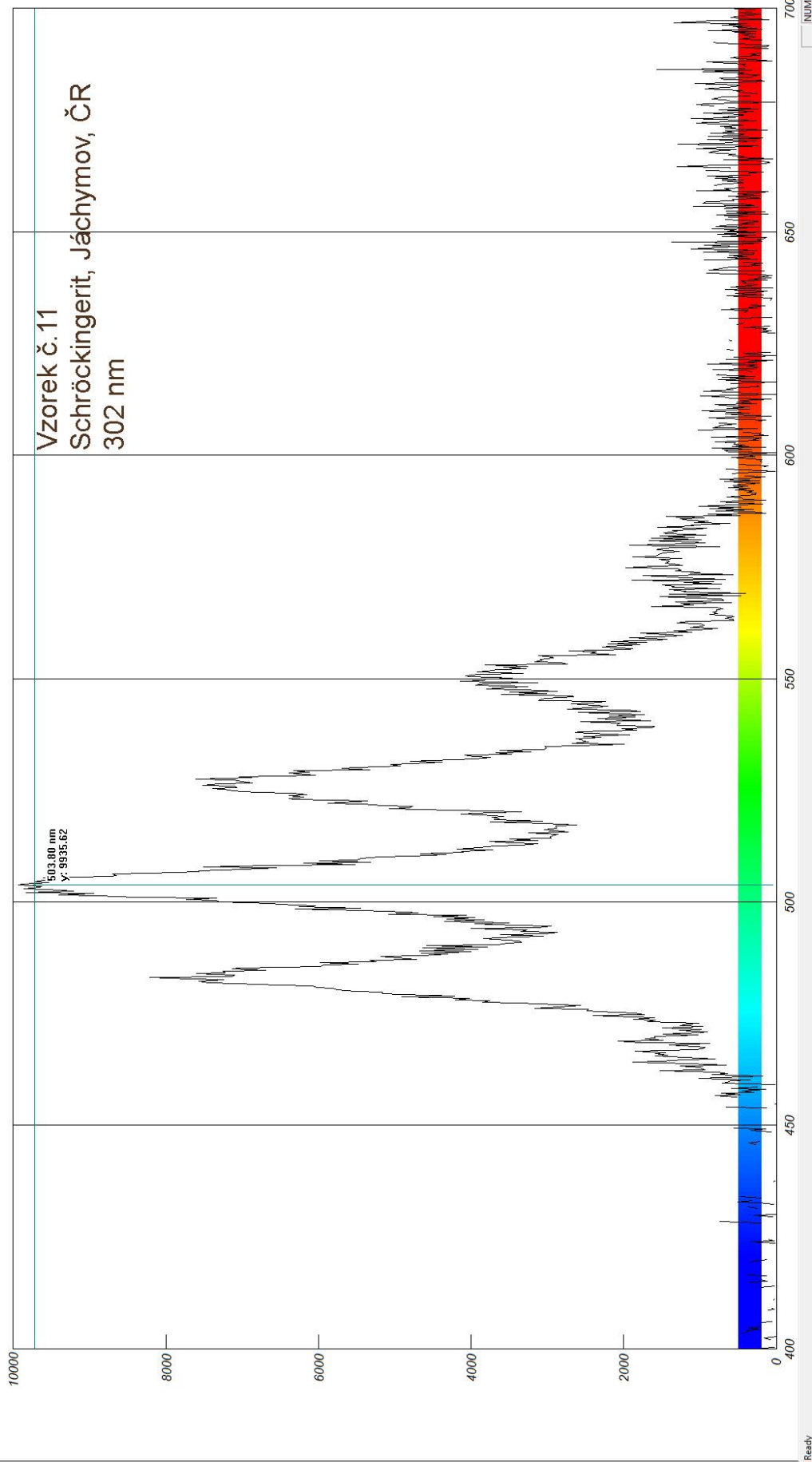




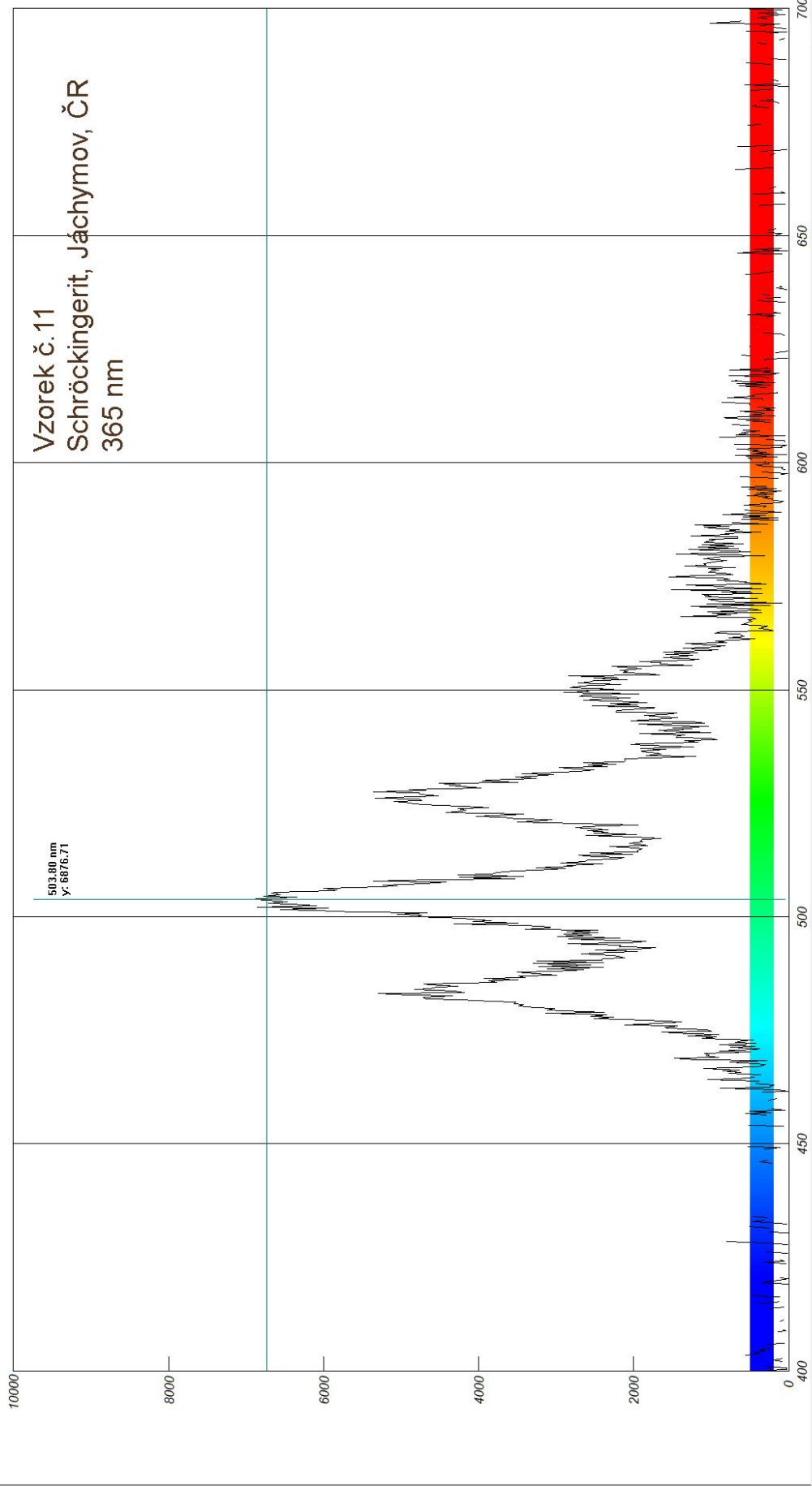
Exposure (ms): 2000
BoxCar: 0
Fast Subtract Get background Ref. Spectra ABS X, Y space
 First 1999.8 auto y background Spectra / Ref concentration Log scale Average Scans: 1



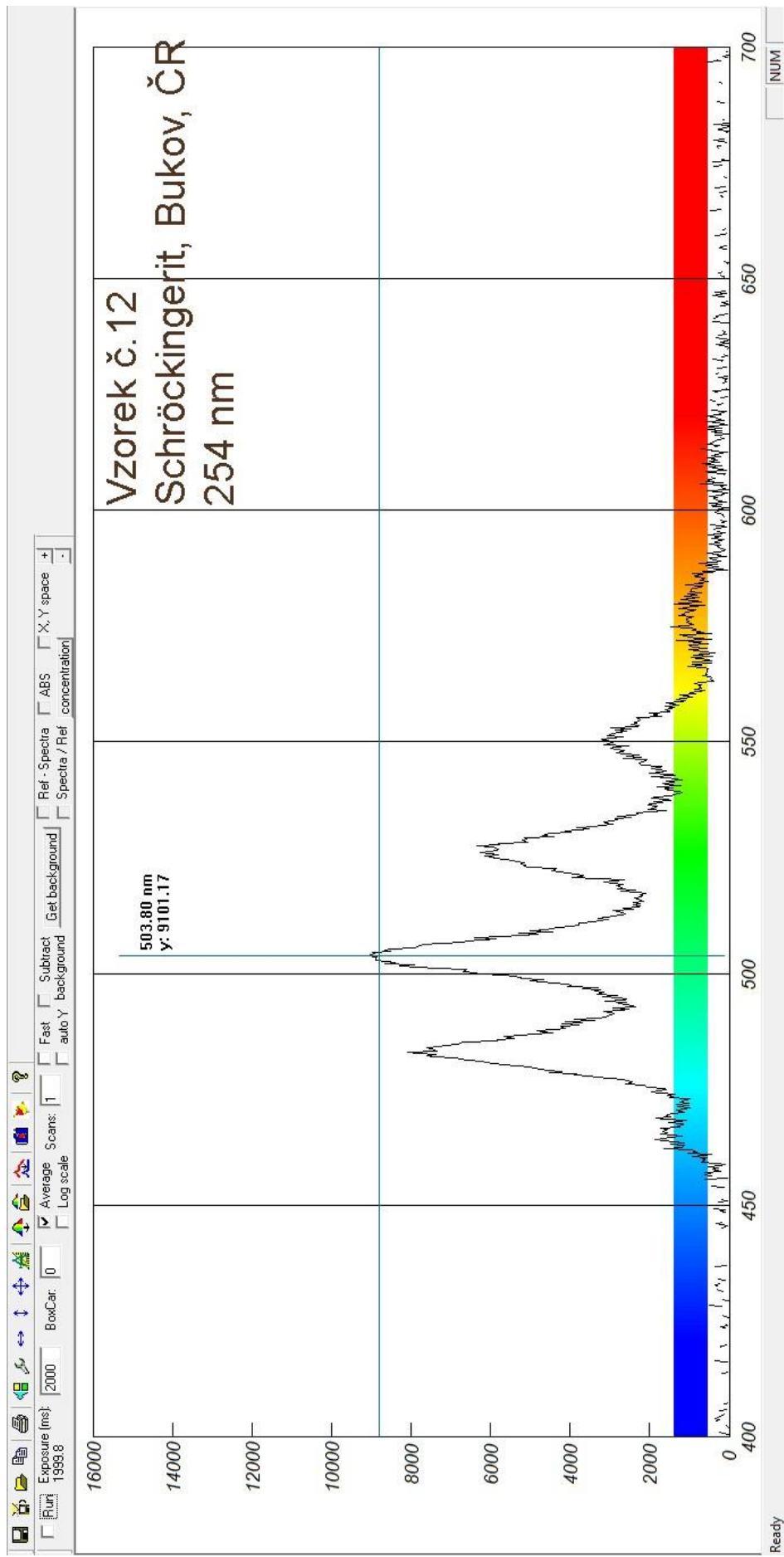
Exposure (ms): 2000
BoxCar: 0
Average:
Log scale:
Fast:
Subtract background:
Auto y background:
Ref. Spectra:
ABS:
X, Y space:
Spectra / Ref. concentration:

