

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Petr Novotný

Olivín a jeho průmyslové využití
Olivine and his industrial uses

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Dobroslav Matějka CSc.

Praha, 2014

Poděkování:

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce RNDr. Dobroslavu Matějkovi CSc, za cenné rady a poskytování studijních materiálů. Nesmím zapomenout ani na svoje nejbližší, bez jejichž pomoci a podpory během celé doby studia bych se neobešel.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 15.7.2014

Podpis:

Abstrakt:

Práce je zaměřena na minerály skupiny olivínu, jejich ložiska a naleziště a praktické využití v průmyslu. Uvádí strukturní, chemické a fyzikální vlastnosti těchto minerálů a představuje významné členy skupiny olivínu, u kterých jsou uvedena jejich specifika a odlišnosti. Dále se věnuje nejvýznamnějším světovým producentům olivínu a zejména konkrétním způsobům využití tohoto minerálu, především pro průmyslové účely.

Klíčová slova

Olivín, minerály skupiny olivínu, žáruvzdorné materiály, abraziva, řezání vodním paprskem

Abstract:

This thesis is focused on the minerals olivine group, and their bearing deposits and practical use in industry. Specifies the structural, chemical and physical properties of minerals and is a prominent member of the group of olivine, which are given their distinctive characteristics. It also discusses the world's largest producers of olivine and especially the specific uses of this mineral, especially for industrial purposes.

Keywords

Olivine, olivine group, refractory materials, abrasive water jet cutting

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. CHARAKTERISTIKA SKUPINY OLIVÍNU	2
2.1. Systematické zařazení olivínu	2
2.2. Mineralogická charakteristika olivínu	3
2.3. Fyzikální a chemické vlastnosti olivínu	5
2.4. Nejvýznamnější členy olivínové skupiny	6
3. LOŽISKA A VÝSKYTY OLIVÍNU	10
3.1. Světová ložiska	11
3.1.1. Norsko	11
3.1.2. Japonsko	12
3.1.3. Španělsko	12
3.1.4. Čína	12
3.1.5. USA	12
3.1.6. Itálie	13
3.2. Další země	13
3.3. Česká republika	14
4. VYUŽITÍ OLIVÍNU	15
4.1. Žáruvzdorné materiály	15
4.1.1. Žárobeton	16
4.2. Abraziva	16
4.2.1. Řezání vodním paprskem	18
4.2.2. Otryskávání	20
4.3. Olivín jako drahý kámen	21
4.4. Olivín jako médium proti zvyšování objemu CO ₂ v atmosféře	21
4.5. Další využití	22
5. DISKUSE	23
6. ZÁVĚR	24
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	25

1. ÚVOD

Název olivín poprvé použil J. Werner v roce 1790. Pojmenoval jej tak z důvodu jeho barvy, která nejvíce připomíná právě olivově zelenou. Více než konkrétní minerál, představuje olivín izomorfní řadu ortosilikátů se vzorcem, který se dá teoreticky zapsat jako R_2SiO_4 , kde R představuje železo nebo hořčík. Krajní člen teoreticky obsahující pouze hořčík se nazývá *forsterit* a je pojmenovaný po anglickém sběrateli minerálů Adolariusovi Jacobovi Forsterovi (1739-1806). Na opačné straně této izomorfní řady stojí fayalit, tedy člen obsahující teoreticky pouze železo. Svůj název získal podle lokality výskytu, kterou je ostrov Faial, patřící do Azorského souostroví, odkud byl také poprvé popsán německým chemikem Christianem Gottliebem Gmelinem (Harben, Kužvart 1996). Olivín s převahou hořčíku se řadí mezi velmi důležité horninotvorné minerály tmavých ultrabazických a bazických vyvřelin, například peridotitů (olivínovců), bazaltů (čedičů), gaber, doleritů, melafyrů, diabasů a nefelinitů. Odhaduje se, že tvoří 2,6 % průměrného složení všech vyvřelých hornin. Jeho výskyt v metamorfovaných horninách není tak častý, ale přesto jej můžeme najít například v některých dolomitických mramorech (Velebil 2012).

Olivín patří mezi minerály, které jsou mezi širokou veřejností známy především jako zástupci drahých kamenů využívaných ve šperkařství. K tomuto účelu je zpracováván již po staletí, avšak jeho využití je mnohem širší. V dnešní době se zejména díky novým technologiím nabízejí mnohé další možnosti jeho použití v různých odvětvích lidské činnosti. Cílem této práce je zmapovat zejména využití olivínu v průmyslu. Jsou v ní také popsány jeho vlastnosti chemické i fyzikální, které přímo ovlivňují jeho charakter a tím pádem předurčují, kde a k jakým účelům je možné jej efektivně použít. Zároveň jsou uvedena významná ložiska tohoto minerálu.

2. CHARAKTERISTIKA SKUPINY OLIVÍNU

2.1. Systematické zařazení olivínu

Skupina olivínu zahrnuje především forsterit a fayalit a dále méně běžné minerály uvedené v Tab. 1. Jednotlivé minerály představují koncové členy izomorfně mísitelné v různém stupni, přičemž v řadě forsterit – fayalit je mísivost dokonalá. Minerály olivínu patří v rámci silikátů do podskupiny označované jako *nesosilikáty*. Název pochází z řeckého jazyka a je odvozen od slova *nésos*, což se dá přeložit jako ostrov, čímž se odkazuje na jejich strukturu (Chvátal 2005). Jako další možné označení pro tutéž skupinu se užívá názvu *ortosilikáty*. Označení ortosilikáty se hojně vyskytuje zejména ve starší literatuře užívající dřívějšího dělení podle chemické klasifikace. V minulosti tak byly silikáty odvozovány ze solí hypotetických kyselin. Například kyseliny křemičité, aluminokřemičité, titan-zirkono-křemičité a dalších. Silikáty (kyseliny křemičité) se odvozovaly slučováním jejich anhydridu SiO_2 s vodou v různých poměrech. H_4SiO_4 ($\text{SiO}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1:2$) byla označována jako kyselina ortokřemičitá a odtud pramení název ortosilikáty (is.muni.cz).

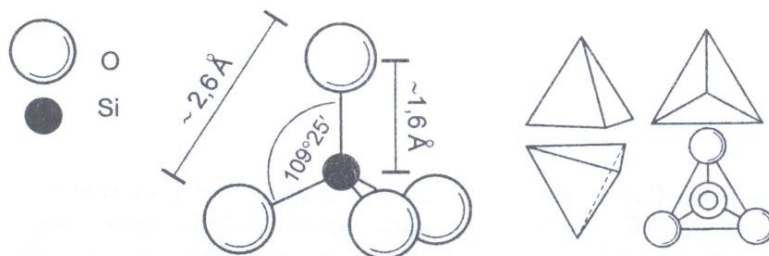
minerál	vzorec
forsterit	Mg_2SiO_4
fayalit	$(\text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$
larnit	Ca_2SiO_4
tefroit	$(\text{Mn}^{2+})_2\text{SiO}_4$
monticellit	CaMgSiO_4
glaucochroit	$\text{CaMn}^{2+}\text{SiO}_4$
kirchsteinit	$\text{CaFe}^{2+}\text{SiO}_4$
knebelit	$(\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{SiO}_4$
laihunit	$\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2(\text{SiO}_4)_2$
liebenbergit	$(\text{Ni}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$
roeperit	$(\text{Fe}^{2+}_2, \text{Mn}, \text{Zn})\text{SiO}_4$

Tab. 1. Minerály skupiny olivínu

Základní stavební jednotkou minerálů skupiny nesosilikátů jsou izolované tetraedry SiO_4 (obr.1) jejichž spojení zprostředkovávají tzv. vnější kationty, většinou menších rozměrů. Nejčastěji jsou to prvky jako Fe, Li, Be, Zn, Mg, Ca, Al, Mn a další, umístěné vně tetraedrů, na rozdíl od křemíku, ležícího uvnitř. V tetraedrech může docházet i k substituci Al za Si; to se kromě olivínu vyskytuje i u dalších minerálů, jako jsou například granáty, zirkon, topaz, titanit aj. Olivíny mohou obsahovat vodu; obsahy se pohybují většinou v desítkách ppm, výjimečně i přes 100 ppm (Beran, Libowitzky 2006).

Atomy jsou v nesosilikátech uspořádány poměrně těsně, takže tyto minerály mají vysokou hustotu, vysoký index lomu a velkou tvrdost. Struktura, kterou tvoří na sobě nezávislé tetraedry

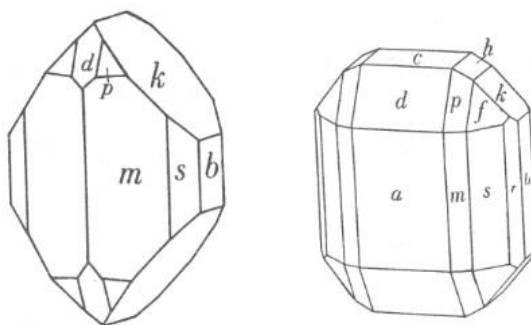
neupřednostňující žádný směr je také příčinou toho, že mají často jen špatnou štěpnost nebo jsou v podstatě neštěpné. (Chvátal 2005).



Obr.1. Zleva: porovnání velikosti atomů kyslíku a křemíku, tetraedr $[\text{SiO}_4]^{4-}$ s vyobrazením reálných velikostních poměrů, schematické zobrazení tetraedru $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (Chvátal 2005).

2.2. Mineralogická charakteristika olivínu

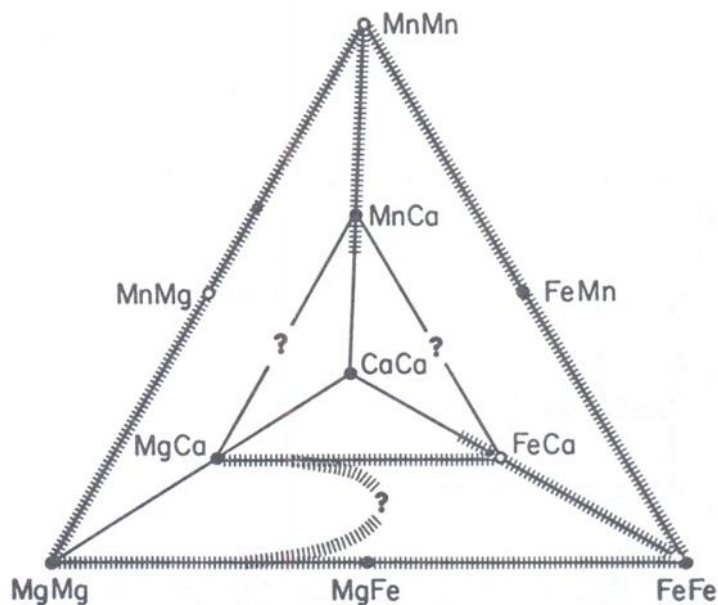
Olivín krystalizuje v rombské soustavě, jejíž osní kříž je tvořen třemi nestejně dlouhými na sebe kolmými osami. Krystaly mají tvar sloupců s barchydomatickým nebo i jehlancovitým zakončením, často podobným topazu (obr. 2) (Slavík, Novák, Kokta 1974). Většinou se orientují způsobem, že nejdelší směr růstu je ve směru vertikální osy c . Olivín je rombsky dipyramidální ($2/m2/m2/m$), tj. krystaluje v plnoplochem oddělení rombské soustavy, jehož obecným tvarem $\{hkl\}$ je osmiplochá rombská dipyramida, která se na krystalech olivínu běžně vyskytuje. (Chvátal 1999). V plutonických horninách tvoří olivín zrnité agregáty a izolovaná zrna, dobře omezené krystaly jsou vzácné a bývají zastoupeny především v erlanech a mramorech. Znamé jsou až 10 cm velké sloupce olivínu nalezené v dunitu (Bernard a Rost 1992).



