

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**  
**KATEDRA GEOLOGIE**



**Geochemie Cr a mineralogie hadců  
a hadcových půd v okolí  
Biskoupek**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Markéta Zachovalová**

**Environmentální geologie**  
**Prezenční studium**  
**Vedoucí práce: RNDr. Petr Sulovský, Ph.D.**

**Olomouc 2017**

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že veškerá použitá literatura je řádně citována.

V Olomouci dne .....

.....

Podpis

## **Poděkování**

Velmi ráda bych poděkovala RNDr. Petru Sulovskému, Ph.D. za vysoce odborné vedení diplomové práce, cenné rady, pomoc v terénu a za provedení EDX a WDX-analýz chemismu. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Janu Filipovi, Ph.D. za načtení RTG-difraktogramů, doc. Ing. Davidovi Mildemu, Ph.D. a Mgr. Monice Jarošové za chemické analýzy provedené pomocí laserové ablace. Chtěla bych také poděkovat svým rodičům za jejich podporu během studia.

**Bibliografická identifikace:**

**Jméno a příjmení autora:** Markéta Zachovalová  
**Název práce:** Geochemie Cr a mineralogie hadců a hadcových půd v okolí Biskoupek  
**Typ práce:** Diplomová práce  
**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci,  
Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie  
**Vedoucí práce:** RNDr. Petr Sulovský, Ph.D.  
**Rok obhajoby práce:** 2017

**Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá geochemií chrómu a mineralogií hadců a hadcových půd v okolí Biskoupek. Skládá se ze dvou částí. Teoretická část se věnuje geografii a geologii studovaných lokalit Hrubšic a Mohelna, shrnuje stěžejní informace o minerálním a chemickém složení ultramafických magmatitů a serpentinitů. Dále také charakterizuje hrubšický a mohelenský serpentinitový masiv, řeší otázku obsahu těžkých kovů v serpentinitech i hadcových půdách a popisuje akcesorický minerál Cr-spinel uvedených lokalit. Zabývá se také jílovými nerosty na hadcových půdách a v neposlední řadě představuje Biskoupskou a Mohelenskou hadcovou step na západní Moravě. Výzkumná část zahrnuje popis serpentinitů ve výbrusech pomocí polarizačního mikroskopu. Následně byly provedeny analýzy k určení chemismu studovaných hornin i půd a minerálního složení těchto hornin a půd. Došlo k určení hlavních minerálních nositelů Cr a dalších toxických prvků (Ni, Co a Zn) a rovněž bylo porovnáno množství prvku Cr v mateřské hornině a z něj vzniklého substrátu. Ve všech serpentinitech a hadcových půdách byly zjištěny vysoké obsahy Cr a Ni.

**Klíčová slova:** mineralogie, hadec, hadcové půdy, geochemie, chróm, Biskoupy  
**Počet stran:** 106  
**Počet příloh:** 0  
**Jazyk:** Český jazyk

**Bibliographical identification:**

**Author's first name and surname:** Markéta Zachovalová  
**Title:** Cr Geochemistry and Mineralogy of Serpentinites and Serpentine Soils in Biskoupky Surroundings  
**Type of thesis:** Master  
**Department:** Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology  
**Supervisor:** RNDr. Petr Sulovský, Ph.D.  
**The year of presentation:** 2017

**Abstract:**

The thesis deals with the geochemistry of chromium and mineralogy of nickel of serpentinites and serpentine soils in the region Biskoupky. It consists of two parts. The theoretical part of the thesis is concerned with the geography and geology of the particular areas of Hrubšice and Mohelno, it summarizes the crucial pieces of information about the mineral and chemical composition of ultramafic rocks and serpentinites. The thesis also characterizes Hrubšice and Mohelno serpentinite massifs, it solves the problem of heavy metals content in serpentinites and serpentine soils and it describes an accessory mineral Cr-spinel of the observed areas. It is devoted to clay minerals in the serpentine soils, as well and last but not least it introduces Biskoupky and Mohelno serpentine steppe in the western Moravia. The research part contains the description of serpentinites in the rock slices by means of the petrological microscope. Then, the analyses were carried out to determine the chemical composition of the analyzed rocks and soils as well as mineral composition of these rocks and soils. The main chromium-bearing minerals and the other toxic minerals (Ni, Co and Zn) were determined. Furthermore, the amount of chromium in the base rock and the produced substrate was compared. The high contents of Cr and Ni were identified in all the serpentinites and serpentine soils.

**Keywords:** mineralogy, serpentinite, serpentine soils, geochemistry, chromium, Biskoupky  
**Number of pages:** 106  
**Number of appendices:** 0  
**Language:** Czech

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Teoretická část .....</b>	<b>8</b>
2.1 Geografie zájmových oblastí - Hrubšic a Mohelna	8
2.2 Geologie studovaných lokalit	9
<b>3. Ultramafické magmatity a metamorfity z nich vzniklé.....</b>	<b>13</b>
3.1 Minerální a chemické složení ultramafických magmatitů	13
3.2 Minerální a chemické složení serpentinitů	14
3.3 Serpentinit	16
3.4 Minerály serpentínové skupiny	20
3.5 Serpentinit z lokality Hrubšice	20
3.6 Serpentinit z lokality Mohelno	22
<b>4. Přítomnost těžkých kovů v serpentinitech.....</b>	<b>26</b>
<b>5. Cr-spinely .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Hadcové půdy .....</b>	<b>29</b>
6.1 Chrom, nikl a zinek v hadcových půdách	33
6.2 Jílové nerosty na hadcových půdách	34
<b>7. Hadcové stepi.....</b>	<b>35</b>
7.1 Biskoupská hadcová step	35
7.2 Mohelenská hadcová step	36
<b>8. Metodika výzkumu .....</b>	<b>38</b>
<b>9. Výsledky výzkumu .....</b>	<b>40</b>
9.1 Terénní výzkum na lokalitách	40
9.1.1 Hrubšice .....	40
9.1.2 Mohelno .....	41
9.2 Makroskopický a mikroskopický výzkum vzorků	42
9.3 Chemické složení serpentinitů	48
<b>10. Minerální složení serpentinitů .....</b>	<b>49</b>
<b>11. Chemické složení minerálů studovaných serpentinitů .....</b>	<b>51</b>
<b>12. Hadcové půdy .....</b>	<b>76</b>
12.1 Zrnitostní analýza	76
12.2 Ztráta půdy žiháním	76
12.3 Chemické složení hadcových půd	77
12.4 Minerální složení hadcových půd	79
12.5 Chemické složení minerálů studovaných hadcových půd	81
<b>13. Diskuse .....</b>	<b>94</b>
<b>14. Závěr .....</b>	<b>99</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>101</b>

# 1. Úvod

V diplomové práci s názvem „*Geochemie Cr a mineralogie hadců a hadcových půd v okolí Biskoupek*“ je pozornost v této problematice věnována oblasti Hrubšic a Mohelna.

Hadcové půdy představují specifické prostředí pro rostliny, charakterizované nízkými koncentracemi rostlinných živin (N, P, K) a vysokým obsahem biologicky toxických prvků (Cr, Ni, Fe, Co, Cd a Mn). Zmíněné půdy se vyznačují také nízkými potenciály udržet vlhkost a nepříznivými poměry makroprvků (Ca/Mg). Toxicita hadcových půd, vztahující se k „hadcovému syndromu“, způsobuje chudou rostlinnou produktivitu a endemismus zapříčiňuje odlišnou vegetaci hadcových půd.

Hadce i hadcové půdy představují méně než 1% zemského povrchu, ale i přesto stojí v popředí zájmu kvůli svým neobvyklým vlastnostem a rostlinám, které na nich rostou. Hadcová vegetace dokáže snést, rozlišit nebo potlačit některé prvky. Jsou jimi Mg, Cr, Ni a Mn (Oze et al. 2008).

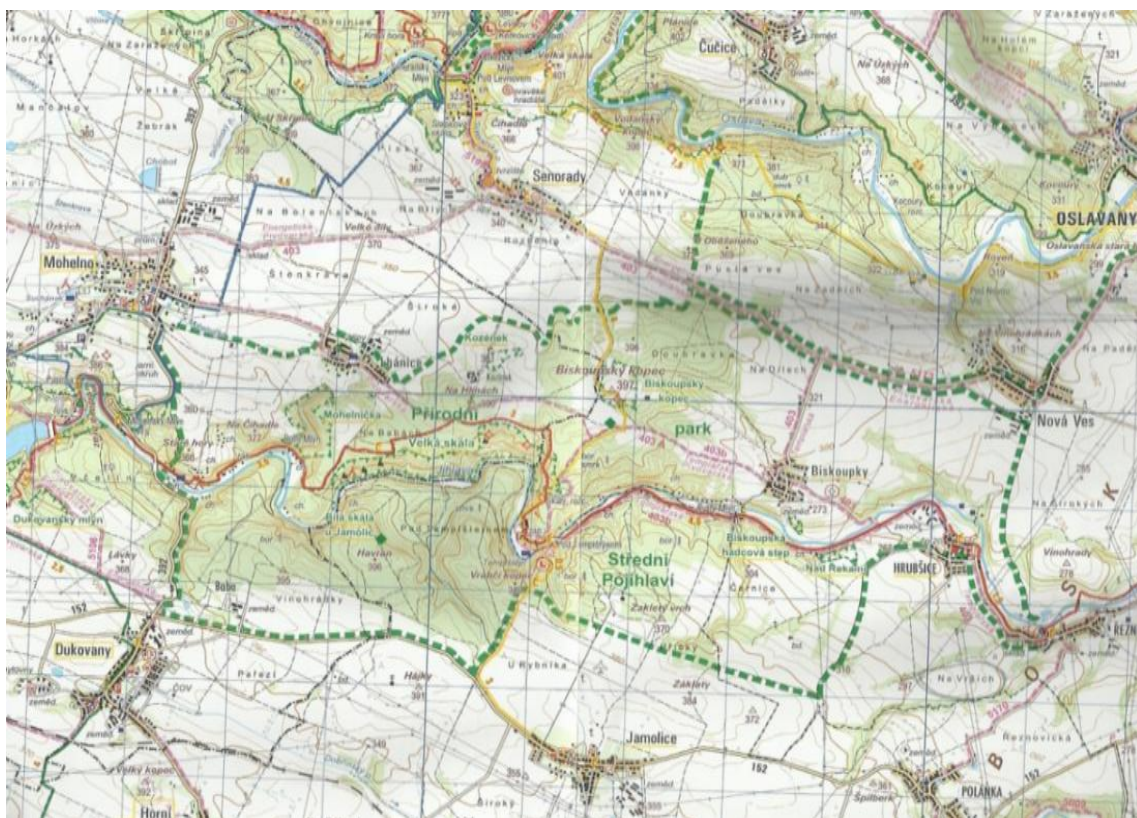
Cílem předkládané práce je popsat geochemii chrómu v hadcích v okolí Biskoupek a odebrat vzorky hornin a hadcových půd. Neméně důležitým aspektem práce je charakteristika hlavních horninotvorných a akcesorických minerálů. Specifikace celkového obsahu chrómu v hornině a půdě a porovnání bilance chrómu v mateřské hornině a v hadcové půdě tvoří také významnou složku práce.

## 2. Teoretická část

### 2.1 Geografie zájmových oblastí - Hrubšic a Mohelna

Obec Hrubšice je součástí města Ivančice, které je vzdálené asi 20 km od Brna směrem na jihozápad. Patří do okresu Brno – venkov, kraje Jihomoravského. Hrubšický serpentinitový masiv se rozkládá na svazích řeky Jihlavy a jeho rozloha je přibližně 5 km<sup>2</sup>. Můžeme jej vymezit obcemi Hrubšice, Biskoupky, Nová Ves u Oslavan, Templštýn a Jamolice (obr. 1), (Beneš et al. 1963). Hrubšické těleso je dlouhé 6 km a nachází se 2 km východně od mohelenského tělesa (Medaris et al. 2005).

Obec Mohelno je situována v okrese Třebíč, v kraji Vysočina. Od Třebíče je vzdálená asi 35 km směrem na jihovýchod. Mohelenský masiv se rozkládá mezi Mohelnem a Dukovany.



**Obr. 1.** Mapa okolí Biskoupek, převzato od Pernici (2011)



## 2.2 Geologie studovaných lokalit

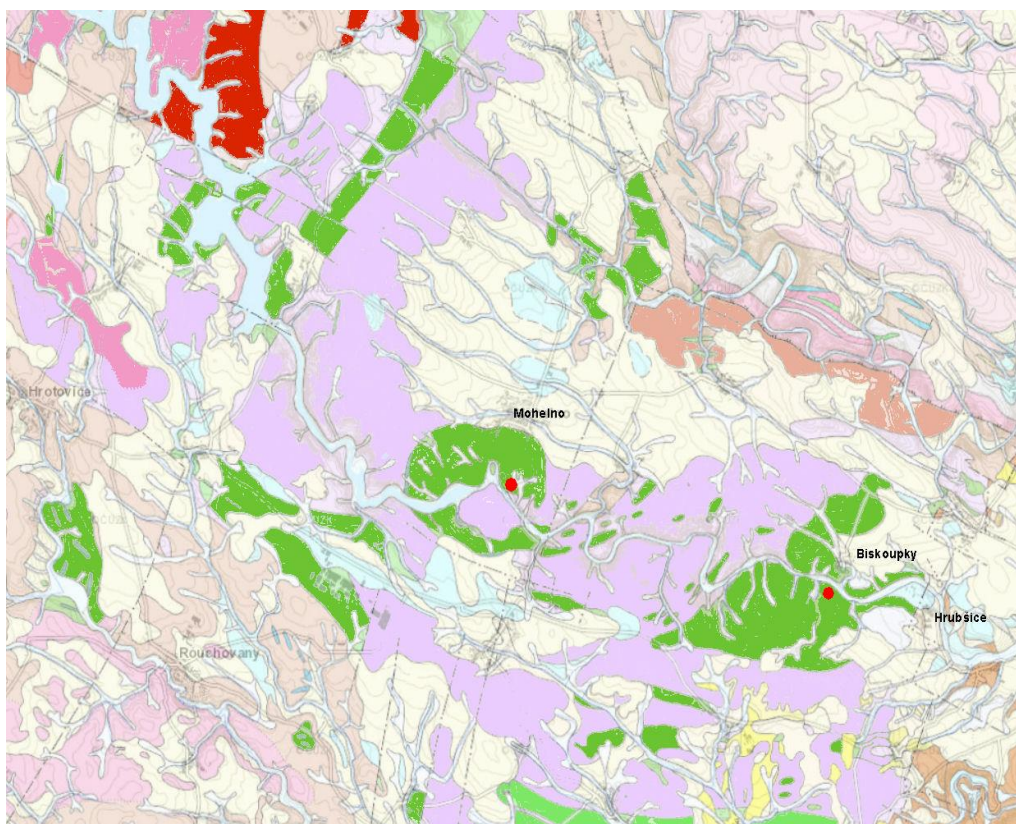
Území studovaných lokalit patří do moldanubika západní Moravy. Moldanubikum je v dnešním nejvíce rozšířeném tektonostratigrafickém pojetí (Vrána et al. 1995) představováno v sukcesi od strukturního podloží do nadloží třemi litotektonickými jednotkami:

- Strukturně nejnižší **ostrongská (monotónní) skupina** se vyznačuje relativně monotónní litologií. Je tvořena biotitickými, sillimanit-biotitickými rulami, v menší míře i biotit-muskovitickými pararulami. Obsahuje málo pestrých vložek, drobné čočky erlánů, ojedinělé amfibolity a kvarcity.
- V tektonickém nadloží monotónní jednotky spočívá **pestrá (drosendorfská) skupina**. Od svého podloží se liší mnohem pestřejší litologií, ve které jsou zastoupeny mramory, erlany, kvarcity, grafitické ruly a ortoruly. Tato jednotka je považována za mladší oproti jednotce ostrongské (Přichystal 2009).
- **Gföhlská skupina** je strukturně nejvyšší jednotkou moldanubika. Tvoří ji HT-HP – leukokratní migmatity, ortoruly (např. gföhlské), granulity, budiny eklogitů, serpentinizovaných peridotitů (Grygar 2016). Granulitové komplexy s hojnými ultrabazity jsou hojně rozšířeny zejména v jižních Čechách a v moravské části moldanubika, kde je gföhlská jednotka nejvíce plošně rozšířena.

Serpentinitová tělesa hrubšicko-biskoupeckého a mohelenského masivu tvoří součást náměšťsko-krumlovského granulitového masivu pestré skupiny moravského moldanubika (Přichystal 2009).







Větší serpentinitová tělesa se nacházejí na lokalitách Jamolice, Hrubšice, Biskoupky, Mohelno a Dukovany a jsou obklopena granulitem – viz obr. 2. Podle geologické mapy ČR (obr. 2) můžeme ve studovaných lokalitách Hrubšice – Biskoupky a Mohelno zaznamenat vedle ultrabazických hornin hlavně migmatitizované biotitické pararuly, dvojslídne ortoruly, biotitické a sillimanit-biotitické pararuly, granulity s granátem a biotitem, často rekrystalizované, migmatitizované amfibolity, eklogity a skarny, které jsou menšího rozsahu.


Neogenního stáří jsou štěrky, jílovité písky, písčité jíly, místy s výskytem vltavínů. Sedimenty kvarterního stáří jsou zastoupeny deluviálními, převážně hlinito-písčnými a také kamenito-hlinitými sedimenty, fluviálními písčnými štěrky a sprašemi.



**Obr. 2.** Geologická mapa 1 : 50 000 – zdroj <http://www.geology.cz/app/> (odstíny béžové a žluté – pokryvné útvary).

**Legenda - horniny gföhlské skupiny**

	serpentinit,peridotit [ID: 1154]
	amfibolit [ID: 1162]
	granulit [ID: 1163]
	migmatit až ortorula [ID: 1179]
	migmatit [ID: 1180]
	pararula až migmatit [ID: 1190]

 Lokalita odběru vzorků

Biskoupský serpentinitový masiv je řekou Jihlavou rozdělen na dvě části (východní a západní) a je obklopen granulity, pouze na východě masiv pokrývají sedimenty mladšího stáří (Mrázek a Rejl 2010). Tento masiv je tvořen hlavně spinelovými peridotity s enstatitem, amfibolem a Cr-diopsidem (Kovář et al. 2008). Serpentinity jsou převážně negranátické a jejich součástí jsou černá zrna spinelidu. Nezvětralé serpentinity z této lokality obsahují žilky chryzotilového azbestu. Zvětráváním serpentinitů, jež jsou hojné na chlority, se vytvářejí žilky, ale i množství forem  $\text{SiO}_2$ , hlavně opálu a chalcedonu. Zelená barva na posledním místě uvedených minerálů je zapříčiněna příměsí niklu, který se uvolňuje rozkladem olivínu (Zimák et al. 1997).