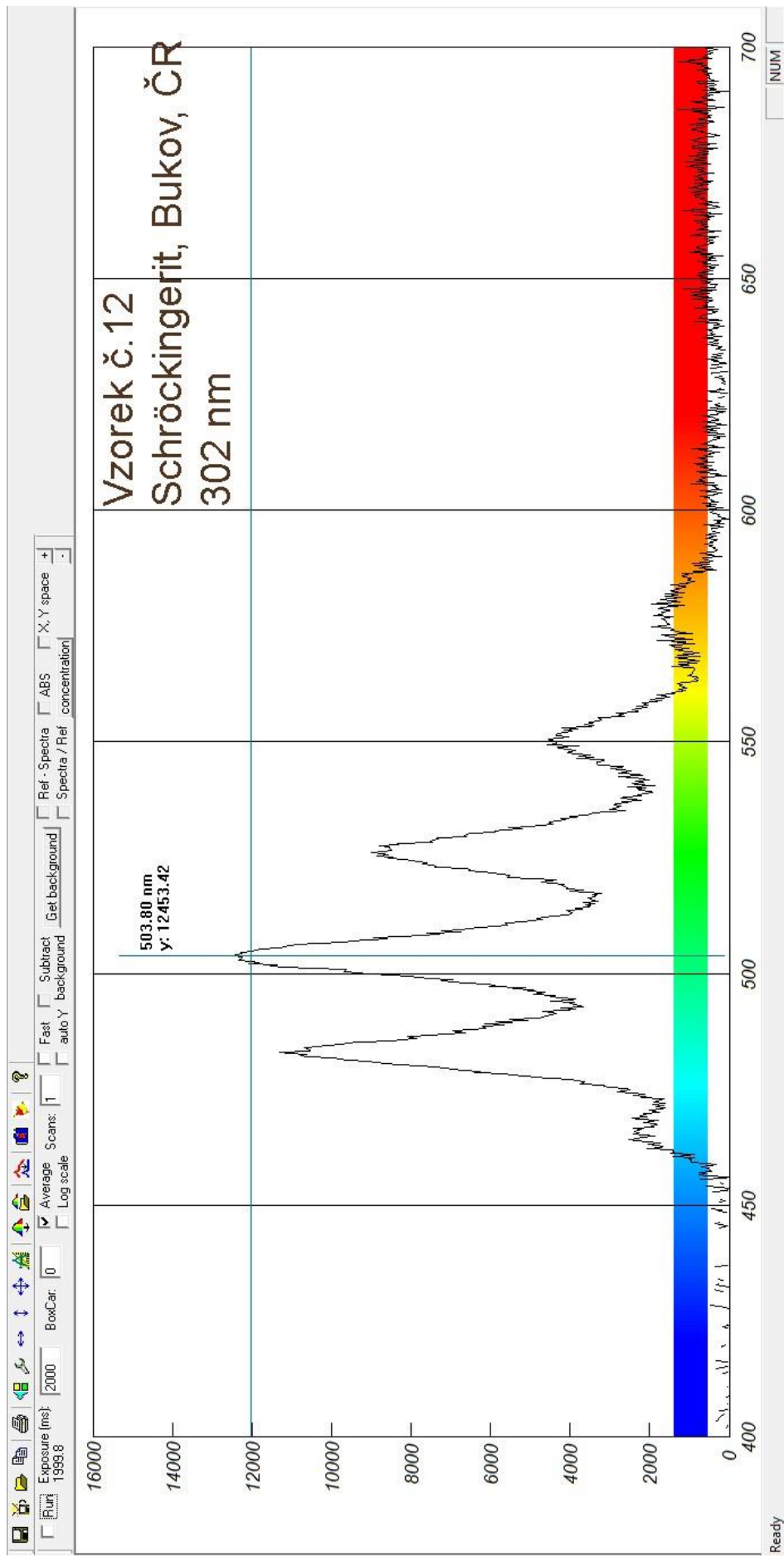


Exposure (ms): 2000
BoxCar: 0
Average:
Log scale:
Fast: Subtract: Get background: Ref.: Spectra ABS X, Y space
auto y background: Spectra / Ref concentration:

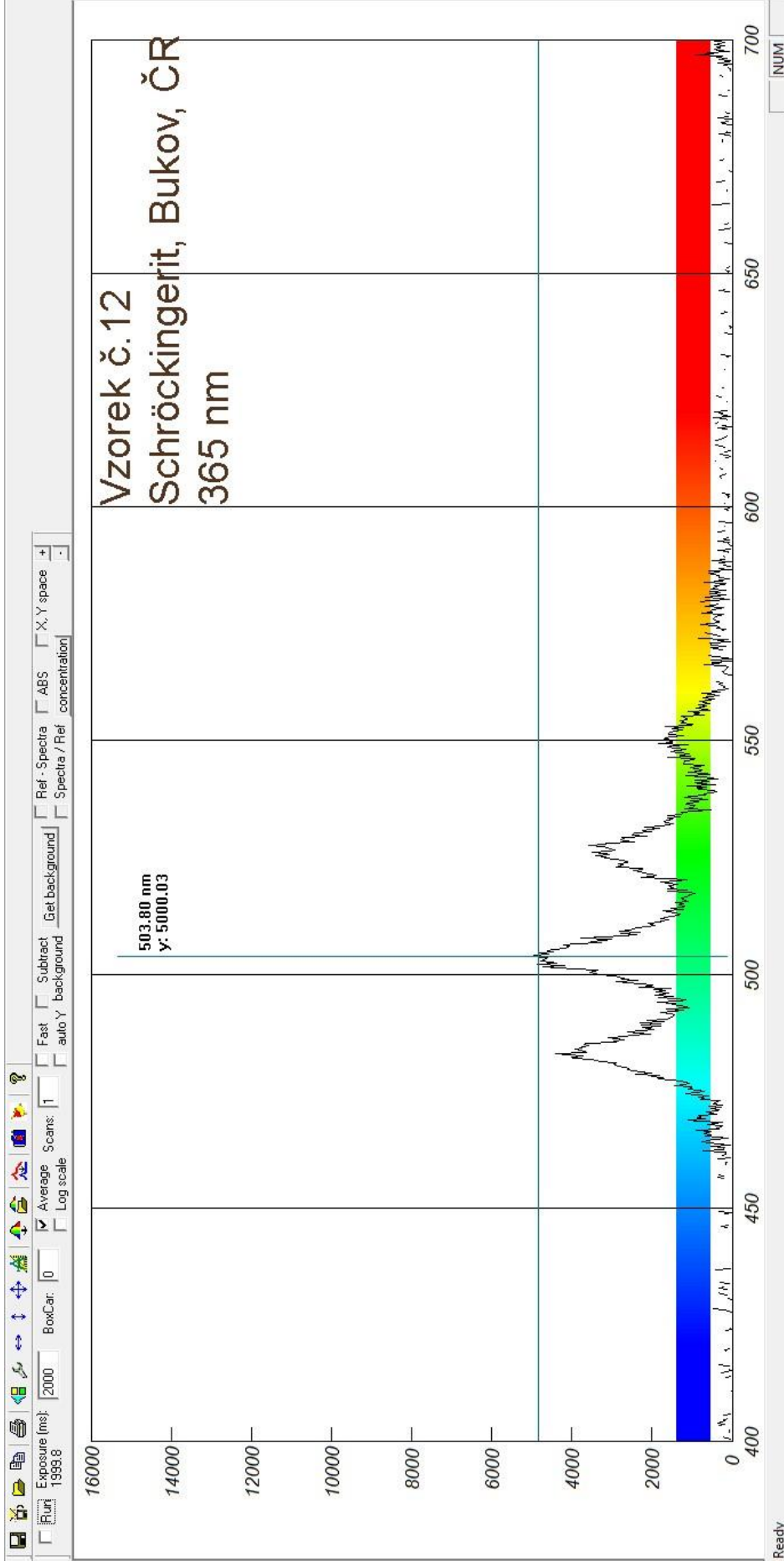


Ready

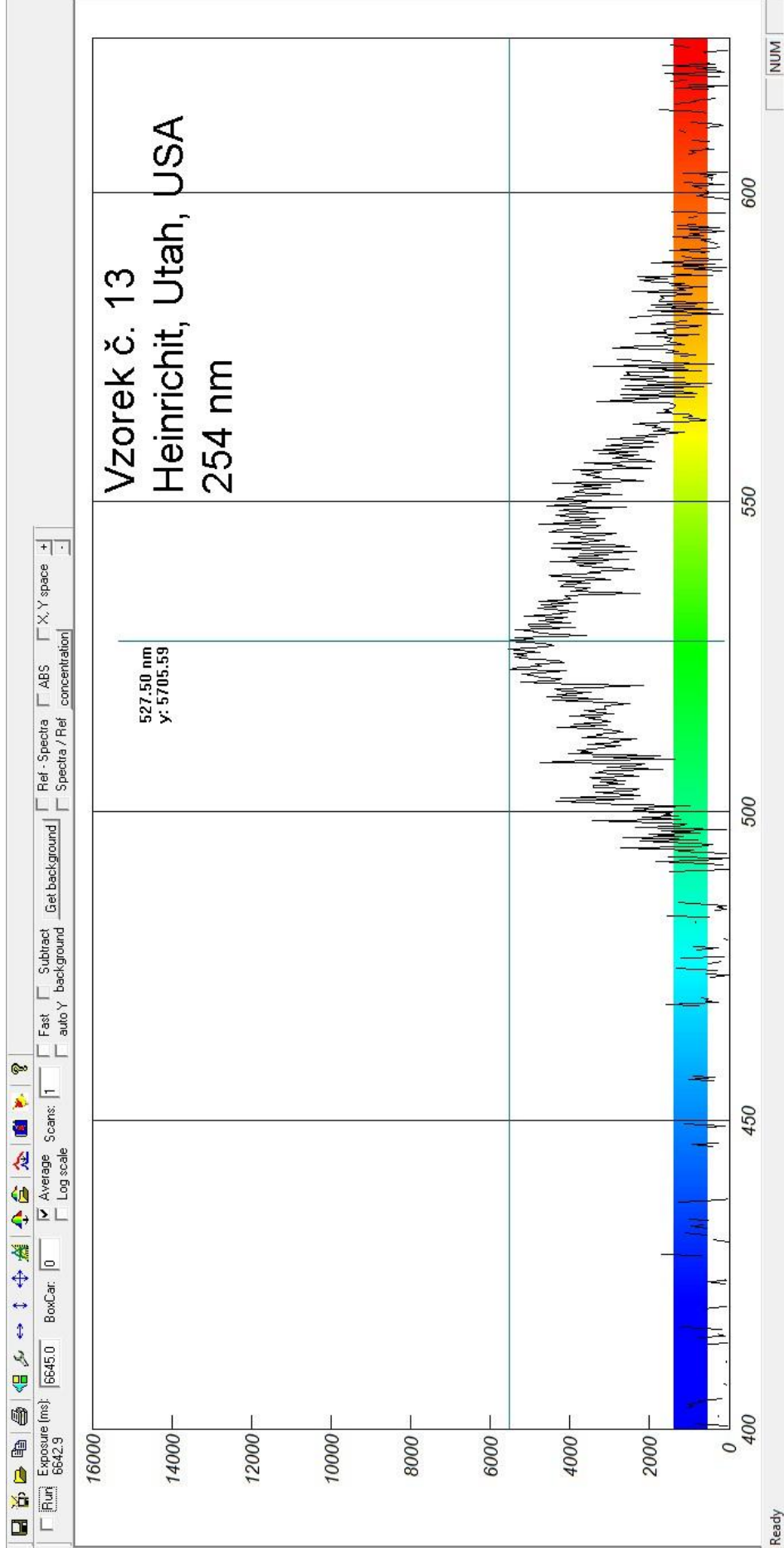


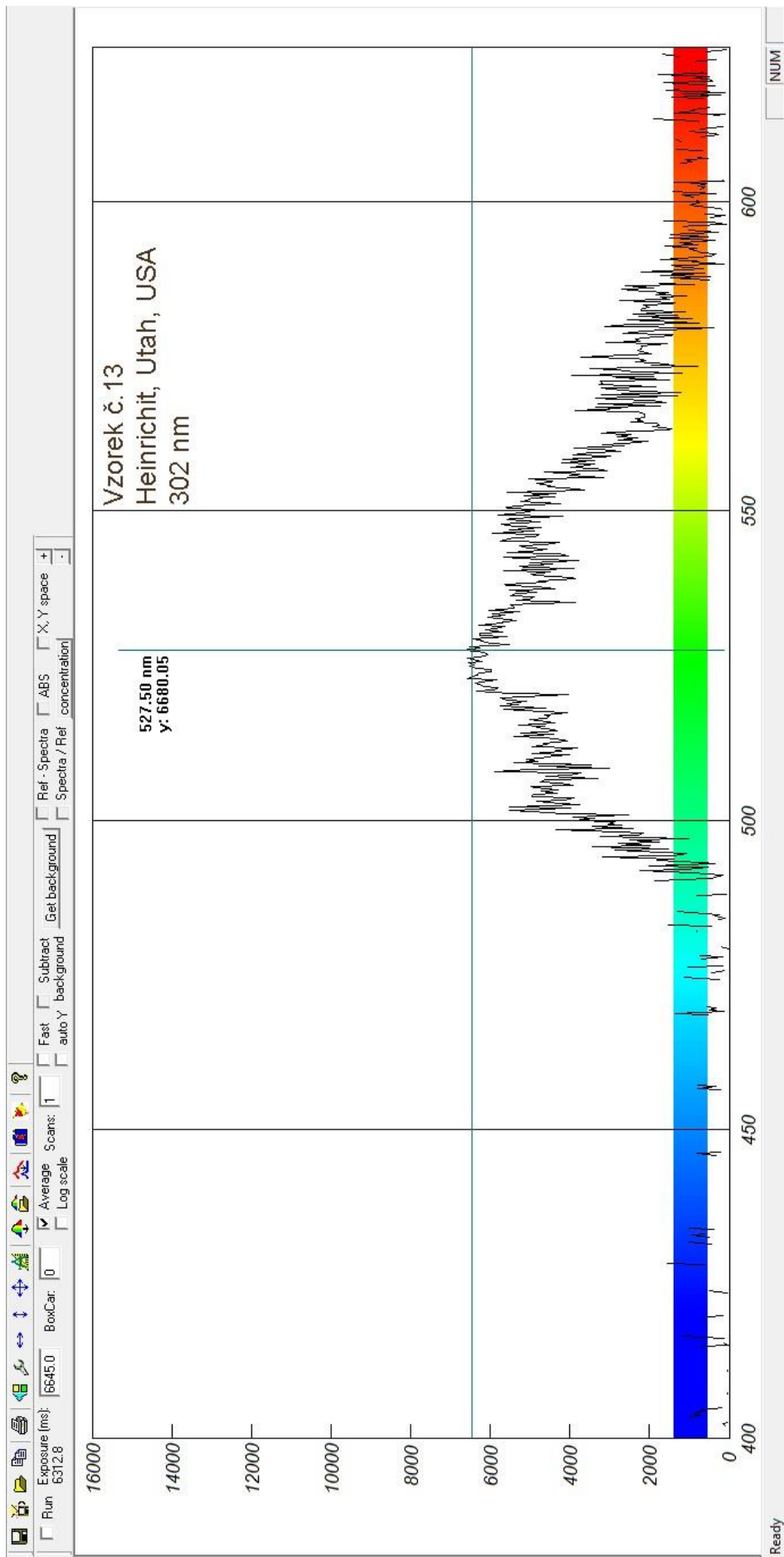