Obr.2. Ideálně vyvinuté krystaly olivínu. Krystalové tvary $a = \{100\}$, $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $p = \{111\}$, $k = \{021\}$, $s = \{120\}$, $f = \{121\}$, $d = \{101\}$ (Ježek 1932).

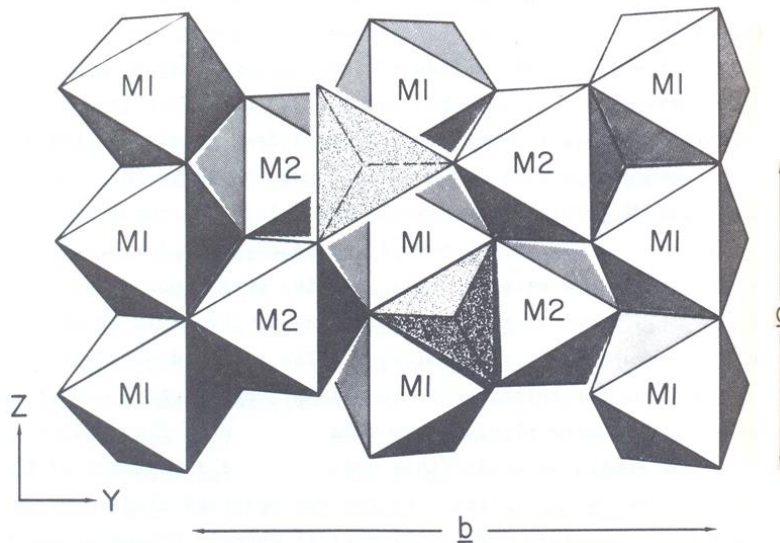
R v obecném vzorci olivínu $R_2\text{SiO}_4$ nemusí představovat pouze hořčík nebo železo, i když ve většině případů tomu tak je a olivíny se složením $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, tedy členy izomorfní řady forsterit - fayalit

tvořící pevný roztok jsou v přírodě nacházeny zdaleka nejčastěji. Hořčík nebo železo mohou být substituovány, respektive doplněny i jinými prvky, konkrétně zejména manganem a vápníkem. Vztahy mezi hlavními minerály olivínové skupiny tak lze nejlépe vyjádřit ve čtyřsložkovém diagramu znázorněném na obr. 3. Mezi koncovými členy forsterit (fo), fayalit (fa) a tefroit (te) vždy existuje neomezená izomorfní míšivost, naproti tomu mezi larnitem (la), tefroitem (te) a fayalitem (fa) existuje míšivost jen omezená. Ještě méně jsou pak mísitelné členy larnit (la), forsterit (fo) a tefroit (te), jak ukazuje diagram na obr. 3. (Brown 1982).



Obr. 3. Čtyřsložkový diagram ilustrující míšivost mezi nejběžnějšími koncovými členy olivínové skupiny. Šrafovaná část značí pevný roztok (Brown 1982).

Prostorová grupa většiny minerálů olivínové skupiny je *Pbnm*. Struktura olivínu je znázorněna na obr. 4. Izolované tetraedry SiO_4 jsou propojeny pomocí oktaedrů M^{2+} , z nichž každý obsahuje 6 iontů kyslíku. V pohledu ve směru osy *a* kyslíky leží v rovině, v konfiguraci blízké se nejtěsnějšímu hexagonálnímu uspořádání. Každý kyslík je spojen s jedním Si a 3 oktaedricky uspořádanými atomy M^{2+} . Polovina oktaedrických pozic je obsazena atomy M (Mg a Fe) a 1/8 tetraedrických pozic je zaplněna atomy Si. Polovina atomů M^{2+} je situována do středu symetrie a druhá polovina do roviny symetrie. Ve struktuře olivínu jsou značné rozdíly 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 pohybuje od 2,047 do 2,213 Å zatímco vzdálenost M1-O se pohybuje od 2,070 do 2,131 Å (Brown 1982).



Obr. 4. Idealizovaná struktura olivínu zobrazená v rovině {100}. M1 a M2 jsou oktaedry. Oktaedr M1 je vyobrazen poněkud zkresleně oproti reálné struktuře, zatímco oktaedry M2 odpovídají realitě (Brown 1982).

2.3. Fyzikální a chemické vlastnosti

Škála barev, jež mohou olivíny mít, je velmi široká, od čiré přes zelenou až po téměř černou. Tak jako jiné fyzikální vlastnosti i barva je v zásadě závislá na chemickém složení. Není proto jednoduché určovat jednotlivé minerály olivínové skupiny podle barvy, jelikož ta se mění zejména s obsahem Fe^{2+} k zelené až žlutozelené, v kontrastu téměř čistého až čistého forsteritu nebo monticellitu, který bývá bezbarvý. Hořečnaté olivíny s příměsí niklu jsou zase často smaragdově zelené. Ve výbrusech bývá olivín bezbarvý, ale u vzorků s vyšším zastoupením železa se může jevit mírně nazelenale či dokonce nažloutle (Hejtman, Konta 1953). Na Moshově stupnici tvrdosti se hodnoty olivínu pohybují v rozmezí od 6 do 7 (Bouška, Kouřimský 1976). Taktéž hustota je závislá na chemickém složení, nejnižší hodnoty jsou od $3,25 \text{ g/cm}^3$ až do $4,40 \text{ g/cm}^3$ u olivínů bohatých na železo (Bernard a Rost 1992). Index lomu v polarizovaném světle se plynule mění s obsahem hořčíku a železa (v izomorfní řadě fo - fa), je tedy také závislý na chemismu. Indexy lomu i maximální dvojlom γ - α rostou společně s přibýváním fayalitové složky. Nejobvyklejší hodnoty maximálního dvojlomu $D = 0,036$. Rovina optických os je rovnoběžná s {001}. Minerály skupiny olivínu zháší přímo, někdy mohou obsahovat uzavřeniny jako magnetit, ilmenit, apatit, případně i chromit (Hejtman, Konta 1953), jsou dvojosé a vykazují pleochroismus, až na forsteritické olivíny. Fayalitické olivíny při pleochroismu disponují světle žlutou barvou (Deer, Howie, Zussman 1997). U minerálů olivínové skupiny pozorujeme matný až skelný lesk a bílý vryp ovšem s výjimkou fayalitu, který se liší nezaměnitelně hnědým vrypem (Bouška, Kouřimský 1976). Olivín je špatně štěpný podle {010} a {100}. Lom je lasturnatý a nerovný (Chvátal 2005). V izomorfních směsích olivínů fo-fa prakticky ve všech případech značně dominuje obsah hořčíku nad obsahem železa (Slavík, Novák, Kokta 1972). Hořečnatý olivín převažuje ve svrchním plášti Země, v hloubkách 400 km pod zemským povrchem vznikají jiné modifikace. Vlivem tlaku se mění jeho struktura na strukturu spinelového typu se vzorcem $\text{Si}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{O}_4$. Za hranicí 410 km pod povrchem se mění na minerál zvaný wadsleyit a v oblasti 520 - 660 km pod povrchem na ringwoodit. V těchto hloubkách dochází ke skokovým změnám hustoty zemského pláště (Sejkora, Kouřimský 1976). Olivín

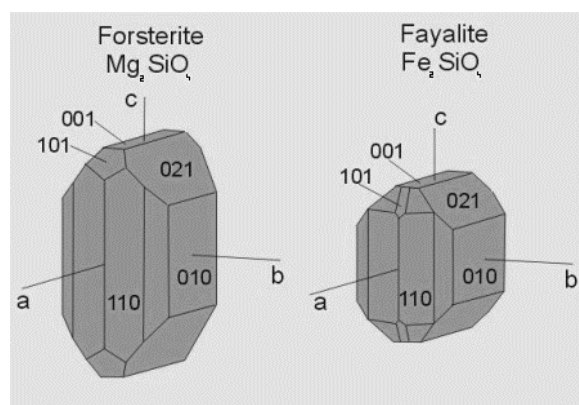
krystalizuje za vysokých teplot (obr. 8), což v povrchových podmínkách znamená, že je nestabilní. Olivín podléhá serpentinizaci. Přeměňuje se tak zejména na serpentín (Chvátal 2005). Serpentinizace je nejdůležitějším typem metasomatické přeměny tmavých minerálů. Výsledkem tohoto procesu je vznik serpentinitů. V průběhu serpentinizace dochází k nahrazování olivínu a dalších minerálů jako jsou pyroxeny a amfiboly minerály serpentinové skupiny. Se serpentinizací je spjat vznik celé řady dalších minerálů jako jsou např. magnezit, mastek, brucit a magnetit (Zimák 2005). V peridotitech (olivínovcích) jsou často soustředěny minerály jako například chromit, pyrop, platina a někdy i diamanty.

2.4. Nejvýznamnější členy olivínové skupiny

Morfologické a fyzikální vlastnosti všech členů olivínové skupiny jsou si do velké míry podobné, proto výše uvedený přehled dobře popisuje jejich obecně platné základní vlastnosti. Dále tudíž postačí u jednotlivých členů uvést pouze jejich charakteristické rysy, konstatovat odlišnosti a dopřesnit určitá specifika.