Nedaleko Biskoupek se v blízkosti obce Hrubšice (na pravém břehu řeky Jihlavy) nachází menší činný kamenolom "U Pustého mlýna", kde se těží serpentinit k výrobě serpentinitové drtě (Jirásek 2007). Těleso serpentinitů se tu vyskytuje v odlišném stupni zvětrávání. Na povrchu probíhá silná přeměna, ale v hlubších částech se nalézají čerstvé horniny (Vávra a Štelcl 2014).

Jirásek (2007) uvádí, že v lomu "U Pustého mlýna" byl objeven vzácný karbonát huntit. Poprvé ho popsal Němec roku 1981 a informoval o tom, že má křídově bílou barvu, je ve formě jemnozrnných krust a obsahuje různé množství magnezitu, nejméně 3 %. Ve zmíněném lomu se huntit později objevil na puklinách alterovaného serpentinitu v podobě růžicovitých agregátů. Huntit  $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$  vzniká při nízkoteplotních procesech na zemském povrchu a postupem času se mění na dolomit nebo magnezit. Rozkladem serpentinitu vznikl hydromagnezit spolu s magnezitem a artinitem a huntit se vytvořil později jeho nahrazením. Dle Němce (1981) byla hlavním aspektem vzniku huntitu hluboká přeměna serpentinitu, při níž bylo uvolněno velké množství  $\text{MgO}$ . Můžeme se domnívat, že povrchové vody, které prosakovaly přes půdu, obsahující jíly a zvětralý hadec, získávaly hořčík. V podložních hadcích pak došlo k nasycení tímto prvkem, jež je nezbytný pro vysrážení karbonátů. Z nich se následně vytvořil huntit. Bylo pozorováno, že na puklinách serpentinitu, kde se objevuje kalcit a dolomit, nebyl výskyt huntitu většinou zaznamenán.

Stejně jako první studovaná lokalita, rovněž Mohelno se nachází u řeky Jihlavy, jejíž údolí prostupuje horninami západomoravského moldanubika. Vyskytují se zde gřohlské ruly a migmatity společně s rozsáhlým náměšťsko-krumlovským granulitovým komplexem. Ten má vazby na původně magmatické horniny a jsou na něm patrné hojné amfibolitové pruhy. Mohelenský a biskoupský serpentinitový masiv, zaujímající rozlohu několik  $\text{km}^2$ , jsou místem hojného výskytu serpentinizovaných ultrabazických hornin

(původně granátických a spinelových peridotitů) plášťového původu. Během variské exhumace byly peridotity hydratovány za vzniku minerálů skupiny serpentinu (antigorit, chryzotil, lizardit). Proto tyto horniny nesou název serpentinizovaný peridotit nebo serpentinit (hadec). Složení původních peridotitů bylo variabilní. Z mohelenského tělesa tvoří hlavní masu serpentinizovaný spinelový peridotit, kdežto okrajové partie na styku s granulitem jsou tvořeny serpentinizovaným granátovým peridotitem. Z hlavních nerostů obsahují popisované horniny forsterit, granát, chromitý enstatit, chromitý augit a pargasit. Vysoký obsah hliníku v pyroxenech (podle údajů Medarise et al. (2005) 4-7 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) je typický pro peridotity vznikající za vysokých teplot. V centru tělesa dominuje asociace olivín-spinel-ortopyroxen-klinopyroxen, přičemž ve směru k okrajům se ztrácí spinel a nastupuje granát. Výše zmíněná asociace byla dále přeměněna při pohybu těles směrem k povrchu a zůstal jen granát (obr. 3) s velkým množstvím pyropové složky (Vávra a Štelcl 2014).



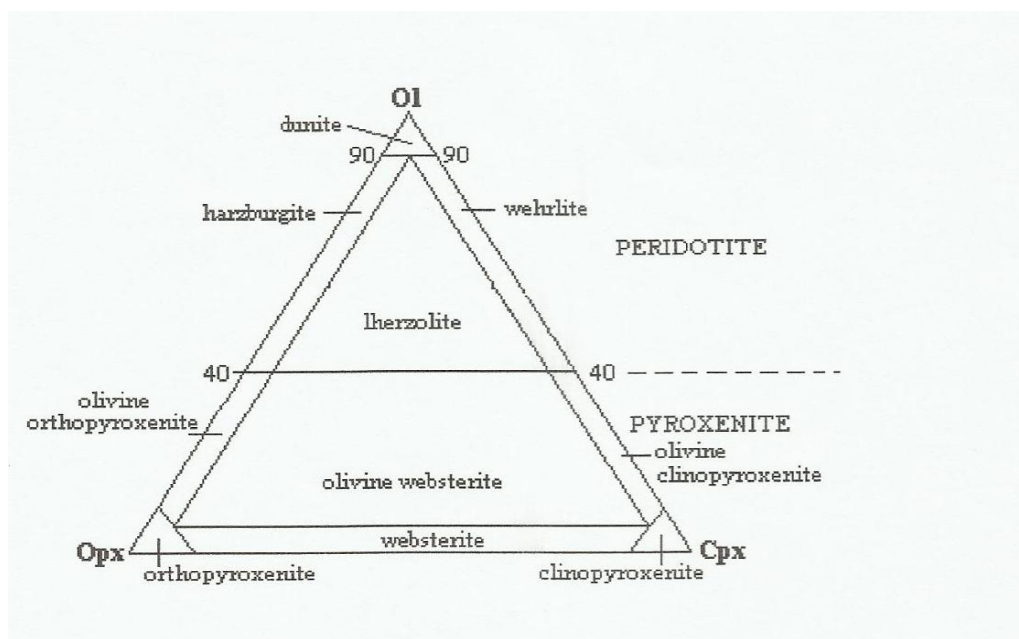
**Obr. 3.** Serpentinizovaný peridotit u Mohelna, převzato od Vávry et al. (2008)

Ve studované oblasti Mohelno se nedaleko serpentinitů nacházejí granulity náměšťsko – krumlovského komplexu. Mají světlou barvu. Co se týká složení, shodují se s granátovými ortorulami. Obsahují významné množství peritického draselného živce, plagioklasu, křemene a různého množství biotitu. Vyznačují se především porfyroblastickou strukturou s granátovými porfyroblasty. Jako akcesorické minerály jsou v granulitech přítomny apatit, zirkon, magnetit a ilmenit. Pro granulity je charakteristická homogenní stavba. Mohou však být také slabě až naopak nápadně páskované (Vávra et al. 2008).

### 3. Ultramafické magmatity a metamorfity z nich vzniklé

#### 3.1 Minerální a chemické složení ultramafických magmatitů

**Ultramafické horniny** jsou z velké části tvořeny železato-hořečnatými minerály a obsahují méně než 45 %  $\text{SiO}_2$  (Kierczak et al. 2007). Z 90-100 % se skládají z mafitů, mezi něž patří olivín, pyroxen, amfiboly a další tmavé minerály (obr. 4). Co se týče chemického složení, různé typy ultramafitů se od sebe velice liší (Holub 2002).



**Obr. 4.** Klasifikační diagram ultramafických hornin, převzato od Streckeisena (1974)

Peridotit je identifikován jako vyvřelá hornina složená z olivínu s velkým množstvím hořčíku (forsterit) a dalšími minerály jsou ortopyroxen, klino-pyroxen, amfiboly, spinelidy, chromit a granát s převahou pyropové složky (Kierczak et al. 2007). Mezi peridotity se řadí **dunit, harzburgit, Iherzolit a wehrlit. Dunit** obsahují nad 90 % olivínu a v malém množství může být zastoupen pyroxen. Velmi často se vyskytuje chromit a výjimečně také jiné spinelidy. Dunity představují součást gabroidních komplexů, ofiolitů nebo mělkých částí svrchního pláště (Holub 2002).

**Harzburgity** jsou označovány jako ortopyroxenové peridotity obsahující do 5 % klinopyroxenu. Jak bývá pravidlem, tímto názvem se označují horniny, které jsou úplně bez klinopyroxenu, ale peridotity s klinopyroxenem se nazývají Iherzolity (5 % hranice není brána v úvahu). Podle toho je možné jednoznačně určit Iherzolity a harzburgity ve

svrchním plášti. Harzburgity s chromitem, které jsou velmi serpentinizované, jsou charakteristickou horninou spodních částí ofiolitových komplexů (Holub 2002).

**Lherzolity** obsahují oba pyroxeny. Množství klinopyroxenu je nad 5 %, ale ortopyroxen v nich silně převládá. V lherzolitech svrchního pláště je spolu s olivínem, ortopyroxenem a klinopyroxenem zastoupena čtvrtá minerální fáze, která je rozhodující svým obsahem hliníku. Čtyřfázové lherzolity kategorizujeme na plagioklasové, spinelové a granátové. Za horniny svrchního pláště můžeme označit spinelové a granátové lherzolity. Odrůdy spinelu obsahují spinelid s chromem. Příkladem může být magneziochromit, chromspinel či chromit. Spinelové lherzolity představují nejčastější horninu xenolitů. U granátových lherzolitů občas dochází k výměně pyropu za kelyfit (Holub 2002).

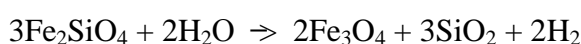
**Wehrlity** jsou tvořeny olivínem a klinopyroxenem, ale mohou v nich být přítomny v malém množství i amfibol a spinelidy (Holub 2002).

### ***3.2 Minerální a chemické složení serpentinitů***

Serpentinit je metamorfovaná hornina vzniklá hydrotermální přeměnou peridotitu. Serpentinové minerály vznikají z olivínu několika reakcemi, z nichž některé jsou komplementární. Serpentinové reakce 1a a 1b (viz níže) vytvářejí z křemíku, uvolněného z olivínu, minerály serpentínové skupiny a magnetit. Tyto reakce jsou silně exotermní (Putnis a Díaz 2010).

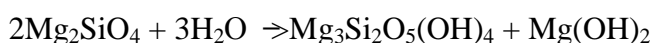
#### Reakce 1a:

Fayalit + voda  $\rightarrow$  magnetit + SiO<sub>2</sub> + vodík



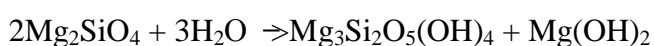
#### Reakce 1b:

Forsterit + voda  $\rightarrow$  serpentín + brucit



#### Reakce 1c:

Forsterit + voda  $\rightarrow$  serpentín + brucit



Reakce 1c popisuje hydrataci olivínu vodou za vzniku serpentínu a Mg(OH)<sub>2</sub> (brucitu). Serpentin je stabilní při vysokých hodnotách pH v přítomnosti brucitu. Po této reakci špatně rozpustné reakční produkty (hydratovaný SiO<sub>2</sub> nebo rozpuštěné ionty Mg)

mohou být transportovány roztokem ven ze serpentinizované zóny difúzí nebo advekci (Putnis a Díaz 2010).

Podobná řada reakcí se uplatňuje při přeměně pyroxenů, i když méně intenzivně a s komplikací v podobě dalších koncových produktů v důsledku větší variability chemického složení pyroxenů a směsí pyroxeny-olivín. Možnými produkty jsou hořečnatý chlorit a mastek, spolu se serpentinovými minerály antigoritem, lizarditem a chryzotilem. Výsledné minerální složení serpentinitu závisí na složení horniny a fluidní fáze, na teplotě a tlaku. Antigorit vzniká při reakcích probíhajících za teplot, které během metamorfózy mohou přesáhnout 600 °C a je minerálem ze skupiny serpentinu, který je z nich stálý za nejvyšších teplot. Lizardit a chryzotil mohou vznikat za nízkých teplot velmi blízko zemskému povrchu. Fluida účastníci se serpentinizace jsou velmi reaktivní a mohou transportovat vápník a další prvky do okolních hornin. Reakce fluid s těmito horninami mohou vytvářet metasomatické reakční zóny obohacené o vápník, nazývané rodingity. Za přítomnosti oxidu uhličitého může během serpentinizace vznikat buď magnetit, nebo metan (reakce 2a) (Putnis a Díaz 2010).

#### Reakce 2a:

Olivín + voda + kyselina uhličitá  $\rightarrow$  serpentin + magnetit + metan

#### Reakce 2b:

Olivín + voda + kyselina uhličitá  $\rightarrow$  serpentin + magnetit + magnetit +  $\text{SiO}_2$

Reakce 2a probíhá, pokud je serpentinit chudý na Mg nebo když není oxidu uhličitého dostatek na podpoření tvorby mastku. Reakce 2b převládá, když má serpentinit vysoký obsah hořčíku a parciální tlak oxidu uhličitého je nízký (Putnis a Díaz 2010).

Kantor (1955) uvádí v serpentinitech Spišsko-gemerského rudohoří millerit  $\text{NiS}$  a s ním často sdružený nebo i samostatně vystupující pentlandit  $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ , vzácněji pak heazlewoodit  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  a také přirozenou slitinu  $\text{Ni+Fe}$ , awaruit, nebo vstupují do nově vytvořeného magnetitu. Chromit přítomný v podobě malých zrněk v ultramafických horninách setrvává nepřeměněný během serpentinizace (Alexander et al. 2007). Oproti tomu Moody (1976) tvrdí, že chromit může být zcela nebo částečně nahrazen druhotným magnetitem nebo ferrit-chromitem (ten může někdy úplně nahradit původní chromit). Současný výskyt antigoritu a ferrit-chromitu naznačuje, že serpentinit prodělal progradní metamorfózu. Brucit nemusí být rozeznán studií výbrusu serpentinizovaných hornin, jelikož je těsně prorostlý s lizarditem nebo chryzotilem. Brucit také velmi snadno podléhá

zvětrávání a rychle se přeměňuje na hydromagnezit  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ , coalingit  $Mg_{10}Fe^{3+}_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2H_2O$  nebo pyroaurit  $Mg_6Fe^{3+}_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ . Brucit nebyl zjištěn v serpentinitech, odvozených od pyroxenických wehrlitů s > 40 % pyroxenu, což je známkou toho, že brucit se nevytváří alterací ultramafitů hojných na pyroxen (Moody 1976).

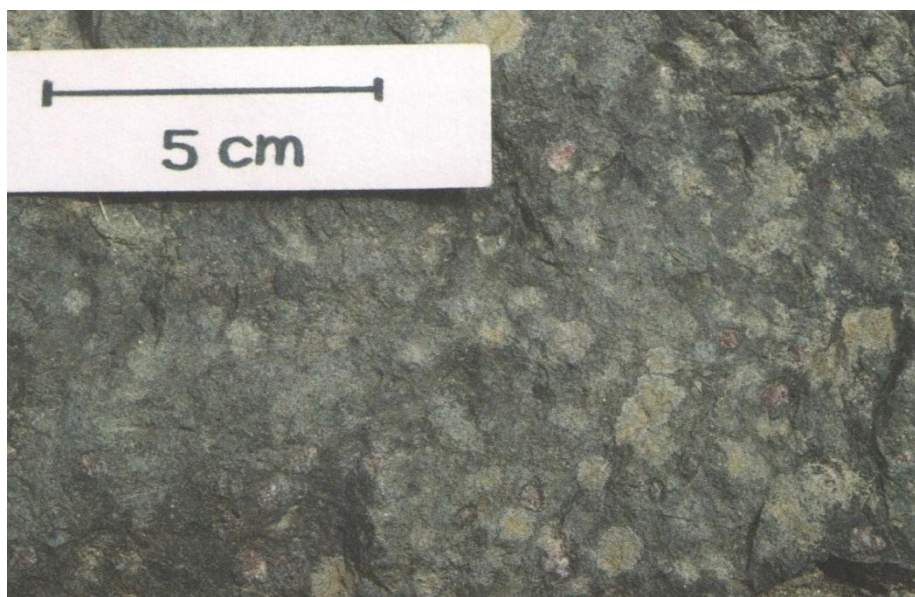
### 3.3 *Serpentinit*

Serpentinit je tvořen především minerály serpentinové skupiny, které vznikly z původních olivínů a pyroxenů. Serpentinit má shodné chemické složení jako peridotit. Vykazuje vysoký obsah hořčíku a nízký obsah vápníku a hliníku. Nejméně je zastoupen sodík a draslík (Kierczak et al. 2007).

Čech et al. (2002) uvádí, že křemík a hořčík, každý z nich, je zastoupen 30-40 %, železo zaujímá 7-14 % a hliník více než 1 %. Dle Hrušky a Bajera (2005) je serpentinit barvy černozeleň, šedozeleň až černá. Někdy na něm bývá vidět i nepravidelné žilkování, které je způsobeno minerálem chryzotilem. Tato hornina má typický matný lesk, všesměrnou stavbu a je celistvá. Serpentinit neboli hadec dostal své jméno podle latinského názvu *serpens*, což přeloženo do češtiny znamená had. V serpentinitu se vedle hlavních minerálů serpentinu mohou objevovat i v podružném množství amfibol, relikt olivínu, granátu (obr. 5), pyroxenů a v akcesorickém množství se v něm mohou vyskytovat Cr-spinelidy, magnetit, pyrit, pentlandit a chalkopyrit. Mezi druhotné minerály vyskytující se v hadci patří dolomit, tremolit, saponit, brucit, opál, chalcedon, Mg-chlority a magnezit (Hruška a Bajer 2005).

Tmavou barvu převážné části serpentinitů dodává magnetit, který je v nich přítomný v maličkých zrnech. Brucit se vyskytuje, pokud je ultramafická hornina složená z olivínu (dunit) a pokud není k dispozici dostatek křemíku dostupného k vytvoření velkého množství serpentinu nebo mastku. V přítomnosti oxidu uhličitého velká část přebytku hořčíku bude tvořit karbonát (Alexander et al. 2007).





**Obr. 5.** Serpentinit u Mohelna se zrný granátu, převzato od Vávry a Štelcla (2014)

Chemismem serpentinitu z masivu Szklary, který se nachází v západním Polsku, a na něm vzniklých půd se intenzivně věnovali Kierczak et al. (2007, 2008, 2016). Tamější horniny náleží částečně serpentinizovaným peridotitům. Nejdůležitějšími chemickými složkami jsou hořčík a křemík, ale i železo se objevuje ve význačném množství a to až 9,37 hm. % (tab. 1). Ve zkoumané ultrabazické hornině se vyskytují významná množství Ni, Cr a Co. Frakce > 2 mm půdního horizontu A i A/C obsahuje v porovnání s matečnou horninou (R v tab. 1) více oxidu křemičitého a méně oxidu hořečnatého. V hrubých úlomcích horniny, které setrvávají v půdě, se rovněž zvyšují obsahy oxidu hlinitého a vápníku. Současně došlo ke snížení obsahu oxidu hořečnatého, železa a niklu v úlomcích serpentinitu v horizontu A. Matečný serpentinit má okatou mikrostrukturu a střední zrnitost (Kierczak et al. 2007).

