MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD

Změny ve struktuře minerálů řady olivínu v závislosti na chemickém složení

Bakalářská práce

Hana Kupská

Vedoucí práce: RNDr. Václav Vávra, Ph.D. **Brno 2013**

Bibliografický záznam

Autor:	Hana Kupská Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav geologických věd

Název práce:	Změny ve struktuře minerálů řady olivínu v závislosti na chemickém složení
Studijní program:	Geologie
Studijní obor:	Geologie
Vedoucí práce:	RNDr. Václav Vávra, Ph.D.
Akademický rok:	2012/2013
Počet stran:	32
Klíčová slova:	olivín; forsterit; fayalit; struktura; geneze; RTG prášková difrakce
MDT	548/549; 549.621.1; 622.7.01

Bibliographic entry

Author:	Hana Kupská Faculty of Science, Masaryk University Department of geology

Title of thesis:	Changes in structure of olivine group in dependence on chemical composition
Degree programme:	Geology
Field of study:	Geology
Supervisor:	RNDr. Václav Vávra, Ph.D.
Academic year:	2012/2013
Number of pages:	32
Keywords:	olivine; forsterite; fayalite; structure; genesis; X-ray powder diffraction
MDT	548/549; 549.621.1; 622.7.01

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá studiem minerálů skupiny olivínu, zejména řady forsterit-fayalit. V první části práce byla zpracována struktura a chemické složení minerálů této skupiny. Pozornost byla věnována také fyzikálním vlastnostem, genezi a nalezištím olivínu. Ve druhé části práce byly studovány vzorky olivínu z lokality Smrčí a z lokality Shavariin Tsaram v Rusku pomocí RTG práškové difrakce. Z namodelovaných RTG práškových záznamů byly pro další zpracování vybrány vhodné strukturní roviny a jejich mezirovinné vzdálenosti. Pomocí poměrů d-hodnot zvolených strukturních rovin a jejich intenzit byly vypočítány lineární regresní závislosti zastoupení obsahu forsteritové složky, kde s rostoucím obsahem Mg docházelo ke snižování mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit ve struktuře olivínu. Díky těmto vztahům byl pak stanoven obsah forsteritu ve studovaných vzorcích. Průměrná výsledná hodnota obsahu forsteritu v olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku je 88,21 obj. % a v olivínu z lokality Smrčí 88,14 obj. % forsteritu.

Abstract

This bachelor thesis deals with the research minerals of olivine group, mainly group of forsterite-fayalite. In the first part was processed the crystal structure and chemical composition minerals of this group. Attention was also paid to physical properties, genesis and deposits of olivine. In the second part of this work were studied samples of olivine from Smrčí and from Shavariin Tsaram in Russia by the help of X-ray powder diffraction. From modeled X-ray powder diffraction for next working were chosen suitable crystal structure positions and their interplanar spacing. By the help ratio of d-value chosen crystal structure positions and their intensities were calculated linear dependences on the basis of content of forsterite, where the increasing content of forsterite led to decrease interplanar spacing and difraction intenisties in crystal structure of olivine. On the basis of these dependences was found content of forsterite in studied samples. Average result of content of forsterite in olivine from Shavariin Tsaram in Russia is 88.21 mol % and in olivine from Smrčí is 88.14 mol % of forsterite.

Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student : **Hana Kupská**
Studijní program : **Geologie**
Studijní obor : **Geologie**

Ředitel Ústavu geologických věd PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

Změny ve struktuře minerálů řady olivínu v závislosti na chemickém složení

Changes in structure of olivine group in dependence on chemical composition

Zásady pro vypracování: V rešeršní části se řešitelka tématu zaměří na popis krystalové struktury minerálů řady olivínu a na variabilitu jejich chemického složení. Zpracuje přehled výsledků, které se zabývají možnostmi stanovení chemického složení na základě strukturních dat z rtg práškové difrakce. Ve vlastní práci namodeluje práškové difrakční záznamy jednotlivých členů olivínové řady a pokusí se definovat vztahy mezi polohou a intenzitou difrakčních maxim s ohledem na změnu chemického složení.
Doporučená literatura: podle zadání vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce : RNDr. Václav Vávra, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce : 31. října 2012
Datum odevzdání bakalářské práce : 3. května 2013

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD
Kotlářská 2, 611 37 Brno

V Brně dne 9.11.2012

doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
ředitel Ústavu geologických věd PřF MU

Zadání bakalářské práce převzal dne:
27. 11. 2012

Podpis studenta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat RNDr. Václavu Vávrovi, Ph.D. za pomoc při výběru tématu, odborné vedení práce, připomínky a cenné rady a zejména za jeho vstřícnost. Také bych chtěla poděkovat rodičům za podporu během studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a ostatní prameny, z nichž jsem při přípravě práce čerpala, řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Brno 30. dubna 2013 ……

Hana Kupská

Obsah

1 ÚVOD 8
2 PŘEHLED LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ 9
2.1 Olivín 9
2.2 Krystalová struktura a chemické složení minerálů skupiny olivínu 9
2.2.1 Méně významné chemické prvky ve stuktuře olivínu 11
2.3 Morfologie krystalů olivínu 12
2.4 Fyzikální vlastnosti olivínu 13
2.5 Geneze olivínu 15
2.6 Výskyt a naleziště olivínu 16
2.7 Využití olivínu 17
3 METODIKA PRÁCE 19
3.1 Příprava vzorků 19
3.2 Difrakční práškový záznam 19
4 VÝSLEDKY 20
5 DISKUZE 23
6 ZÁVĚR 24
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 25
Přílohy 27

1 ÚVOD

Jako olivín se označuje izomorfní směs mezi forsteritem a fayalitem s převahou forsteritové složky, olivín patří mezi časté a důležité horninotvorné minerály. Teoretické složení lze vyjádřit vzorcem $R_2 (SiO_4)$, kde R = Mg, Fe, Mn, Ca. Řadí se do skupiny nesosilikátů a základem jeho struktury jsou izolované tetraedry SiO_4. Nejběžnější krystalové tvary olivínu vykazují krátce prizmatický typus a bývají ukončeny dómaty {101}, {120}, {021} a rombickou dipyramidou {111}. Fyzikální vlastnosti jsou závislé především na chemismu, zejména na obsahu železa. Olivín je charakteristickým minerálem hlavně v ultrabazických a bazických vyvřelých horninách. Praktický význam má jen olivín s vysokým podílem forsteritové složky a využívá se k výrobě žáruvzdorných materiálů.

Cílem mé bakalářské práce je přispět k lepšímu pochopení stavby a složení minerálů skupiny olivínu, zejména řady forsterit-fayalit, zpracováním rešeršní části, a porovnáním získaných výsledků s literárními údaji.

Při zpracování literatury, která se týkala tohoto tématu, jsem se zaměřila zejména na strukturu minerálů skupiny olivínu, jejich chemické složení, na poznání fyzikálních vlastností olivínu, jeho genezi a naleziště. V samotné praktické části práce jsem věnovala pozornost vzorkům olivínů, které byly studovány metodou RTG práškové difrakce.

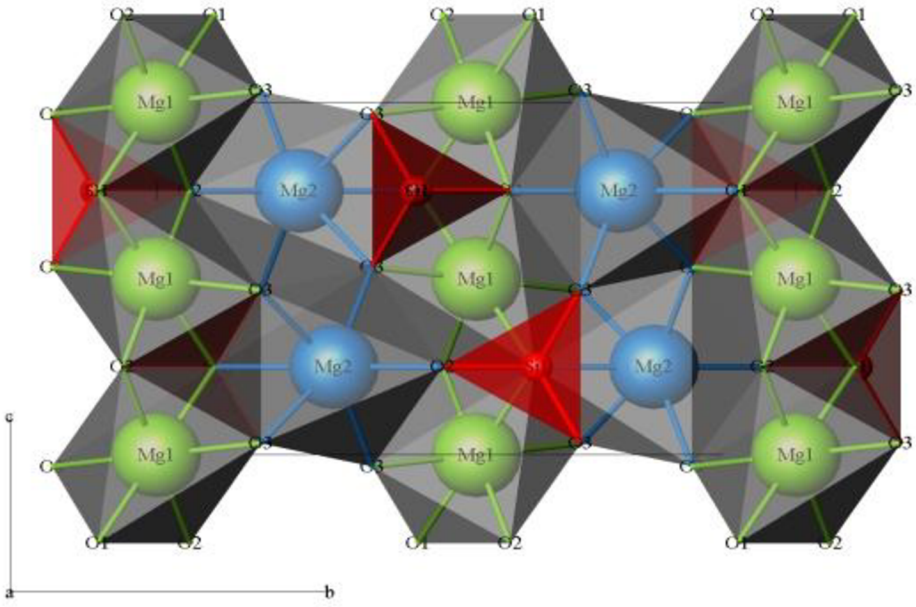
2 PŘEHLED LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ

2.1 Olivín

Olivín patří mezi známé minerály již od starověku. Staří Římané jej nazvali jako „topasios“ podle ostrova Topasos v Rudém moři, kde je i dnes naleziště jeho drahokamových odrůd. Tato varieta se nazývá chryzolit, odvozené z řeckých slov „chrysos“ (zlato) a „lithos“ (kámen). Už Plinius Starší použil jméneno „chrysolithos“, avšak mínil tím nejspíš jiné zlaté kameny (např. žlutý topaz). Dnes je „olivín“ pojmenován podle své olivové barvy a zahrnuje skupinu nesosilikátových minerálů, z nichž je nejznámější izomorfní řada forsterit-fayalit (Bouška, Kouřimský, 1979).