Forsterit

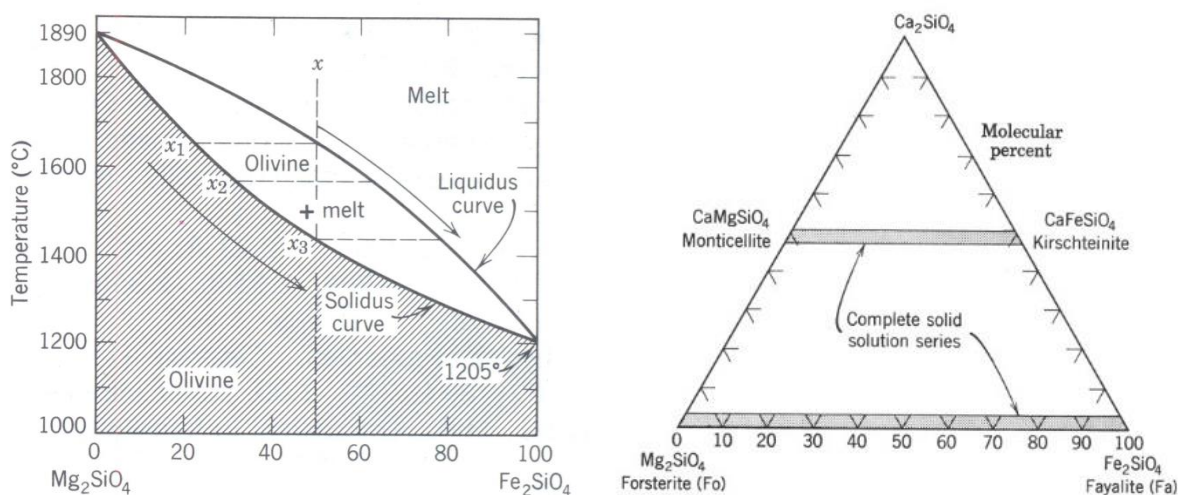
Forsterit, Mg_2SiO_4 . V přírodě je velmi vzácný, ale často se objevuje v metalurgických struskách. Tvoří krátké sloupcovité krystaly, často zploštěné podle $\{100\}$, někdy spíše sloupcovitý podle osy c (Obr. 5). Je zpravidla bezbarvý, průhledný, bílý, žlutavý nebo nazelenalý (Korbel, Novák 2007). Forsterit nejeví žádný pleochroismus ve viditelném světle, z důvodů malých rozdílů v absorpci podél tří vzájemně kolmých hlavních optických směrů (Mindat). Tvrdost dosahuje 6,5 a hustota je v rozmezí hodnot 3,217-3,33 g/cm^3 . Důležitým údajem je bod tání, který u forsteritu dosahuje hodnoty 1890 $^{\circ}C$ (obr. 6). Právě proto představují olivíny s vysokým podílem forsteritové složky materiály vyhledávané tam, kde potřebujeme materiál odolný proti extrémně vysokým teplotám.



Obr. 5. Rozdíly v krystalech forsteritu a fayalitu (Deer, Howie, Zussman 1997)

Fayalit

Fayalit, Fe_2SiO_4 , je stejně jako forsterit vzácný. Tvoří tabulkovité krystaly podle makropinakoidu {100} (Obr. 5). Krystaly vykrytalizované ve struskách jsou tabulkovité podle brachypinakoidu (Ježek 1932). Tvrdost fayalitu je 7, hustota dosahuje $4,32 \text{ g/cm}^3$. Byl popsán ze sklovitých strusek snad umělého původu na ostrově Faial (Bernard a Rost 1992). Čerstvé krystaly mohou být vínově žluté nebo olivově zelené. Navětralý bývá naopak červený, hnědý, černý a neprůhledný. Indexy lomu a dvojlom jsou vyšší než u běžných olivínů (Korbel, Novák 2007). Ve výbrusech se od forsteritu dá rozeznat zřetelně vyšším reliéfem. Na rozdíl od forsteritu může koexistovat s volným křemenem v žulách, což dokládá existence vzácných amfibol-fayalitických žul známých například z Mourne Mountains v severním Irsku (Bernard a Rost 1992). Oproti forsteritu má mnohem nižší teplotu tavení, což je způsobeno vyšším obsahem železa (obr. 6).



Obr. 6. Vlevo: fázový diagram řady fo-fa za atmosférického tlaku. Vpravo: diagram systému Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 - Ca_2SiO_4 ; šedá pole jsou oblasti dokonalé izomorfní míšivosti (Klein, Hurlbut 1993).

Larnit

Larnit, Ca_2SiO_4 , krystalizuje za vysokých teplot, a to v rozmezí $675 - 1420 \text{ }^\circ\text{C}$. Vyskytuje se v kontaktně metamorfovaných vápencích nebo křídových zónách v kontaktu s roztavenými čedičovými horninami. Je zrnitý, tvoří hypoautomorfně až xenomorfně omezená zrna, může ale být i tabulkovitý. Většinou je světle hnědé nebo šedé barvy, ve výbrusech je bezbarvý. Je skelně lesklý a nepleochroický. Larnit je stabilní v rozmezí teplot od $520 \text{ }^\circ\text{C}$ do $670 \text{ }^\circ\text{C}$. Za nižších teplot je metastabilní a přeměňuje se na nízkoteplotní polymorf (Mindat).

Tefroit

Vzorec tefroitu je $(\text{Mn})_2\text{SiO}_4$. Relativně často obsahuje příměsi Mg (řada s forsteritem) popřípadě Fe^{2+} (řada s fayalitem), dále také příměsi Zn, Ca, Al, Fe^{3+} . Jeho barva přechází od olivově zelené, modrozelené přes šedou až k červenohnědé. Ve většině případů je průsvitný. Je špatně štěpný podle {001} a {010}. Má šedý vryp, tvrdost okolo 6,5 a hustotu od $4,1 \text{ g/cm}^3$ do $4,4 \text{ g/cm}^3$. Jeho výskyt je velmi často spjat s metamorfovanými sedimenty bohatými na mangan; vyskytuje se i v manganem bohatých skarnech, jinde je vzácný (Chvátal 2005). Svě jméno získal v roce 1823 od Johanna Friedricha Augusta Breithaupta, který jeho jméno odvodil z řeckého slova tephros (popel), což odkazuje na jeho barvu (Mindat).

Monticellit

Minerál bílé, spíše však šedé až zelenošedé barvy (ve výbrusu je bezbarvý) pojmenovaný po italském mineralogovi Teodoru Monticellim (1759-1845). Typické naleziště je například Monte Somma (Vesuv, Itálie). Výskyt v přírodních horninách je poměrně vzácný, byl popsán v metasomatických paragenezích a vápenatosilikátových horninách, které vznikají na kontaktu kyselých, intermediálních a bazických intruzív s hořčíkem bohatými vápenci. Dále se s ním vzácně setkáváme v karbonatitech, alnōitech a kimberlitech (horniny s deficitem SiO_2). Nalezen byl i v metamorfovaných slínitých horninách. V technolitech je zastoupen například v cementových slíncích, ve struskách a žáruvzdorných magneziových materiálech (Bernard a Rost 1992). Se vzorcem CaMgSiO_4 , tvrdostí 5,5, skelným leskem a bodem tání $1503 \text{ }^\circ\text{C}$ je to člen olivínové skupiny, který zcela postrádá mísitelnost s larnitem a jen velmi omezenou mísivost má s forsteritem (obr. 3). Naopak neomezená mísitelnost existuje mezi ním a kirschsteinitem. Mezi monticelitem a glaucochroitem se mísitelnost předpokládá. Minerály spadající svým složením mezi monticellit, kirschsteinit a glaucochroit jsou velice vzácné (Brown 1982).

Glaukochroit

Vzácný minerál poprvé popsán v roce 1899 ve Franklin Furnace, Sussex county (New Jersey), se vzorcem CaMnSiO_4 , modrozelené, bílé či růžové barvy. Jméno, které mu dali jeho objevitelé Samuel L. Renfield a Charles H. Warren, pochází z řeckého jazyka, ze slov glaucus (jasný) a chroma (barva). Často tvoří sloupcovité krystaly. Je skelně lesklý, neštěpný, průsvitný, s tvrdostí 6 a hustotou $3,48 \text{ g/cm}^3$. Vyskytuje se ve skarnech u Anakitu (Dolní Tunguzsko, Sibiř) a na dole Wesel (JAR), kde bývá vzácně srostlý se zinkitem (Bernard a Rost 1992).

Kirschsteinit

Kirschsteinit, $\text{CaFe}^{2+}\text{SiO}_4$, se vyskytuje například s asociací vzácných akcesorií ve melilit - nefelinické lávě na hoře Shaheru (Kongo). S příměsí hořčíku je znám také ve skarnech z tažeranské oblasti (Rusko). Bývá celistvý, barvu má často nazelenalou a jeho hustota je $3,43 \text{ g/cm}^3$ (Bernard a Rost 1992). Pojmenovaný je po Egonu Kirschsteinovi (německý geolog, průkopník v geologickém průzkumu v provincii Kivu, Kongo) (Webmineral).

Knebelit

Knebelit, $(\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{SiO}_4$, je velmi vzácný minerál vyskytující se mezi koncovými členy řady fayalit – tefroit. Barvu mívá šedozelelou někdy až černozelelou. Je možné jej najít ve švédsku a Jižní Africe například. (Mindat)

Laihunit

Laihunit, $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_2$, dříve nazýván ferifayalit, je velmi vzácný minerál. Tvoří tlustě tabulkovité krystaly, někdy také krátké sloupečky, až 0,65mm velké. Je velmi dobře štěpný podle {001} a {010}. Tvrdost je 7 a hustota 3,92 g/cm³. Barva je obvykle černá, lesk je polokovový až kovový, vryp bledě hnědý. V odraženém světle je šedý a slabě anizotropní. Nese jméno podle lokality kde byl popsán, (Laihe, Qianshan District, Prefektura Anshan, provincie Liaoning, sv. Čína). Jeho unikátní vlastností oproti ostatním minerálům olivínové skupiny je, že vykazuje slabé magnetické anomálie. Je to sekundární minerál tvořený oxidací fayalitu v prekambriických a metamorfovaných horninách obsahujících železo. Většinou se vyskytuje v paragenezi s augitem, křemenem, magnetitem a plagioklasem (Bernard a Rost 1992).

Liebenbergit

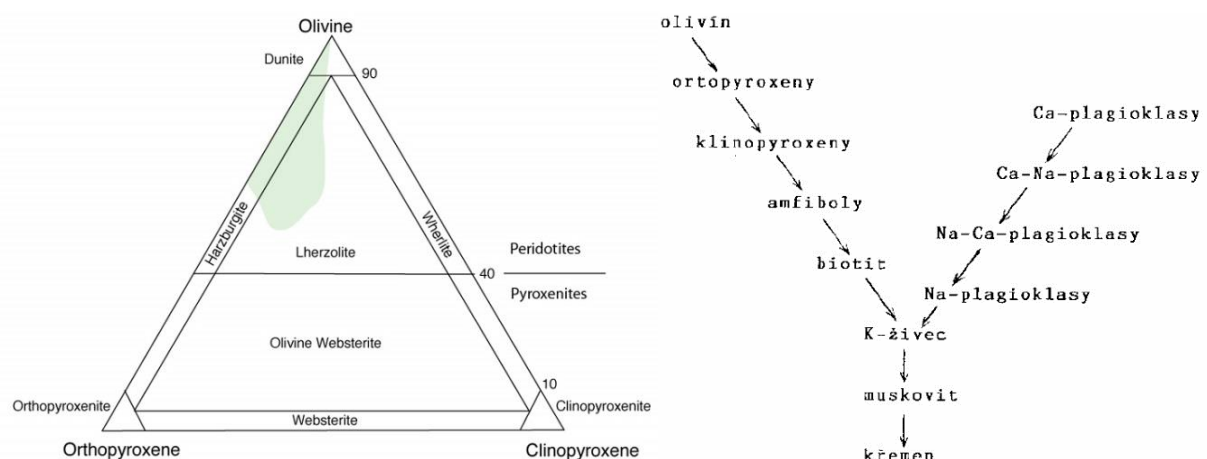
Liebenbergit, $(\text{Ni}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$, je olivín s největším procentuálním zastoupením niklu. Vyskytuje se například mezi zrny trevoritu, kde sám utváří drobná zrna. Jeho velké naleziště je v nikelnatých serpentinitech u Barbertonu (JAR). Tvrdost se pohybuje od 6 do 6,5 a hustota je 4,6 g/cm³ (Bernard a Rost 1992). Je pojmenován po náměstkovi ředitele Národního metalurgického institutu Jihoafrické republiky W. R. Liebenbergovi (Mindat).