**Tab. 1.** Velikost zrn a chemické složení ultrabazických hornin a půd z masivu Szklary (Kierczak et al. 2007)

Horizont / frakce	Zrnitostní spektrum částic				Chemické složení (v hmot.%)								
	Pod 2 mm (bráno jako 100%)			>2 mm	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnO	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO
	Jíl	Prach	Písek										
A	16	71	13	28	59,26	9,88	7,78	5,73	1,33	0,19	0,17	0,41	0,01
A/C	18	60	22	60	52,28	15,89	10,47	4,33	0,84	0,23	0,28	0,45	0,02
R	-	-	-	-	38,99	38,15	9,37	1	0,17	0,14	0,32	0,57	0,02
CF <sub>1</sub>	-	-	-	-	46,62	27,32	9,14	3,06	2,33	0,13	0,24	0,46	0,01
CF <sub>2</sub>	-	-	-	-	40,74	29,53	11,77	1,68	0,38	0,16	0,36	0,55	0,02

R - nezvětralá matečná hornina, CF<sub>1</sub> – hrubá frakce > 2 mm z půdního horizontu A, CF<sub>2</sub> – hrubá frakce > 2 mm z půdního horizontu A/C.

Převažujícími minerály v mateřském serpentinizovaném peridotitu jsou serpentín, olivín (forsterit), amfiboly (antofylit a tremolit), klinochlor a spinel. V podružném množství jsou přítomny magnetit a relikty ortopyroxenu. Serpentín v hornině představuje 40-50 hm. %, forsterit 35-40 %, amfibol je zastoupený 10-15 %, spinel 8-10 % a chlorit okolo 5 %. Obsah NiO je vysoký, dosahuje hodnoty až 0,36 hm. % NiO. Olivín vytváří izometrická zrna, která dosahují velikosti 0,01-0,2 mm. Na mnoha místech je původní olivín nahrazen nebo také obklopen iddingsitem, který má oranžovou až hnědou barvu. Jako iddingsit se označují produkty alterace olivínu, které mají oproti čerstvému olivínu vyšší množství železa (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a CaO a menší obsah MgO. Kromě toho je množství niklu pokaždé vyšší v iddingsitu než v olivínech (průměrně 0,58 hm. % NiO oproti 0,37% ve forsteritu); v samotném serpentínu je obsah niklu ještě nižší (v průměru 0,17 %). Nikl je kromě toho obsažen ve větším množství v magnetitu a Cr-magnetitu (Kierczak et al. 2007). Chrom je nejvíce zastoupen v Cr-magnetitu a magnetitu (desítky % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a také v sekundárním klinochloru (0,71-1,68 hm. %) (tab. 2). Forsterit a z něj vzniklé serpentínové minerály obsahují jen velmi malá množství Cr, stejně jako amfiboly tremolit a antofylit (Kierczak et al. 2007).

Klinochlor stejně jako výše zmíněné amfiboly má stálé chemické složení a vykazuje významná množství chromu (v průměru 1,16 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ve studované

hornině je Cr-magnetit přítomen ve dvou typech: První z nich představuje velká nepravidelná zrna o velikosti 0,5-2 mm a druhý menší idiomorfnní krystaly v průměru cca 0,01 mm. Magnetity mají stanovené průměrné obsahy niklu na 0,62 a 0,70 hm. % NiO. V důsledku alterace jsou některé spinely v serpentinitech zonální (Kierczak et al. 2007).

**Tab. 2.** Průměrné chemické složení primárních minerálů z matečné horniny ze Szklary, převzato od Kierczaka et al. (2007)

wt.%	Serpentine	Forsterite	Iddingsite	Tremolite	Anthophyllite	Cr-magnetite I	Cr-magnetite II	Clinocllore	Magnetite	Enstatie
SiO <sub>2</sub>	40.33 [38.89– 42.16]	41.49 [40.90– 42.66]	41.49 [27.66– 56.87]	58.74 [58.17– 59.50]	59.67 [57.88– 60.33]	0.03 [0–0.13]	0.02 [0–0.19]	31.92 [30.14– 33.53]	0.29 [0.21–0.38]	58.58 [58.30–59.02]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25 [0–0.78]	0.02 [0–0.13]	0.08 [0–1.75]	0.47 [0.05–1.23]	0.23 [0.06–0.94]	1.73 [1.45–2.39]	0.69 [0.03–0.95]	16.38 [13.78–17.81]	0.02 [0–0.04]	0.51 [0.36–0.64]
FeO	5.72 [3.32–7.22]	7.94 [6.31–8.52]	13.03 [7.23–28.99]	1.48 [1.19–1.80]	6.00 [5.27–6.71]	66.81 [59.67–70.20]	75.40 [72.11–79.15]	3.12 [1.63–3.81]	89.24 [86.53–90.90]	5.72 [5.53–5.95]
MgO	38.20 [32.01–41.22]	51.10 [49.26–52.72]	23.27 [6.00–40.21]	23.91 [22.66–24.91]	31.13 [29.68–31.98]	3.49 [3.26–4.33]	2.17 [1.02–2.78]	33.39 [31.35–34.94]	0.52 [0.44–0.59]	36.41 [36.14–36.59]
CaO	0.02 [0–0.09]	<dl	0.30 [0.03–0.94]	13.07 [12.32–13.85]	0.36 [0.09–0.90]	<dl	0.01 [0–0.11]	0.01 [0–0.03]	0.04 [0–0.06]	0.07 [0.05–0.10]
MnO	0.09 [0–0.16]	0.15 [0–0.29]	0.07 [0–0.37]	0.08 [0–0.25]	0.25 [0.08–0.35]	0.42 [0.30–0.64]	0.35 [0.14–0.96]	0.04 [0–0.09]	0.22 [0.11–0.35]	0.25 [0.20–0.32]
NiO	0.17 [0–0.55]	0.37 [0.20–0.55]	0.58 [0.19–0.99]	0.12 [0–0.25]	0.09 [0–0.22]	0.62 [0.37–0.83]	0.70 [0.48–0.96]	0.17 [0.07–0.34]	1.16 [0.07–3.31]	0.12 [0–0.31]
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07 [0–0.36]	0.01 [0–0.22]	0.08 [0–1.72]	0.02 [0–0.1]	0.05 [0–0.11]	21.77 [17.77–26.55]	14.02 [7.62–16.41]	1.16 [0.71–1.68]	0.03 [0–0.06]	0.11 [0.08–0.17]
n	42	43	35	16	15	8	38	15	5	6

n – počet analýz, < dl – pod mezí detekce, [a-b] – rozsah koncentrace

Kostic et al. (1998) uvádějí, že pohoří Zlatibor a Kopaonik patří k největším oblastem serpentinizovaných peridotitů v Evropě. Serpentinizované peridotitové horniny představují součást tektonicky porušeného ofiolitového komplexního pásu. Serpentin má tmavou barvu, je masivní a pochází z lherzolitu, wehrlitu, harzburgitu a výjimečně také z dunitu. Horniny tvoří minerály serpentinové skupiny, olivín, monoklinický a ortorombický pyroxen, amfiboly, mastek, chlorit, opakní minerály (picotit, chromit a magnetit) a v malém množství je zde přítomen karbonát. Olivín a pyroxeny jsou přeměněné podél štěpností na serpentinit, ale chlorit, mastek a hornblend mají své místo při vyplňování trhlin v hornině. Okolo vrcholů hor Zlatibor dochází k nejnižšímu stupni serpentinizace, na rozdíl od ostatních zkoumaných oblastí. Pomocí mineralogické analýzy bylo zjištěno, že minerály matečné horniny byly přeměněné během zvětvávání.

### 3.4 Minerály serpentinové skupiny

Minerály skupiny serpentinu  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  vytváří v hornině serpentinitu celistvé nebo vláknité agregáty různých barev – zelená, šedá, bílá nebo žlutozelená. Existují tři formy minerálů serpentinu. První z nich je lupenitý **antigorit**, druhý je **lizardit** a třetí se nazývá **chryzotil**, který vytváří vláknité agregáty azbestovitého vzhledu a používal se např. na výrobu střešních krytin, žáruvzdorných tkanin nebo k výrobě elektroizolátorů (Veľebil 2012).

Page (1968) uvádí, že antigorit má vysoké obsahy  $\text{SiO}_2$  a malé množství  $\text{H}_2\text{O}$ , naproti tomu chryzotil se vyznačuje poměrně vysokou koncentrací  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{MgO}$  a nízkým poměrem  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ . Lizardit je charakteristický vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$  a nízkým obsahem  $\text{FeO}$ .

### 3.5 Serpentinit z lokality Hrubšice

Už v roce 1893 zkoumal Barvíř serpentinitu na západní Moravě a zjistil, že serpentinit nacházející se u Hrubšic je obklopen z části rulou a granulitem. Novák a Žák (1948) uskutečnili výzkum serpentinitů u Hrubšic, Templštiny, Nové Vsi u Oslavan, Polanky, Jamolic a Dubňan. Zjistili, že zkoumané serpentinitu všech zmíněných míst jsou uzavřeny v granátických granulitech. Při makroskopickém popisu určili skupinu serpentinitů barvy zelené až tmavozelené, v níž byly serpentinitu bohaté na malá zrna a žilky chromitu a druhá skupina představovala serpentinitu černozelelé, v nichž byly krystaly bronzitu. Na čerstvém lomu měl bronzit barvu zelenou, ale na zvětralých hadcích získal bronzově žlutý lesk. Tmavá barva serpentinitů se při zvětrávání mění na světlezelenou. U zelených serpentinitů byl pozorován ve výbrusech chryzotil, který byl vláknitý a jeho výskyt byl zaznamenán především na okrajích prvotních olivínových zrn. Oproti tomu antigorit se objevoval především uprostřed zrn. Černá zrna a žilky chromitu byly na okrajích tmavě hnědě průsvitné. Při studiu **černozelelé serpentinitů** odebraných z lomu u Hrubšic byly zjištěny zbytky olivínu umístěné ve středu chryzotilových smyček, bronzit, zrna lesklé rudy – magnetit a chromit a pár zrn pleonastu zelené barvy. U Nové Vsi se ve výbrusu vyskytoval granát s kelyfitickou obrubou, pleochroický amfibol, picotit a pyroxen. Serpentinitu u Nové Vsi se vytvořily z peridotitů. Na hadcích se vyskytují různě velké trhliny, kde jsou sekundární minerály, kterými jsou chryzotil, antofylit, pennin, magnesit a také kalcit.

Podle Černého a Povondry (1965) jsou serpentinity u Hrubšic i Mohelna na některých místech proniknuty drobnými žilami tzv. desilikovaných pegmatitů s nízkým podílem draselného živce a křemene.

Bernard (2000) uvádí, že na kontaktu s hadcem v nich je možné zaznamenat reakční zónu – lem, který je tvořený antofylitem, aktinolitem, flogopitem a také chloritem. Uvedené minerály jsou charakterizovány vysokým obsahem železa a hořčíku ve srovnání s pegmatitem.

Peridotit u Biskoupek má společné všechny typické znaky s peridotitem u Mohelna. Biskoupský peridotit je tvořen forsteritem, granátem bohatým na pyropovou složku, enstatitem, chromovým diopsidem a pargasitickým amfibolem. Pyroxeny obsahují velké množství hliníku, což je příznačné pro vysokoteplotní peridotity. Granátové peridotity u Biskoupek a Mohelna vznikly za velmi vysokých teplot, a to 1300 °C a tlaku 27,5 kbar (Medaris a Jelínek 2004).

Studiem serpentinitů v ČR se také zabývali Hruška a Bajer (2005) v průběhu výzkumu půd na těchto horninách. Odebrali vzorky serpentinitů i půd, např. z lokality Biskoupy, Jamolice u Moravského Krumlova a Mohelno. Dle těchto autorů má serpentinit u Biskoupek tmavou barvu, zelenočernou a objevují se v něm zelenošedé skvrny. Tato hornina je celistvá a její struktura je všesměrná, má nepravidelný odlom. Čerstvý serpentinit obsahuje převážně minerály serpentinové skupiny s malým podílem pyroxenu a spinelu. Minerály serpentinové skupiny mají zelenožlutou barvu a tvoří kanálkovité útvary. Uvnitř smyček se nachází isotropní hmota nazývaná serpofit. Zbytky minerálů prvotní ultrabazické horniny bývají dobře zachovány, jedná se o kosočtverečné a také jednoklonné pyroxeny a olivín, který tvoří středy smyček. Častou akcesorií bývají zrna spinelu tmavě hnědé barvy. Středy kanálek jsou budovány magnetitem. Mikrostruktura serpentinitu je smyčková. Na navětralé hornině je patrná zelenočerná barva a kraje jsou světle zelené.

V dřívější době se na území Biskoupek dobýval **sepiolit** (“mořská pěna“) a celistvý **magnezit** (Mrázek a Rejl 2010). Sepiolit byl hlízovitý a nacházel se v blocích, které dosahovaly rozměrů až 40 cm (Bernard 2000). Na této lokalitě se také objevil minerál **analcim**, a to v podobě drúz krystalků v místech puklin amfibolitu. Jedním z dalších minerálů byl **natrolit**, který se rovněž vyskytoval na puklinách amfibolitu jako sloupcovité krystaly. Na zájmové lokalitě Biskoupy byl rovněž zaznamenán výskyt **turmalínu**. Jednalo se o sloupcovité a neukončené krystaly skorylu černé barvy v pegmatitu (Kruťa 1966). Nedaleko se nachází Nová Ves u Oslavan, obec známá

nalezištěm tzv. „očkových opálů“, které byly velmi kvalitní a používaly se k výrobě šperků. Opálové jádro mívá většinou tmavě hnědou barvu. Získávaly se opálové konkrce různé velikosti a různého tvaru (kulovitý, bochníkovitý). Opály a plazmy se většinou nevyskytují společně (Mrázek a Rejl 2010). Na lokalitě Hrubšice se nachází kvalitní **plazma**, která má zelenou nebo modrozelenou barvu a její výskyt v hojné míře je nad pravým břehem řeky Jihlavy (Pauliš 2005). Kruťa (1966) popisuje také nález harmotomu, hydrotalkitu, rutilu a saponitu u obce Hrubšice a aragonitu u obce Nová Ves u Oslavan.

Nedaleko Hrubšic – v již zmíněném kamenolomu “U Pustého mlýna“ byl objeven a určen Kovářem a Lososem nový minerál pro Českou republiku, který nese název **artinit** (obr. 6). Je to vzácný hydratovaný karbonát hořčíku, který se vytváří na puklinách serpentinitů. Artinit tvoří drúzy radiálně paprsčitéch, ježkovitě uspořádaných krystalů. Krystaly tohoto minerálu mají čirou až bílou barvu, jehlicovitý tvar a z makroskopického hlediska se podobají natrolitu. Artinit se vyskytuje v asociaci s hydromagnezitem a dalšími karbonáty (Kovář a Losos 2005). Kovář et al. (2008) také objevili a popsali asociaci nízkoteplotních Mg-hydrokarbonátů, a to spolu s minerály brugnatellitem, coalingitem a také brucitem.



**Obr. 6.** Bílé radiálně paprsčité agregáty artinitu z lokality Hrubšice, převzato od Vávry a Štelcla (2014)

### ***3.6 Serpentinit z lokality Mohelno***

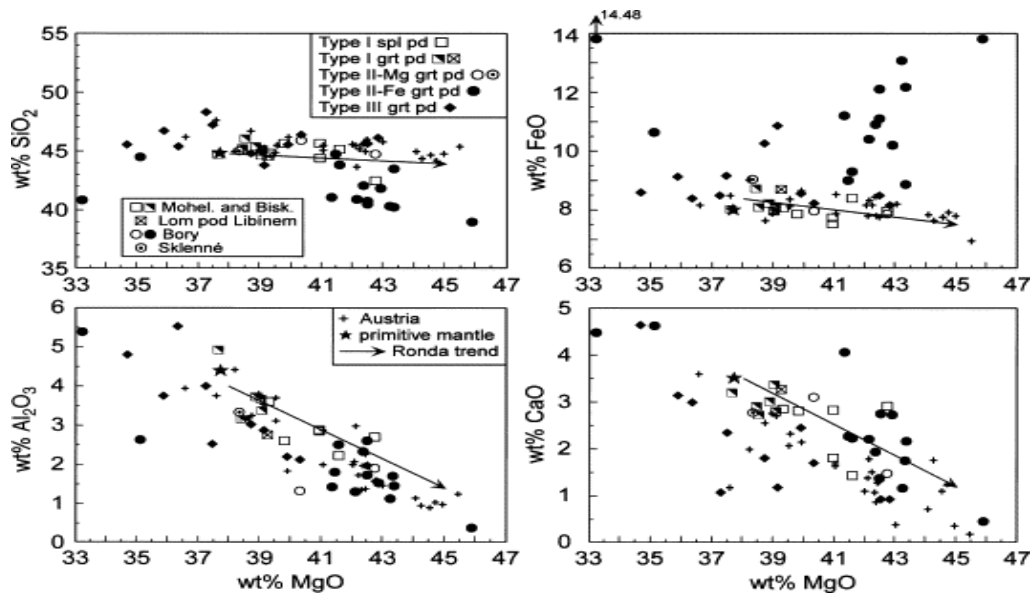
Mohelenský serpentinitový masiv podrobně popsal Němec (1937). Zjistil, že se skládá z několika typů hadce, které vznikly z odlišných vyvřelých hornin. Tyto serpentinity

se částečně liší i makroskopicky. Výše uvedený autor došel k závěru, že nejrozšířenější horninou této lokality byl serpentinit vzniklý z dunitu.

Medaris a Jelínek (2004) se zmiňují o tom, že mohelenský peridotit představuje jedno z četných plášťově odvozených ultramafických těles. Peridotit u Mohelna je zvrásněné deskovité těleso a souvisí s okolním vysokotlakým náměšťským granulitem. Má s ním společnou částečně strukturní a metamorfní historii. Velká část mohelenského tělesa je tvořena serpentinizovaným spinelovým peridotitem. Avšak granátový peridotit se vyskytuje jen v těsné blízkosti ke kontaktům s granulitem, na východ od mostu přes řeku Jihlavu. Různorodá litologická asociace biotit-amfibolových rul, amfibolitu, biotitového amfibolovce a také biotitového andezinitu se obvykle nachází na kontaktu granulitu s peridotitem.