2.2 Krystalová struktura a chemické složení minerálů skupiny olivínu

Minerály skupiny olivínu, kam náleží forsterit ($Mg_2 SiO_4$), fayalit ($Fe_2 SiO_4$), monticellit (Ca Mg SiO_4), kirschteinit (Ca Fe SiO_4), glaucochroit (Mn Ca SiO_4), larnit ($Ca_2 SiO_4$), tefroit ($Mn_2 SiO_4$), knebellit (Fe Mn SiO_4), (Mn Mg SiO_4), patří do skupiny nesosilikátů a krystalizují v rombické soustavě. Jejich struktura se skládá z izolovaných SiO_4 tetraedrů, které jsou propojeny přes oktaedry M^{2+} s 6 ionty kyslíku (viz obr. 1). Kyslíky leží v rovině (100) a jsou uspořádány hexagonálně (viz obr. 1). Průměrná vzdálenost mezi Si a O je 1,6 Å. Každý kyslík je propojen s jedním Si a 3 oktaedricky uspořádanými atomy M^{2+} (viz obr. 1). Polovina oktaedrických pozic je obsazena atomy M (Mg a Fe) a ⅛ tetraedrických pozic atomy Si (viz obr. 1). Polovina atomů M^{2+} je situována do středu symetrie, a polovina do roviny symetrie (viz obr. 1).



Obr. 1: Struktura olivínu (zeleně znázorněné jsou oktaedry M1, modře oktaedry M2 a červeně tetraedry SiO_4) (zdroj: Mineralogie.sci.muni.cz, 2013).

Ve struktuře olivínu jsou značné odchylky od pravidelných hexagonálních tvarů polyedrů. Polyedr M1 je deformovaný oktaedr podél 3 krajních os. Z toho vyplývá, že vzdálenost M–O je větší v M2 pozici, kde se vzdálenost M2–O pohybuje od 2,047 do 2,213 Å, zatímco vzdálenost M1–O se pohybuje od 2,070 do 2,131 Å (McKeown et al., 2010). M2 polyedr je méně pravidelný. Vzdálenosti M1–O a M2–O se zvyšují lineárně se zvyšujícím se obsahem fayalitové složky. Rozdíly v meziatomových vzdálenostech mezi M1–O a M2–O jsou malé, 0,035 Å pro forsterit (Deer et al., 1997).

Obecné složení minerálů skupiny olivínu lze vyjádřit vzorcem $R_2 (SiO_4)$, kde R = Mg, Fe, Mn, Ca (Gregerová, Fojt et al., 2002).

Nejčastěji se v horninách vyskytuje jako směsný krystal s převahou forsteritové složky. Výskyt členů této řady často obsahuje i jiné dvojmocné kationty hlavně Ca, Mn a Ni, které zastupují Mg a Fe. Složení minerálů olivínové řady lze popsat v tetraedrickém diagramu (viz příloha č. 1) (Brown, 1982).

Členy izomorfní řady forsterit-fayalit patří mezi nejhojnější přírodní výskyty olivínů se složením v podstatě od čistého forsteritu (fo_{99} fa_1) k fayalitu ($fa_{99,5}$ $tefroit_{0,3}$ $laihunit_{0,2}$).

Existuje neomezená izomorfní mísitelnost mezi $Mn_2 SiO_4$ a $Fe_2 SiO_4$ a mezi $Mn_2 SiO_4$ a $Mg_2 SiO_4$. Olivíny mezi těmito 3 koncovými členy jsou hojné. V Mg-Fe-Mn olivínech byl zjištěn Zn a druh olivínu, který obsahuje vysoký obsah Zn a Fe^{2+} se nazývá roepperit (Brown, 1982).

Omezená izomorfní mísitelnost je také mezi $Mn_2\ SiO_4$ a $Ca_2\ SiO_4$ a mezi $Fe_2\ SiO_4$ a $Ca_2\ SiO_4$, přírodní Fe-Mn olivíny obsahují velmi málo CaO. Glaucocroit (Ca Mn SiO_4), kirschsteinit (Ca Fe SiO_4) jsou vzácné minerály (Brown, 1982).

Monticellit (Ca Mg SiO_4) postrádá značnou neomezenou mísitelnost mezi Ca Mg SiO_4 a $Ca_2\ SiO_4$ a má jen omezenou mísitelnost mezi Ca Mg SiO_4 a $Mg_2\ SiO_4$. Kompletní neomezená mísitelnost existuje mezi Ca Mg SiO_4 a Ca Fe SiO_4 a předpovídá se výskyt mezi Ca Mg SiO_4 a Ca Mn SiO_4, minerály se složením uprostřed řady Ca Mg SiO_4–Ca Fe SiO_4–Ca Mn SiO_4 jsou vzácné (Brown, 1982).

2.2.1 Méně významné chemické prvky ve struktuře olivínu

Obsah vápníku v Mg-Fe olivínech vzácně převyšuje 1 %, většinou je menší než 0,5 %. Obecně obsahují plutonické olivíny méně Ca než olivíny z hypabysálního a výlevného prostředí.

Mangan bývá nejčastěji přítomný v Mg-Fe olivínech v množství méně než 2 % (Brown, 1982).

Množství niklu má většina olivínu méně než 0,5 %. Kationty Mg^{2+} a Ni^{2+} mají podobné iontové poloměry. Olivíny z nenasycených hornin jsou obvykle chudé na Ni. Nejčastějším olivínem bohatým na Ni je liebenbergit $(Ni_{1,52}\ Mg_{0,33}\ Fe_{0,12}\ Ca_{0,05})Si_{0,99}O_4$ (Brown, 1982).

Terestrický olivín obsahuje atomy chromu obvykle pod limitem záznamu elektronového mikroskopu. Forsteritem bohatý olivín (Fo_{92}-Fo_{95}), který se vyskytuje v diamantech, obsahuje až 0,15 % Cr_2O_3. Chrom může existovat buď jako dvouvalentní nebo třívalentní. V těchto olivínech se vyskytují atomy Cr^{2+}, které jsou zastupovány atomy Mg. Vyšší obsah, 0,4 % Cr^{2+}, je v lunárních olivínech. Těkavost kyslíku v krystalizujícím magmatu ovlivňuje obsah Ni v mateřském magmatu a to jsou důležité faktory, které určují, kolik Cr bude vstupovat do struktury olivínu. Třívalentní chrom se nachází v některých (chondritických) olivinických meteoritech (Brown, 1982).

V terestrických olivínech je asi 0,01 % Al. V lunárních olivínech je obsaženo okolo 0,6 % Al_2O_3 a v chondritických olivínech je obsaženo více jak 0,07 % Al_2O_3 (Brown, 1982).

Oxid železitý je obvykle nezjistitelný nebo má velmi nízké hodnoty v přírodních olivínech (méně než 0,01 % Fe) (Brown, 1982).

Obsahy Na_2O a K_2O se v přírodních olivínech pohybují v rozmezí od meze detekce do asi 0,05 %. Ačkoli možnost vstupování Na do struktury olivínu nemůžeme vyloučit, krystalochemické argumenty jsou proti substituci K^+. Kationty K^+ jsou přítomny ve struktuře jako nečistoty (Brown, 1982).

Olivín patří mezi bezvodé silikáty, ačkoli může existovat strukturní voda ve formě OH^-. V olivínu může být přítomno i 0,008 % H_2O (Deer et al., 1997).

Titan je v lunárních a chondritických olivínech přítomen v nízkých hodnotách 0–1 % (Brown, 1982).

2.3 Morfologie krystalů olivínu

Krystaly olivínu se vyskytují v mnoha tvarech, z nichž nejobvyklejší jsou {010}, {110}, {021}, {111}, {120}, {101} a {001}, méně časté jsou {011}, {100}, {121} a {131}. Tvar {112} mají olivíny přítomné v palasitických meteoritech (Hart, 1978).

Krystaly olivínu jsou vzácné, sloupcovité nebo tlustě tabulkovité. Nejčastěji jsou krátce prizmatické a bývají ukončeny dómaty {101}, {120}, {021} a pyramidami {111} (Hejtman, Konta, 1953).

Krystaly mohou obsahovat tvary vertikálního pásma {110}, {120}, {010}, {100} (viz obr. 2). Bohaté plochami jsou olivíny z meteoritických železz, terestrické olivíny nejsou hojnoploché. Dvojčata bývají vzácná podle (011), prorostlice se vyskytují jen u mikroskopických krystalů. Srůst krystalů podle (012) je také velmi vzácný (Medenbach, Sussiecková--Fornefeldová, 1995).

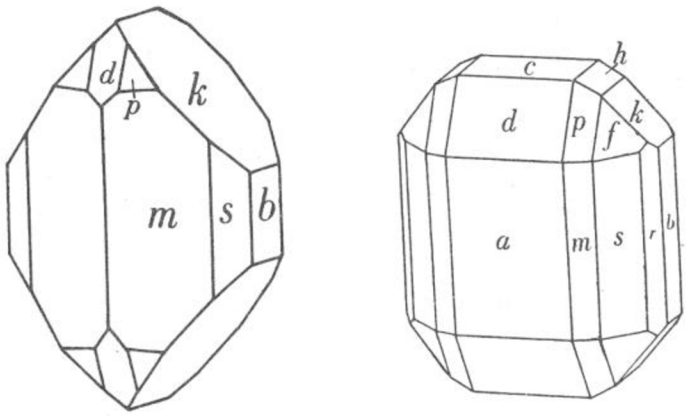
Olivín bývá nejčastěji zrnitý, kusový nebo celistvý. V plutonických horninách tvoří agregáty, ve vulkanických horninách bývá automorfně omezený (Medenbach, Sussiecková--Fornefeldová, 1995).