Roepperit

Roepperit, $(\text{Fe}^{2+}_2, \text{Mn}, \text{Zn})\text{SiO}_4$, je člen olivínové skupiny ležící mezi Mg-Fe-Mn olivíny obsahující vysoké hodnoty zinku (Zn) a dvojmocného železa Fe^{2+} . Jméno získal v roce 1872 od George J. Brushe, který jej pojmenoval na počest Williama Theodora Roeppera, profesora mineralogie a geologie na Lehigh University (Mindat).

3. LOŽISKA A VÝSKYTY OLIVÍNU

Nejčastěji se olivíny vyskytují ve vyvřelých horninách (Obr. 7). v menším měřítku též v metamorfních paragenezích. V horninách, které jsou bohaté na SiO_2 , povětšinou chybí. Olivín se může vyskytovat v některých dioritech, olivínických gabrech a doleritech ve složení $\text{Fo}_{50}\text{-Fo}_{80}$ (Brown 1982). Vyskytuje se hlavně troktolitech kde tvoří velmi významnou složku. V kyselých horninách zahrnujících granity, syenity, ryolity, trachyty a doleritické pegmatity se vyskytují olivíny bohaté na železo. Avšak zdaleka největší koncentraci má v ultrabazických horninách, jako jsou hlavně dunity (hornina pojmenovaná po Dun Mountain, Nový Zéland) s obsahem až do 100 % olivínu o složení $\text{Fo}_{85}\text{-Fo}_{95}$ (tzv. forsteritické olivíny) (Brown 1982). Amfibolický peridotit obsahuje okolo 80-70 % olivínu, nižší hodnoty okolo 65 % mají harzburgity a ještě menším obsahem cca 50 % disponují lherzolity a dále jsou pikrity s obsahem v průměru nižším než 50 % olivínu (Bernard a Rost 1992). Ze žilných hornin bývá obsažen v některých minetách a kersantitech. Z čedičových olivínických efuzív mají nejvyšší obsah olivínu oceánské tholeiity s průměrným zastoupením 10-12 % olivínu. Menší obsahy jsou pak v paleozoických čedičích – diabasech (Bernard a Rost 1992). Výskyt fayalitu je také potvrzen v dutinách obsidiánů v Yellowstone parku a na Liparských ostrovech. Velké krystaly fayalitu se našly v žilách žulového pegmatitu na břehu řeky Džaši (Kirgizský hřbet) (Betehtin, 1951). I když je výskyt v metamorfovaných horninách vzácný, je možné olivín nalézt v magnetitových skarnech, například v okolí Persbergu (Švédsko). Obsahují ho i některé granulity a granátické amfibolity, vyskytuje se i v metamorfovaných mramorech (Mogo, sv. Barma), odkud pocházejí až 10 cm velké žlutozelené agregáty olivínu (Bernard, Rost 1992). Olivín se objevuje i v některých meteoritech. V roce 1772 objevil německý přírodovědec Peter Simon Pallas na Sibiři meteorit, u kterého bylo zjištěno, že jeho meteoritické železo je velmi bohaté na olivín. Některá jeho zrna byla svou velikostí dokonce vhodná k broušení. Meteority s obsahem olivínu pak byly ještě mnohokrát nalezeny po celém světě. Jméno dostaly podle svého objevitele, nazývají se tedy pallasity (Bouška a Kouřimský 1976). Jsou velmi vzácné, tvoří méně než 1 % všech objektů dopadlých z vesmíru na zemský povrch. Olivín byl také určen v čedičových horninách na Měsíci a později také na Marsu družicí Mars Global Surveyor.



Obr. 7. (vlevo) Klasifikační diagram ultramafických magmatických hornin s poměrným zastoupením hlavních minerálů. Zelené pole vyznačuje oblast peridotitů (Wikipedia).

Obr. 8. (vpravo) Bowenovo krystalizační schéma (Zimák 2005).

3.1. Světová ložiska

Ačkoli horniny obsahující olivín jsou poměrně běžné, komerční těžba většího rozsahu je omezena na několik málo zemí, a to hlavně na Norsko, Japonsko a Španělsko (Tab.2). Chemické složení komerčně dostupných olivínů je uvedeno v tabulce č. 3. Celková světová produkce se pohybuje okolo 8 milionů tun za rok (Harben, Smith 2006). Norská produkce je založena hlavně na těžbě z dunitu a serpentinitu. Těžba jinde ve světě stojí především na hadcích, jak je tomu například v Japonsku, Brazílii, Argentíně, Rakousku, Itálii, Koreji, Mexiku a Spojených státech amerických (Harben, Smith 2006).

Country	Production, ktpy
Australia	80
Austria	20
Brazil	350
China	350-500
Italy	100
Japan	2,000
Mexico	150
Norway	3,500
South Korea	500
Spain	700
Taiwan	400
Turkey	150
United States	100
Total	8,050

Tab. 2. Tabulka ukazující produkci olivínu podle zemí v tisících tunách za rok (Harben, Smith 2006)

3.1.1. Norsko

Norská produkce olivínu, představovala v roce 1996 přibližně 50 % světové těžby (Harben, Kužvart 1996) v roce 2008 činila již jen 40 % následkem poklesu poptávky a následnému uzavření tři ze čtyř olivínových dolů, které pozastavily těžbu. Zbývající důl provozuje v západní části Norska společnost A/S Olivín, která je ve vlastnictví North Cape Minerals AS, která je sama o sobě 64 % vlastněna společností Unimin Corporation. Těžba je soustředěna do oblasti Sogn og Fjordane, jižně od Alesundu (Sunmore-Nordfjord). Tamější ložisko je vázáno především na dunity. Tyto zásoby jsou největší na světě, odhaduje se, že činí přibližně 2000 milionů tun olivínu v oblasti o rozloze pouhých 6 km². Části ložiska jsou serpentinizované, ale většina tohoto obrovského ložiska dosahuje velmi dobré kvality. Alterace minerálů jsou patrné v malých trhlinách. Průměrné složení dunitů této lokality je 92 % olivínu, 5 % pyroxenu a serpentinu, 1,5 % chloritu a 1 % spinelu. Olivín zde těžný je z 94 % tvořen forsteritovou složkou a pouze z 6 % složkou fayalitovou. Vytěžená surovina z Åheimského dolu se pomocí 4 km dlouhého dopravníku vedeného tunelem dostává ke zpracování až k závodu umístěnému blízko přístavu. Výrobní kapacita je udávána jako 3.8 mil. tun/rok (Harben a Smith 2006). V ročence USGS za rok 2012 (Newman 2013) je norská produkce olivínu (olivínový písek) uváděna již pouze jako 1,65 mil. tun a jako největší těžař a majitel dolů v oblasti Aheimu společnost Sibelco Nordic AS, původní většinový vlastník North Cape Minerals AS. Konečné olivínové výrobky jsou různých velikostních frakcí určené pro různé využití od frakcí velikosti (0-3mm až 0-6mm) používaných například v zemědělství, až do velikostí (10mm až 14mm) využívaných ve slévárenství jako slévárenské písky (Harben a Smith 2006).

3.1.2. Japonsko

Japonsko je po Norsku druhým největším světovým producentem olivínu s těžbou dosahující až 2 miliony tun ročně. Většina těžby je soustředěna v regionu v Horoman Hill na nejsevernějším japonském ostrově Hokkaido. Těžba povětšinou probíhá z hadcových hornin. Velká část této produkce je spotřebovávaná pro ocelářský a slévárenský průmysl přímo v Japonsku, další spotřeba připadá například na stavebnictví. Největším z 30 producentů olivínu v Japonsku je společnost Toho Olivine Industrial CO., LTD. s roční produkcí 300 000 tun olivínu ročně. Tato společnost těží právě na Horoman Hill. Zde se také nacházejí největší japonská ložiska olivínu s odhadovanými rezervami až 100 milionů tun (Harben a Smith 2006).

3.1.3. Španělsko

Těžba olivínu ve Španělsku, které je třetím největším producentem na světě, probíhá převážně v provincii La Coruña, Galicie (severozápadní Španělsko). Společnost jménem Pasek España SA těží 700 000 tun olivínu ročně, a to především z dunitů. Tato produkce je zpracovávána pro slévárenský průmysl, žáruvzdorné materiály a agregáty. Pasek España je dceřinou společností belgické Pasek Group, která se zaměřuje na trhy se žáruvzdornými materiály. Činnost společnosti Pasek Group zahrnuje i další země jako je Francie a Brazílie (Harben a Smith 2006).

3.1.4. Čína

Těžba olivínu v Číně se odehrává v provincii Che-nan v centrální Číně, je založena na ložiskách forsteritu v jihozápadní části této provincie, v kraji Xixia, západně od Nan-jangu, a také v kraji Yubian. Existuje zde více než 30 těžebních závodů, které mohou dosahovat produkce v rozmezí od 10 000 do 50 000 tun ročně. Produkce olivínu v Che-nanu se odhaduje na 350 000 až 500 000 tun ročně, vesměs jde o hořčíkem vysoce bohatý olivín s průměrným obsahem 47,26 % MgO). Produkce je zpracovávána a následně využívána jako struskotvorné příměsi vsázek do slévárenských pecí, slévárenské písky, žáruvzdorné materiály a další. Největší zdejší společnosti zabývající se těžbou jsou Henan Mines & Refractory Corporation a Nanchuan Group (Harben a Smith 2006).