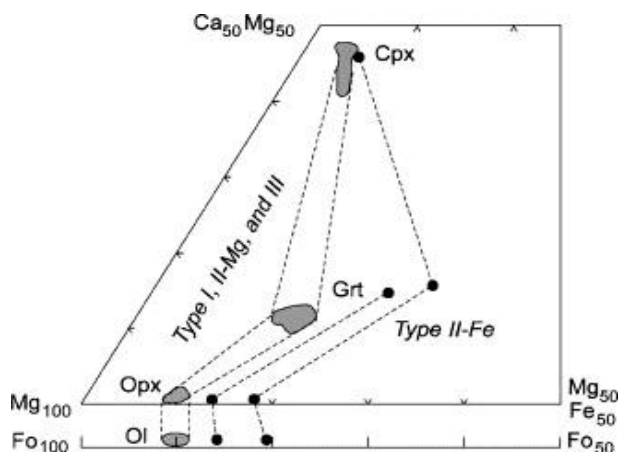
Později popisují Medaris a Jelínek (2011) u mohelenského peridotitu čtyři odlišné minerální asociace. Asociace M1: olivín+spinel+ortopyroxen+klinopyroxen se podílí na vnitřku a velké části peridotitu, kdežto Asociace M2: olivín+granát+ortopyroxen+klinopyroxen se nachází v několikametrovém kontaktu s felsickým granulitem. Inkluze spinelu v granátu názorně předvádějí, že asociace M2 vznikla později než asociace M1. Asociace M3: spinel+ortopyroxen+klinopyroxen a asociace M4: spinel+ortopyroxen+amfibol jsou přítomny v kelyfitu okolo granátu.

Medaris et al. (2005) popisují 3 typy peridotitů, z nichž typ I představuje české peridotity (Biskoupky a Mohelno), naprosto postrádající granátové pyroxenitové nebo eklogitové polohy, které vykazují mírný pokles  $\text{SiO}_2$  a  $\text{FeO}$  a větší snížení  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{CaO}$  se zvýšením  $\text{MgO}$  (obr. 7). Rovněž se snižuje  $\text{TiO}_2$  a  $\text{Na}_2\text{O}$  s růstem  $\text{MgO}$ . Analýzy českých vzorků typu I, kam patří granátové peridotity, obsahují nižší množství  $\text{MgO}$  oproti spinelovým peridotitům.



**Obr. 7.** Diagramy pro české peridotity v gřohlském příkrovu, převzato od Medarise et al. (2005)

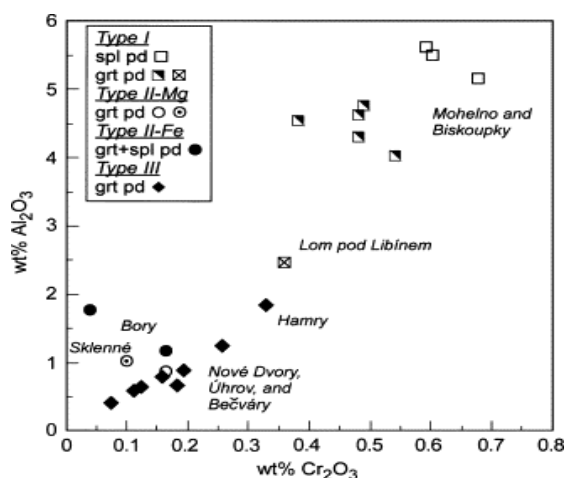
Co se týče Ca, Mg a Fe, složením se překrývají mezi jednotlivými minerálními druhy z peridotitů typu I, II-Mg a III. Jak je patrné z obr. 8, olivín je bohatý na Mg (Fo = 91,1-89,3) a stejně je tomu i u ortopyroxenu (En = 91,4-89,5). Granát je bohatý na pyropovou složku (~ 72%) a klinopyroxen je Cr-diopsid (0,7-1,4 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ve dvou vzorcích, u nichž byla provedena analýza, byl určen olivín (Fo = 86,8 a 80,7), ortopyroxen (En = 86,9 a 82,8) a granát mající pyrop-almandin-spessartin-grossular. Klinopyroxen má 0,32 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Medaris et al. 2005).



**Obr. 8.** Složení olivínu, ortopyroxenu, klinopyroxenu a granátu v českých peridotitech, převzato od Medarise et al. (2005)



Množství  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se velice liší v ortopyroxenu z odlišných typů peridotitu v ČR (obr. 9). Nejvyšší obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  z těles u Mohelna a Biskoupek (typ I) jsou patrné u ortopyroxenu, který má poměrně velký rozsah v poměru  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Zastoupení je vyšší ve spinelovém peridotitu v porovnání s granátovým peridotitem.



**Obr. 9.** Obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (v hm. %) ortopyroxenu v peridotitech v ČR, převzato od Medarise et al. (2005)

Dle Hrušky a Bajera (2005) čerstvá hornina u Mohelna obsahuje jako hlavní horninotvorné minerály olivín, ortopyroxen, klinopyroxen a v podřadném množství minerály serpentínové skupiny a magnetit, akcesoricky picotit a limonit. V olivínu jsou patrné kanálky, které jsou vyplněny minerály serpentínové skupiny a také rudními složkami. Ortopyroxen převládá nad klinopyroxenem a jeho zrna dosahují obvykle velikosti 0,5 mm, ale v individualizovaných porfyroblastech mohou být velká až 1,3-1,7 mm. Klinopyroxen vytváří průřezy, které jsou neplechroické a mírně zasažené serpentinizací. Velikost se pohybuje v rozmezí od 0,4-0,6 mm. Optické vlastnosti odpovídají pigeonitu (vápenato-železnato-hořečnatý klinopyroxen). Z minerálů serpentínové skupiny je zastoupený hlavně antigorit, který má nažloutlou barvu. Ve formě tmavého opakního pigmentu se nachází magnetit, který zaplňuje kanálky minerálů skupiny serpentinu. U čerstvé horniny byla zjištěna netypická smyčkovitá struktura se zbytky primárních minerálů.

Hruška a Bajer (2005) určili u alterované (serpentinizované) horniny, že jako klíčové jsou minerály serpentínové skupiny a jako vedlejší je magnetit. Magnetit zde vystupuje jako jediný rudní minerál. Je přítomen ve formě malých zrněk, která jsou směrována a poutána na smyčky serpentínových minerálů. Byla identifikována smyčkovitá struktura, vysoký stupeň serpentinizace a nebyl zaznamenán žádný primární minerál.

## 4. Přítomnost těžkých kovů v serpentinitech

Nejvyšší obsahy niklu a chrómu jsou zaznamenány v ultramafických matečních horninách, kterými jsou peridotity, dunity a pyroxenity a kde tyto elementy jsou zastoupeny v mafických minerálech hojných na hořčík a železo (pyroxeny, spinely a olivíny); nikl může být přítomen ve formě sulfidů (Quantin et al. 2008). V ultramafických a mafických horninách se celosvětově vyskytuje až 3 400 mg/kg Cr a 3 600 mg/kg Ni (Chang-Ho Cheng et al. 2011).

Obsahy těžkých kovů, zejména chrómu, niklu, kobaltu jako typických mikroelementů ultrabazických magmatitů a jejich metamorfních ekvivalentů, se zabývala celá řada autorů. V České republice se věnovali chemickému a minerálnímu složení serpentinitů a serpentinitových půd zejména Hruška a Bajer (2004). Konstatují, že chróm se v nich vyskytuje jednak jako příměs tmavých minerálů anebo tvoří samostatné minerály, které jsou v dané hornině rozptýlené. Příkladem jsou chromit, Cr-spinelidy, olivín, picotit, diopsid, slídy, amfibol a nebo uvarovit. Chróm se vyskytuje v ultramafických horninách a serpentinitech, hlavně ve formě  $\text{Cr}^{\text{III}}$ , který je chemicky nepohyblivý, protože tvoří nerozpustné hydroxidy (Oze et al. 2004a).  $\text{Cr}^{\text{III}}$  je 10-100 krát méně toxický než  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  (Garnier et al. 2006). Chróm se obvykle vyskytuje ve vazbě křemičitanové, oxidové a jako chromany. Výskyt většího množství chrómu v hornině je důkazem toho, že se jedná o horninu magmatického původu. Uvedení autoři prostudovali celkem 25 lokalit v ČR i SR, mezi kterými byly také lokality Biskoupky a Mohelno. Srovnávali celkový obsah Cr, Ni a Zn v hadcích i jejich zvětralinách. V rozvětrale mateční hornině bývá množství Cr vyšší oproti čerstvé hornině (Hruška a Bajer 2004).

Pelíšek (1939) zkoumal v serpentinitech u Mohelna koncentraci  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a určil, že se pohybovala v rozsahu 1670-1900 ppm, ve zvětralinách a půdách na nich vzniklých od 100-3120 ppm a dále také zjistil, že hromadění  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nastávalo především ve svrchních půdních horizontech (Pelíšek (1939) in Hruška, Bajer 2004); závěry Kierczaka et al. (2007) jsou poněkud odlišné (viz výše).

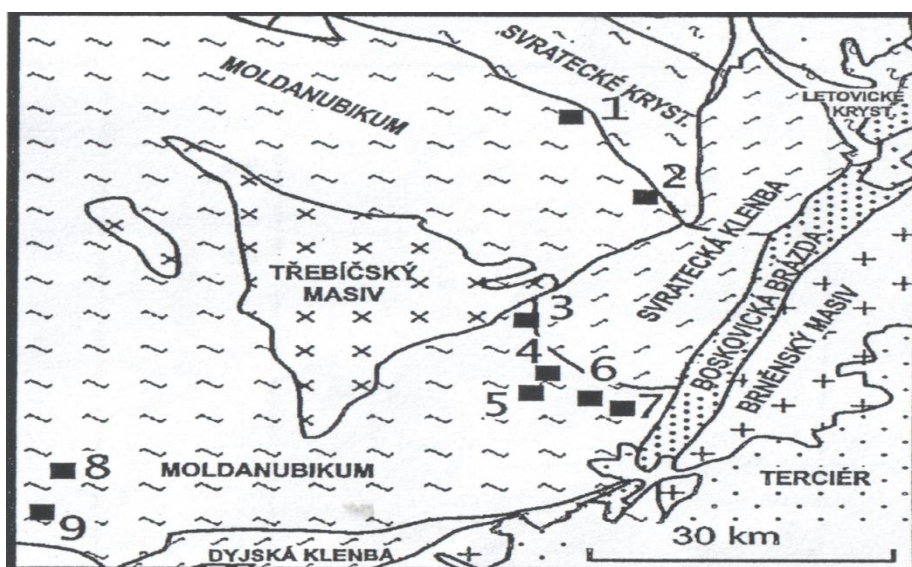
Nikl je v horninách a půdách obsažen především v sirnicích, křemičitanech a fosforečnanech. Vyskytuje se celkově v 52 nerostech. Množství niklu je v souladu s obsahem Mg, tj. koresponduje s množstvím olivínu (kde částečně nahrazuje Mg) a pyroxenů (kde nahrazuje  $\text{Fe}^{2+}$ ). Zastoupení 100 ppm Ni je rozhodující hranicí k určení magmatického původu horniny. Někteří autoři udávají poměr Ni/Co za vytyčující pro

rozlišení vyvřelin, obzvláště pak ultrabazických hornin, např. u peridotitů je tento poměr 9,19; u dunitů 14,78 (Hruška a Bajer 2004).

Zinek představuje významný biogenní element jednak ve výživě živočichů, ale i rostlin. V přírodě je znám v 65 nerostech (Hruška a Bajer 2004). Větší množství zinku obsahují horniny bazické než kyselé, protože v kyselém prostředí dochází k tomu, že jeho sloučeniny jsou více rozpustné ([http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext)). Zinek se vedle charakteristických minerálů Zn - rud vyskytuje také jako izomorfní příměs v primárních minerálech, kterými jsou např. amfiboly, pyroxeny, oxidy železa, biotit a sirníky a druhotných nerostů (jílové minerály, fosfáty a karbonáty aj.). Kohout (1964) in Hruška a Bajer (2004) stanovil pro serpentinit průměrnou hodnotu obsahu Zn 8 ppm.

## 5. Cr-spinely

Cr-spinel je akcesorický minerál vyskytující se v peridotitech (obr. 10), pyroxenitech a bazaltech. Chromit  $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$  a magnesiochromit  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  se řadí mezi  $\text{Cr}^{3+}$  spinely. První částečnou analýzu chromitu ze serpentinizovaných peridotitů z lokality Drahonín realizoval Kettner již v roce 1919. Podrobnějšímu studiu Cr-spinelů ze zmíněné lokality se věnoval Kokta roku 1935. V roce 1971 se zaměřil na Cr-spinely mezi Polánkou a Dubňany (Čopjaková et al. 2005).



**Obr. 10.** Výskyt spinelových peridotitů s Cr-spinely, převzato od Čopjakové et al. (2005)  
Vysvětlivky: 1 – Rozsochy u Bystřice nad Pernštejnem; 2 – Drahonín; 3 – Zňátky u Náměště; 4 - Mohelno; 5 – Dukovany; 6 – Templštejn; 7 – Hrubšice a Polánka u Mor. Krumlova; 8 – Jemnice; 9 – Deštná

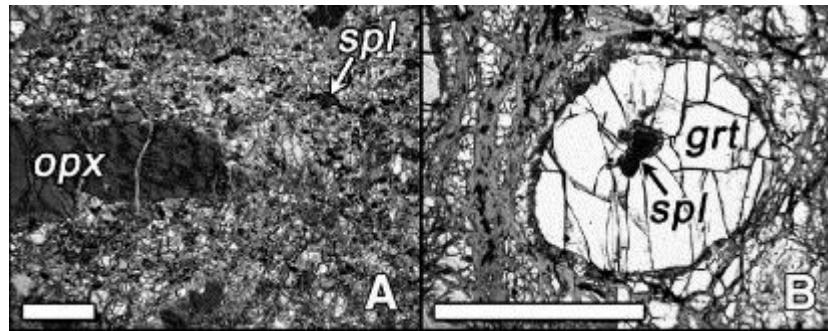
Spinelidy patří k akcesorickým minerálům hlubinných magmatitů pocházející ze svrchního pláště (Houzar et al. 2010). Minerální asociace ve spinelových peridotitech bývá olivín (forsterit), ortopyroxen, klinopyroxen a Cr-spinel. Granátické peridotity obsahují granát a druhotným minerálem je amfibol. Serpentinizovány jsou spinelové a granátické peridotity, především dunity (Čopjaková a Houzar 2010).

Většina Cr-spinelů (obr. 11) z peridotitů náleží k chromitu (např. peridotity u Templštiny a Dukovan) nebo k magnesiochromitu (peridotity u Mohelna). Menší část Cr-spinelů z peridotitů odpovídá spinelu až hercynitu. Příkladem je výskyt Cr-spinelů v Hrubšicích, kde spinelová složka je vyšší než chromitová složka. Bylo dokázáno, že Cr-spinely vzniklé z dunitů mají větší obsah Cr než Cr-spinely z harzburgitů nebo lherzolitů (Cempírek et al. 2010). V serpentinizovaných peridotitech v okolí Hrubšic a Biskoupek se vyskytuje chromitý spinel, který se nazývá picotit. Menší nálezy byly zaznamenány také u Mohelna a Jedova (Houzar et al. 2010).



**Obr. 11.** Cr-spinel v serpentinitu z lokality Hrubšice,  
foto J. Cempírek, převzato od Houzara et al. (2010)

Struktura spinelového peridotitu je porfyroklastická, v níž velké přetvořené pyroxenové klasty jsou vsazené do jemnozrnné základní hmoty, kterou tvoří olivín, pyroxeny a spinel (obr. 12 A). U granátového peridotitu byla určena nestejnnozrnná struktura, kde velká zrna granátu a pyroxenu se nacházejí v základní jemnozrnné hmotě olivínu, pyroxenu a spinelu. Kulovitá zrna granátu se vytvořila na úkor spinelu, jak je možné vidět obvyklým výskytem spinelových inkluzí v granátu (obr. 12 B) (Medaris et al. 2005).



**Obr. 12.** Mikrofotografie spinelového peridotitu u Biskoupek (A) a granátového peridotitu u Mohelna (B), převzato od Medarise et al. (2005). Spl – spinel, grt - granát

Spinel ve spinelovém peridotitu je bohatý na hliník a hořčík. Podobá se spinelu obsaženému v hlubinných peridotitech spolu se spinelovými peridotitovými xenolity. Spinelové inkluze v granátu mají vyšší poměry  $Cr/(Cr+Al)$  a nižší poměry  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ . Nejnižší poměry  $Cr/(Cr+Al)$  jsou ve spinelu v kelyfitu, který vznikl reakcí olivín + granát = spinel + ortopyroxen + klinopyroxen (Medaris a Jelínek 2004).

## 6. Hadcové půdy

Serpentinit poměrně snadno zvětrává a vytváří skeletovité A-C půdy, propustné pro vodu s neutrální až silně alkalickou půdní reakcí, se střední až vysokou CEC. Dalším znakem hadcových půd je nízká produktivita – obsahují málo  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , dusičnanů a fosforečnanů, naopak hodně  $Mg^{2+}$  a těžkých kovů (Ni, Cr). Charakteristický je poměr  $Ca:Mg < 1$ , přičemž Mg působí toxicky především v alkalickém prostředí. Důsledkem deficitu příjmu živin (hlavně N a P) je často chudý vegetační pokryv. Častou součástí rostlinných společenstev na hadcových půdách je endemická flóra (Sklenář 2016). Dalšími znaky hadcových půd je nepřítomnost chloridů, malé množství síranů a zvýšené množství sloučenin železa v půdě (Veselý 2002).

Čech et al. (2002) uvádí následující příčiny, které vedou ke vzniku **serpentinomorfózu**: nedostatek vody, toxicita, nízký obsah živin, vysoké teplotní poměry a mírně alkalická reakce půdy. Rostliny jsou nižšího vzrůstu a jejich stonky a listy jsou chlupatější. Některé druhy rostlin se adaptovaly na hadcové podloží a potřebují jeho extrémní podmínky a nikde jinde nerostou. Tyto rostlinné druhy se označují jako **obligátní serpentinofyty**. Příkladem jsou: Sleziník hadcový, podmrška hadcová (obr. 13), sleziník nepravý a trávnička obecná hadcová (Čech et al. 2002).



**Obr. 13.** Podmrška hadcová (<http://botany.cz/cs/notholaena-marantae/>)

Dalšími druhy rostlin jsou tzv. **fakultativní serpentinofyty**, které jsou schopné tolerovat hadcový podklad a vytvářejí na něm serpentinomorfózy. Tyto rostliny běžně rostou i na jiných půdách. Mezi fakultativní serpentinofyty můžeme zařadit **hadí mord rakouský, kostřavu sivou a pryšec sivý**. Ve srovnání s rostlinami nejsou evidováni živočichové, kteří žijí jen na hadcích, ale je známo, že živočichové obývající hadcové stepi jsou menší (nanistické). Je to způsobeno jednak nedostatkem výživy, vyšší teplotou, ale také tím, že mají nouzi o vodu (Čech et al. 2002).