Forsterit má tabulkovité až sloupcovité krystaly, vyskytuje se nejčastěji zarostlý v zrnech. Časté tvary jsou {111}, {110}, {010} a {001}. Ve středoitalských vyhaslých sopkách tvoří v lávách drobné krystalky (Ježek, 1932).

U fayalitu bývají krystaly nedokonale vyvinuté, sloupcovité až tabulkovité podle pinakoidu (011) (Ježek, 1932).

Vzácné jsou dlouze sloupcovité krystaly tefroitu, častěji se vyskytuje kusový.

Drobné krystaly, sloupcovité nebo tabulkovité podle (010) jsou charakteristické pro monticellit, zatímco hranolovitá krystalická zrna jsou typická pro glaucochroit (Ježek, 1932).



Obr. 2: Krystalové tvary a {100}, b {010}, c {001}, m {110}, s {120}, r {130}, h {011}, k {021}, d {101}, p {111}, f {121}. Podle Ježka, 1932.

2.4 Fyzikální vlastnosti olivínu

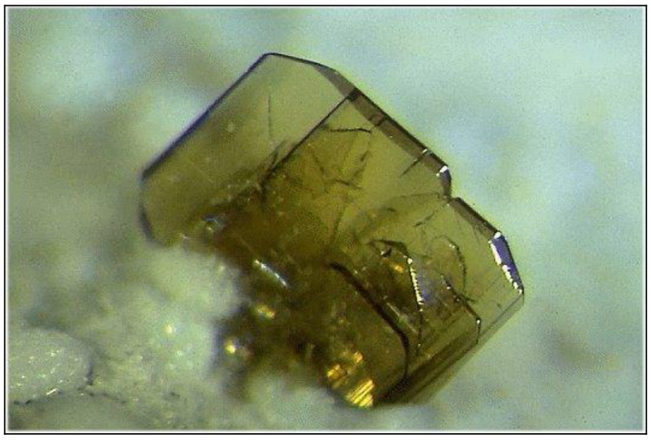
Fyzikální vlastnosti olivínu jsou závislé především na obsahu chemických prvků.

Olivíny můžou mít řadu barev od bezbarvé k zelené nebo k černé, závisí na obsahu Fe a Mn. Zelenožlutá až zelená barva Mg-Fe olivínů je způsobená přítomností Fe^{2+}. Střední členy řady Ni-Mg olivínů mají smaragdově zelenou barvu. Čistý monticellit může být bezbarvý stejně tak jako čistý forsterit (Deer et al., 1997).

Forsterit je zpravidla bezbarvý, průhledný, bílý, žlutavý nebo nazelenalý (viz obr. 3), ve výbruse bezbarvý (Korbel, Novák, 2007).

Obr. 3: Forsterit (zdroj: Webmineral.com, 2010).

Fayalit je poměrně vzácný, čerstvé krystaly jsou vínově žluté nebo olivově zelené (viz obr. 4). Navětralý bývá červený, hnědý až černý a neprůhledný. Indexy lomu a dvojlom je vyšší než u běžných olivínů (Korbel, Novák, 2007).

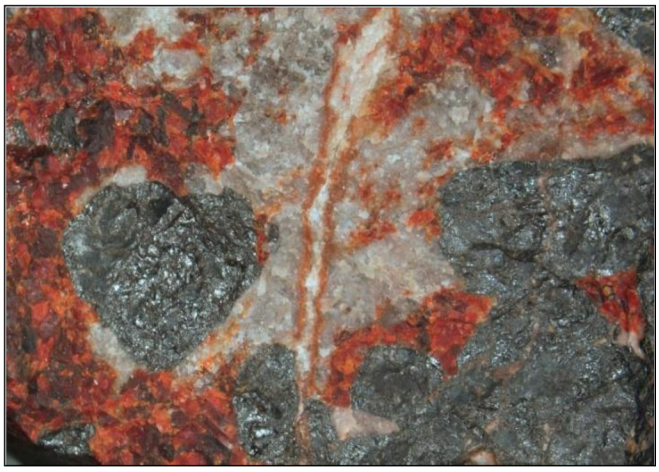


Obr. 4: Fayalit (zdroj: Webmineral.com, 2010).

Monticellit bývá bezbarvý, průhledný, nažloutlý (viz obr. 5), ve výbruse bezbarvý. Má nízký dvojlom, jen 0,017 a špatnou štěpnost podle (010). Je rozpustný v kyselině chlorovodíkové (Ježek, 1932).

Obr. 5: Monticellit (zdroj: Webmineral.com, 2013).

Tefroit je nejčastěji šedý, olivově zelený, hnědý, červený až růžový (viz obr. 6). Je silně pleochroický (Ježek, 1932).



Obr. 6: Tefroit (zdroj: Mineraly.sci.muni.cz, 2013).

Minerály skupiny olivínu mají matný až skelný lesk a bílý vryp s výjimkou fayalitu, který je charakteristický šedým vrypem. Štěpnost je dobrá podle {010}, nedokonalá podle {001}, {100} a plochy odlučnosti jsou lasturnaté až nerovné. Tvrdost podle Mohsovy stupnice se pohybuje od 6 do 7 (Korbel, Novák, 2007). Hustota kolísá v rozmezí od 3,25–3,7 g/cm^3, u olivínů bohatších železem až 4,40 g/cm^3 (Hejtman, Konta, 1953).

V polarizovaném světle jsou indexy lomu minerálů skupiny olivínu velmi závislé na chemismu. Indexy lomu i maximální dvojlom γ-α rostou s přibýváním fayalitové složky. Maximální dvojlom je nejčastěji D = 0,036. Rovina optických os je rovnoběžná s (001), index β souhlasí s osou z. Při 13 % FeO je úhel optických os 90°, do 13 % podílu fayalitové složky je olivín opticky pozitivní s úhlem optických os 84°–90°. Nad 13 % fayalitové složky jsou olivíny opticky negativní s úhlem optických os 50°–90° (viz příloha č. 2) (Hejtman, Konta, 1953).

Ve výbruse je olivín zpravidla bezbarvý, u minerálů s větším množstvím Fe bývá slabě nažloutlý nebo nazelenalý s drsným reliéfem. Minerály skupiny olivínu zháší přímo, někdy mohou obsahovat uzavřeniny jako magnetit, ilmenit, apatit, případně picotit a chromit (Hejtman, Konta, 1953). Minerály skupiny olivínu jsou dvojosé a vykazují pleochroismus (kromě forsteritických olivínů). Fayalitické olivíny mají světle žlutou až oranžovou barvu pleochroismu (Deer et al., 1997).

2.5 Geneze olivínu

Olivín vzniká hlavně krystalizací bazického a ultrabazického magmatu, které obsahuje málo SiO_2 (Kühn, Zamarský, 1984).

Primární bazaltové magma vzniká částečným natavením pyrolitu, horniny tvořící svrchní plášť (pyrolit je složen z pyroxenu a olivínu v poměru 1 : 3), v hloubkách 100 až 250 km při teplotě 1300–1500 °C a tlaku 3 až 6 GPa. Tavením pyrolitu za vysokého tlaku se zhruba ⅓ objemu pyrolitu změní v bazické magma a zbývající zhruba ⅔ objemu se přemění na peridotit s čočkami eklogitu. V závěru počáteční krystalizace, při teplotě 1000 až 1200 °C, začínají krystalizovat první horninotvorné minerály (silikáty). Začíná stádium hlavní krystalizace, při kterém horninotvorné minerály z magmatické taveniny krystalizují v určitém pořadí. Jako první vzniká frakční krystalizací olivín (viz příloha č. 3) (Slavík et al., 1974).

Olivín může také vzniknout při metamorfóze uhličitanových hornin, které mají vždy buď křemičitou, nebo jílovitou příměs. Z části uhličitanové horniny (např. dolomitu) je vypuzen CO_2 a zbylé CaO, MgO, FeO se sloučí při metamorfóze s kyselinou křemičitou nebo také s křemito-hlinitými zbytky (Slavík et al., 1974).

2.6 Výskyt a naleziště olivínu

Olivíny se vyskytují především ve vyvřelých horninách, ale nacházejí se také v metamorfovaných paragenezích. V horninách bohatších na SiO_2 olivín většinou chybí. Mg-Fe olivíny se vyskytují ve významném množství ve 4 třídách vyvřelých hornin zahrnujících: 1) ultramafické intruze, 2) stratiformní mafické intruze, 3) gabra, bazalty a dolerity, 4) kyselé horniny (Brown, 1982).

V ultramafických intruzích mohou forsteritické olivíny (Fo_{85}-Fo_{95}) tvořit z více než 90% horninu dunit (Brown, 1982). Nejslavnější lokalita je Starověký Topazos na ostrově Zebirget v Rudém moři. Z trhlin dunitu pocházejí sloupcové, čiré až 10 cm velké krystaly, největší vybroušený olivín (chryzolit) má 346 karátů a rozměry 4,5 x 4 x 2,3 cm (Bernard, Rost, 1992).

Častěji jsou olivíny přítomné v peridotitech v množství mezi 40–90 % (Brown, 1982). U nás se vyskytují peridotity hlavně ve Starém Ransku a ve Hvožďanech. Z mnoha cizích nalezišť je třeba zmínit olivín s chromitem v serpentinizovaném peridotitu v Kraubathu (Štýrsko) (Bernard, Rost, 1992).

Ve stratiformních, mafických intruzích se mohou vyskytovat olivíny bohaté na Mg, dále jako hlavní složky vrstevnatých peridotitů a gaber se složením mezi Fo_{80} a Fo_{85} (Brown, 1982).