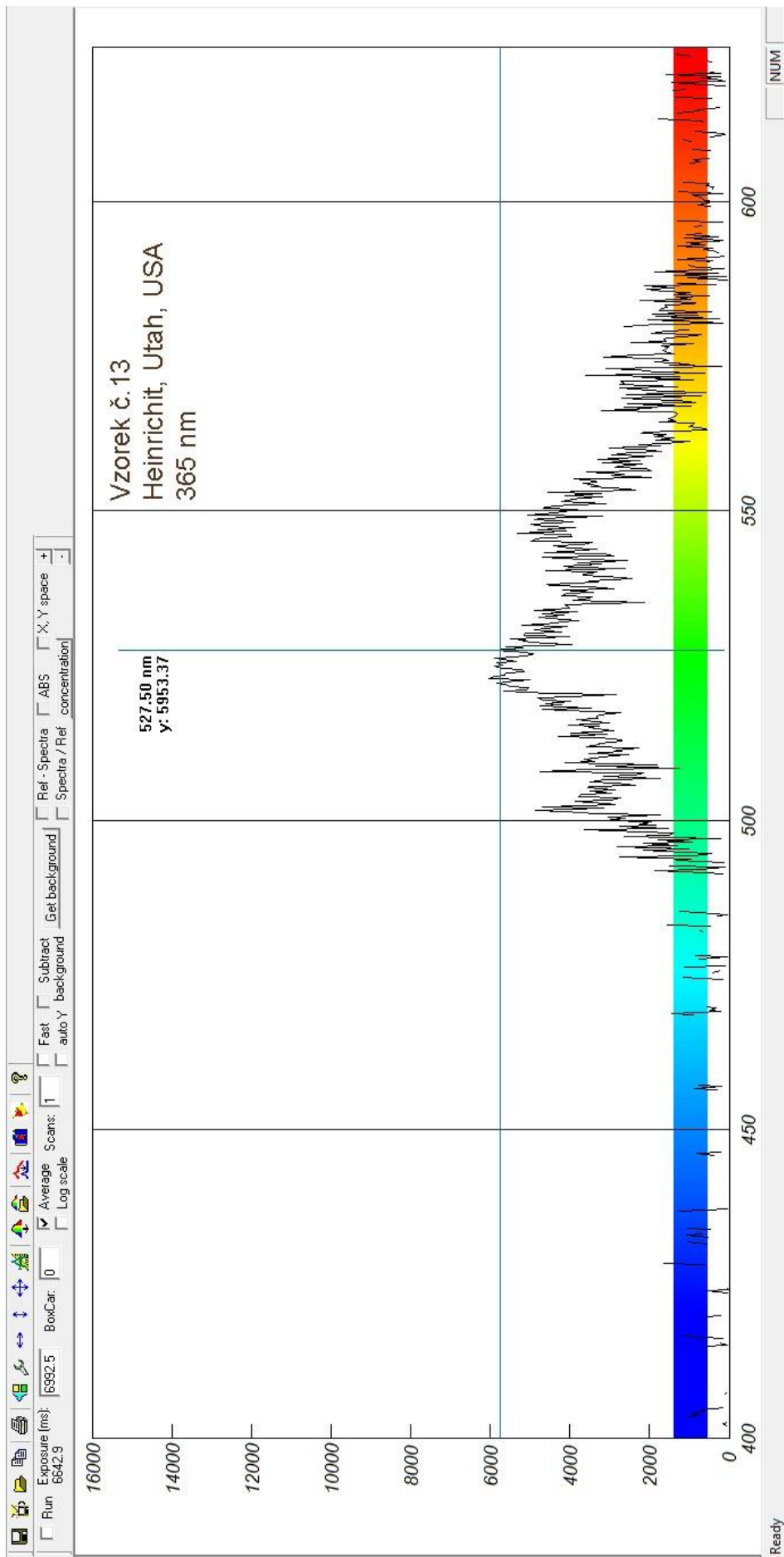
Ready

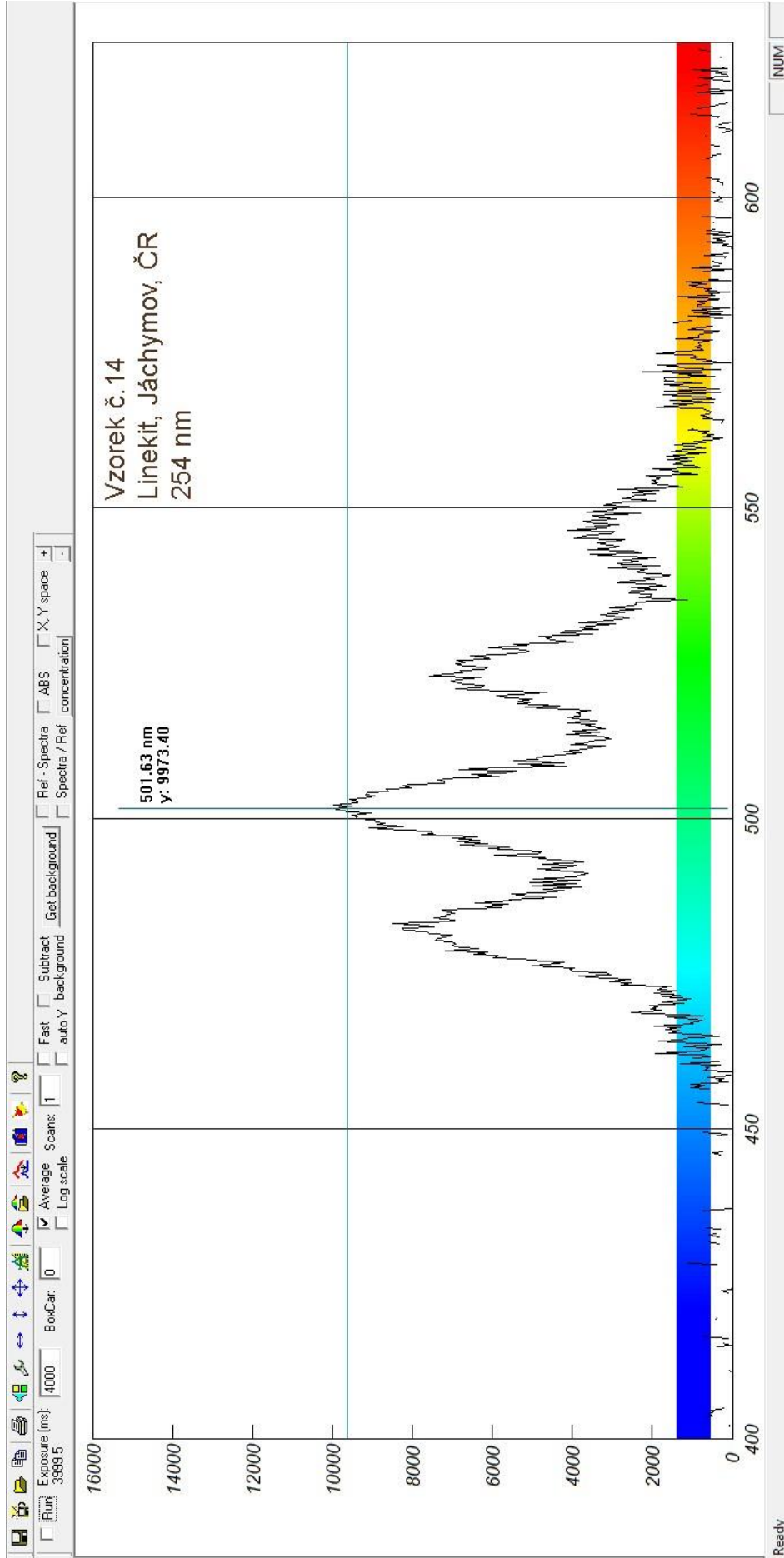


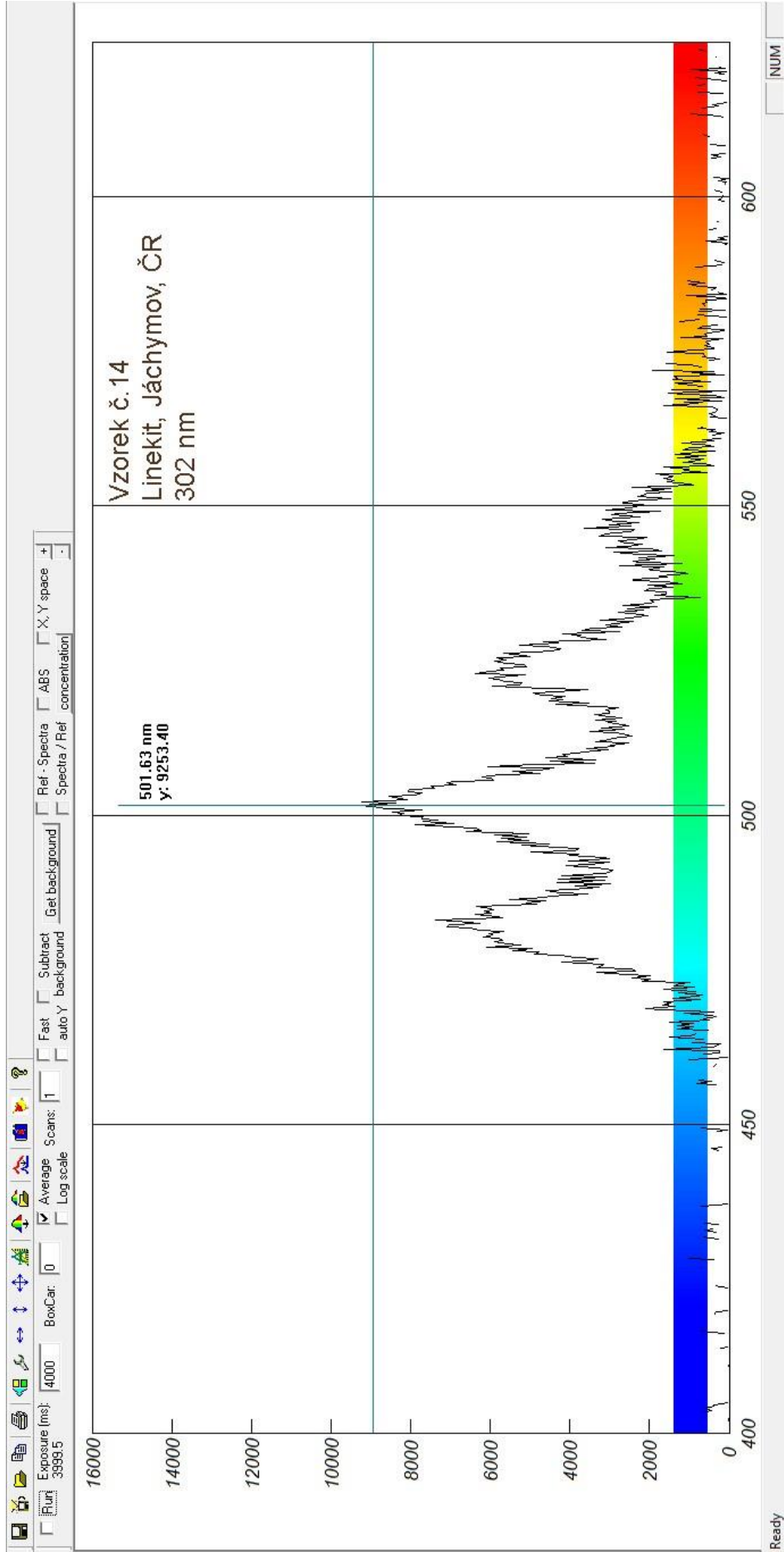