Chemismem a mineralogií hadcových půd se v České republice zabývali zejména Hruška a Bajer (2004), kteří uvádějí, že obsah mikroelementů ve zvětralinách, ale i v půdách závisí na mateční hornině, dále také na biologické akumulaci, sorpci a v neposlední řadě na procesech probíhajících v půdě. Mikroelementy se vyskytují v některých primárních jílových minerálech a jejich hlavní část je vázána na humus. Mikroelementy, které se uvolňují z humusu, jsou rostlinami velmi dobře přijímány. Hadcové půdy se řadí k těžším půdám, které obsahují větší množství půdního jílu. Analýzy půd prokázaly, že toxické prvky Cr, Ni a Zn mnohokrát překračují maximální přípustnou hodnotu (Ni - až 5400 ppm; Cr - až 5700 ppm; Zn - až 7000 ppm). Zkoumané hadcové půdy byly všechny toxické a měly velký obsah Cr, Ni a Zn.

Hadcové půdy vznikají zvětráváním ultramafických hornin. V počáteční fázi tvorby půdy je rostlinné osídlení malé, neboť půdy jsou velmi mělké. V tomto stádiu se hadcové krajiny označují jako tzv. "pustiny". S postupujícím zvětráváním dochází k tomu, že hadcové půdy jsou hlubší a podporují růst rostlinstva. Vyšší hloubka půdy je výhodou pro

zadržení vody, která je tolik potřebná pro hadcová společenstva rostlin. Avšak i na těchto půdách dochází k oslabenému růstu rostlin z důvodu nevyrovnaného množství živin. (Alexander et al. 2007).

Vegetace serpentinitu je specifická v oblastech západní části Severní Ameriky, k níž náleží Kalifornie. Vyskytují se zde některé vegetační typy, které jsou endemické k serpentinitu s hlavním krytem rostlin, jakými jsou např. dub (hadcová křovinatá vegetace = chaparral) a pobřežní bělolistá manzanita (Alexander et al. 2007). V rostlinné biomase hadcové manzanity (medvědice) byly analýzami prokázány tyto hodnoty: 600 mg/kg Cr ve spodním chuchvalci, 560 mg/kg Ni v kořenech a 12,000 mg/kg Mn v listech. Rostlinné koncentrace Cr, Ni a Mn bývají obvykle menší než 1 mg/kg. Výsledky analýz prokázaly větší koncentrace Al a Fe v kořenech ve srovnání s nadzemními pletivy rostlin. V listech hadcových křovin (chaparral) je větší zastoupení hořčíku než ve větvičkách. V rostlinách je poměr  $Ca/Mg > 1$  (výjimku tvoří smíšené hadcové výhonky trávy, kde poměr  $Ca/Mg = 0,81$ ). Pokud velké množství Mg v hadcových půdách brzdí příjem Ca, potom by měl být poměr  $Ca/Mg < 1$ . Toto lze vysvětlit tím, že hadcová vegetace dokáže rozlišit a snížit Mg a Ca v kořenech, stejně tak snést vyšší množství Mg do biomasy rostliny. Vyšší množství Ni a Cr se objevuje ve stoncích rostlin a kořenech. Hadcové trávy v Kalifornii potlačují příjem Fe, Mn, Ni, Cu, Pb, Al, Cr a Co v pletivech, ale nejvíce potlačené jsou Fe, Ni a Cr (Oze et al. 2008).

Hadcové půdy v Kalifornii nejsou využívány k pastvě a také se nevyskytují u hlavních silnic. Hodnoty jejich pH se pohybují od 6,2 do 7 (mírně kyselé až neutrální). Bylo zjištěno, že v těchto půdách jsou celkové koncentrace Al, Ca, Fe, K, Na, Ti vyšší oproti skalnímu podloží. Kupodivu jsou koncentrace hořčíku v hadcových půdách nižší než ve skalních podložích, což je zapříčiněno postupujícím úbytkem Mg při zvětrávání. Koncentrace železa jsou v půdách vyšší než ve skalním podkladu. Celkové koncentrace Cr, Ni, Co a Mn jsou vysoké v hadcových půdách a poměr  $Ca/Mg$  je  $< 1$  (Oze et al. 2008).

Kostic et al. (1998) se věnovali studiu hadcových půd v Srbsku, kde je klima mírné kontinentální, ale s nadmořskou výškou přechází do chladnějšího. Hadcové půdy se zde vyskytují v kopcovitých a horských oblastech a zaujímají plochu 250 000 ha. Jsou málo úrodné, což je vysvětlováno značnými fytotoxickými koncentracemi biologicky dostupných forem elementů (Ni, Mn a Co) v mírně acidních prostředích, malým poměrem  $Ca/Mg$  a malou hloubkou půd. Půdní typ je představován rankerem a humusovými nebo ohněděnými rankery. Barvy rankeru a humusových půd jsou proměnlivé – od světle hnědých po tmavě hnědé. Ohněděné rankery mají barvu od načervenalé až po tmavě

červenohnědou. Rankery mají v horních vrstvách půdy hodnoty pH kyselejší, naproti tomu humusové a ohněděné rankery vykazují hodnoty pH téměř neutrální. Výzkum mírně zvětralých hadcových půd ukázal větší přerozdělení Co, Ni, Mn a Fe z primárních minerálů v profilech půdy. V daných půdách nebylo zaznamenáno uvolňování Cr. Půdy jsou tvořené povětšinou druhotnými minerály, kterými jsou serpentiny s různými poměry chryzotilu a antigoritu, chlorit, menší až stopová množství pyroxenu, amfibolu, masku, olivínu, goethitu, karbonátu a jílových minerálů, nasvědčujících tomu, že matečné horniny byly silně serpentinizovány. Studie půd zaznamenaly, že ve všech půdách jsou přítomna stopová množství živců, křemene a illitu.

Důležitým barvivem v ohněděných půdách bývá železo. Zvýšené hodnoty Cu, Zn a Pb v půdě z Kopaoniku a Deli Jovanu jsou přisuzovány potenciálnímu znečištění půd nedalekými těžebními a hutnickými činnostmi. V analyzovaných půdách byly zbytkové frakce Cr a Fe. V půdě z pohoří Deli Jovan bylo identifikováno největší množství Cr, Fe a Ni. Tyto těžké kovy se nacházejí v hrubozrnných frakcích, kde převládají chlorit, olivín, picotit, chromit, hornblend a v menším množství jiné křemičitany. Ve středních frakcích dominují Mn, Co a Zn. Cu a Pb jsou spojené s jemnozrnným prachem a jílovými frakcemi. Chrom přetrvával ve zbytkové formě a byl zachován v hrubozrnných frakcích v těžkých minerálech, ale prvky Mn, Co, Fe a Ni byly vyčerpány z půdních horizontů A (Kostic et al. 1992).

Kierczak et al. (2007) uvádějí, že hadcová půda z masivu Szklary obsahuje velké množství hořčíku a železa, naproti tomu hliník a vápník představují menší složky. Analýza půdy prokázala, že jsou přítomny ve vysokém množství stopové prvky Ni, Cr a Co, které pocházejí z matečné horniny. V horní části profilu se množství Ni a Mg snižuje. Fe a Cr se chovají poměrně stabilně, zato Si se půdním profilem směrem nahoru částečně zvyšuje. Al ukazuje zvýšení proti matečné hornině. Co se týče minerálů serpentínové skupiny z půdy, bývají obvykle obohaceny železem, hliníkem a také niklem (cca 0,43 hm. % NiO), při srovnání s nezvětralou matečnou horninou (0,17 hm. % NiO). V půdě se objevují jednotlivá zrna forsteritu, která jsou pokaždé obklopena lemy iddingsitu. Přeměněný iddingsit v půdě má větší obsah FeO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a menší množství MgO a NiO než v matečné hornině. V půdě se vyskytovaly také krystaly amfibolů a dva typy chloritu a Cr-magnetitu. Jejich chemická složení se podobají minerálům, které jsou v matečné hornině a nevykazují žádné znaky přeměny. V hadcové půdě bylo také objeveno pár zrnků bunsenitu. Jedná se o oxid Ni, který byl poprvé na této lokalitě zaznamenán. Půda byla vyhodnocena jako



hypereutrická hořečnatá kambisol, poměr Ca/Mg byl vždycky  $< 1$  a hodnoty pH byly neutrální.

Kierczak et al. (2008) pokračuje ve výzkumu hadcových půd z masivu Szklary. Půda z místa odběru 1 se skládala ze serpentinu, chloritu, smektitu a spinelu. Ve studovaných vzorcích se chróm nacházel většinou ve zbytkové frakci a jeho nositelem byl Cr-magnetit a chromit. Redukovaná frakce hadcové půdy se vyznačuje větší koncentrací Ni v porovnání s ostatními frakcemi a také olovo převládá v této frakci. Za nositele niklu byl označen olivín, primární serpentin a druhotný smektit. Zinek je zastoupen v hadcové půdě především ve zbytkové frakci (Kierczak et al. 2008).

## **6.1 *Chróm, nikl a zinek v hadcových půdách***

Mnoho autorů v minulosti řešilo otázku působení **chrómu** na vegetaci hadcových půd. Dle Němce (1951, 1954) jeho velký obsah v půdě zapříčiňuje viditelné krnění stromů rostoucích na hadcových půdách v okolí Mariánských Lázní a Křemže.

Průměrná koncentrace **zinku** v půdách činí 10 – 300 mg/kg (Friberg (1980) in Hruška, Bajer (2004). Beneš (1966) uvádí, že půdy s obsahem zinku nižším než 15 ppm mají nedostatek tohoto elementu a půdy s obsahem převyšujícím 200 ppm jsou považovány za toxické. Výše zmíněný autor se domnívá, že množství zinku v půdách se pohybuje od 15 do 110 ppm. Naproti tomu Makeev (1961) tvrdí, že půdy s koncentrací zinku nižší než 30 ppm jsou chudé a obsah nad 60 ppm označuje už za vysoký. Na půdách s nízkým obsahem zinku dochází u rostlin k nekróze listů nebo chlorotickým skvrnám. Jak je známo, existují rostliny, které jsou tolerantní a dokážou růst na půdách s velmi vysokým obsahem zinku (600-7800 ppm) - Friberg (1980) in Hruška, Bajer (2004).

Hruška a Bajer (2004) uvádí, že množství niklu v půdách kolísá od 5,5 do 38,6 ppm. Zjistili, že **nikl** se nejvíce soustřeďuje v listech rostlin a také slupkách semen, ale u dřevin se hromadí především ve dřevě. Vysoké množství niklu v půdě způsobuje celou řadu symptomů Ni – toxicity. Jedním z nich je např. chloróza listů. M. Petrunina (1965) in Hruška a Bajer (2004) určila, že na vývoj rostliny má vliv nikl obsažený v půdách. Toxické účinky niklu jsou příčinou např. zpomaleného růstu rostlin, špatně vyvinutých rostlin a různého zbarvení květů.

Kierczak et al. (2008) uvádí, že v hadcových půdách je šíření chrómu a niklu ovlivněno klimatickými podmínkami. Zjistil, že v lateritech, které vznikly na peridotitech

ve východní Africe je nikl pohyblivý a je dáván do souvislosti s goethitem, ale ne s oxidy manganu.

**Tab. 3.** Obsah Cr, Zn, Ni (v ppm) v půdních profilech z lokality Biskoupky a Mohelno, převzato od Hrušky a Bajera (2004)

Lokalita	Hloubkový rozsah v cm	Horizont	ppm		
			Cr	Zn	Ni
Biskoupky	11 - 42	A	4500	540	2390
	> 42	Cd	160	150	3000
		C	3500	320	2880
Mohelno	0 - 1		3480	400	800
	1 - 15	A	2600	60	1250
	15 - 42	A'	2350	70	1300
	42 - 61	A'/Cd	1300	70	3500
		Cd	850	7000	3000
		C	2050	130	4700

Zvětrávání hadců vede k vytvoření poměrně mělkých půd, které mají vysoké hodnoty pH a rovněž i vysoké množství Mg. Množství Ni a Cr je velké, jak se běžně vyskytuje v ultramafických půdách, ale jejich dostupnost a pohyblivost jsou různé (tab. 3). Dá se předpokládat, že chrom je nepohyblivý. Pomocí geochemických a mineralogických metod byly zkoumány vzorky půd na hadcích z několika míst v ČR, aby se stanovilo množství chromu a niklu. Chrom se uvolňuje z pyroxenů, amfíbolů a Cr-spinelů, které jsou přítomny v podkladové hornině. Nikl je především mobilizován z olivínů. Výsledky metody postupných extrakcí indikovaly značné rozdíly v dostupnosti a v mobilitě Cr a Ni v daných půdách. Půdy, které vznikly na ultramafických horninách vykazují vysoké hodnoty Cr a Ni. U chromu je to až 125000 mg/kg a u niklu 10000 mg/kg. Koncentrace těchto kovů v jiných půdách dosahují hodnot od 0 do 100 mg/kg (Quantin et al. 2008).

## 6.2 Jílové nerosty na hadcových půdách

Jílové nerosty tvoří jednu z důležitých složek převážné většiny půd. Po chemické stránce jsou vodnaté silikáty Al, Mg, Na, Ca, Fe, K a mají schopnost působením vody zvětšovat svůj objem. Na složení půdního jílu má velký vliv matečná hornina. Jílové

nerosty vznikají převážně po zvětrávání živců. U většiny odebraných vzorků je důležitým fylosilikátem chlorit, častý je i montmorillonit. Zvýšené množství vermikulitu se nachází jak v čistém hadci nebo v lherzolitu, tak také v karbonatizovaném serpentinitu (Hruška a Pokorný 2004).

Vermikulit se vyskytuje v Českém masivu v peridotitech- serpentinitech, které se řadí do gföhlské jednotky. Existují tři typy výskytu vermikulitů - v leukokratních žilách; v úlomcích, puklinách – což je vermikulit, který je nejdříve ovlivněn hydrotermálními roztoky a vermikulit vzniklý z hydrobiotitu původem z pegmatitů (Göttinger 1987).

V půdních podmínkách se chovají minerály serpentinové skupiny a olivín nestabilně, železo, které se uvolní z těchto minerálů, se může vázat ve vedlejších minerálech. Hořčík má v mírném podnebí důležitou funkci mezi vyměnitelnými kationty a je pouze částečně vyluhovaný v průběhu půdní tvorby jílových fází. Přes všechny rozdíly (klíma, chemické a minerální složení) jsou půdy, které vznikly z ultrabazických hornin, nejvíce ovlivněny mineralogií matečné horniny (Kierczak et al. 2007).

V mírném podnebí se při zvětrávání ultramafických hornin vytvářejí dva typy půd. Jednak to jsou půdy mělké a dobře odvodněné, které mají slabě vyvinutý horizont C a pak půdy silnější, špatně odvodněné s dobře vyvinutým saprolitem. Množství mineralogických studií ukázalo rozmanitost jílových fází, které vznikly při zvětrávání ultramafických hornin v mírném podnebí. V půdách, které jsou dobře odvodněné, je vyvinutý velmi tenký saprock (horizont C), v němž se nachází stabilní vermikulit. Na druhé straně špatně odvodněné půdy obsahují dobře vyvinutý saprock a saprolit, v nichž jsou smektity (Kierczak et al. 2007).

## 7. Hadcové stepi

Na jihozápadní Moravě se v důsledku specifických klimatických a půdních podmínek na hadcových masivech vytvořily stepi (travnaté oblasti mírného pásu).

### 7.1 *Biskoupská hadcová step*

**Biskoupská hadcová step** byla vyhlášena přírodní rezervací v roce 1979. Zaujímá rozlohu 2,21 ha a podloží této stepi tvoří hadec. Rostou zde vzácné druhy rostlin a žijí tady významné druhy hmyzu. Téhož roku byla vyhlášena další přírodní rezervace **Biskoupský kopec** o rozloze 7,59 ha. Toto území jsou bývalé pastviny s podložím hadce. Je to také

evropsky významná lokalita Natura 2000 s výskytem konikleců a dalších ohrožených rostlin (Pernica 2011).

## 7.2 *Mohelenská hadcová step*

**Mohelenská hadcová step** (obr. 14) o rozloze 48,10 ha byla již v roce 1933 vyhlášena národní přírodní rezervací. Rozkládá se převážně na svazích nad levým břehem řeky Jihlavy v meandru, který se nazývá „Čertův ocas.“ Geologické podloží hadcové stepi tvoří ultrabazická hornina hadec, která bývá doprovázena také gabrem. Na některých místech se nacházejí granulity a štěrky jurského stáří s rohovci (Pernica 2011 a Veselý 2002). Hadce jsou někde pokryty sprašovými hlínami a také sprašemi pleistocenního stáří, ve kterých se vyskytují vápnité konkrce = cicváry (Čech et al. 2002). Rostou zde různé druhy vzácných rostlin a žijí zde ohrožené druhy živočichů (Pernica 2011, Veselý 2002).



**Obr. 14.** Hadcová step u Mohelna, zdroj: Turistický průvodce Náměšť nad Oslavou (1998)

Zmíněné území patří do mírně teplé oblasti, která se rozkládá v nadmořské výšce 260 – 385 m. Vyznačuje se dlouhým teplým létem s nízkými srážkami a mírnou krátkou zimou. Průměrná roční teplota dosahuje 8 °C a průměrné roční srážky činí 500 mm, čímž se tato lokalita řadí relativně k suchým místům v České republice. Pro tuto step jsou charakteristické serpentinomorfózy – odlišné morfologické ekotypy druhů rostoucích na hadcích (nanismus, pleiotropie, vyšší chlupatost) – Sklenář (2016).

Počátek výzkumu na Mohelenské hadcové stepi je datován rokem 1905, kdy J. Podpěra poukazuje na význam této lokality. Roku 1921 vyzdvihuje J. Suza z Masarykovy univerzity v Brně vliv geologických podmínek hadcové stepi na rostlinstvo. Znamé je Suzovo členění stepního porostu do tří skupin (Veselý 2002):

- skalní nebo pustinná step situovaná k jihu
- rostlinstvo dealpinské vyskytující se na svazích proti sobě
- pastviny rozkládající se na náhorních hadcových plochách.

J. Suza se věnoval chemomorfózám a byl přesvědčen, že okusování nanismů ovce je také jedna z příčin jejich vzniku.

Dalším odborníkem zabývajícím se touto problematikou byl R. Dvořák, který své úvodní práce zveřejnil v letech 1927 a 1928 a uvedl, že hlavním faktorem nanismů je obsah živin v půdě (Veselý 2002). Roku 1935 publikuje práci s názvem “Nanismy (trpasličí formy rostlinné)“, v níž popisuje 279 nanismů, které se vyskytují na stepi u Mohelna. Došel k závěru, že nanismus nevzniká spásáním a okusováním rostlin dobyt看kem, jak uváděli jeho předchůdci spolu s J. Suzou. Dokazuje to tím, že nanismy nerostly na místech, kde se hodně pásly ovce a kozy, ale rostly na stepi, kde se dobytek nepásl. Zaznamenal i to, že nanismy se vyskytovaly u druhů, které dobytek nespásá - např. máčka polní, pupava (Veselý 2002).