V gabrech, bazaltech a doleritech je olivín obsažen ve složení mezi Fo_{50} a Fo_{80} (Brown, 1982). Příklady u nás jsou v bazických masivech v Novém Kramolíně a Hvožďanech u Poběžovic, dále v Orlovicích v kdyňském masivu a zejména ve Starém Ransku. V bazických kontinentálních neovulkanitech Českého středohoří převládají olivinické čediče s vyrostlicemi

olivínu (62 %) a tvoří příkrovy, lávové proudy, kupy a sopouchy. Nejznámější jsou lokality Kostomlaty, Vrkoč, Radobýl, Kamenický Šenov. Z cizích je zajímavá lokalita Forstberg u Mayenu (Eifel, Porýní-Falc, NSR), kde z láv vyvětrávají volné krystaly olivínu. Vysoký obsah olivínu mají i kontinentální plató bazalty na Sibiři (Bernard, Rost, 1992).

Na Slovensku se vyskytují v diabasech a bazaltech v Kondrádovcích a Banské Štiavnici (Betechtin, 1951). Také efuziva s foidy mohou být olivinická, v Českém středohoří, hlavně olivinické nefelinity (Bernard, Rost, 1992).

V kyselých horninách zahrnujících granity, syenity, ryolity, trachyty a doleritické pegmatity se vyskytují železem bohaté olivíny. Velké krystaly fayalitu se našly v žíle žulového pegmatitu na břehu řeky Džaši (Kirgiszský hřbet). Fayalit se vyskytuje také v dutinách obsidiánů v Yellowstonském parku a na Liparských ostrovech (Betechtin, 1951).

Metamorfované olivíny jsou značně omezenější v jejich paragenezi, než olivíny vyvřelého původu (Brown, 1982). Z ojedinělých výskytů v metamorfovaných horninách jsou typické magnetitové skarny v Persbergu a Langbanu (Švédsko). Z metamorfovaných mramorů v Mogoku (sv. Barma) pocházejí žlutozelené až 10 cm velké olivíny, obvykle do velikosti 3cm jsou vhodné pro broušení (Bernard, Rost, 1992).

V menší míře se olivín vyskytuje na rýžoviskách drahých kamenů, u nás hlavně v okolí Třebenic a na Jizerské louce. Ze žilných hornin bývá v některých minetách a kersantinech (Bernard, Rost, 1992).

2.7 Využití olivínu

Olivín tvoří podstatnou část matečných hornin chromitu a platinových kovů nebo hornin, ze kterých se zvětráním tvoří hydrosilikátové a lateritové rudy niklu (Kühn, Zamarský, 1984).

Nachází praktické využití jako žáruvzdorný surový materiál. Ten se skládá z forsteritu ($Mg_2 SiO_4$) a obsahuje 50–60 % MgO, 25–40 % SiO_2 (Krivolutskaya, Bryanchaninova, 2011) a fayalitu, který se pohybuje v rozmezí od 8 do 11 % (obsah FeO je 6–8 %). Protože teplota tavení forsteritu je 1890°C (teplota tavení fayalitu činí pouze 1205 °C), používají se pro výrobu žáruvzdorných materiálů olivíny obsahující méně než 15 % fayalitu (Pešek et al., 2013).

Olivín se využívá v akumulačně-tepelných blocích u pecí a při výrobě slévačských forem barevných kovů v metalurgii, pro výrobu dělících desek do mezipánví pro kontinuální lití oceli a jako vyzdívky různých spalovacích zařízení. Vzhledem k jejich chemickému složení olivíny odolávají velmi dobře působení zásaditého prostředí zvláště tam, kde dochází k usazování a působení alkálií na vyzdívku tepelného agregátu, např. cementářské rotační pece, regenerační

komory a rekuperátory sklářských pecí (Pešek et al., 2013). Dále se olivín využívá v chemickém průmyslu, při výrobě hnojiv, jako brusivo a někdy jako ruda hořčíku. V menší míře se používá na výrobu ozdobných předmětů. Průzračné a pěkně zbarvené, metamorfózou neporušené krystaly olivínu se používají v klenotnictví jako drahokamy zpravidla pod označením chryzolit (Kühn, Zamarský, 1984).

3 METODIKA PRÁCE

Vzorky olivínu pochází ze sbírek Ústavu geologických věd, PřF MU. Pro měření byl použit čistý přírodní olivín z olivinického bazaltu z lokality Smrčí a olivín z lokality Shavariin Tsaram v Rusku.

3.1 Příprava vzorku

Pro RTG práškový záznam byly vzorky rozdrceny (viz níže) a následně rozetřeny v achátové misce na požadovanou zrnitost. Dobře homogenizovaný vzorek byl pak nalepen na speciální nosič a vložen do středu RTG práškového difraktometru STOE Stadi P.

3.2 Difrakční práškový záznam

Práškový rentgenový difraktogram poskytuje informace o struktuře zkoumaného minerálu. Difrakční záznam znázorňuje závislost měřené difraktované intenzity I (vyjádřená nejčastěji počtem pulsů za sekundu) na orientaci vzorku (poloze detektoru), která je vyjádřena ve stupních Θ respektive 2Θ. Na ose x je vynesena poloha detektoru a na ose y je intenzita difraktovaného svazku. Z Braggovy rovnice $n\lambda = 2d_{hkl}\sin\Theta$, lze vypočítat také mezirovinnou vzálenost d, která odpovídá difraktujícímu systému strukturních rovin při daném úhlu.

Odebrané vzorky olivínu byly měřeny na automatickém práškovém difraktometru STOE, typ Stadi P v transmisním módu. Měření bylo provedeno následovně. Kobaltová lampa byla buzená generátorem s parametry 40 kV a 25 mA. Na primárním Ge (111) monochromátoru je získáváno CoKα1 záření ($1{,}788965.10^{-10}$ m). Detekce difraktovaných intenzit byla prováděna lineárním pozičně citlivým detektorem plněným směsí Ar-metan (P10). Vyhodnocení dat bylo provedeno pomocí softwaru Visual XPOW tímto postupem: odečtení pozadí, vyhledání difrakčních maxim, zpřesnění poloh a intenzit profilovou funkcí.

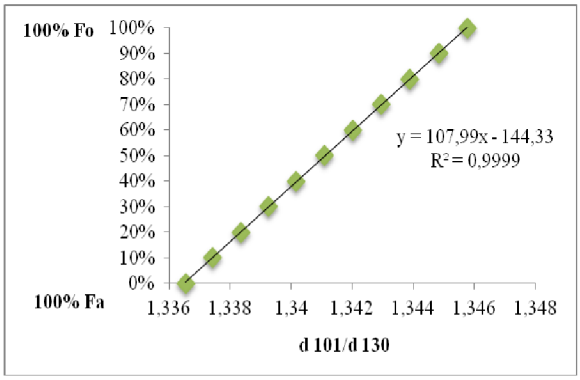
4 VÝSLEDKY

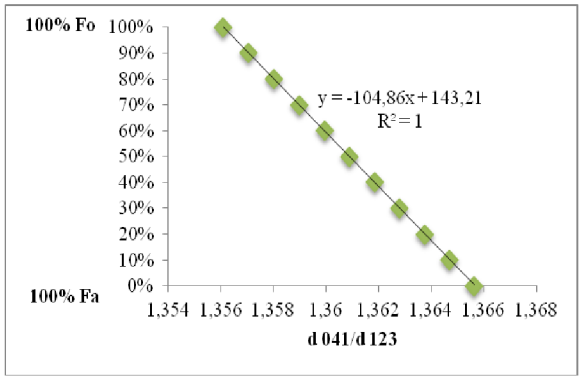
Pomocí vyřešených struktur byly vymodelovány práškové difrakční záznamy řady forsterit-fayalit (Lager, Ross, et al., 1981; Aikawa, Tokonami, 1987; Hazen, 1977; Smyth, 1975), které obsahovaly vždy 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 obj. % forsteritové složky (viz příloha č. 6–11). Z těchto záznamů byly vytvořeny pro zvolené strukturní pozice lineární regresní závislosti poměru mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit vzhledem k objemovému podílu forsteritu (viz příloha č. 6–11 a tab. 1).

mezirovinné vzdálenosti (d), difrakční intenzity (I)	lineární regresní rovnice
d (101/130)	y = 107,99x - 144,33
d (041/123)	y = - 104,86x + 143,21
d (020/242)	y = - 39,84x + 136,17
d (021/101)	y = - 127,49x + 133,95
I (240/213)	y = - 0,1563x + 1,6471
I (130/240)	y = - 0,4579x + 2,2086

Tab. 1: Lineární regresní závislosti pro výpočet obj. % forsteritu ve vzorku, na základě poměru mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit zvolených strukturních rovin; y = obj. % forsteritu ve vzorku; x = poměr mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit zvolených strukturních rovin.

Ze závislosti pro poměr mezirovinných vzdáleností strukturních pozic (101) a (130) (viz obr. 7) vyplývá, že se zvyšujícím se obsahem forsteritové složky se zvyšují hodnoty mezirovinných vzdáleností. V případě poměru mezirovinných vzdáleností strukturních pozic (041) a (123) (viz obr. 7) dochází naopak ke klesání obsahu forsteritu se zvyšujícími se hodnotami mezirovinných vzdáleností, což platí také pro poměr mezirovinných vzdáleností strukturních pozic (020/242), (021/101) a difrakčních intenzit strukturních pozic (240/213), (130/240) (viz příloha č. 8–11). Z toho vyplývá, že při změně obsahu forsteritové složky se mění mezirovinné vzdálenosti a difrakční intenzity jednotlivých strukturních pozic.