Ready

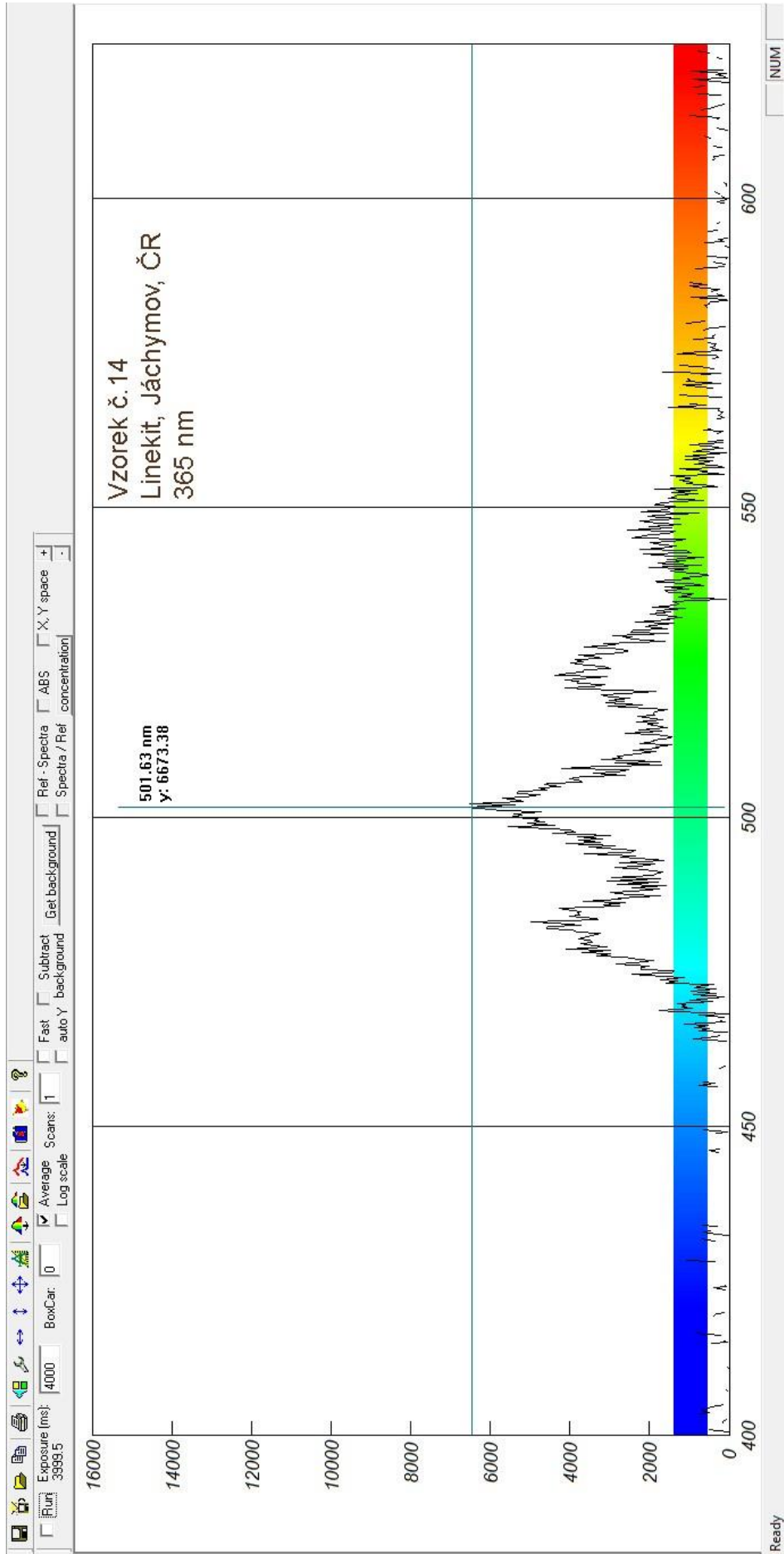


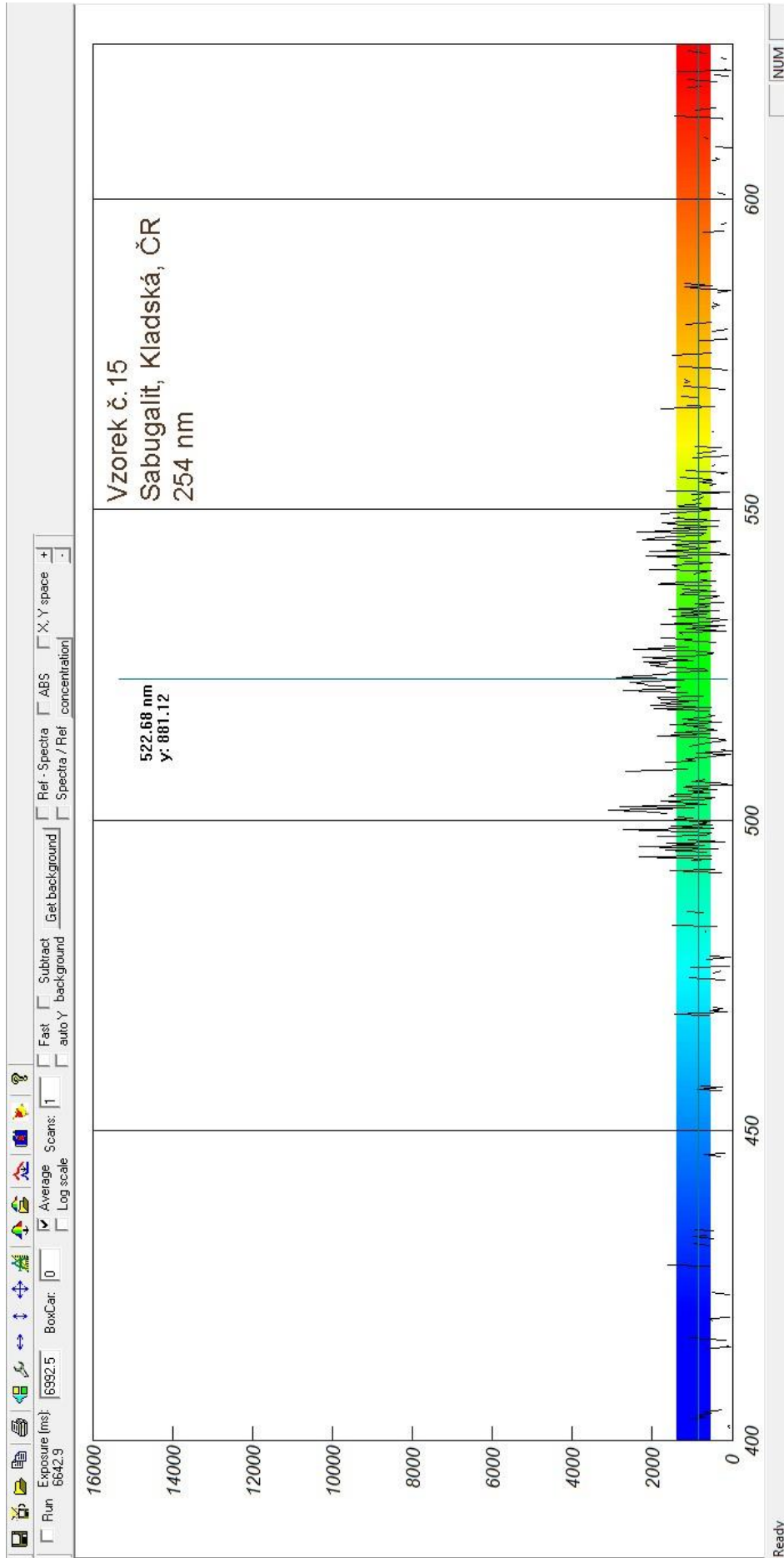




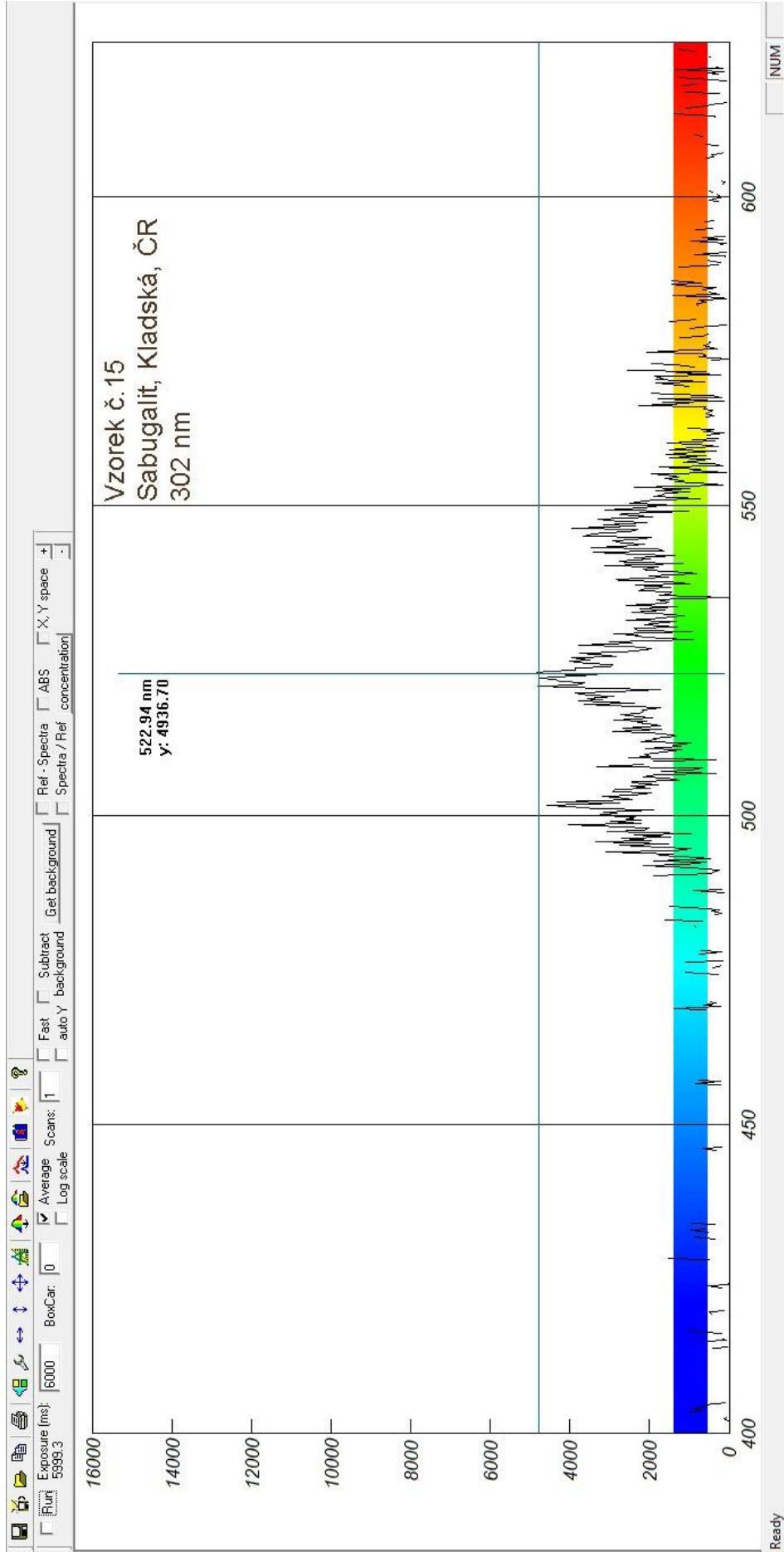