Květenou a vegetací hadcových půd se zabýval také F. A. Novák, který roku 1937 publikoval své poznatky v knize “Mohelno“. Zjistil, že hadcové půdy mají největší množství hořčíku a hojně je zastoupeno železo. Potvrdil, že jsou chudé na vápník, fosfor, dusík, draslík a neobsahují chloridy a sírany. Uvádí, že serpentinity se mohou vyskytovat také bez hadcové vegetace - příkladem je Dobšiná na Slovensku, kde jsou skryty vrstvou jiných hornin. Stejně je to i u Hrubšic a Biskoupek, kde jsou magnezity rovněž překryty, a tudíž nemohou ovlivňovat květenu ani vegetaci. Je také možné, že působením některých faktorů se vytváří v půdě nevhodné pH; zásadité půdy potlačují růst rostlin na hadcích a magnezitech. Navíc taková půda přichází o své typické vlastnosti, což vede k omezení bujné vegetace (Veselý 2002).

Do dalšího svazku z edice “**Mohelno**“, který byl publikován **roku 1939**, přispěl J. Pelíšek. Ve své práci “Půdy stepní oblasti u Mohelna a stručná charakteristika půd západomoravských“ popisuje hořečnaté redziny na hadcích. Autor při studiu hořečnatých redzin dospěl k závěru, že nejvíce humusu obsahují horní vrstvy hadcových půd, pH půd se pohybuje mezi 7,0 – 8,0 a v písčitém půdním profilu bylo hodně hořčíku a nedostatek vápníku a draslíku (Veselý 2002).

Další výzkum na stepi u Mohelna se uskutečnil v letech 1940 – 1949. Týkal se oblasti botanické, zoologické, ale i pedologické. R. Dvořák zde srovnával výšku rostlin. Našel rostlinu tužebník obecný, která dosahovala výšky 150 cm (gigant), ale také výšky 10 – 12 cm (nanismus). Zmiňuje se o 48 druzích rostlin, tzv. nanismů, s výškou do 3 cm. Pokorný v roce 1965 ukazuje jinou stránku nanismů na Mohelenské stepi. Zjistil, že v deštivém roce došlo k úbytku nanismů, i když by k tomu nemělo docházet, jelikož půda na hadcové stepi hůře přijímá vodu a rychleji ji ztrácí. Dle Pokorného dochází při zasazení semen rostlin normálního vzrůstu do hadcové půdy k menšímu a zároveň slabšímu vzrůstu, ale nanismus je pozorován až ve 2. generaci. Vyhodnotil, že pro úplný nanismus je nutné, aby se v semenech vyskytovala chemická látka, která se podílí na brzdění růstu rostlin. Z literatury je známo, že zpomalení růstu rostlin způsobuje velké množství niklu v půdě, což hadcové půdy splňují. Koncentrace niklu v teplém podnebí je vyšší než ve vlhkém podnebí (Veselý 2002).

Ptáčková roku 1984 provedla výzkum na půdách u Mohelna a potvrdila menší obsah vápníku a vyšší obsah hořčíku ve srovnání s jinými půdami. Dále také uvedla, že poměr Ca:Mg je v hadcových půdách pokaždé menší než 1, ale u rostlin stanovená hodnota tohoto poměru neplatí. Nižší obsahy v půdě byly zaznamenány u sodíku a draslíku, ale byly zvýšené obsahy železa a niklu jak v půdách, tak i v rostlinách. U draslíku byla doložena kumulace v rostlinách. Obsah chromu v půdě nebyl tak vysoký a nebyla potvrzena jeho kumulace v rostlinách. Žádné velké rozdíly nebyly zjištěny ani v půdách, ani v rostlinách u manganu, hliníku, zinku a mědi (Veselý 2002).

## **8. Metodika výzkumu**

Provedla jsem terénní výzkum na lokalitě Hrubšice a Mohelno, odebrala vzorky hadců a hadcových půd a pořídila fotodokumentaci. Snímky makrovzorků byly zachyceny fotoaparátem Nikon COOLPIX L23. Vzorky serpentinitů byly mechanicky očištěny, omyty, osušeny a z vybraných byly zhotoveny leštěné nábrusy a výbrusy. Ty byly ručně broušeny a dolešťovány na leštičce Struers RotoPol – 35 s unášecí hlavou Struers Pdm – Force 20 za použití leštících diamantových suspenzí o zrnitosti 3 a 0,25  $\mu\text{m}$ . Dále byly výbrusy podrobeny náhledu v polarizačním mikroskopu značky Olympus BX-50. Byly zkoumány v procházejícím i odraženém světle. Mikrofotografie výbrusů a nábrusů byly zhotoveny digitálním fotoaparátem Olympus C-7070.

U půdy z Hrubšic činila celková hmotnost zrnitostní třídy pod 2 mm 424,70 g a u půdy ze zájmové oblasti Mohelno byla 806,60 g. Po návratu z terénu zůstaly vzorky půdy v otevřených sáčcích, aby se vysušily na vzduchu. Před proséváním byly z půdy odstraněny všechny rostlinné zbytky. Poté byly půdy podrobeny síťování, při kterém částice s menšími rozměry, než jsou oka síta, propadly přes síto (podsítná frakce). Větší částice, které na sítu zůstaly, vytvořily tzv. nadsítnou frakci. Při zrnitostní analýze byly použity 4 sady sít, které byly umístěny nad sebou. Dole se nachází miska pro zachycení nejjemnější frakce. Po ukončení síťování se jednotlivá síta od sebe oddělila a frakce se zvažily. Síťování bylo provedeno za sucha. Byly aplikovány také separační metody u půd z obou lokalit.

Před jednotlivými analýzami na elektronové mikroskopě Jeol JXA3600 byly nábrusy napařeny uhlíkem. EDX a WDX-analýzy chemismu provedl RNDr. Petr Sulovský, Ph.D. na Katedře geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci za stanovených podmínek: energiově-disperzní mód – urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA, doba načítání 60 vteřin; vlnově disperzní mód – urychlovací napětí 15 kV, proud 10 nA, průměr svazku 3 a 5  $\mu\text{m}$ . Výsledná data byla zpracována v programu Excel 2007 a Formula. Dále byly zhotoveny BSE-fotografie ve zpětně odražených elektronech a RTG-distribuce vybraných prvků.

Těžké kovy (Cr, Ni, Zn a Co) byly analyzovány pomocí metody laserová ablace s hmotnostní spektrometrií a indukčně vázaným plazmatem (LA-ICP-MS) na Katedře analytické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci pod vedením doc. Ing. Davida Mildeho, Ph.D. a Mgr. Moniky Jarošové. K ablaci vzorku byl používán dostupný ablační systém Analyte G2 Agilent 7700x (Photon Machines Inc., Redmond, WA, USA) opatřený ArF\*excimerovým laserem, který vydává záření mající vlnovou délku 193 nm a délka pulzu je  $\sim 4\text{ns}$ . Vzorek byl ablatován za podmínek frekvence 10 Hz a hustoty zářivé energie laserového pulzu  $10,59\text{ J/cm}^2$  a průměru laserového paprsku 50  $\mu\text{m}$ . Laserová ablace probíhala 60 sekund a měření pozadí také 60 sekund. Pomocí ICP-MS spektrometru s dvojitou fokusací Element 2 byl detekován signál jednotlivých izotopů s nízkým rozlišením. Ke kalibraci byl využíván NIST 610 před měřením, během měření i po něm.

Celkové chemické složení hornin (neupravených i nábrusů) a půd (práškové preparáty – celková analýza a analýza zrnitostních frakcí) bylo stanovováno pomocí příručního energiově-disperzního RTG fluorescenčního spektrometru Delta Premium

(InnovX) na Katedře geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci za stanovených podmínek: analýza v geochemickém módu (napětí 10 a 40 kV).

Reprezentativní vzorky hadce a podsítné (pod 63  $\mu\text{m}$ ) frakce z obou odebraných pŕd byly také analyzovány metodou rtg difraktometrie, kterou provedl Mgr. Jan Filip, Ph.D. z Regionálního centra pokročilých technologií a materiálů – Environmental Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Rtg-difrakční záznamy dvou vzorků hadce (H10 a M1) a dvou vzorků podsítné frakce (pod 63  $\mu\text{m}$ ) byly zhotoveny na přístroji PW3050/60 se systémem XPERT-PRO (fy PanAnalytical) v režimu Theta/Theta s krokem 0.0170  $^{\circ}2\Theta$ ; úhlový rozsah záznamu 5 – 90  $^{\circ}2\Theta$ , detektor PSD délky 2.12  $^{\circ}2\Theta$ , anoda Co, vlnová délka K-Alfa<sub>1</sub> 1.78901nm, nastavení generátoru 30 mA, 40 kV. Záznamy jsem vyhodnotila s pomocí software XPERT High-Score.

V této práci byly použity zkratky jednotlivých minerálů (Whitney a Evans 2010).

## **9. Výsledky výzkumu**

### ***9.1 Terénní výzkum na lokalitách***

#### *9.1.1 Hrubšice*

Vzorky serpentinitů jsem odebrala nedaleko Hrubšic v kamenolomu “U Pustého mlýna“ (obr. 15), kde se těží serpentinit, ze kterého se vyrábí serpentinitová drť. Tento činný dvouetážový kamenolom, vzdálený asi 2 km západně od obce Hrubšice a 0,5 km jihozápadně od Biskoupek, se nachází na pravém břehu řeky Jihlavy a patří firmě Kamena Brno. Je zakrytý skrývkou sprašových hlín větší mocnosti (obr. 16), na níž vznikl lesní porost. Těžba v tomto lomu byla započata po roce 1900. Dle písemného sdělení J. Fasory (2013, zaměstnanec této firmy) se těží okolo 650 tun serpentinitu ročně. Frakcí 1-5 (0-1 mm, 1-3, 2-5, 4-8, 8-11) se zpracovává na různé drtě, které se používají jednak k výrobě teracy, ale také do pohledových ploch betonových dlaždic. Drť se vyváží pouze do jednoho zahraničního státu, kterým je Slovensko.

Na této lokalitě v blízkosti silničního mostu mezi Hrubšicemi a Biskoupkami jsou také opuštěné lomky (obr. 17), kde se serpentinit nachází téměř bez skrývky. Tato oblast patří do Přírodního parku Střední Pojhlaví, který se rozkládá od Mohelna k Řeznovicím. Na území Přírodního parku je pět zvláště chráněných území, jedním z nich je PR Nad řekami.





**Obr. 15.** Kamenolom “U Pustého mlýna“, říjen 2014



**Obr. 16.** Pohled na spraše v lomu Hrubšice, říjen 2014



**Obr. 17.** Pohled na řeku Jihlavu a na hadcové stráně, PP Střední Pojihlaví, květen 2016

### 9.1.2 Mohelno

Vzorky serpentinitů byly odebrány na levém břehu řeky Jihlavy (obr. 18 a 19) přibližně 1 km od Mohelna. Odkryvy serpentinitů se nacházejí za chatami cca 220metrů (obr. 20) od silničního mostu směrem na Dukovany. Na zdejším největším ultrabazitovém tělese se rozkládá národní přírodní rezervace Mohelenská hadcová step.



**Obr. 18.** Cesta vedoucí k odběru serpentinitů, říjen 2014



**Obr. 19.** Pohled z levého břehu řeky Jihlavy, lokalita Mohelno, říjen 2014



**Obr. 20.** Odběr vzorků je přibližně 100 m za druhou chatou na levém břehu řeky Jihlavy, červen 2015

## ***9.2 Makroskopický a mikroskopický výzkum vzorků***

Na lokalitě Hrubšice (lom “U Pustého mlýna“) bylo odebráno celkem 10 reprezentativních vzorků serpentinitů a na lokalitě Mohelno byly odebrány 3 vzorky serpentinitů.

## Makroskopický popis

Při prohlédnutí jednotlivých vzorků z Hrubšic bylo zjištěno, že serpentinity, které byly nezvětralé (čerstvé) měly tmavě zelenou až černozelelou barvu, která je zapříčiněna velkým množstvím serpentinu a taktéž minerály serpentinové skupiny. Vzorky hodně zvětřelé měly světle šedé až žlutohnědé odstíny. Serpentinity tmavé barvy na této studované lokalitě převládají a jsou různého stupně zvětřávání.

**Vzorek H1** představuje zvětřalý serpentinit zelenohnědé barvy, hrubozrný, proběhla u něho úplná serpentinizace (obr. 21).

**Vzorek H3** reprezentuje nezvětralý serpentinit zelenošedé barvy, středně zrnitý (obr. 22).

**Vzorek H5** je zvětřalý serpentinit mající hnědozelenou barvu, středně zrnitý a vyskytuje se v asociaci s maskem a chloritem (obr. 23)

**Vzorek H8** je nezvětralý černý serpentinit, středně zrnitý (obr. 24)



**Obr. 21.** Zelenohnědý serpentinit, vz. H1

**Obr. 22.** Zelenošedý serpentinit, vz. H3



**Obr. 23.** Hnědozelený serpentinit, vz. H5

**Obr. 24.** Černý serpentinit, vz. H8

Serpentinizovaný peridotit ze zájmové lokality Mohelno se vyznačuje zelenočernou barvou (obr. 25) a je masivní. Je středně zrnitý. Makroskopicky jsou v něm patrná zrna granátů s barvou od rubínově červené až po hnědočervenou. S pokračujícím zvětřáváním

dochází k uvolňování granátů z peridotitu. Další minerály přítomné v hornině není možné určit makroskopicky.

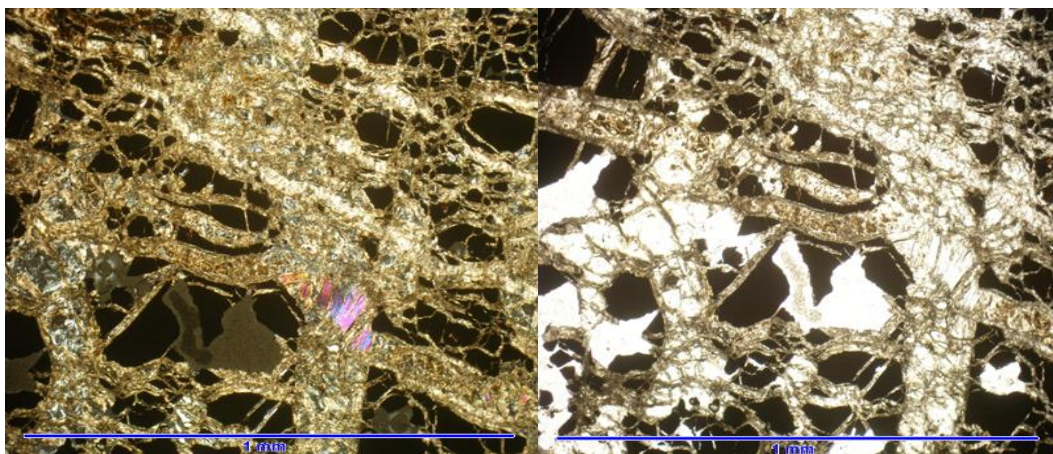


**Obr. 25.** Serpentinit zelenočerné barvy se zrny granátu, čerstvý, vzorek M2

### **Mikroskopický popis**

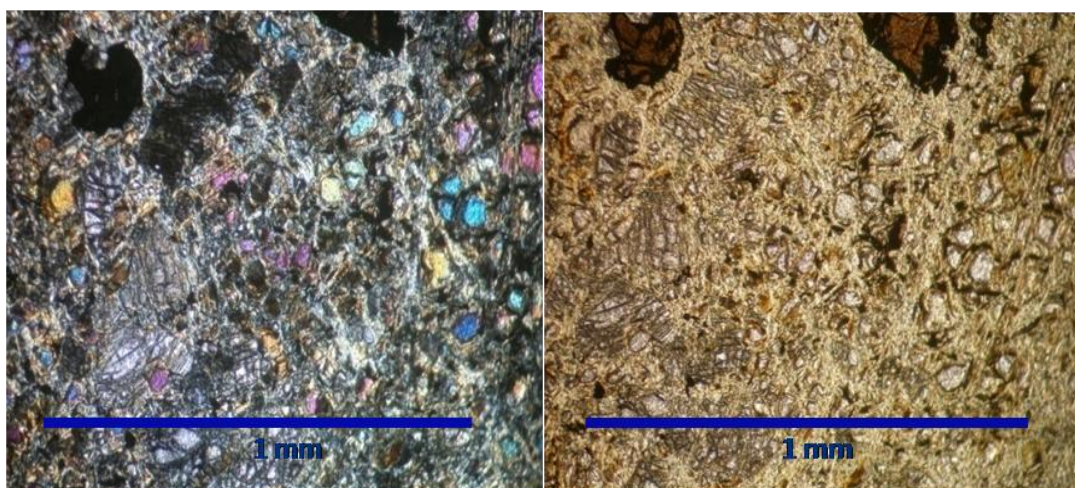
Ve všech výbrusech z lokality Hrubšice a Mohelno převládají **minerály serpentinové skupiny**, které mají v XPL (obr. 26) interferenční barvy I. řádu a v PPL (obr. 27) jsou bezbarvé, ale mohou být i nahnědlé. Minerály serpentinové skupiny jsou vláknité (chrysotil) nebo tvoří šupinky. Vykazují nízké interferenční barvy, nízký reliéf, mají velmi nízký dvojlom a zhášejí rovnoběžně.

Reliktními minerály jsou **pyroxeny**, které byly určeny ve dvou vzorcích (H1 a H10) z Hrubšic a v jednom vzorku z Mohelna. Pyroxeny v XPL zhášejí šikmo oproti štěpnosti, vytvářejí sloupečky a úhel zhášení je od 33° do 42°. Pyroxeny mají dokonalou štěpnost podle dvou systémů štěpnosti svírajících úhel téměř 90° a silný reliéf (1,70-1,80). V preparátu jsou pyroxeny nepřeměněné a tvoří xenomorfně omezená zrna nepravidelného tvaru. V XPL mají interferenční barvy II. řádu – modrou, růžovou a fialovou (obr. 28). V PPL jsou pyroxeny bezbarvé (obr. 29). Hornina má místy smyčkovitou mikrostrukturu, ale více je zastoupena mikrostruktura mřížkovitá, která je důkazem pokročilé přeměny.