Obr. 7: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru mezirovinných vzdáleností strukturních pozic (101/130), (041/123).

Pomocí lineárních regresních závislostí bylo vypočítáno objemové zastoupení forsteritové složky ve studovaných vzorcích olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku a z lokality Smrčí (viz příloha č. 12, 13 a tab. 2). Podle zvolených strukturních rovin mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit je průměrná výsledná hodnota obsahu forsteritu v olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku 88,21 obj. % (viz příloha č. 12 a tab. 2) a průměrný výsledný obsah forsteritové složky v olivínu z lokality Smrčí je 88,14 obj. % (viz příloha č. 13 a tab. 2).

	Shavariin Tsaram	Smrčí
1	**90,91 %**	**92,40 %**
2	**85,76 %**	**86,84 %**
d (101/130)	88,46 %	86,93 %
d (041/123)	97,19 %	96,79 %
d (020/ 242)	77,68 %	75,47 %
d (021/101)	98,77 %	96,22 %
I (240/213)	86,91 %	95,66 %
I (130/240)	80,21 %	77,79 %
3	**88,21 %**	**88,14 %**
4	2,70 %	4,26 %
5	2,45 %	1,30 %
6	**2,57 %**	**2,78 %**

Tab. 2: Výsledky určení obsahu forsteritu ve studovaných vzorcích. 1 = obsah podle Yordera a Sahamy (1957), 2 = obsah podle Suturina (1971), 3 = průměrný výsledek zvolených strukturních pozic mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit, 4 = absolutní chyba stanovení při porovnání s Yorderem a Sahamou (1957), 5 = absolutní chyba stanovení při porovnání se Suturinem (1971), 6 = průměrná absolutní chyba stanovení ve studovaných vzorcích.

Podle Yodera a Sahamy (1957), kteří zjistili závislost mezi obsahem forsteritu a strukturní pozice 130: Fo (obj. %) = 4233,91 - 1494,59d_{130} (platí pro přírodní olivíny) (viz příloha č. 4) je výsledný obsah forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram 90,91 obj. % a v olivínu ze Smrčí 92,40 obj. % (viz tab. 2).

Ze Suturinovy rovnice (1971): Fa = - 3813,808 - 47,799a + 228,233b + 286,890c ± ± 2,5 %, která vyjadřuje závislost mřížkových parametrů na obsahu Fe (viz příloha č. 5), je obsah forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram 85,76 obj. % (viz tab. 2). Olivín ze Smrčí obsahuje podle Suturina (1971) 86,84 obj. % forsteritu (viz tab. 2).

Absolutní chyba stanovení forsteritu, v porovnání s výše uvedenými autory, se v olivínu z lokality Smrčí pohybuje od 1,30–4,26 obj. % a z lokality Shavariin Tsaram v Rusku v rozmezí 2,45–2,70 obj. % (viz tab. 2). Při porovnání výsledků s Yorderem a Sahamou (1957) je absolutní chyba stanovení forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram 2,70 obj. % a v olivínu ze Smrčí 4,26 obj. % (viz tab. 2). Při porovnání výsledků se Suturinem (1971) je absolutní chyba stanovení forsteritu 2,45 obj. % v olivínu z Shavariin Tsaram a 1,30 obj. % v olivínu ze Smrčí (viz tab. 2). Průměrná hodnota absolutní chyby stanovení forsteritu je pro olivín ze Smrčí 2,78 obj. % a pro olivín z Shavariin Tsaram 2,57 obj. % (viz tab. 2).

5 DISKUZE

Záměna Mg a Fe v oktaedrech struktury olivínu je spjata se změnou poloh, intenzit a mezirovinných vzdáleností difrakčních maxim jednotlivých strukturních pozic. Je to dáno rozdílnými velikostmi atomů Mg a Fe, které vstupují do struktury olivínu. Mezirovinná vzdálenost je v případě poměru strukturních pozic (041/123) 1,356 Å pro 100 % forsterit, s přibýváním fayalitové složky se zvyšuje mezirovinná vzdálenost pro čistý fayalit na hodnotu 1,366 Å (viz příloha č. 7). Pro poměr strukturních pozic (020/242) s rostoucím obsahem forsteritu klesají hodnoty mezirovinných vzdáleností (od 3,418 Å k 3,393 Å) (viz příloha č. 8). Je to způsobeno tím, že má Mg^{2+} větší iontový poloměr než Fe^{2+}, a proto dochází s rostoucím obsahem Mg ke snižování mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit ve struktuře olivínu (viz příloha č. 7–11). V případě poměru strukturních pozic (101/130) (viz příloha č. 6) dochází naopak ke zvyšování mezirovinných vzdáleností s rostoucím obsahem forsteritu, je to nejspíše ovlivněno přítomností Si a O.

Průměrný obsah forsteritu podle zvolených strukturních pozic mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit v olivínu z Shavariin Tsaram je 88,21 obj. %. Podle Yordera a Sahamy (1957) je obsah forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram 90,91 obj. %, podle Suturina (1971) 85,76 obj. %. Absolutní chyba stanovení forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram je tedy v porovnání s Yorderem a Sahamou (1957) 2,70 obj. % a v porovnání se Suturinem (1971) 2,45 obj. %.

Podle Yordera a Sahamy (1957) je obsah forsteritu v olivínu ze Smrčí 92,40 obj. %, podle Suturina (1971) 86,84 obj. %. Průměrná hodnota forsteritu stanovená na základě zvolených strukturních pozic mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit v olivínu ze Smrčí je 88,14 obj. %. Absolutní chyba stanovení forsteritu v olivínu ze Smrčí je v porovnání s Yorderem a Sahamou (1957) větší, než v případě olivínu z Shavariin Tsaram, 4,26 obj. %. Absolutní chyba stanovení forsteritu v olivínu ze Smrčí při porovnání se Suturinem (1971) je naopak menší, než u olivínu z Shavariin Tsaram, pouze 1,30 obj. %.

Průměrná absolutní chyba stanovení forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram je tedy 2,57 obj. %, v případě olivínu ze Smrčí 2,78 obj. %.

6 ZÁVĚR

Pomocí modelovaných RTG práškových záznamů řady olivínu byly vybrány strukturní pozice a jejich mezirovinné vzdálenosti a difrakční intenzity. Z poměrů zvolených strukturních pozic těchto vzdáleností a intenzit byly vypočítány lineární regresní závislosti na základě obj. % obsahu forsteritové složky, kde s rostoucím obsahem Mg docházelo ke snižování mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit ve struktuře olivínu. Záměna Mg a Fe v oktaedrech struktury olivínu je tedy spjata se změnou poloh, intenzit a mezirovinných vzdáleností difrakčních maxim jednotlivých strukturních pozic.

Lineární regresní závislosti byly ověřeny na dvou konkrétních vzorcích olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku a z lokality Smrčí, které byly zpracovány a podrobeny RTG práškové difraktometrii. Podle zvolených strukturních rovin mezirovinných vzdáleností a difrakčních intenzit je průměrná výsledná hodnota obsahu forsteritu v olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku 88,21 obj. % a průměrný výsledný obsah forsteritové složky v olivínu z lokality Smrčí je 88,14 obj. %. Při porovnání s ostatními autory (Yorderem a Sahamou, 1957; Suturinem, 1971) jsou výsledky vyhovující, neboť průměrná absolutní chyba stanovení obsahu forsteritu v olivínu z Shavariin Tsaram je 2,57 obj. % a v olivínu ze Smrčí 2,78 obj. %.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Aikawa N., Tokonami M. (1987): Crystal structure and cation distribution of cleavable olivines. Mineralogical Journal (Japan), Vol. 13, 271-279. — Mineralogical Society of Japan, Tokyo.

Bernard J. H., Rost R. (1992): Encyklopedický přehled minerálů. — Academia, Praha, 701 s.

Betechtin A. G. (1955): Mineralógia. — Slovenské vydavatelství technické literatury, Bratislava, 799 s.

Bouška V., Kouřimský J. (1979): Drahé kameny kolem nás. — SPN, Praha, 347 s.

Brown G. E. Jr. (1982): Reviews in mineralogy. Volume 5. Orthosilicates. — Mineral Society of America, Washington, D. C., 429 s.

Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. (1997): Rock-forming minerals. Volume 1A. Orthosilicates. — The Geological Society, Londýn, 913 s.

Gregerová M., Fojt B., Vávra V. (2002): Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů. — Moravské zemské muzeum, Brno, 325 s.

Hart J. T. (1978): The structural morfology of olivine. I. a qualitative derivation. — The Canadian Mineralogist, Vol. 16, 175-176, Nizozemsko.

Hazen R. M. (1977): Effects of temperature and pressure on the crystal structure of ferromagnesian olivine. American Mineralogist, Vol. 62, 286-296. — Mineralogical Society of America, Washington, D. C.

Hejtman B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin. — Nakladatelství československé akademie věd, Praha, 539 s.

Hejtman B., Konta J. (1953): Horninotvorné minerály. — Přírodovědecké vydavatelství, Praha, 279 s.

Ježek B., (1932): Velký ilustrovaný přírodopis všech tří říší. VI. Mineralogie. — Praha, 1368 s.

Korbel P., Novák M. (2007): Encyklopedie. Minerály. — Rebo Productions, Čestlice, 296 s.

Krivolutskaya N. A., Bryanchaninova N. I. (2011): Olivines of Igneous Rocks. Russian Journal of General Chemistry, Vol. 81, 1302-1314 — Moskva.

Kühn P., Zamarský V. (1984): Mineralogie systematická. II. díl — silikáty. — Vysoká škola báňská, Ostrava, 328 s.