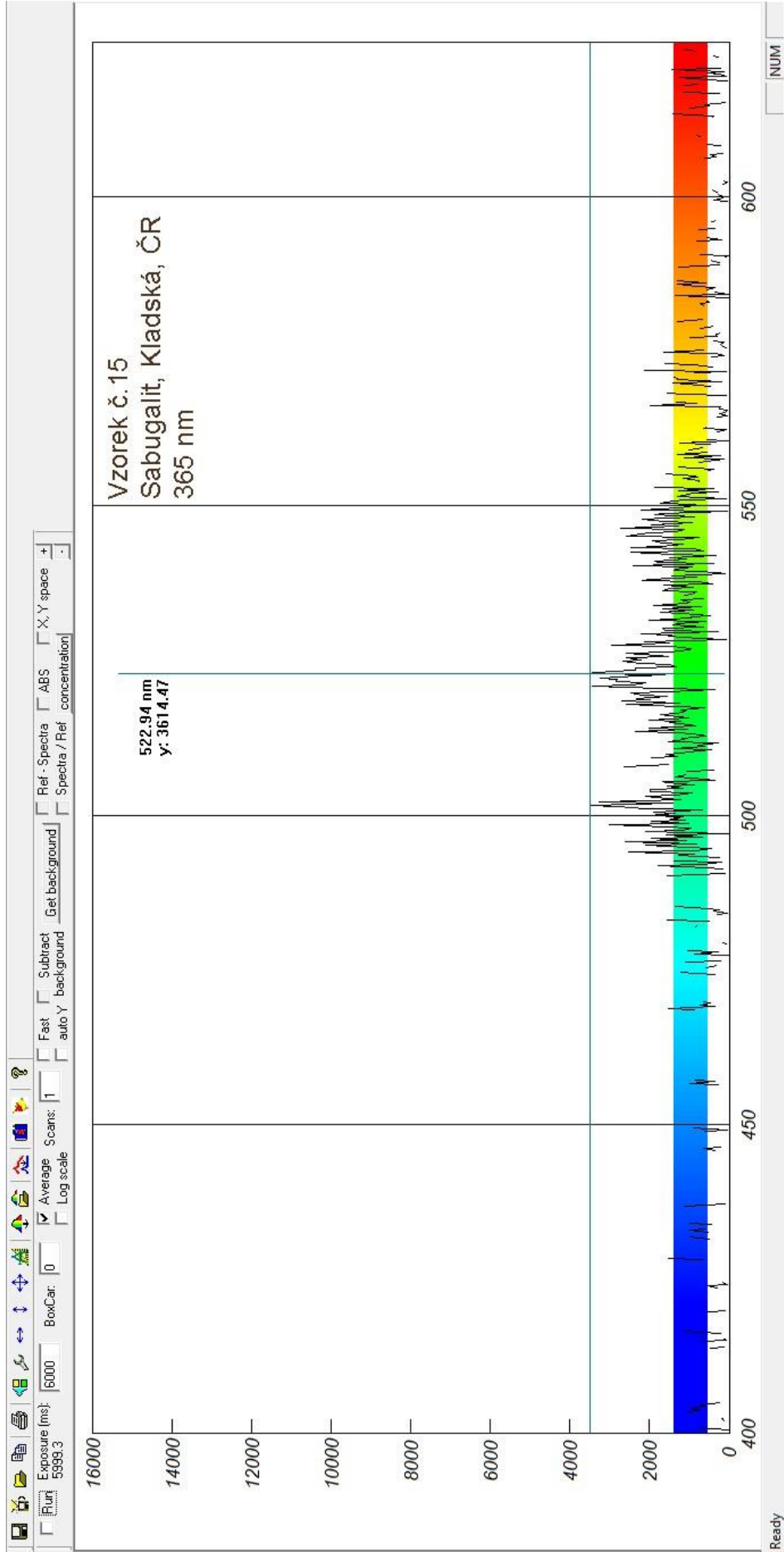




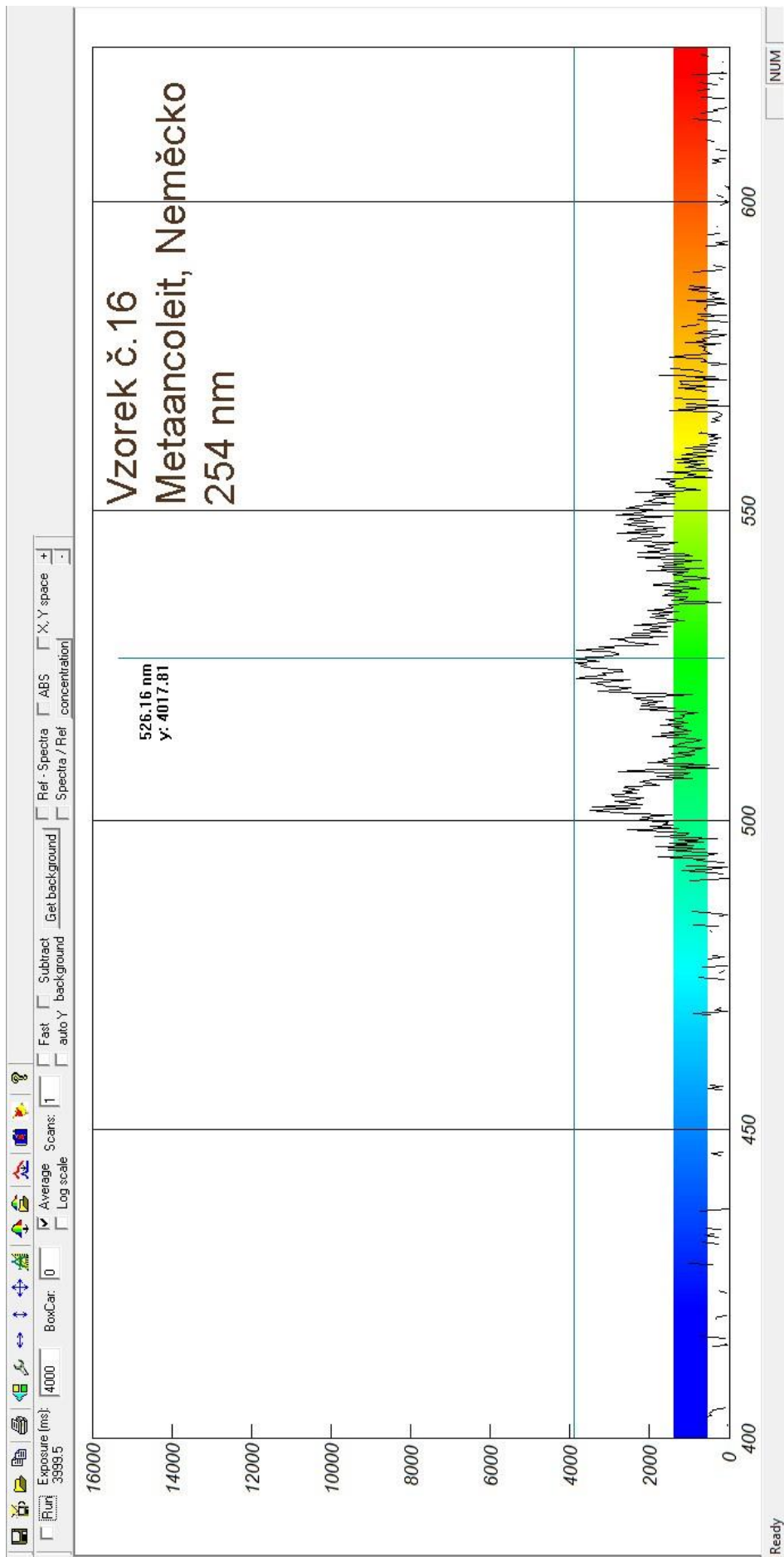
Ready

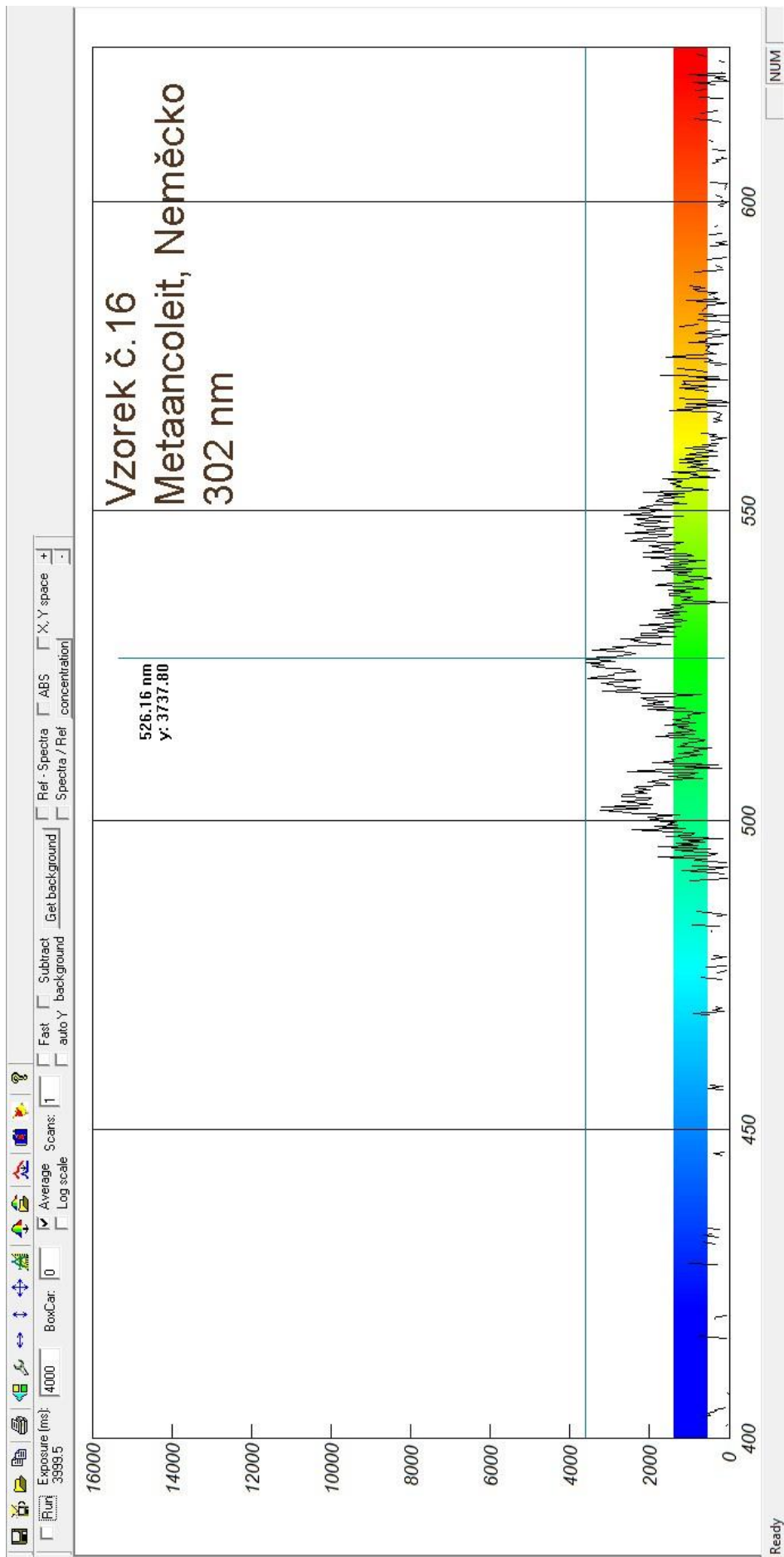