3.1.5. USA

Ve Spojených státech je těžba omezena na oblast Cascade Mountains (Kaskádové pohoří) ve státě Washington a Smoky Mountains v Severní Karolíně. Kvalita ložiska v Kaskádovém pohoří je výrazně lepší než Severní Karolíně, ale ložisko je ve značné vzdálenosti od většiny trhů. Celková produkce olivínu v USA je nízká, zhruba 100 000 tun ročně. Centrem těžby v severozápadním Washingtonu je Twin Sister Mountain v krajích Whatcom a Skagit, východně od Bellinghamu. Ložisko je tvořeno eliptickým tělesem dunitu o rozloze 90 km². V Cascade Mountains leží pás s 200 miliardami tun, který se skládá téměř výhradně z nepřeměněného olivínu. V oblasti dominují zelené břidlice a fylity předjurského stáří. Horniny se skládají z olivínu, enstatitu, chromitu a klinopyroxenu. Forsteritová složka je dominantní v celém tomto tělese. Většina vytěženého olivínu připadá na společnost Unimin Corporation a její doly v Twin Sister Mountains. Olivine Corporation provozuje doly poblíž

Bellinghamu. Olivín zde těžený se používá k výrobě slévárenský písků a k výrobě odlitků z manganové oceli. Dodávky směřují i do továren Unimin Corporation v Hamiltonu, kde se vyrábějí slévárenské písky a žáruvzdorné výrobky.

Druhou oblastí těžby olivínu v USA je Severní Karolína, kde se nachází několik velkých dunitových těles v pásu o délce přibližně 280 km mezi Watauga County v Severní Karolíně a White County v Georgii. Hlavní ložiska tvoří horniny s 50-90 % olivínu. Největší z těles obsahuje množství odhadované až na 300 milionů tun dunitu, jehož mineralogie je pozoruhodně konzistentní (Harben a Smith 2006).

3.1.6. Itálie

Italská produkce je tvořena především společností Nuova Srl Cives, která provozuje doly na severu Itálie. Společnost těží poblíž Turína v obcích Castellamonte, Vidracco a Baldissero Canavese. Oblast o rozloze 75 km² je zdrojem více než 100 milionů tun zásob, u kterých obsah olivínu činí 95 % až 97 %. Ročně se vytěží přibližně 300 000 tun suroviny. Olivín zde vytěžený je ze 40 % využit při výrobě žáruvzdorných materiálů a dalších metalurgických aplikacích, 10 % je použito při výrobě železné rudy, 15 % ve slévárenství, 20 % při otryskávání, 10 % tvoří živici a speciální nátěrové hmoty a keramiky. Zbývajících 5% je použito v silničním stavitelství (Harben a Smith 2006).

3.2. Další země

Z dalších zemí s významnější produkcí olivínu lze jmenovat například Rakousko, Mexiko, Pákistán nebo Turecko. Rakouská produkce je tvořena těžbou společností Magnolithe GmbH, která těží zhruba 120 000 tun serpentinizovaného olivínu ročně (Harben a Smith 2006). 2 lomy se nacházejí poblíž Štýrského Hradce, dále jsou lomy u města St. Stefan jihozápadně od Leobenu a u města Kraubath, kde se nacházejí ložiska olivínu s chromitem (Bernard a Rost 1992). Mexiko produkuje 25 000 tun olivínu ročně. Je těžen například v dolech ve státě Tamaulipas poblíž města Ciudad Victoria (severovýchod Spojených států mexických). Dalším větším producentem je Pákistán, kde společnost Black Mountain Mineral (Pvt) Ltd těží 30 000 až 40 000 tun olivínu ročně, z lomu ležícího asi 60 km od Mingori v údolí Svát (Harben a Smith 2006).

Chemical	Norway, Dunite	Norway, A/S Olivin Standard	Norway, A/S Olivin Refractory	Austria, Magnolithe	Italy, Nuova Cives	Sweden, Handol	United States (Washington), Olivine Corp.	United States (North Carolina), Unimin	Japan, Toho
MgO	47–51	48–50	49–51	48 min*	41–43	46	49.4	50.5	47 max†
SiO ₂	41–43	42–43	41.5–42.5	42	42–44	41	41.2	40.1	42 min
Fe ₂ O ₃	6.5–7.7	6.8–7.3	6.5–7.0	10.5 max	1.2–2.7	8.2	7.1	6.7	2
Al ₂ O ₃	0.5–1.0	0.5–0.8	0.4–0.5	na‡	na	na	na	na	na
CaO	0.05–0.06	0.05–0.10	0.05–0.10	0.4 max	1.5–2.6	0.8	0.2	0.2	0.4
Oxides§				na	na	2	1.8	1	8.5 max
LOI	0.2–1.5	0.7–1.5	0.2–0.5	na	na	1.8	0.7	0.7	2.5 max

* min = minimum.

† max = maximum.

‡ na = not available.

§ Al₂O₃, TiO₂, MnO, Cr₂O₃, NiO, CaO, K₂O, Na₂O.

Tab. 3. Chemické složení komerčně dostupných olivínů těžených v uvedených zemích (Harben a Smith 2006).

3.3 Česká republika

Těžba olivínu pro průmyslové účely v České republice neprobíhá a nikdy ani neprobíhala. V našem případě nelze hovořit ani tak o ložiscích olivínu, spíše jako o roztroušených výskytech. Olivín u nás získávaný se využíval k jedinému účelu, a to pro šperkařství. Olivíny drahokamové kvality se již od středověku nacházely v okolí Turnova. Od Anselma Boetia máme zprávy o olivínech z Kozákova, což je dodnes asi nejznámější lokalita u nás. Olivínové koule nacházející se v této lokalitě vznikly ve svrchní části zemského pláště a spolu s čedičovým magmatem se dostaly až na povrch (Sejkora a Kouřimský 1976). V současné době se čedič s olivínovými xenolity těží v lomech u Smrčí u Semil a Proseče. Mimo nich se v čediči nacházejí i jednotlivá krystalová individua, zřídka pravidelně omezená. Literatura také zmiňuje například čedičový lom Na rovném blíže u Semil (Slavík, Novák, Kokta 1972). Mimo Kozákova se olivím vyskytuje zejména v bazických kontinentálních neovulkanitech a olivinických nefelinitech Českého středohoří, kde převládají olivinické čediče s vyrostlicemi olivínu, které tvoří příkrovy, ale také lávové proudy, kupy a sopouchy. Nejznámější jsou zejména lokality Kostomlaty, Vrkoč, Radobýl a Kamenický Šenov (Bernard, Rost 1992). Další výskyty u nás jsou v bazických masivech ve Hvozděanech u Poběžovic, Orlovicích v kdyňském masivu a zejména ve Starém Ransku a také v Novém Kramolíně. Na Slovensku se olivíny vyskytují zejména v diabasech a bazaltech, například v Kondrádovicích a Banské Štiavnici (Betehtin, 1951).

4. VYUŽITÍ OLIVÍNU

Svémi fyzikálními a chemickými vlastnostmi jsou olivíny významné pro různá průmyslová odvětví. Olivín je důležitý v mnoha etapách produkce železa a oceli (v USA slévárny spotřebovává až 91 % produkce). Přidává se také do vysokých pecí pro úpravu teploty strusky, využívá se ve formě slévárenských olivínových písků. Vedle toho se ho používá jako příměsí v peletách železných rud. Využívá se také při abrazivním vodním řezání, stejně tak jako při otryskávání (5 % produkce). Dále se využívá pro výrobu žáruvzdorných materiálů (4 %), slouží k výrobě teplotně odolných cihel a nejrůznějších forem pro odlévání. Nachází využití i v zemědělství, kde se přidává jako příměs do hnojiv. Své uplatnění nachází také ve stavebnictví (dlaždice, příměsí do asfaltů, protiskluzové povrchy atd.) (Kramer 2005, Harben, Smith 2006).

4.1 Žáruvzdorné materiály

V náročných podmínkách, kde je kladen důraz na odolnost proti extrémně vysokým teplotám, jsou ve velké míře využívány právě forsteritové žáruvzdorné materiály. Jsou odolné jak proti korozivnímu působení zásaditých strusek při výrobě železa a oceli, tak i ve vztahu k surovinám s vysokým obsahem CaO a dalším vlivům. Jsou tedy vhodné zvláště tam, kde je materiál vystaven působení zásaditého prostředí. Základní surovinou pro výrobu těchto odolných materiálů je forsterit, Mg_2SiO_4 . Tato surovina se však v podstatě nenachází v čistém stavu (čistý forsterit se v přírodě prakticky nevyskytuje), není tudíž k dispozici čistý forsterit, ale vždy je ve směsi především s železnatým fayalitem (Fe_2SiO_4 , členem izomorfní řady fo-fa). Pro získání výrobků vyšší kvality se obvykle mísí s čistým MgO nebo magnezitem ($MgCO_3$), přičemž je žádoucí dosáhnout optimálního obsahu MgO v konečném složení zhruba 48-51 %. (Čistý forsterit obsahuje 57,2 % MgO a 42,8 % SiO_2 .) V olivínech, využívaných pro žáruvzdorné materiály, se obsah fayalitu pohybuje v rozmezí 8-11 % (objem železa ve fayalitu tvoří 6-8%). Zatímco teplota tavení forsteritu činí 1890 °C, teplota tavení fayalitu činí pouze 1205 °C (obr. 6). Proto se pro výrobu žáruvzdorných materiálů používají olivíny, obsahující méně než 15 % fayalitu (Pešek a kol. 2013). Olivíny obsahující více než 15% fayalitu a méně než 85 % forsteritu jsou tudíž považovány za nevhodné pro výrobu žáruvzdorných materiálů. Ložiska nejčistšího olivínu se nacházejí především v Norsku a USA (viz kapitola 3. Ložiska a výskyt olivínu). Značnou předností olivínu je, že jej lze použít bez předchozí tepelné úpravy. Olivín totiž v průběhu ohřevu neprochází žádnými chemickými reakcemi, které by byly doprovázeny změnami jeho objemu, a to až do 1600 °C. Kromě výše uvedených předností je olivín mezi výrobci využíván také pro svoji relativně nízkou cenu v porovnání s magnezitem. Materiál na bázi forsteritu se využívá pro výrobu dělicích desek do mezipánví pro kontinuální lití oceli a také na vyzdívkách nejrůznějších spalovacích zařízení, kde se může naplno uplatnit jeho vyšší tepelná kapacita, která dovoluje mnohem dokonalejší spalování, zvláště pak pevného paliva. Materiály tohoto typu velmi dobře odolávají okujím v pecích pro ohřev ingotů a podobně. Využívají se také ve slévárnách barevných kovů pro výrobu forem, a to pro jejich malou smáčivost s tekutou mosazí, bronzí a hliníkem. Díky již zmiňované odolnosti proti působení alkálií se jich využívá k vyzdívání tepelných agregátů právě tam, kde dochází k usazování a působení alkálií, jako jsou cementářské pece, regenerační komory a rekuperátory sklářských pecí (Pešek a kol. 2013).

Nejdůležitějšími přednostmi forsteritových materiálů jsou (Pešek a kol. 2013):

- Mineralogická a chemická stabilita i za extrémních podmínek.
- Vysoká odolnost vůči penetraci taveninami kovů.
- Chemická odolnost (zvláště vůči bazickým i kyselým struskám s vysokým obsahem Fe, alkalickým oxidům, sulfátům uhličitánům a halogenidům).
- Ve srovnání s magnezitem nižší tepelná vodivost.
- Vysoká odolnost vůči změnám teplot (ve srovnání právě s magnezitem, jako jehož náhrada se forsterit často používá).