Lager G. A., Ross F. K., Rotella F. J., et al. (1981): Neutron powder diffraction of forsterite, Mg2SiO4: a comparison with single-crystal investigations. Journal of Applied Crystallography, Vol. 14, 137-139. — International Union of Crystallography, Kodaň.

McKeown D. A, Bell M. I., Caracas R. (2010): Theoretical determinativ of the Raman spectra of single-crystal forsterite (Mg2SiO4). American Mineralogist, Vol. 95, 980-986. — Mineralogical Society of America, Washington, D. C.

Medenbach O., Sussiecková-Fornefeldová C. (1995): Průvodce přírodou. Minerály. — Ikar, Praha, 286 s.

Slavík F., Novák J., Kokta J. (1974): Mineralogie. — Academia, Praha, 486 s.

Smyth J. R. (1975): High temperature crystal chemistry of fayalite, Vol. 60, 1092-1097. — Mineralogical Society of America, Washington, D. C.

Suturin A. N., Suturina T. A., Shestako Y. G., (1971): Relationships between parameters of lattice and degree of ferruginousity of olivines. Doklady akademii nauk SSSR, Vol. 197, Iss. 5, 1159-1160. — Mezinárodní vydavatelství, Moskva.

Yorder H. S., Jr., Sahama Th. G., (1957): Olivine x-ray determinative curve. American Mineralogist, Vol. 42, 475-490. — Mineralogical Society of America, Washington, D. C.

Mineralogie.sci.muni.cz, (2013): Struktura olivínu [obrázek]. — Online: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_9_nesosil/obrazek79_29.htm, 11. 4. 2013.

Mineraly.sci.muni.cz, (2013): Tefroit [obrázek]. — Online: http://mineraly.sci.muni.cz/nesosilikaty/tefroit_101.html, 11. 4. 2013.

Pešek J., Rybák L., Korsa B., Fajfr P. (2013): Bezcementový žárobeton na bázi forsteritu . Možnosti uplatnění [pdf]. — Online: http://zarohmoty.cz/database/Image/%C4%8Cl%C3%A1nky/%C5%BD%C3%A1robeton%20na%20b%C3%A1zi%20forsteritu.pdf, 30. 1. 2013.

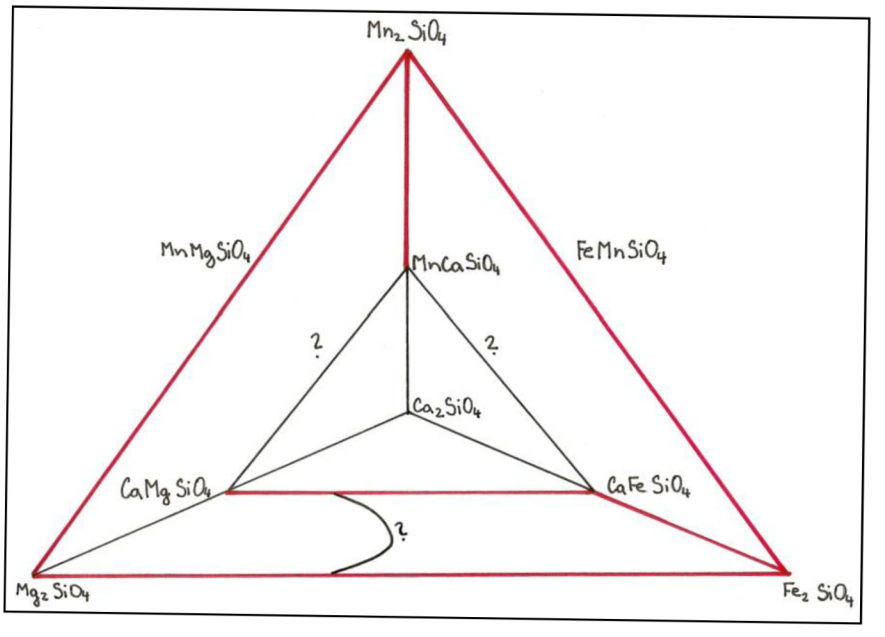
Webmineral.com, (2010): Fayalit [obrázek]. — Online: http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=386&target=Fayalite, 11. 4. 2013.

Webmineral.com, (2010): Forsterit [obrázek]. — Online: http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=424&target=Olivine, 11. 4. 2013.

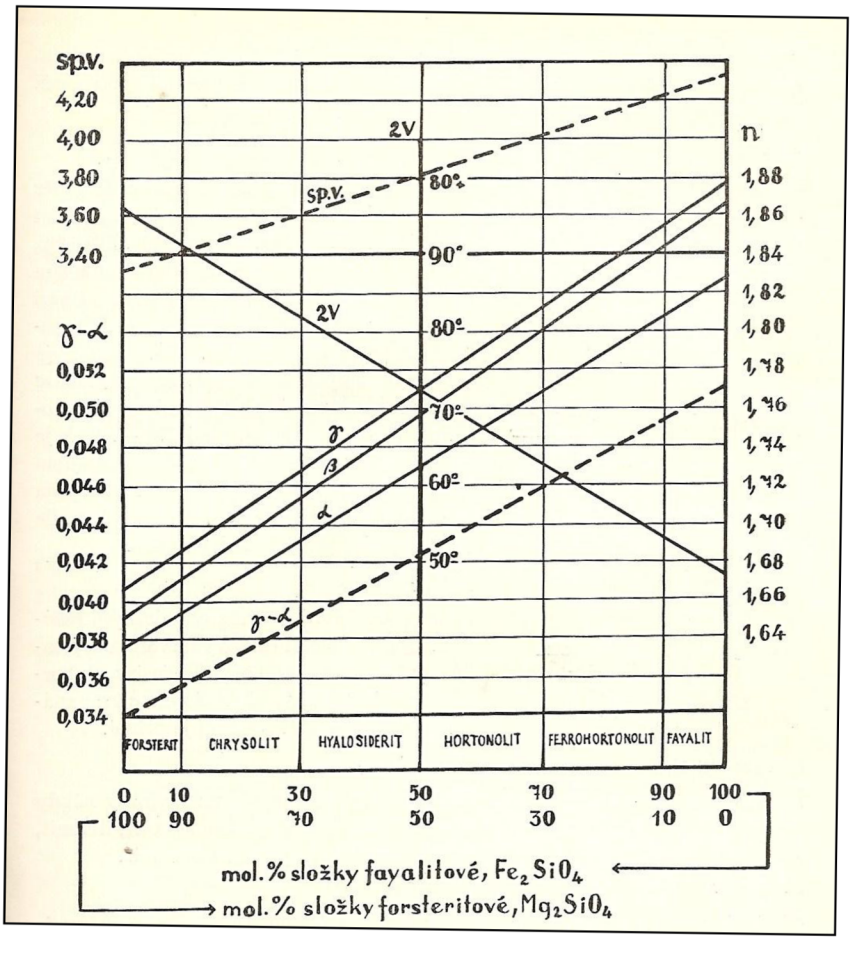
Webmineral.com, (2010): Monticellit [obrázek]. — Online: http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2129&target=Monticellite, 11. 4. 2013.

Zimák J. (2005): Genetická mineralogie [pdf]. — Online: http: //geology.upol.cz/Soubory/2005_Zimak_Geneticka_mineralogie.pdf, 30. 1. 2013.

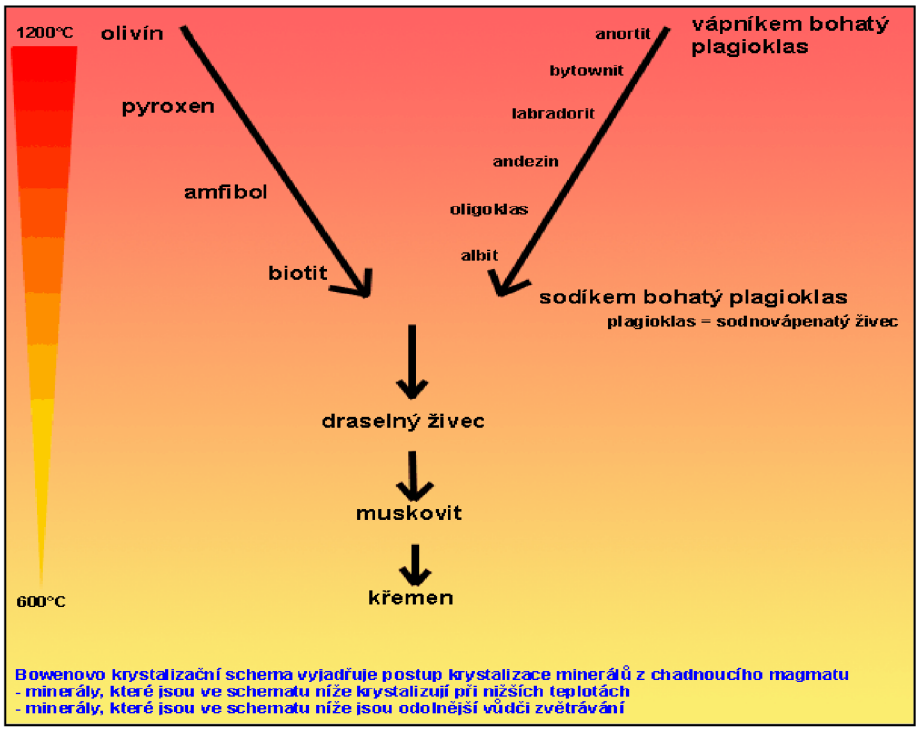
PŘÍLOHY



Příloha č. 1: Neomezená izomorfní mísitelnost minerálů skupiny olivínu (znázorněno červeně). Upraveno podle Browna, 1970.