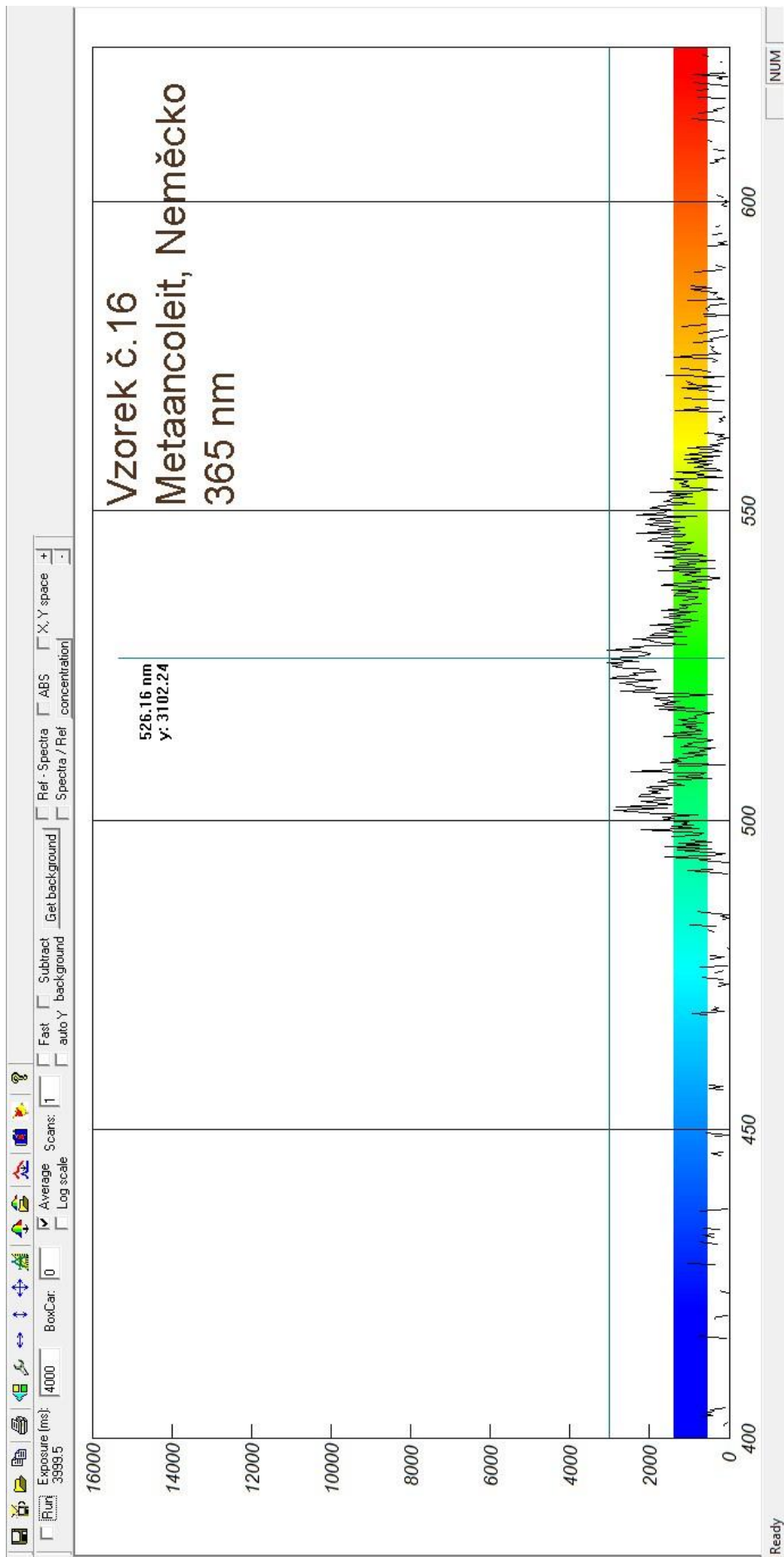
Ready

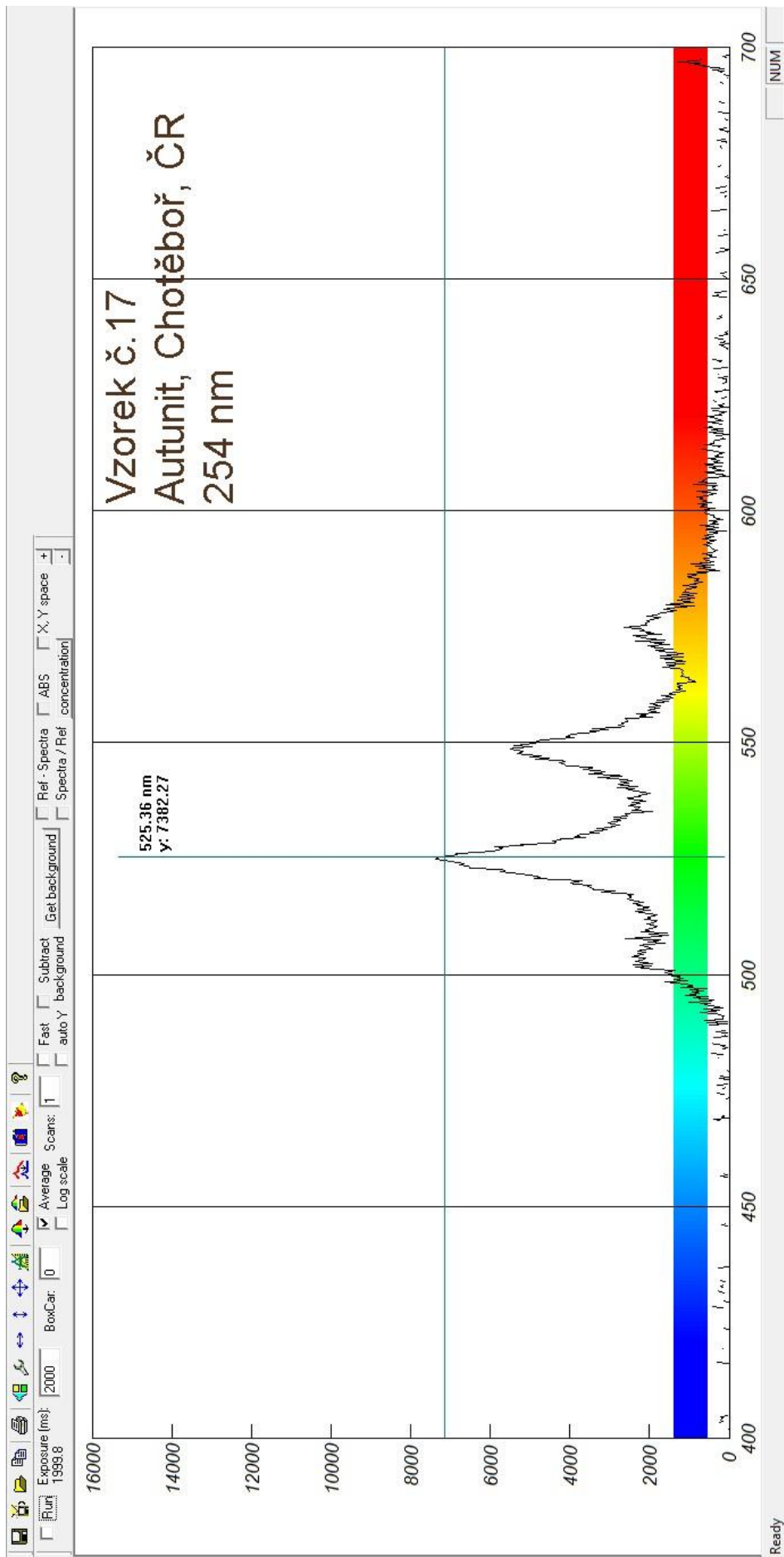