4.1.1. Forsteritický žárobeton

Ve společnosti Žárohmoty s.r.o. Třemošná byly dělány zajímavé pokusy s výrobou žárobetonů, dusacích hmot, malt a dalších podobných výrobků na bázi forsteritu. Cílem bylo připravit bezcementový žárobeton a ověřit chování konečného produktu za teplot pohybujících se od 110 °C až do 1500 °C. Jako základní materiál byl vybrán norský olivín o zrnitosti 0,1mm – 5 mm. Do základní hmoty byl ještě přidán technicky čistý sintrovaný MgO. Přidána byla také vhodná aditiva a dispergační činidla a směs byla následně dobře zpracována litím za vibrace. Byla potvrzena vysoká stabilita objemu během téměř celého výpalu až do teploty 1500 °C, kdy nastalo zjevné smršťování. I další sledované parametry (pevnost v tlaku, pórovitost, tepelná roztažnost) se ukázaly přinejmenším jako únosné pro praktické využití testovaného materiálu. Následně byly z žárobetonu vyrobeny kónické kelímky, na kterých probíhaly další testy (byly naplněny struskou a vypáleny na 1400 °C) jako test koroze, rozsah penetrace a koroze taveninou (byla použita soda, struska ze spalovny komunálního odpadu, struska ze spalování dřevního odpadu, struska z výroby izolačních vláken a dva typy ocelářských strusek). Další testy byly zaměřeny na odolnost vůči tavenině kovu. Probíhaly v indukční peci a jako vsázka bylo použito 1,3 kg oceli. Teplota dosahovala 1600 °C po dobu 1 hodiny, následně byl kov odlit a vychladlý kelímek byl rozříznut a zkoumán. Výsledná zpráva říká, že bezcementový žárobeton na bázi forsteritu více než dobře odolává taveninám alkálií, ocelářským struskám a oceli. Vliv strusek s vysokým obsahem SiO₂ a Al₂O₃ ovšem ukázal nižší odolnost následkem vzniku enstatitu MgO*SiO₂ (popřípadě jeho modifikací) a cordieritu (2MgO*2Al₂O₃*5SiO₂) s nižší teplotou expozice. Nižší hodnoty SiO₂ a Al₂O₃ v ocelářských struskách se projevily vyšší odolností žárobetonu. Je tedy možné tento materiál použít například v ocelárnách pro odpichové žlaby EOP, dopadové desky, výtokové kameny a monolitická dna pánví (Pešek a kol. 2013).

4.2. Abraziva

Dalším důležitou funkcí má olivín jako abrazivum, zejména jako alternativa křemičitého písku a granátů. Nevyužívá se ani tak k nanášení na brusné kotouče, ale spíše jako aditivum pro otryskávání nebo při řezání vodním paprskem. Jeho fyzikální vlastnosti splňují nároky na podobné využití – je to zejména dostatečná tvrdost (7 u olivínu s vyšším zastoupením železa), což zaručuje schopnost broušení i řezání ocelových dílů. Dále pak hustota pohybující se okolo 3,3 g/cm³, která zajišťuje, že částice dopadávající na opracovávaný povrch mají velkou energii, čímž se zvyšuje brusný efekt. Významnou roli hraje špatná štěpnost; olivínová zrna jsou velmi ostrá a jejich tvar taktéž napomáhá zvyšovat brusný

účinek. Jako nekovový materiál se olivín dá použít na nerezové oceli a neželezné kovy. Jednou z jeho stěžejních vlastností je, že nepředstavuje nebezpečí pro lidské zdraví ani pro biosféru (je inertní a netoxický). Narozdíl od tradičních materiálů používaných při otryskávání nehozí používáním olivínu vznik silikózy (Hoffman 2010).

Podle způsobu použití můžeme rozdělit olivínová zrna na velikostní frakce. Většina komerčních výrobků se z technických důvodů pohybuje v podobných měřítkách (následující údaje jsou od společnosti Scangrit produkující jemnější frakce). Velikost zrn 0,35-2,36mm, pro hrubé opracovávání (nečistoty na kamenivu či cihlách, protiskuzové povrchy). Velikost zrn 0.2–1mm, tato velikostní frakce se hodí již na jemnější očištění kamene a zdiva (odstranění cementového mléka z betonu). Velikost zrn 0.125-0.5mm, již velmi jemné čištění (například odstraňování grafiti, vyhlazování stop po svařování oceli atd.). Velikost zrn 0.09-0.25mm, olivínový koncentrát obsahující zrna této velikosti se hodí pro použití při řezání vodním paprskem. Tab. 4. ukazuje celou škálu dostupných velikostí olivínových produktů, obr. 9. ukazuje morfologii olivínových zrn.

Sizing	Market Application
30–60 mm	Rail ballast
10–25 mm, 10–45 mm lump	Blast furnaces
3–18 mm, 8–18 mm	Metallurgical and road construction
2–2.5 mm, 2.5–5.5 mm, 5.5–7 mm	Taphole filler sand in EBT/OBT,* basic refractory, backing sand redressing
10–2,500 μm	Foundry, gunning and ramming mixes in spray linings for tundish facings, water filtration, waste furnace, preparation of special basic paints for moulding, ceramic frits, waterproofing and bituminous products, antacids and anticorrosive paints
0.1–0.35 to 1–2.5 mm	Blasting abrasives, water-jet cutting

* OBT = obround bottom-tapping.

Tab. 4. velikostní frakce komerčně dostupných olivínů (Harben, Smith 2006).



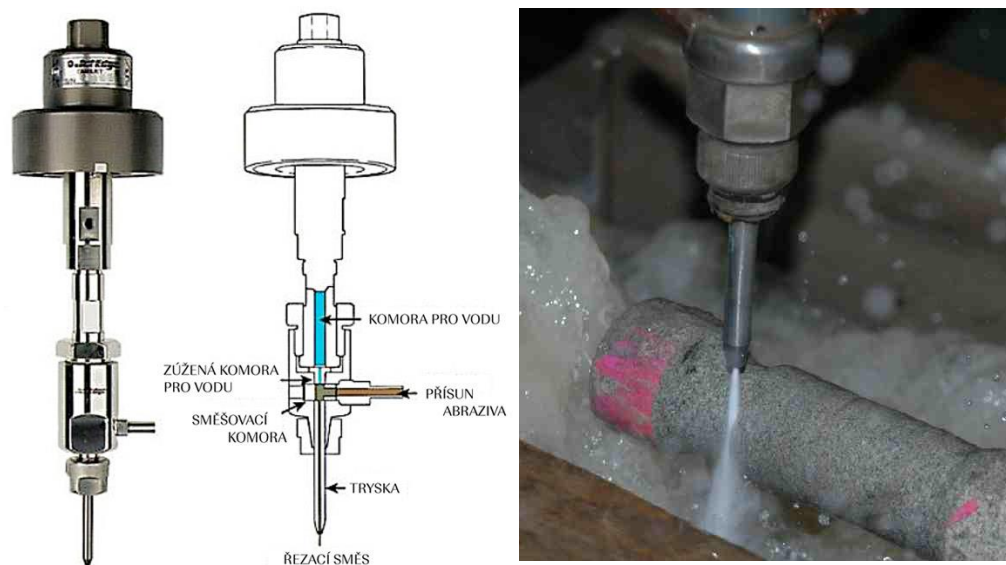
Obr. 9. Morfologie olivínových zrn (Ústav geoniky AV ČR).

4.2.1 Řezání vodním paprskem

Používání vysokotlakého proudu vody je datováno už do poloviny 18. století. Proud vody využívaly horníci a narušovali tak horninu, která se poté dala snadněji odtěžit (tzv. hydraulická těžba). K řezání materiálu byl vodní paprsek poprvé použit v roce 1933 ve Wisconsinu, tehdy k řezání papíru. Tyto činnosti probíhaly (oproti funkci dnešních řezných systémů) za velmi nízkých tlaků. Vysokotlaké systémy schopné řezu i tvrdších materiálů jsou datovány až od roku 1956, kdy Carl Johnson ve firmě Durox international vyvinul metodu pro řezání plastů. Později v 50. letech firma Flow prováděla experimenty s využitím síly vodního paprsku při řezání dřeva. V 70. letech byla metoda zdokonalena přidáváním abrazivních materiálů do vodního paprsku, což umožnilo řez i velmi tvrdých materiálů, jako je například ocel. Jako abrazivní aditivum byl přidáván právě olivín, granát, oxid hlinitý, křemičitý písek nebo korund. Volba abraziva záleží na řezaném materiálu. Volbou vhodného abraziva také můžeme snížit opotřebování trysky a prodloužit tak její životnost.

Řezání vodním paprskem můžeme rozdělit do dvou kategorií: řezání čistým vodním paprskem a řezání vodním paprskem s přidáním abraziva. Volba metody se řídí řezaným materiálem a také rychlostí a přesností, se kterou chceme řezat.

Základem celého zařízení je vysokotlaké čerpadlo, které je schopné vyvinout dostatečně vysoký tlak (čím vyššího tlaku je dosaženo tím méně abraziva je možno použít). Pracovní tlak vody se pohybuje mezi hodnotami 2000 - 6200 barů. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se od sebe liší příkonem pohybujícím se od 9 až do 75 kW a průtokem vody s hodnotami od 1,2 až do 7,6 l/min. Vysokotlakým vedením je voda dopravována k řezací hlavě, jež je zakončena řezací tryskou (Obr. 10), ve které vzniká řezací parsek. Tryska je složena z několika částí. Voda proudí pod velmi vysokým tlakem přes malý otvor, čímž se jí dostává vysoké ekvipotenciální energie. Paprsek tak vysokou rychlostí pokračuje přes směšovací komoru a dále do střední části trysky (Martinec 2001).