Příloha č. 2: Vztah mezi optickými a chemickými vlastnostmi minerálů skupiny olivínu. Podle Hejtmana a Konty, 1953.



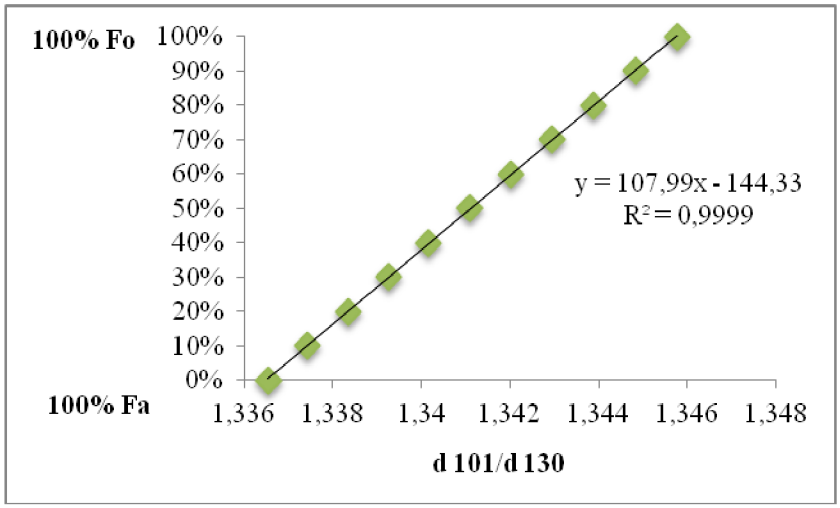
Příloha č. 3: Bowenovo reakční schéma uplatňující se při krystalizaci podstatných horninotvorných minerálů (Zimák, 2005).

Smrčí	Shavariin Tsaram
d (130) = 2,771 · 10^{-10} m	d (130) = 2,772 · 10^{-10} m

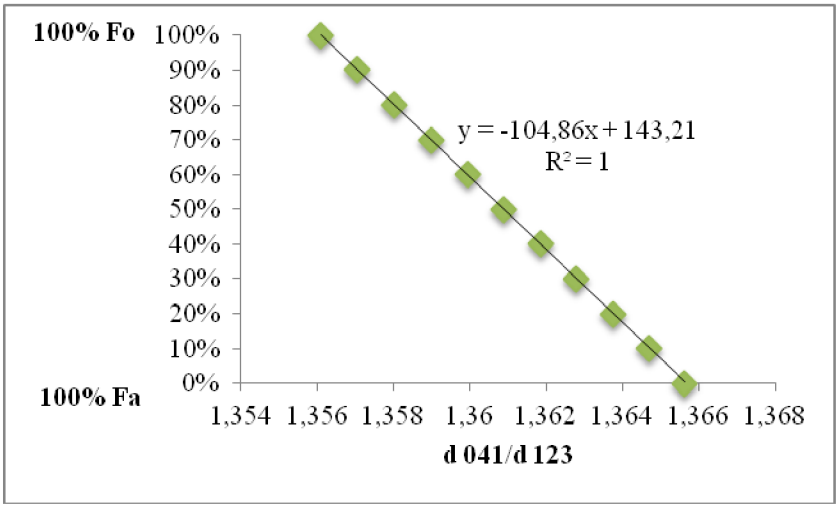
Příloha č. 4: Mezirovinné vzdálenosti strukturních pozic (130) olivínu z lokality Smrčí a z lokality Shavariin Tsaram v Rusku.

Smrčí	Shavariin Tsaram
a = 4,765 Å	a = 4,764 Å
b = 10,230 Å	b = 10,232 Å
c = 5,995 Å	c = 5,997 Å

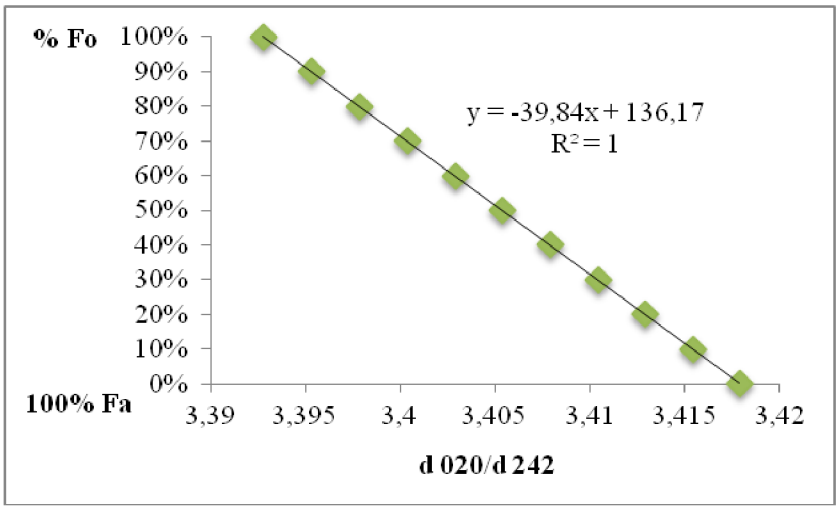
Příloha č. 5: Mřížkové parametry olivínu z lokality Smrčí a z lokality Shavariin Tsaram v Rusku.



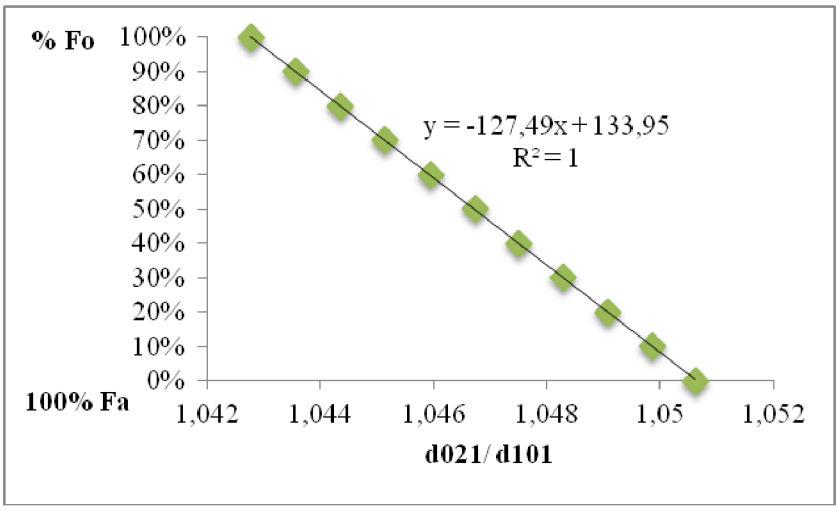
Příloha č. 6: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru mezirovinných vzdáleností strukturních rovin (101) a (130).



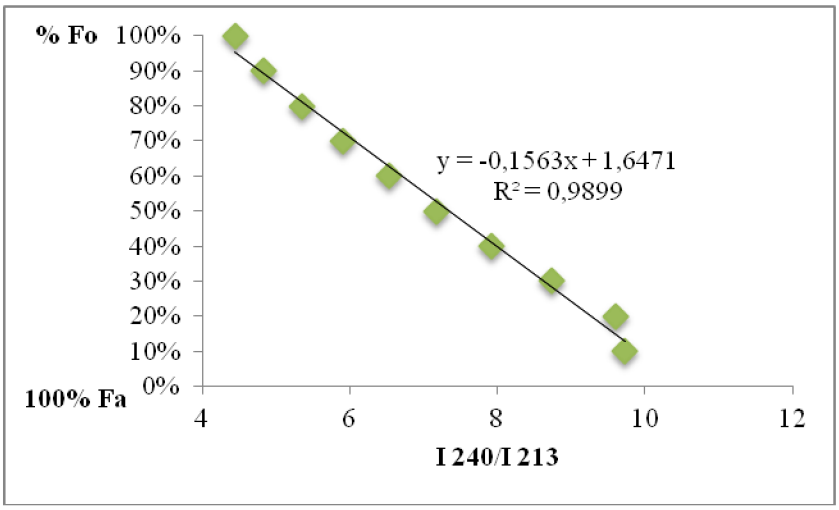
Příloha č. 7: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru mezirovinných vzdáleností strukturních rovin (041) a (123).



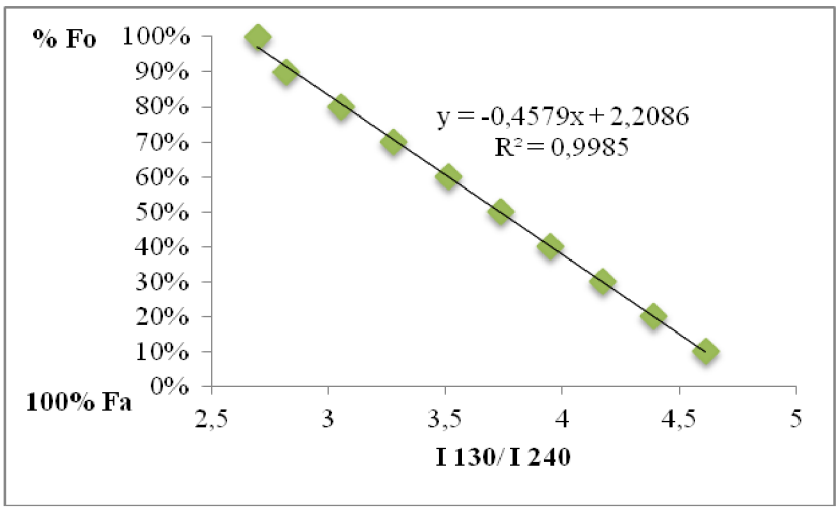
Příloha č. 8: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru mezirovinných vzdáleností strukturních rovin (020) a (242).