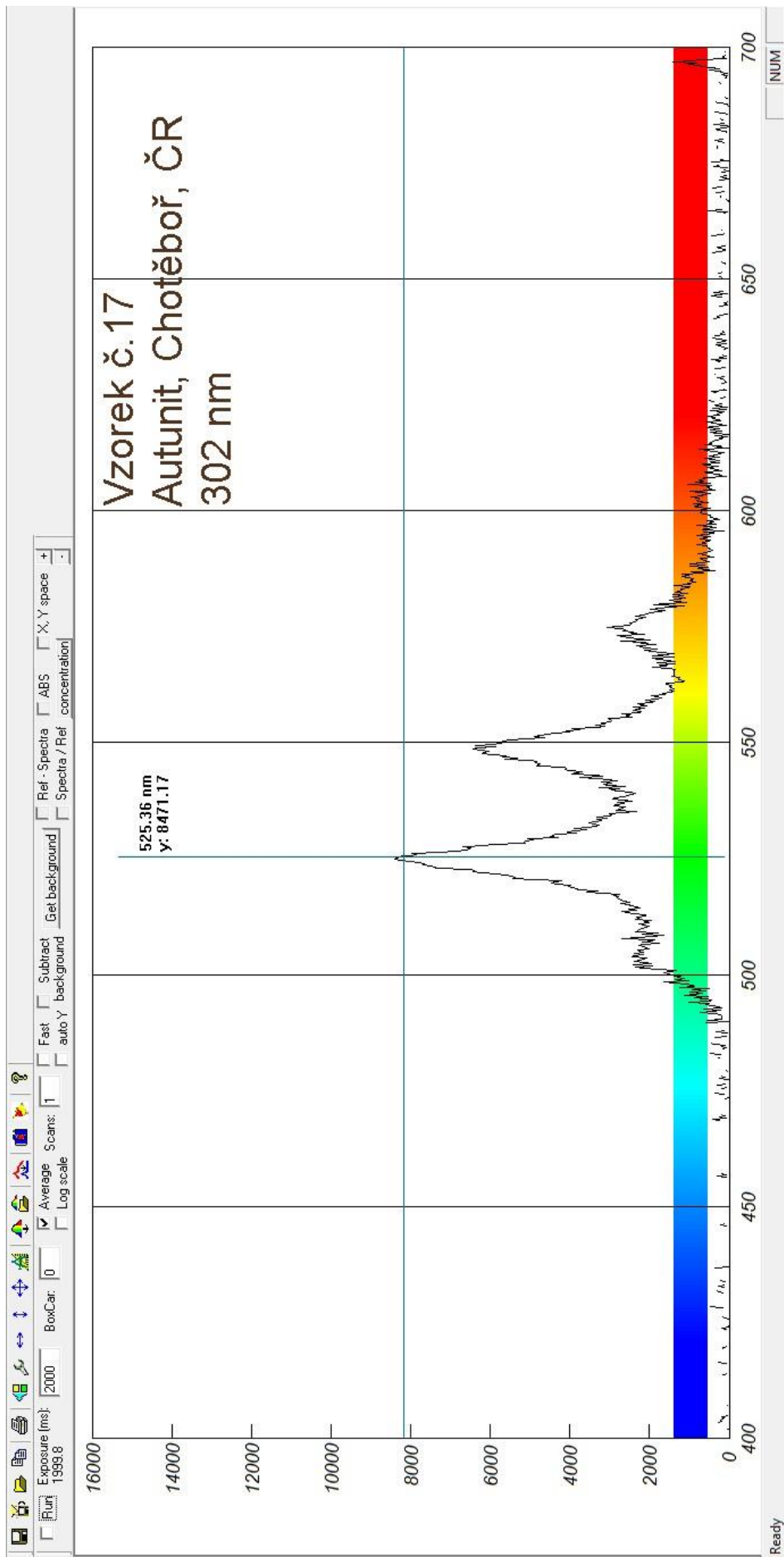
Ready

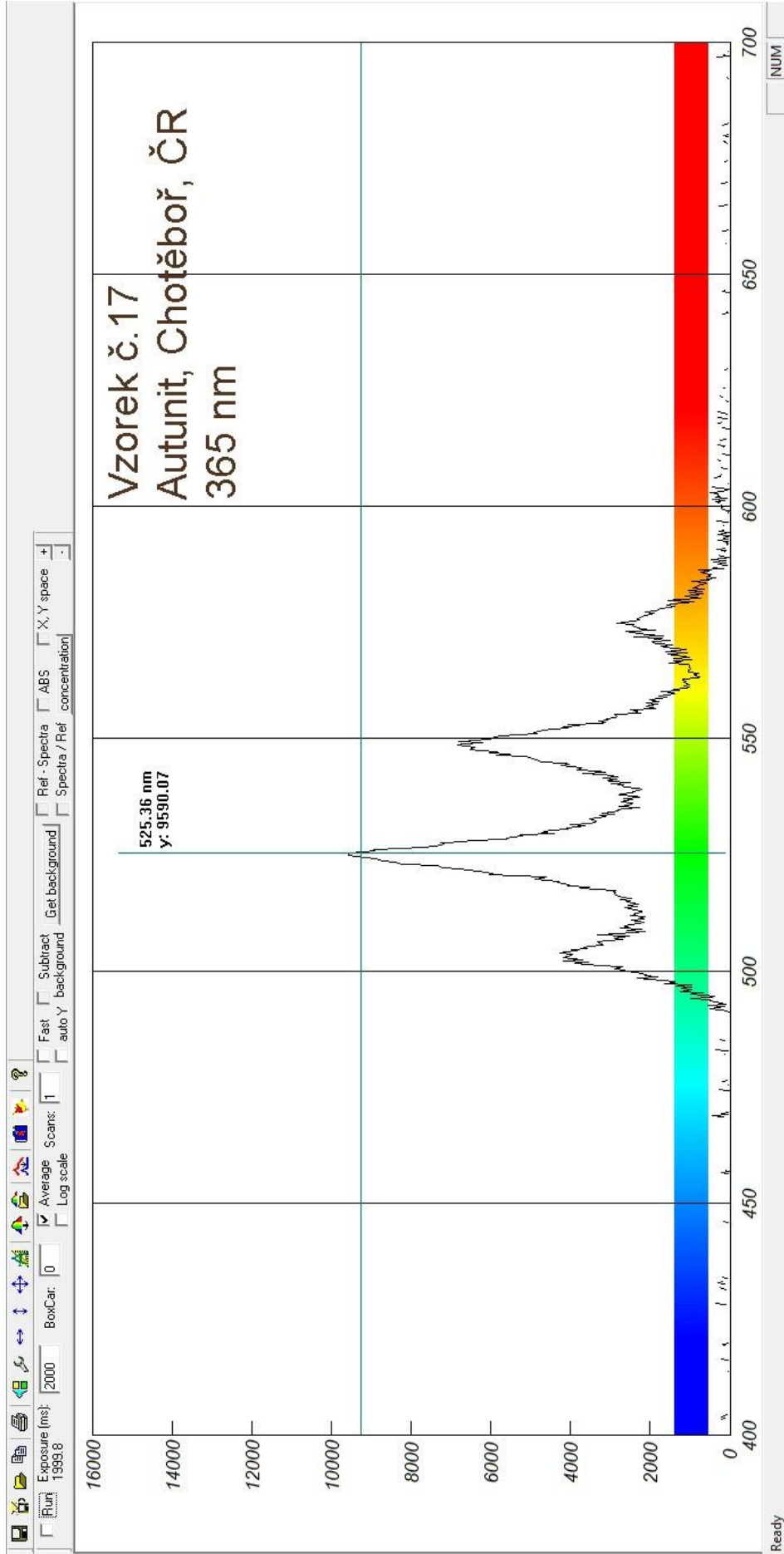


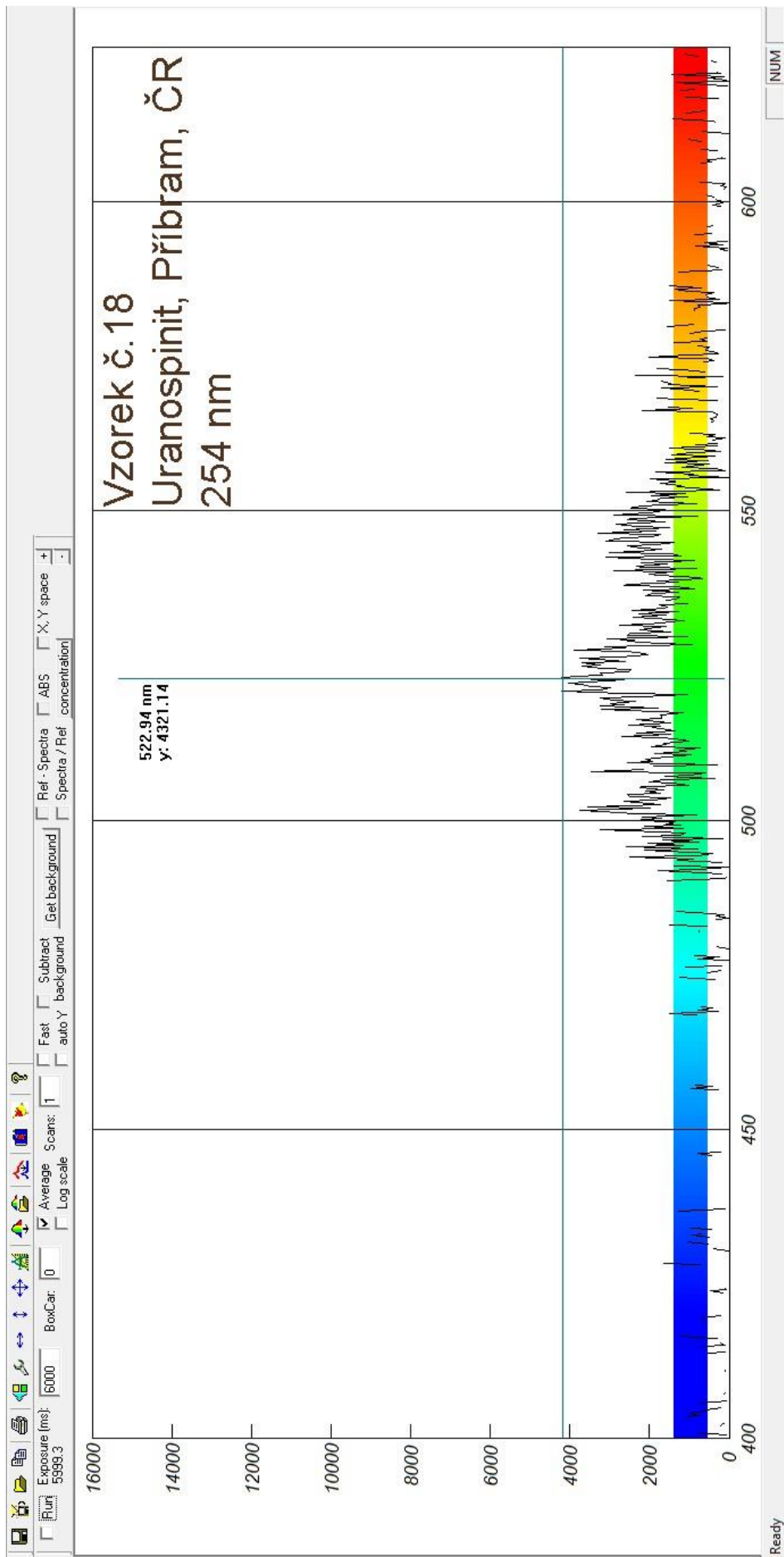












Ready