**Obr. 26.** Minerály serpentínové skupiny, opakní minerály a pyroxeny. Snímek v XPL, vzorek H1

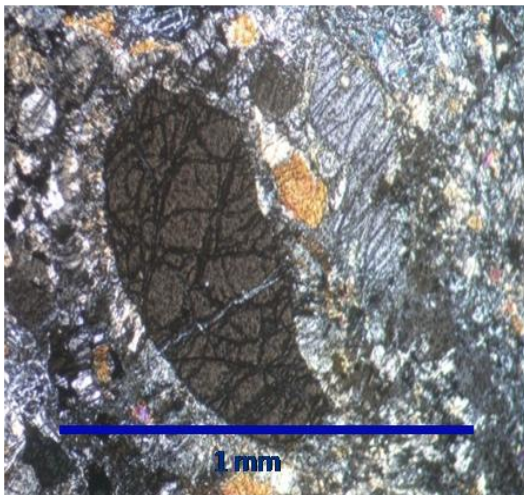
**Obr. 27.** Smyčkovitá struktura tvořená minerály serpentínové skupiny, opakní minerály, ortopyroxen. Snímek v PPL, vzorek H1



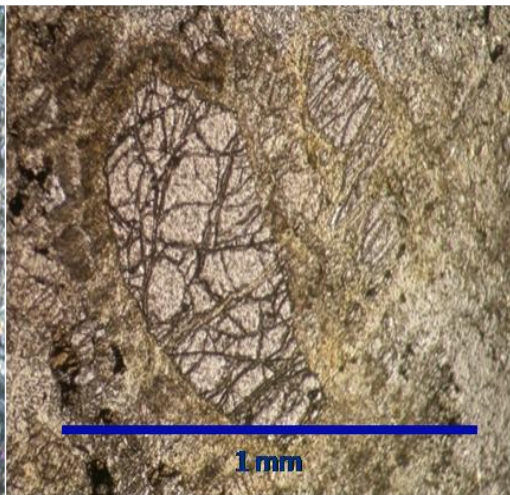
**Obr. 28.** Minerály serpentínové skupiny, zrna pyroxenů, Cr-spinel tmavé barvy. Snímek v XPL, vzorek H10

**Obr. 29.** Minerály serpentínové skupiny – nažloutlé, pyroxeny jsou bezbarvé, Cr-spinel. Snímek v PPL, vzorek H10

**Olivín** byl přítomný v jednom preparátu z Mohelna. Odpovídá interferenčním barvám II. řádu – v XPL mají tato zrna žlutou až oranžovou barvu (obr. 30), někdy tato barva přechází až do růžovomodré. V PPL je olivín obvykle bezbarvý (obr. 31). Olivín je velice nestabilní a je charakteristickým minerálem ultramafických hornin. Vyskytuje se společně s pyroxenem a spinelem (chromitem).

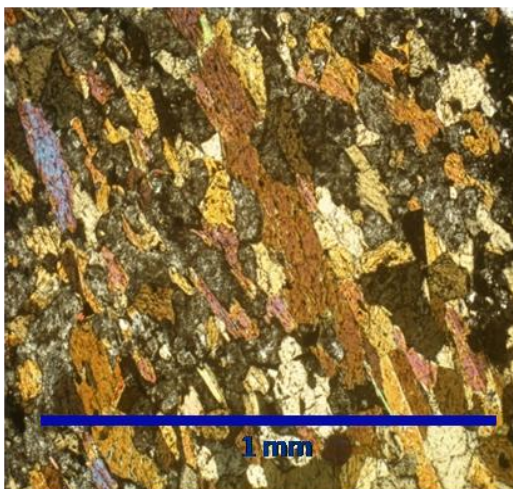


**Obr. 30.** Minerály serpentínové skupiny, pyroxen, zrna olivínu a spinel. Snímek v XPL, vzorek M1

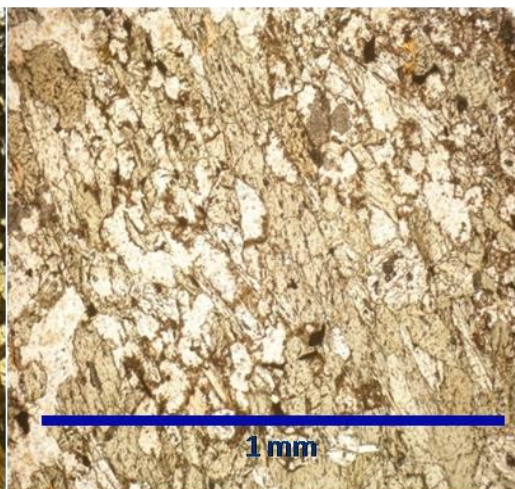


**Obr. 31.** Minerály serpentínové skupiny, bezbarvý pyroxen a olivín, spinel. Snímek v PPL, vzorek M1

V podružném množství se vyskytují **amfiboly**, které byly zjištěny ve výbrusech z Hrubšic. Amfiboly jsou pleochroické, mají interferenční barvy II. řádu – modrou, růžovou a fialovou (obr. 32) a jsou stabilní, bez přeměn. Úhel zhášení se pohybuje v rozmezí 12-23°. Amfiboly v PPL mají nazelenalou barvu (obr. 33).



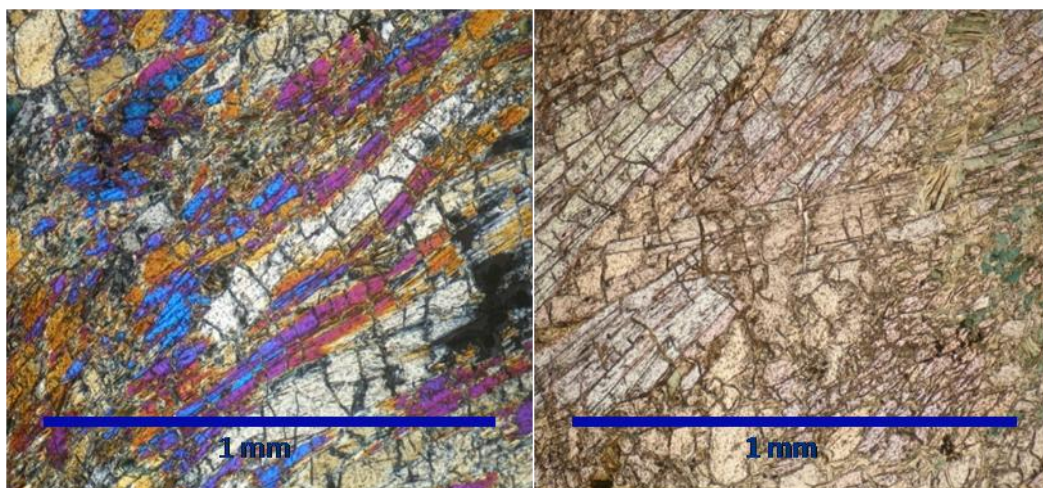
**Obr. 32.** Amfiboly, minerály serpentínové skupiny a opakní minerály. Snímek v XPL, vzorek H4



**Obr. 33.** Amfiboly, minerály serpentínové skupiny a opakní minerály. Snímek v PPL, vzorek H4

Druhotným minerálem je **chlorit**, který byl identifikován pouze v jednom preparátu z Hrubšic. Má nepravidelný tvar (obr. 35) nebo může mít tvar lístečků. Štěpnost je dokonalá podle jednoho systému. V PPL vykazuje světle béžovou až zelenou barvu a je pleochroický, s nízkým dvojlomem. Chlorit se vyskytuje v asociaci s amfiboly (obr. 34), které vytvářejí jehlice. Jsou pleochroické, úhel zhášení je od 11 do 20° a v XPL mají

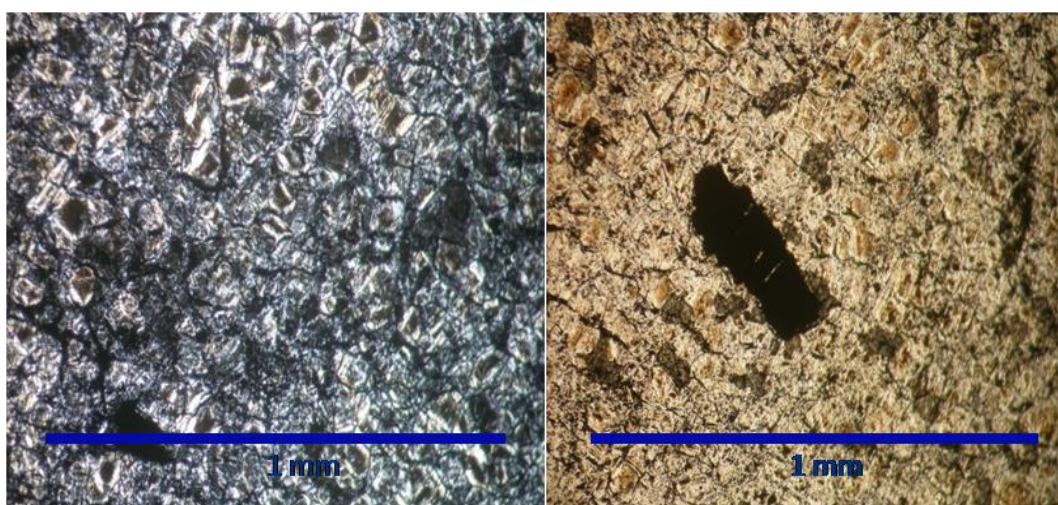
interferenční barvy II. řádu – modrou, růžovou a fialovou (obr. 36) a v PPL jsou nazelenalé.



**Obr. 34.** Amfiboly tvoří jehlice, jsou pleochroické. Snímek v XPL, vzorek H5

**Obr. 35.** Amfiboly, minerály serpentínové skupiny, chlority a spinel. Snímek v PPL, vzorek H5

V akcesorickém množství se vyskytují **opakní minerály** (obr. 36 a 37), které jsou představovány oxidy železa (hematit, goethit). Mají nepravidelný tvar, někdy okrouhlý, černou barvu v XPL i v PPL a ve výbrusovém preparátu jsou neprůhledné. Dalším akcesorickým minerálem je izotropní **Cr-spinel**, který je stabilní a neplechroický, tvoří izometrická nepravidelně omezená zrna nebo oktaedrické krystaly. Cr-spinel má v XPL hnědou až černou barvu – je to závislé na podílu Fe. Čím je železa více, tím je spinel černější. V PPL má chromit hnědou barvu. Zrna se vyznačují velmi vysokým reliéfem a tmavým lemem na jejich okraji.



**Obr. 36.** Minerály serpentínové skupiny, opakní minerály, spinel. Snímek v XPL, vzorek H2

**Obr. 37.** Minerály serpentínové skupiny, opakní minerály, spinel. Snímek v PPL, vzorek H2

### 9.3 Chemické složení serpentinitů

Rentgenová fluorescence byla aplikována k určení makroprvků i stopových prvků serpentinitů. Horniny byly nejdříve upraveny na hladký a rovný povrch. Horninová drť ze vzorků hadce z Hrubšic a Mohelna byla naplněna do speciálních kyvet a v nich následně analyzována. Pozitivní stránkou rentgenové fluorescence je široké spektrum stanovovaných prvků, rychlost a nedestruktivnost analýzy.

**Tab. 4.** Chemické analýzy (ED-XRF) serpentinitů z lokality Hrubšice

Vzorek	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	obsah v hm. %								obsah v ppm				
H1	35,61	0,03	1,05	5,37	32,74	10,68	ND	0,12	10906	ND	2010	11	28
H2	47,13	ND	1,16	8,34	39,83	ND	ND	0,08	2302	ND	2992	ND	31
H3	21,20	0,02	0,76	6,47	15,66	1,21	<0,17	0,10	307	38	2722	17	25
H5	46,47	0,02	1,42	7,61	38,03	ND	ND	0,06	1379	ND	2178	ND	32
H6	47,66	0,13	7,03	8,89	38,72	0,57	ND	0,13	1261	24	2026	31	54
H7	44,58	ND	1,08	8,32	38,04	0,36	ND	0,08	1128	ND	3012	11	25
H8	48,13	0,02	1,10	7,93	38,97	ND	ND	0,05	629	ND	2616	12	25
H9	46,59	0,18	6,16	6,87	41,81	1,97	ND	0,11	721	7	1292	61	40
H10	52,63	0,07	3,74	7,65	35,56	2,70	ND	0,17	2820	ND	1669	108	41
median	46,59	0,03	1,16	7,65	38,04	1,59	ND	0,1	1261	24	2178	17	31

**Tab. 5.** Chemické analýzy (ED-XRF) serpentinitů z lokality Mohelno

Vzorek	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	obsah v hm. %								obsah v ppm				
M1	43,75	0,10	4,35	9,26	38,38	2,18	<0,07	0,14	1469	24	2201	32	56
M2	49,85	0,12	2,91	8,06	38,66	2,97	ND	0,12	1624	ND	1958	18	45
M3	45,76	0,13	5,16	8,09	33,95	1,19	<0,06	0,11	1606	26	1889	15	55
M4	49,78	0,09	2,72	8,22	39,80	1,79	ND	0,10	1496	ND	2109	40	42
M5	26,36	<0,43	1,18	23,63	25,16	0,01	<0,10	0,10	576	<34	1852	26	8
median	45,76	0,11	2,91	8,22	38,38	1,79	<0,05	0,11	1496	25	1958	26	45

Výsledky XRF analýz ukázaly velkou variabilitu obsahů jak hlavních, tak minoritních prvků v rámci obou lokalit. MgO se pohybuje okolo 35 hm. %, koncentrace Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je průměrně 8,91 hm. % a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je 2,84 hm. %. TiO<sub>2</sub> ve dvou vzorcích (H2 a H7) nebyl detekován, ale v ostatních vzorcích se pohybuje okolo 0,09 hm. %. Obsah CaO je většinou nízký, vyjma vzorku H1, kde dosahuje 10,68 hm. %. K<sub>2</sub>O se pohybuje od <0,05 do <0,17 hm. % (tab. 4 a 5), přičemž ve většině vzorků nebyl detekován. Obsah MnO je průměrně 0,11 hm. %. Variabilitu lze vysvětlit fázovou nehomogenitou – např. žilkovitý útvar se spinely výrazně zvyšuje obsah Cr ve vzorku H1.



Median Cr z lokality Hrubšice je 1261 ppm a z lokality Mohelno 1496 ppm. Median Ni z Hrubšic je 2178 ppm a z Mohelna 1958 ppm.

Koncentrace Cu nebyla ve dvou vzorcích detekována, v ostatních vzorcích dosahuje průměrně 31,8 ppm. Zn byl identifikován ve všech vzorcích a jeho průměr činí 36,2 ppm. Co nebyl zjištěn u více než poloviny vzorků, zatímco u dalších se pohybuje od 7 do 38 ppm.

Při srovnání serpentinitů z obou lokalit stanovených RTG-fluorescenčně je vidět markantní rozdíl v obsahu Cr. Vzorek H1 (10906 ppm) obsahuje mnohonásobně vyšší koncentraci chrómu ve srovnání se vzorkem M5 (576 ppm). Důvodem je přítomnost Cr-spinelu ve vzorku H1. Serpentinit z Hrubšic je bohatší Ni (3012 ppm) a Cu (108 ppm) oproti serpentinitu z lokality Mohelno, kde byly zjištěny nejvyšší naměřené obsahy Ni okolo 2000 ppm a Cu 40 ppm. Serpentinit z Mohelna obsahuje v průměru více Zn a Co než na lokalitě Hrubšice.

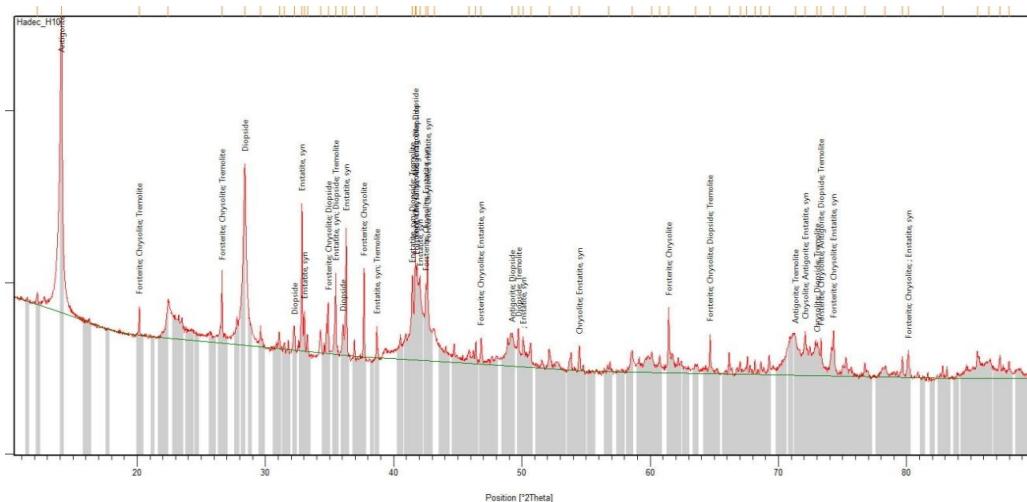
## 10. Minerální složení serpentinitů

Pro rtg-difrakční analýzu byly vybrány dva vzorky: serpentinit z Hrubšic a serpentinit z Mohelna.

### Serpentinit H10

**Tab. 6.** Identifikované fáze

Ref. Code	Score	Fáze	Chemical Formula
00-007-0079	45	Forsterit	$2(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.09})\text{O}.\text{SiO}_2$
00-007-0156	42	Chrysotil	$2(\text{Mg}_{0.88}\text{Fe}_{0.12})\text{O}.\text{SiO}_2$
00-019-0768	40	Enstatit	$\text{MgSiO}_3$
00-041-1370	36	Diopsid	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$
00-019-0615	24	Hematit	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
00-044-1402	22	Tremolit	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
00-010-0402	12	Antigorit	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

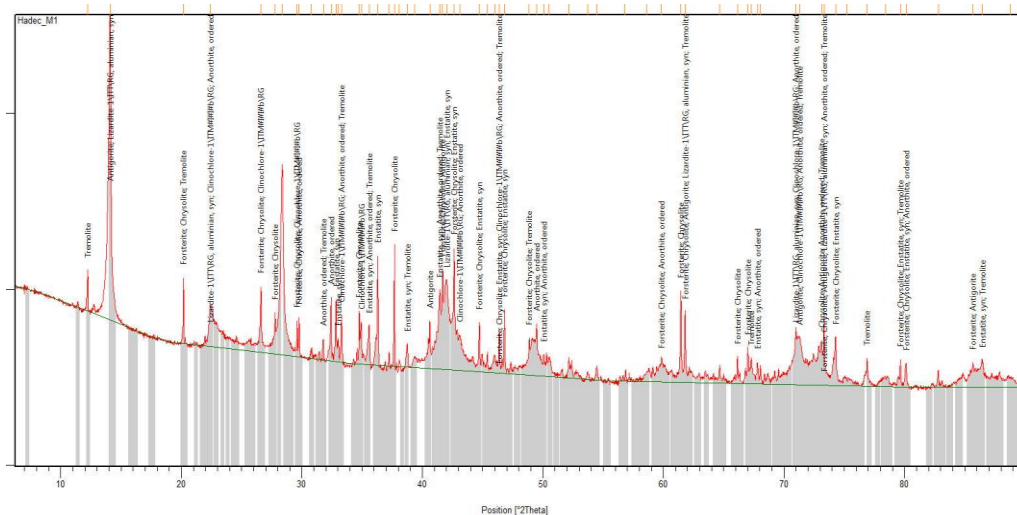


**Obr. 38.** Rtg-difrakční záznam vzorku hadce z Hrubšic (vzorek H10) s vyznačenými pozicemi píků identifikovaných fází

### Serpentinit M1

**Tab. 7.** Identifikované fáze

Ref. Code	Score	Fáze	Chemical Formula
00-007-0075	46	Forsterit	$2(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.09})\text{O}.\text{SiO}_2$
00-007-0156	45	Chrysotil	$2(\text{Mg}_{0.88}\text{Fe}_{0.12})\text{O}.\text{SiO}_2$
00-019-0768	22	Enstatit	$\text{MgSiO}_3$
00-044-1402	21	Tremolit	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
00-010-0402	13	Antigorit	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$



**Obr. 39.** Rtg-difrakční záznam vzorku hadce z Mohelna (vzorek M1) s vyznačenými pozicemi píků identifikovaných fází

Z porovnání zjištěného fázového složení serpentinitů z Hrubšic a Mohelna (tab. 6 a 7) vyplývá, že v obou jsou hlavními minerálními komponentami chrysotil, forsterit, tremolit, enstatit a antigorit (viz obr. 38 a 39); v serpentinitu z Hrubšic k nim přistupuje i diopsid a hematit (zřejmě sekundárního původu z alterace olivínu). Z minerálů serpentinové skupiny převažuje chrysotil nad antigoritem.