Obr. 10 Schéma vodní trysky (vlevo), Obrábění pískovcového vzorku abrazivním vodním paprskem (vpravo) (Ústav geoniky AV ČR)

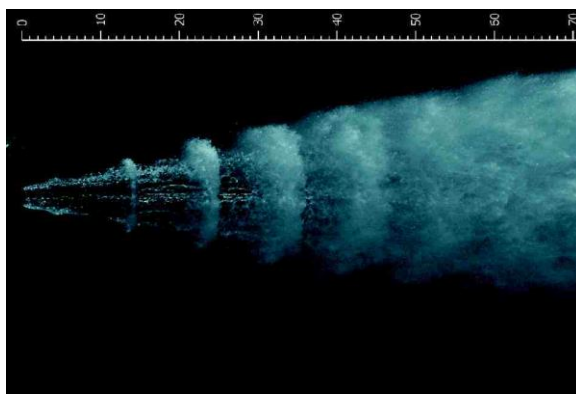
Během tohoto procesu se odstraňuje přebytečný vzduch do směšovací komory, kde je také přidáváno abrazivo. Tato řezná směs je následně hnána pod vysokým tlakem úzkým otvorem na konci zařízení, odkud se dostává do kontaktu s řezaným materiálem (Zhang a kol. 2009). Tato metoda umožňuje vyřezat i ty morfologicky nejsložitější tvary během jedné jediné operace. Řezací hlava a její pohyb, a tedy i dráha řezu, je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Šířka řezu závisí hlavně na vzdálenosti řezného paprsku od řezaného materiálu (čím větší je vzdálenost tím bude větší i šířka řezu). Řezný paprsek se pohybuje u většiny systémů až dvojnásobnou rychlostí zvuku u nejmodernějších a nejvýkonnějších přístrojů to může být až čtyřnásobek této rychlosti (Flow). Řezací proces v dílenském prostředí je řízen technologiemi portálových robotů. Jelikož je tato technologie využívána nejen v průmyslových dílnách, ale i v terénním prostředí, jsou často používány metody s dálkovým řízením. A to z důvodu bezpečnostních rizik při ražení důlních děl a podobně. Mezi největší výhody metody řezání vysokotlakým abrazivním vodním paprskem patří:

- Řezání bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu (při této metodě dochází k tzv. studenému řezu, což znamená, že obráběný díl nevykazuje fyzikální, chemické ani mechanické změny v důsledku teploty vznikající při řezání a je následně snadno dále obrobitelný).
- Minimální silové působení paprsku na řezaný materiál, nedochází k jeho poškození a vzniku mikrotrhlin v řezaném materiálu.
- Univerzálnost (paprsek je schopen dělit většinu materiálů při velkém rozsahu řezaných profilů).
- Možnost provedení i nejsložitějších tvarů jedinou operací, včetně průchozích otvorů a drážek.
- Tato metoda je také velmi šetrná k životnímu prostředí. Při vlastním řezání nevznikají žádné ekologicky nebezpečné zplodiny. Spotřeba vody při řezání je velmi malá (závisí na tlaku a průměru použité trysky). Po dokončení řezání dochází k sedimentaci nečistot. Jako abraziva se používají netoxické a inertní látky, které mohou být v některých případech recyklovány pro další použití.
- Malý prořez materiálu a z toho vyplývající vysoké využití polotovaru (mezi jednotlivými výrobky se ponechávají mezery jen cca 3 mm).
- Neporušení povrchové úpravy materiálu (leštění, broušení).

Technologie řezání vodním paprskem je vzhledem k šetrnosti k životnímu prostředí a poměrně malým provozním nákladům jistě velmi přínosná, existuje však několik parametrů, které limitují její použití. Následný výčet ukazuje základní nevýhody této metody :

- Z podstaty metody je nevyhnutelný kontakt řezaného materiálu s vodou, což může mít na vodu citlivé materiály nežádoucí účinky (je tedy nutno je po dokončení operace vhodně ošetřit).
- V případě materiálů, které jsou svojí strukturou a fyzikálními vlastnostmi determinovány jako nasáklivé, musíme počítat s delší dobou jejich vysychání.
- Vodní paprsek dokáže řezat i skleněné tabule či lepené bezpečnostní sklo. Problémem je ovšem řezání tvrzeného skla, které tímto způsobem řezat nelze. Při průstřelu vodním paprskem totiž dochází k jeho roztržení.
- U některých citlivějších materiálů existuje možnost změny jejich barvy, či jejich znečištění.

Probíhá také snaha o intenzifikaci účinků řezného vodního paprsku. Například na ústavu geoniky AV ČR byl testován akustický generátor tlakových pulsací. Pracovníci ústavu vypracovali nový způsob akustického generování pulsací v kapalinovém paprsku (obr. 11). Následně bylo navrženo a sestrojeno zařízení využívající tohoto způsobu ke generování pulsujícího kapalinového paprsku. Tlakové pulsace vznikají činností akustického budiče v akustické komoře vyplněné tlakovou kapalinou. Následně jsou ještě zesíleny a přenášeny k trysce kapalinovým vlnovodem. K přenosu této energie od generátoru k vodní trysce se využívá fyzikálních vlastností kapaliny (její stlačitelnosti). Při testech této metody bylo zjištěno, že došlo k výrazně vyšší výkonnosti pulsujícího vodního paprsku při rozpojování materiálů oproti řezání s kontinuálním vodním paprskem stejných parametrů, a to hlavně díky účinkům impaktního tlaku generovaného pulsujícími paprsky při dopadu na cílový rozpojovaný materiál. Dochází tak k únavovému namáhání rozpojovaného materiálu a jeho snadnější a rychlejší dezintegraci (Ústav geoniky AV ČR).



Obr. 11. Vizualizace pulsujícího vodního paprsku, založená na využití stroboskopického efektu. Na obrázku je pulsující plochý paprsek vytékající z trysky (20 MPa, ekv. průměr 1,5 mm) (Ústav geoniky AV ČR).

4.2.2. Otryskávání

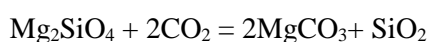
Abrazivní otryskávání je způsob opracovávání povrchu nejrůznějších materiálů. Princip na kterém funguje je, že vzduch s obsahem abrazivní směsi je hnán pod vysokým tlakem trubicí směrem k opracovávanému materiálu. Dopadající částice o vysoké energii tak obrušují materiál. Tato metoda byla patentována v roce 1870 Benjaminem Tilghmanem. Otryskávání se využívá nejčastěji ve strojírenství k závěrečnému čištění odlitku před povrchovou úpravou, jako je třeba lakování a další podobné postupy. Existují dva způsoby, jak dodat abrazivním částicím potřebnou rychlost. Prvním je unášení abrazivních částic silou stlačeného vzduchu (tlakovzdušné otryskávání), druhým způsobem je mechanické metání abrazivních částic. Metoda otryskávání je uplatňována zejména ve stavebnictví k opracování zdiva, betonu a kamene. Především ve městech je otryskávání jednou z technologií, jak odstraňovat z fasád, sloupů a jiných ploch zbytky plakátů, graffiti a podobné druhy znečištění. Metodu lze uplatnit i při opravách a údržbě lodí, mostů, ropných plošin, kotlů, zásobníků, a nejrůznějších potrubí, všeobecně při udržování nejrůznějších ocelových konstrukcí. V průmyslu často využívaná metoda byla ovšem spojena s inhalací abrazivních částic, které kdysi tvořil převážně křemenný písek. Velmi často tak docházelo k plicní zánětům a plicní fibróze u osob, které byly exponovány prachu vznikajícímu při této činnosti. V důsledku toho byly pro otryskávání hledány bezpečnější látky. A právě olivín se stal jednou z nich (Smil, 2005).

4.4. Olivín jako drahý kámen

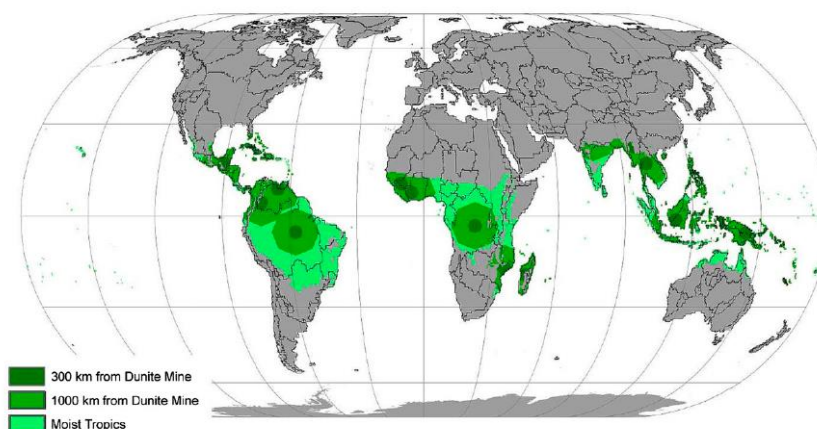
V úvodu bylo řečeno, že nejznámější využití má olivín jako ozdobný předmět. Z hlediska průmyslu je tento význam sice marginální, ale zmínit tento fakt je jistě vhodné už jen z hlediska velikosti objemu obchodu s drahými kameny. Průzračné a pěkně zbarvené, metamorfózou neporušené krystaly olivínu se používají v klenotnictví jako drahokamy již po staletí. Nejvýznamnější nálezy drahokamového olivínu pocházejí z ultrabazických pecek v bazaltoidech, kterými byly přineseny k povrchu (Kozákov) (Bernard a Rost 1992). Olivín drahokamové kvality se nazývá *chryzolit*. Toto jméno pochází z řeckých slov *chrysos* (zlato) a *lithos* (kámen). Za římských dob byl nazýván *topasios* podle ostrova Topasos v Rudém moři, kde se těžil. Dnešní název ostrova je St. John's (Zebirget). St. John's je malý sopečný ostrov s výskytem silně přeměněných olivínovců, v jejichž útrokách se nacházejí četné a dobře vyvinuté krystaly olivínu. Největší vybroušený chryzolit světa pochází právě z tohoto naleziště (346,45 karátový kus vybroušený do rozměru 45,6mm x 40,4mm x 23,2mm). Na českém území se dlouho těžil v oblasti Kozákova, kde ovšem těžený chryzolit nedosahoval takové čistoty a velikosti jako na znovuobjeveném ložisku v rudém moři. Zájem o olivín, respektive chryzolit, má kolísavé tendence, které korelují s oblibou zelených kamenů. Vzhledem k jeho vlastnostem (je měkký než křemen) se příliš nehodí do šperků které trpí otěrem. Jeho nezpochybnitelnou devízou ovšem je jeho výjimečná žlutozelená barva (Bouška, Kouřimský 1984).

4.5. Olivín jako médium proti zvyšování objemu CO₂ v atmosféře

Olivín je vhodným materiálem na izolování emisí CO₂, které vznikají zejména při spalování fosilních paliv. Zvětrávání přírodních křemičitanů vápníku a hořčíku je jedním z mechanismů omezujících množství CO₂ v atmosféře. Během zvětrávání reaguje CO₂ s těmito minerály za vzniku geologicky stabilních karbonátů. Tento proces se označuje jako minerální sekvestrace uhlíku, respektive oxidu uhličitého. V případě forsteritem bohatého olivínu jej lze vyjádřit jako přeměnu na magnezit a některou z fází SiO₂ (např. Koukouzas a kol. 2009, Voormeij a Simandl 2004):



Zvětrávání ve svém přirozeném tempu ovšem zdaleka není schopno držet krok se současnou a už vůbec ne s budoucí antropogenní produkcí CO₂. Proto vznikla myšlenka snížení přebytečného množství CO₂ zvýšením objemu minerálního zvětrávání. Využilo by se právě olivínu a dalších materiálů, jako je sopečný popel a podobné silikátové horniny. Materiál tohoto typu by měl být těžen, drcen a následně vystaven zvětrávání, a to především ve vlhkých tropech, kde je tento proces nejrychlejší (Obr. 12). Snižování emisí CO₂ není jediným přínosem metody, dochází také k deacidifikaci půd, řek a oceánů a obohacování půdy minerálními živinami. Zachycování a ukládání uhlíku (CCS) je v současné době metoda prosazovaná jako řešení změny klimatu. Nicméně náklady na CCS jsou v dešné době poměrně vysoké (Harben a Smith 2006).