Příloha č. 9: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru mezirovinných vzdáleností strukturních rovin (021) a (101).



Příloha č. 10: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru intenzit difrakce strukturních rovin (240), (213).



Příloha č. 11: Závislost množství obj. % forsteritu na poměru intenzit difrakce strukturních rovin (130), (240).

```
! STOE Peak File : oliv-Rusko.pft
! Created at 06-Jan-13 15:32 by WinXPOW ( FIT )
Version : PKS_2.01
Title   : olivin Rusko
Diffractometer : Transmission
Monochromator  : Curved Germanium (111)
Wavelength     : 1.788965  Co
Detector       : Linear PSD
Scan Mode      : Transmission / Moving PSD / Moving omega
Scan Type      : 2Theta:Omega
! Peak search parameters : Expected halfwidth : 0.150
!                          Significance level : 5.0
!                          Peak height level  : 70
! No asymmetry    Profile:  P7 =  2.158

Symmetry   : Orthorhombic P
Spacegroup : P b n m
Cell_A     : 10.2316(10)
Cell_B     : 5.9966(6)
Cell_C     : 4.7641(4)
Cell_Volume: 292.30(3)

Peaklist [ Range 1 : 2Theta =  10.000  74.990 0.010  Imax = 3798 ]
```

! D	2Theta	I(rel)	I(abs)	I(int)	FWHM	H	K	L
5.107553	20.1724	14.57	592	61.62	0.0863	2	0	0
4.314916	23.9284	2.04	83	9.80	0.0983	1	0	1
3.887664	26.6038	49.28	2003	193.94	0.0804	2	1	0
3.727661	27.7681	22.29	906	99.86	0.0915			
3.501852	29.5983	22.20	902	90.91	0.0836	1	1	1
3.483795	29.7552	13.49	548	50.97	0.0772			
3.012254	34.5488	7.62	310	29.42	0.0788	2	1	1
2.997000	34.7302	16.54	672	71.19	0.0879	0	2	0
2.772104	37.6493	52.09	2117	210.48	0.0825	3	0	1
2.585826	40.4756	1.17	47	6.23	0.1091	2	2	0
2.516244	41.6461	68.19	2772	274.61	0.0822	3	1	1
2.462208	42.6041	100.00	4065	405.85	0.0829	1	2	1
2.381795	44.1166	0.94	38	3.81	0.0830	0	0	2
2.352168	44.7021	9.82	399	39.96	0.0831	4	1	0
2.319685	45.3626	14.34	583	54.25	0.0773			
2.272706	46.3544	40.50	1647	163.35	0.0824	2	2	1
2.253310	46.7770	26.47	1076	109.17	0.0842	3	2	0
2.163596	48.8402	23.92	972	98.82	0.0844	1	1	2
2.035264	52.1430	4.46	181	22.84	0.1047	3	2	1
1.952572	54.5297	3.03	123	12.64	0.0852			
1.945895	54.7325	1.81	74	7.63	0.0860	4	2	0
1.880237	56.8136	5.52	225	25.72	0.0951	5	0	1
1.865054	57.3187	1.61	66	7.53	0.0952	0	2	2
1.842722	58.0792	0.53	22	2.26	0.0865			
1.834986	58.3476	0.82	33	4.18	0.1040	1	2	2
1.814012	59.0886	4.27	173	19.11	0.0915	1	3	1
1.794130	59.8096	3.12	127	14.81	0.0970	5	1	1
1.752316	61.3886	55.16	2243	250.80	0.0928	2	2	2
1.743376	61.7377	13.94	567	69.46	0.1017	4	0	2
1.734053	62.1064	3.93	160	20.09	0.1045	2	3	1
1.674017	64.5974	10.24	416	48.22	0.0962	4	1	2
1.640334	66.0910	8.92	363	44.42	0.1016	6	1	0
1.636527	66.2645	2.46	100	12.68	0.1054	3	2	2
1.621648	66.9521	12.60	512	65.42	0.1060	3	3	1
1.605764	67.7034	0.85	35	3.82	0.0915			
1.593026	68.3191	2.94	119	14.19	0.0987	5	2	1
1.575007	69.2110	5.51	224	26.79	0.0992	4	3	0
1.569525	69.4874	4.32	176	19.93	0.0942	1	0	3
1.535358	71.2657	1.70	69	8.01	0.0964			
1.517874	72.2146	4.98	202	29.41	0.1207	1	1	3
1.514681	72.3909	3.28	133	19.78	0.1233	1	3	2
1.507172	72.8093	4.19	170	21.37	0.1041	4	2	2
1.502918	73.0487	3.94	160	17.82	0.0923	5	1	2
1.499225	73.2578	16.61	675	93.63	0.1151	0	4	0
1.482458	74.2244	19.25	782	103.65	0.1100	6	2	0

Příloha č. 12: Polohy a intenzity difrakčních maxim od strukturních rovin olivínu z lokality Shavariin Tsaram v Rusku, podle standardu databáze JCPDS pro Co záření.

```
! STOE Peak File : olivin.pft
! Created at 17-Jan-13 14:32 by WinXPOW ( FIT )
Version : PKS_2.01
Title   : olivin (bazalt) Smrci
Diffractometer : Transmission
Monochromator  : Curved Germanium (111)
Wavelength     : 1.540598  Cu
Detector       : Linear PSD
Scan Mode      : Transmission / Moving PSD / Moving omega
Scan Type      : 2Theta:Omega
! Peak search parameters : Expected halfwidth : 0.150
!                          Significance level : 5.0
!                          Peak height level  : 100
! No asymmetry    Profile:  P7 =  2.163
Symmetry   : Orthorhombic P
Spacegroup : P m c n
Cell_A     : 10.2300(23)
Cell_B     : 5.9948(13)
Cell_C     : 4.7646(7)
Cell_Volume: 292.19(7)

Peaklist [ Range 1 : 2Theta =   5.000  74.990 0.010  Imax = 4574 ]

!      D      2Theta    I(rel)   I(abs)   I(int)    FWHM     H   K   L

   5.108298   17.3458    15.91      576    93.65   0.1350    2   0   0
   3.886729   22.8619    43.39     1571   253.79   0.1341
   3.726048   23.8620    25.16      911   153.23   0.1396    0   1   1
   3.498118   25.4420    21.78      789   130.99   0.1379    1   1   1
   3.479834   25.5780     8.26      299    30.08   0.0835
   3.008459   29.6710     6.36      230    34.23   0.1235
   2.994700   29.8104    15.72      569    63.24   0.0922    0   2   0
   2.771197   32.2777    61.33     2221   329.03   0.1230
   2.515119   35.6689    68.74     2489   358.97   0.1198    3   1   1
   2.461686   36.4700   100.00     3621   494.11   0.1133    1   2   1
   2.351545   38.2429    12.06      437    53.41   0.1015
   2.319147   38.7984    17.13      620    76.24   0.1020    1   0   2
   2.271885   39.6389    36.53     1323   198.74   0.1248    2   2   1
   2.252481   39.9949    28.71     1040   146.62   0.1171
   2.163369   41.7174    23.34      845   123.09   0.1209    1   1   2
   2.035531   44.4725     6.54      237    27.53   0.0965    3   2   1
   1.952747   46.4658     4.68      169    18.38   0.0901    3   0   2
   1.879759   48.3828     5.05      183    30.18   0.1370
   1.813813   50.2614     4.65      168    23.57   0.1162    1   3   1
   1.793765   50.8630     3.57      129    20.90   0.1342    5   1   1
   1.752206   52.1589    80.53     2916   396.48   0.1129    2   2   2
   1.743071   52.4530    22.00      797   103.29   0.1076    4   0   2
   1.733544   52.7634     4.98      180    31.23   0.1438    2   3   1
   1.673740   54.8034    15.70      569    76.46   0.1116    4   1   2
   1.639680   56.0408    10.06      364    80.74   0.1840
   1.621332   56.7321    19.50      706   110.62   0.1301    3   3   1
   1.592717   57.8466     4.39      159    20.50   0.1070    5   2   1
   1.574846   58.5664     7.94      288    41.57   0.1200
   1.569413   58.7890     6.26      227    28.30   0.1036
   1.517964   60.9890     8.83      320    43.96   0.1142    1   1   3
   1.514541   61.1416     6.68      242    20.81   0.0714    1   3   2
   1.507189   61.4720     7.00      253    26.15   0.0857    4   2   2
   1.502892   61.6669     6.47      234    18.99   0.0672    5   1   2
   1.499213   61.8348    28.21     1022   161.56   0.1313    0   4   0
   1.482132   62.6274    29.14     1055   164.34   0.1293    6   2   0
   1.439660   64.6955     5.72      207    28.52   0.1143
   1.399712   66.7788    10.73      389    76.81   0.1641    3   1   3
   1.397130   66.9185     7.46      270    34.76   0.1068    3   3   2
   1.390624   67.2731    11.08      401    59.89   0.1239    1   2   3
   1.353629   69.3697    22.21      804   131.75   0.1360    2   2   3
   1.349362   69.6207     7.67      278    43.71   0.1307
   1.319029   71.4633    10.08      365    32.12   0.0731    3   4   1
   1.316815   71.6019     5.06      183    60.82   0.2754    4   1   3
   1.297494   72.8375     5.09      184    26.63   0.1199    3   2   3
```

Příloha č. 13: Polohy a intenzity difrakčních maxim od strukturních rovin olivínu z lokality Smrčí, podle standardu databáze JCPDS pro Co záření.