Obr. 12. Světové lokality s výskyty dunitů v tropických a subtropických humidních oblastech (Köhler, Hartmann, Wolf-Gladrov 2010).

4.6. Další využití

K úplnému výčtu je ještě třeba zmínit další, z hlediska velikosti spotřeby spíše minoritní způsoby využití olivínu. Olivínem bohaté horniny mohou být běžným způsobem používány ve stavebnictví. Rozsáhlé testování potvrdilo, že olivín je vhodný materiál pro chodníky, cyklostezky, jakož i jiná místa, kde je nutno konstruovat protiskluzové povrchy. Olivín také může sloužit jako filtrační médium, hnojivo (zejména díky vysokému obsahu hořčíku), plnivo do speciálních barev a výrobků (asfalty, tmely, střešní tašky) a pro výrobu křemičitého technického skla.

Používá se také v nočních akumulacích kamnech. V blocích materiálu složeného právě z olivínu se akumuluje značné množství tepla (vzhledem k jeho vysoké specifické tepelné kapacitě). Teplo nashromážděné ve vrstvách izolace se pomalu vyzařuje a ohřívá tak okolní prostor. Ve Finsku je olivín uváděn na trh jako ideální saunový kámen, kvůli jeho poměrně vysoké hustotě a odolnosti proti mechanické erozi v rámci opakovaného ohřevu a chlazení. V podstatě výjimečně olivín také slouží jako ruda hořčíku. (Kühn, Zamarský 1984).

5. DISKUSE

Poptávka po olivínu závisí především na růstu či poklesu slévárenského průmyslu, jelikož ten tvoří největší objem jeho spotřeby. Dalším důležitým spotřebitelem olivínu je stavebnictví. Oba uvedené obory jsou závislé na aktuální výši HDP. V případě růstu ekonomiky roste i spotřeba olivínu a osciluje tedy společně s výkyvy ekonomiky. Toto bylo také důvodem ukončení těžby například ve Švédsku, kde byla těžba soustředěna v severní části země v okolí Handöl (Harben a Kužvart 1996). Poptávka po olivínu ve výrobcích jako jsou slévárenské písky je snižována metodou kontinuálního odlévání. Naproti tomu ovšem roste spotřeba olivínu jako brusného materiálu, vedle příznivých mechanických vlastností také kvůli jeho nízké toxicitě pro lidský organismus a životní prostředí (Harben a Smith 2006). Olivín poskytuje určité výhody oproti používání jiných materiálů. Nicméně, omezené zdroje výroby, široký sortiment konkurenčních materiálů a relativně nízká prodejní cena omezuje obchod s olivínem na místní regionální trhy, jako je tomu především ve Skandinávii a Japonsku. Přístup k jeho zdrojům a náklady na jeho dopravu jsou rozhodujícími faktory ovlivňujícími poptávku. To je také hlavním důvodem, proč je Norsko (a v blízké budoucnosti nadále nejspíše zůstane) největším producentem a vývozcem olivínu (Harben a Smith 2006). Tato situace se může změnit v případě zahájení či rozšíření těžby olivínu ve státech, jako jsou Indie, Čína, Brazílie a Indonésie, které mají bohaté a využitelné zásoby tohoto minerálu. Mezinárodní dohody o snižování hladiny CO₂ v atmosféře a využití metod zrychleného zvětrávání by také mohly být impulsem pro rozšíření těžby právě do těchto zemí.

6. ZÁVĚR

Olivín jako jeden z hlavních horninotvorných minerálů vyskytujících se v ultramafických horninách je široce rozšířen na mnoha místech po celém světě. Jednou z jeho předností je bezesporu jeho cena, která je díky jeho dostatku nízká. V kombinaci s jeho specifickými vlastnostmi, jako jsou hlavně dostatečně vysoká tvrdost, velmi vysoký bod tání (až 1890 °C v případě forsteritu) a v neposlední řadě jeho šetrnost k životnímu prostředí a netoxičnost pro lidské zdraví z něj činí materiál využitelný v mnoha nejen technických oborech. V dnešní době je tak využíván především jako:

- Příměs do vysokých pecí (například pro kontrolu teploty strusky).
- Materiál pro konstrukci žáruvzdorných materiálů (cihly, obložení).
- Abrazivum (slouží jako médium při abrazivním vodním řezání a při otryskávání).

Méně tradiční využití:

- Při konstrukci akumulčních kamen (výužívá se jeho vysoké tepelné kapacity).
- Saunový kámen.

Tím však jeho potenciál zdaleka není vyčerpán, vzhledem k novým výzvám a úkolům naší společnosti, jako je velmi mediálně propagované snižování objemu CO₂ v atmosféře, se uvažuje právě o využití tohoto minerálu při snižování emisí. Olivín má tak důležitou úlohu nejen v průmyslových odvětvích, ale v budoucnu může hrát také velkou roli při ochraně klimatu naší planety.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Beran A., Libowitzky E., 2006. Water in Natural Mantle Minerals II: Olivine, Garnet and Accessory Minerals. In: Keppler H., Smyth J. R. (eds.) : *Reviews in mineralogy and geochemistry. Volume 62 – Water in Nominally Anhydrous Minerals*. Mineral Society of America, Chantilly (VA), str. 169 – 192.

Bernard J. H., Rost R. 1992. *Encyklopedický přehled minerálů*. Academia, Praha, 701 str.

Betechtin A. G. 1955. *Mineralógia*. Slovenské vydavateľství technické literatury, Bratislava, 799 str.

Bouška V., Kouřimský J. 1976. *Drahé kameny kolem nás*. SPN, Praha, 347 str.

Brown G. E., Jr., 1982 Olivines and silicate spinels. In: Ribbe P. H. (ed.). *Reviews in mineralogy. Volume 5. Orthosilikates*. Mineral Society Of America, Washington, D. C., str. 275-382

Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. 1997. *Rock-forming minerals. Volume 1A. Orthosilikates*. The Geological Society, Londýn, 913 str.

Harben P. W., Kužvart M. 1997. *Industrial Minerals: A Global geology*. Industrial Minerals information, Metal Bulletin PLC, London, 462 str.

Harben P. W., Smith C. Jr., 2006 Olivine. In: Kogel J. E., Trivedi N. C., Baker J. M., Krukowsk S. T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks: Comodits, Markets and Uses. 7th edition*. Industrial Minerals Information Worchester Park, UK., str. 679-683

Hejtman B., Konta J. 1953. *Horninotvorné minerály*. Přírodovědecké vydavatelství, Praha, 279 str.

Hoffman G. K., 2006 Abrasives. In: Kogel J. E., Trivedi N. C., Baker J. M., Krukowsk S. T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks: Comodits, Markets and Uses. 7th edition*. Industrial Minerals Information, Worchester Park, UK., str. 145-158

Chvátal M., 1999. *Mineralogie*. Nakladatelství Karolinum, Praha, 179 str.

Chvátal M., 2005. *Úvod do systematické mineralogie*. Silikátový svaz, Praha, 171 str.

Ježek B., 1932. *Velký ilustrovaný přírodopis všech tří říší. VI. Mineralogie*. Praha, 1368 str.

Klein C., Hurlbut C.S., 1993. *Manual of Mineralogy*. J. Wiley, New York, 596 str.

Korbel P., Novák M. 2007. *Encyklopedie Minerály*. Rebo Productions, Čestlice, 296 str.

Kramer, D.A., 2005. Magnesium Compounds. In: *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 2004*. USGS, str. 47.1-47.4.

Koukozas N., Gemeni V., Zioc H.J., 2009. Sequestration of CO₂ in magnesium silicates, in Western Macedonia, Greece. *Int. J. Miner. Process.*, 93: 179–186.

Köhler P., Hartmann J., Wolf-Gladrow A., 2010. Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine. *Proceedings of the Nat. Academy of Sci. of the USA.*, 107(47): 20228–20233

Kühn P., Zamarský V., 1984. *Mineralogie systematická II - Silikáty*. Skripta. VŠB, Ostrava, 328 str.

Martinec P., Foldyna J., Sitek L., Štučka J., Vašek J., 2001. *Abrasives for AWJ Cutting*. ÚGN Ostrava, 84 str.

Newman H. R., 2013. Norway. In: *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2012*, USGS, Reston, str. 34.1-34.6

Pešek J., Rybák L., Korsa B., Fajfr P., 2013. *Bezcementový žárobeton na bázi forsteritu*. <http://www.zarohmoty.cz/database/Image/%C4%8C1%C3%A1nky/%C5%BD%C3%A1robeton%20na%20b%C3%A1zi%20forsteritu.pdf>, 30. 5. 2014.

Sejkora J., Kouřimský J., 2008. *Atlas minerálů České a Slovenské republiky*. Academia, Praha 376 str.

Slavík F., Novák J., Kokta J., 1974. *Mineralogie*. Academia, Praha, 486 str.

Smil V., 2005. *Creating the twentieth century: technical innovations of 1867–1914 and their lasting impact*. Oxford University Press, New York, 368 str.

Velebil D., 2012. *Minerály pod nohama, v průmyslu a ve sbírkách*. Academia vol. 1, Praha, 376 str.

Voormeij D.A., Simandl G.J., 2004. Ultramafic rocks in British Columbia: delineating targets for mineral sequestration of CO₂. *Resource Development and Geoscience Branch, Summary of Activities 2004*. British Columbia Ministry of Energy and Mines, Fort St John (BC), str.157-167.

Zhang S., Li X., Gu Y., 2009. *Air flow exploration of abrasive feed tube*. The Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics and Springer-Verlag GmbH 2009, str. 762-768.

Zimák J., 2005. *Genetická mineralogie*. (pdf), 31 str.

INTERNETOVÉ ZDROJE

(Flow) <http://www.flowwaterjet.com/en>, 17.6. 2014

(is.muni.cz) <http://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js07/mineraly/materialy/mineraly/silikaty.html>,
3.6. 2014

(Mindat) <http://www.mindat.org/>, 5.6. 2014

(Scangrit) <http://www.scangrit.co.uk/>, 16.6. 2014

(USGS) <http://www.usgs.gov/>, 2.8. 2014

(Ústav geoniky AV ČR) <http://www.ugn.cas.cz/?l=cz>, 2.8. 2014

(Webmineral) <http://www.webmineral.com/>, 5.6. 2014

(Wikipedia) http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultramafick%C3%A1_hornina, 8.6. 2014