## **11. Chemické složení minerálů studovaných serpentinitů**

Na zájmových lokalitách byly analyzovány serpentinové minerály, pyroxeny, olivín, amfiboly, spinelidy, oxidy Fe, chlorit, mastek, plagioklas, karbonáty, fluorokarbonát, apatit, ilmenit, sulfidy (siegenit, pentlandit), NiFe slitina a vzácněji se vyskytující minerály (ernienickelit).

### **Minerály serpentinové skupiny**

Agregáty serpentinu jsou nejhojněji zastoupeným minerálem v hadcích na obou lokalitách. Mají místy zajímavou strukturu připomínající vnitřní stavbu slupek cibule (onion-shell structure) – obr. 40. Podle výsledků EDX analýz minerálů serpentinové skupiny (tab. 8) se od sebe serpentinit z Hrubšic a Mohelna poněkud liší. Zatímco u Hrubšic je oktaedrická vrstva obsazena jen Mg (z 92-96%) a Fe (z 3,4-7,2%) a není v ní Al, u Mohelna je v oktaedrické vrstvě méně Mg (85-93%), zato více Fe (6,2-11,9%) a navíc částečně i Al (0-3%), jak je vidět na obr. 41.

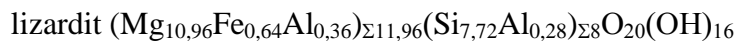
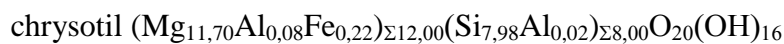
**Tab. 8.** EDX analýzy serpentinu ve vzorcích H1, H2, H5, H8, H10, M1 a M2 v hm. %, přepočteno na 20 kyslíků

Vzorek č.	H1/2	H2/1	H2/m. 2	H8/foto	H8/žilka	H10/1	H10/svět
SiO <sub>2</sub>	41,39	40,12	40,88	42,14	42,27	42,76	40,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	0	0	0	0	0	0
FeO	2,43	2,39	4,99	3	2,58	3,57	4,03
MgO	37,31	38,19	36,11	40,04	40,16	36,82	38,73
<b>TOTAL</b>	<b>81,59</b>	<b>80,7</b>	<b>81,98</b>	<b>85,18</b>	<b>85,01</b>	<b>83,15</b>	<b>83,65</b>
Si <sup>4+</sup>	8,312	8,100	8,267	8,074	8,106	8,498	8,019
Al <sup>3+</sup> (tetr.)	0	0	0	0	0	0	0
Al <sup>3+</sup> (okt.)	0,108	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,409	0,405	0,843	0,483	0,416	0,593	0,661
Mg <sup>2+</sup>	11,172	11,495	10,891	11,443	11,478	10,909	11,320
Σtetr. poz.	8,420	8,176	8,295	8,159	8,182	8,460	8,119
Σokt. poz.	11,580	11,900	11,733	11,926	11,894	11,502	11,981
Vzorek č.	M1/pl1	M1/pl2	M2/1	M2/2	M2/3		
SiO <sub>2</sub>	39,28	40,76	38,16	42,66	39,4		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,41	2,59	1,41	2,78		
FeO	6,28	4,6	8,25	8,63	8,75		
MgO	37,8	38,75	33,9	37,44	35,04		
<b>TOTAL</b>	<b>83,84</b>	<b>84,52</b>	<b>82,9</b>	<b>90,14</b>	<b>85,97</b>		
Si <sup>4+</sup>	7,745	7,925	7,736	7,948	7,710		
Al <sup>3+</sup> (tetr.)	0,255	0,075	0,264	0,052	0,290		
Al <sup>3+</sup> (okt.)	0	0,020	0,353	0,257	0,349		
Fe <sup>2+</sup>	1,030	0,750	1,100	1,340	1,430		
Mg <sup>2+</sup>	11,110	11,230	10,250	10,400	10,220		
Σtetr. poz.	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Σokt. poz.	12,398	12,055	11,910	11,794	11,942		

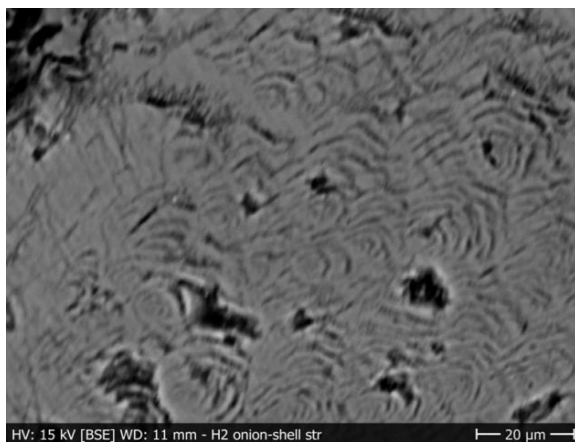
Empirické vzorce minerálů serpentinové skupiny z hadců od Mohelna a Hrubšic:

<b>H1/2</b>	(Mg <sub>11,17</sub> Fe <sub>0,41</sub> Al <sub>0,11</sub> ) <sub>Σ11,69</sub> Si <sub>8,31</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H2/1</b>	(Mg <sub>11,49</sub> Fe <sub>0,41</sub> ) <sub>Σ11,90</sub> Si <sub>8,10</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H2/m.2</b>	(Mg <sub>10,89</sub> Fe <sub>0,84</sub> ) <sub>Σ11,73</sub> Si <sub>8,27</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H8/foto</b>	(Mg <sub>11,44</sub> Fe <sub>0,48</sub> ) <sub>Σ11,92</sub> Si <sub>8,07</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H8/žilka</b>	(Mg <sub>11,89</sub> Fe <sub>0,42</sub> ) <sub>Σ12,31</sub> Si <sub>8,11</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H10/1</b>	(Mg <sub>10,91</sub> Fe <sub>0,59</sub> ) <sub>Σ11,50</sub> Si <sub>8,50</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>H10/světly</b>	(Mg <sub>11,32</sub> Fe <sub>0,66</sub> ) <sub>Σ11,98</sub> Si <sub>8,02</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>M1/pl1</b>	(Mg <sub>11,11</sub> Fe <sub>1,03</sub> ) <sub>Σ12,14</sub> (Si <sub>7,75</sub> Al <sub>0,25</sub> ) <sub>Σ8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>M1/pl2</b>	(Mg <sub>11,23</sub> Fe <sub>0,75</sub> Al <sub>0,03</sub> ) <sub>Σ12,01</sub> (Si <sub>7,93</sub> Al <sub>0,07</sub> ) <sub>Σ8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>M2/1</b>	(Mg <sub>10,25</sub> Fe <sub>1,10</sub> Al <sub>0,35</sub> ) <sub>Σ11,70</sub> (Si <sub>7,74</sub> Al <sub>0,26</sub> ) <sub>Σ8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>M/2</b>	(Mg <sub>10,40</sub> Fe <sub>1,34</sub> Al <sub>0,26</sub> ) <sub>Σ12,00</sub> (Si <sub>7,95</sub> Al <sub>0,05</sub> ) <sub>Σ8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>
<b>M/3</b>	(Mg <sub>10,22</sub> Fe <sub>1,43</sub> Al <sub>0,35</sub> ) <sub>Σ12,00</sub> (Si <sub>7,71</sub> Al <sub>0,29</sub> ) <sub>Σ8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>

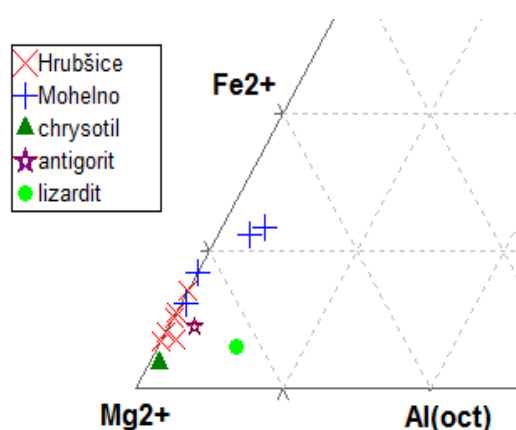
Pro porovnání uvádím empirické vzorce chrysotilu, antigoritu a lizarditu z práce Rinaudové et al. (2003):



Porovnáním s jejich údaji (viz obr. 41) se dá říci, že analýzy serpentínových minerálů z Hrubšic jsou nejbližší antigoritu; totéž platí i o části analýz z Mohelna, u ostatních (M2/1-3) je podíl Fe ještě vyšší.



**Obr. 40.** Agregáty serpentinu (srp), vzorek H2, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 41.** Diagram zastoupení kationtů v oktaedrické vrstvě serpentínů z Hrubšic a Mohelna – výřez z ternárního diagramu u vrcholu Mg (čárkované linie po 10%, průměty analýz chrysotilu, antigoritu a lizarditu jsou převzaty z práce Rinaudové et al. (2003)

## Pyroxeny

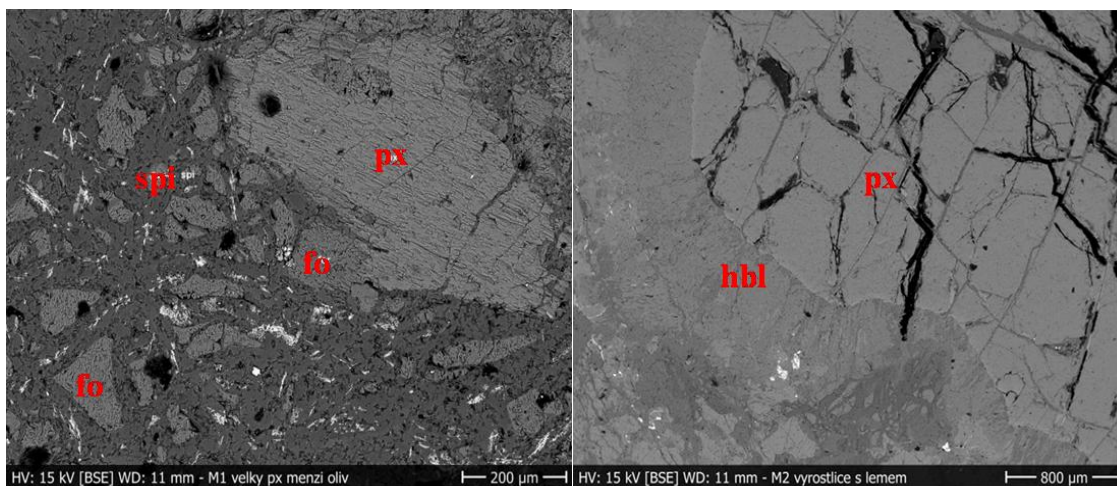
Pyroxeny byly nalezeny pouze v nábrusech serpentinitu z Mohelna. Pyroxen se zde vyskytuje v asociaci s olivínem a spinelem (obr. 42). Z klasifikačního diagramu podle Morimota et al. (1988) vyplývá, že dvě analýzy pyroxenu z Mohelna (M1/1, M2/v.1) podle chemického složení odpovídají **hlinitému chromitému diopsidu** a jedna analýza (M2/2) **hlinitému diopsidu** (obr. 44). Analyzovaný pyroxen se řadí do podskupiny Ca pyroxenů (klinopyroxeny). Množství Ca je typicky vysoké (22,36-22,9 hm.% CaO), obsah Mg je kolísavý (14,88-17,5 hm.% MgO). Vstupují sem i prvky dalších koncových členů – Al (3,47-8,26 hm.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a Cr (0,35-0,73 hm.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Diopsid je chudý Fe (1,8-2,38 hm.% FeO). Koncentrace Na dosahuje hodnot 0,7-0,93 hm.% Na<sub>2</sub>O a diopsid má minoritní obsah Ni (0,17 hm.% NiO), který byl zjištěn u jedné analýzy. Dále zde byl identifikován **hlinitý chromitý augit** (M1/2), **hlinitý sodný augit** (M2/1) a **hlinitý chromito-železitý augit** (M2/v.2). Také augit patří do podskupiny vápenatých klinopyroxenů. Ca dosahuje hodnot 16,62-20,35 hm.% CaO, obsah Na je 0,53-1,53 hm.% Na<sub>2</sub>O a obsah Mg se pohybuje v rozmezí od 16,65 do 17,46 hm.% MgO. Augit je bohatý Fe (1,94-3,87 hm.% FeO). Koncentrace Al je vysoká (6,09-13,55 hm.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Pouze u jedné analýzy byl zjištěn Ti, a to ve stopovém množství (0,4 hm. % TiO<sub>2</sub>). Všechny tři výše uvedené augity jsou důležitými zdroji Cr (0,57-1,36 hm.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a Ni (0,23 hm.% NiO). Dvě analýzy spadají složením do pole **Al-Cr(klino)enstatitu** a jedna analýza do pole **Al(klino)enstatitu**. (Klino)enstatit patří do podskupiny Mg-Fe pyroxenů. Obvyklé je malé množství Al (4,95-5,41 hm.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). (Klino)enstatit je chudý Fe (6,55-6,89 hm.% FeO) a představuje významný zdroj Cr (0-0,39 hm.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Jeden pyroxen byl také analyzován jako **Al-Cr pigeonit** z podskupiny Mg-Fe klinopyroxenů. Obsah Mg je 18,96 hm.% MgO a množství Al (22,05 hm.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) je vysoké. Koncentrace Ca je 4,51 hm.% CaO a bohatý Fe je pigeonit (10,09 hm.% FeO). Ten je také důležitým zdrojem Cr (1,21 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a Ti (0,25 hm.% TiO<sub>2</sub>). Pyroxeny byly určeny u obou vzorků z Mohelna EDX analýzou (tab. 9 a 10). V průběhu metamorfózy dochází k přeměně augitu na amfibol (obr. 43). V nábrusech ze serpentinitu z Hrubšic sice pyroxen nalezen nebyl, ale v půdě z této lokality ano.

**Tab. 9.** EDX analýzy klinopyroxenů (diopsid, augit) ve vzorcích M1, M2 v hm.%,  
přepočteno na 6 kyslíků

Vzorek č.	M1/1	M1/2	M2/1	M2/2
Na <sub>2</sub> O	0,7	1,25	1,53	0,93
MgO	17,5	17,46	16,65	15,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,47	6,09	6,95	4,37
SiO <sub>2</sub>	52,16	50,73	50,92	52,3
CaO	22,75	20,35	16,62	22,9
TiO <sub>2</sub>	0	0,4	0	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,73	0,99	0,57	0,35
FeO	1,8	1,94	3,87	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>99,11</b>	<b>99,21</b>	<b>97,11</b>	<b>98,42</b>
Na <sup>+</sup>	0,05	0,088	0,11	0,066
Mg <sup>2+</sup>	0,955	0,948	0,918	0,858
Al <sup>3+</sup>	0,15	0,262	0,303	0,189
Si <sup>4+</sup>	1,909	1,848	1,884	1,924
Ca <sup>2+</sup>	0,892	0,794	0,659	0,903
Ti <sup>4+</sup>	0	0,011	0	0
Cr <sup>3+</sup>	0,021	0,029	0,017	0,01
Fe <sup>2+</sup>	0,055	0,059	0,12	0,059
<b>CATSUM</b>	<b>4,031</b>	<b>4,04</b>	<b>4,011</b>	<b>4,01</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

**Tab. 10.** EDX analýzy klinopyroxenů (diopsid, augit, (klino)enstatit a pigeonit) – vyrostlice ve vzorku M2 v hm. %, přepočteno na 6 kyslíků

Vzorek č.	M2/v. 1	M2/v. 2	M2/v. 3	M2/v. 4	M2/v. 5	M2/v. 6
Na <sub>2</sub> O	0,88	0,53	0	0	0	0
MgO	14,88	17,01	32,69	33	32,78	18,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,26	13,55	5,41	4,99	4,95	22,05
SiO <sub>2</sub>	49,46	44,86	53,53	54,35	53,95	41,03
CaO	22,36	19,45	0	0	0	4,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	1,36	0,39	0	0,38	1,21
FeO	2,38	3,51	6,55	6,8	6,89	10,09
NiO	0,17	0,23	0	0	0	0
TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0,25
<b>TOTAL</b>	<b>98,91</b>	<b>100,5</b>	<b>98,57</b>	<b>99,14</b>	<b>98,95</b>	<b>98,1</b>
Na <sup>+</sup>	0,063	0,037	0	0	0	0
Mg <sup>2+</sup>	0,815	0,921	1,707	1,712	1,707	1,032
Al <sup>3+</sup>	0,358	0,580	0,223	0,205	0,204	0,949
Si <sup>4+</sup>	1,818	1,630	1,875	1,891	1,885	1,498
Ca <sup>2+</sup>	0,880	0,757	0	0	0	0,176
Cr <sup>3+</sup>	0,015	0,039	0,011	0	0,010	0,035
Fe <sup>2+</sup>	0,073	0,107	0,192	0,198	0,201	0,308
Ni <sup>2+</sup>	0,005	0,007	0	0	0	0
Ti <sup>4+</sup>	0	0	0	0	0	0,007
<b>CATSUM</b>	<b>4,027</b>	<b>4,079</b>	<b>4,008</b>	<b>4,006</b>	<b>4,008</b>	<b>4,004</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

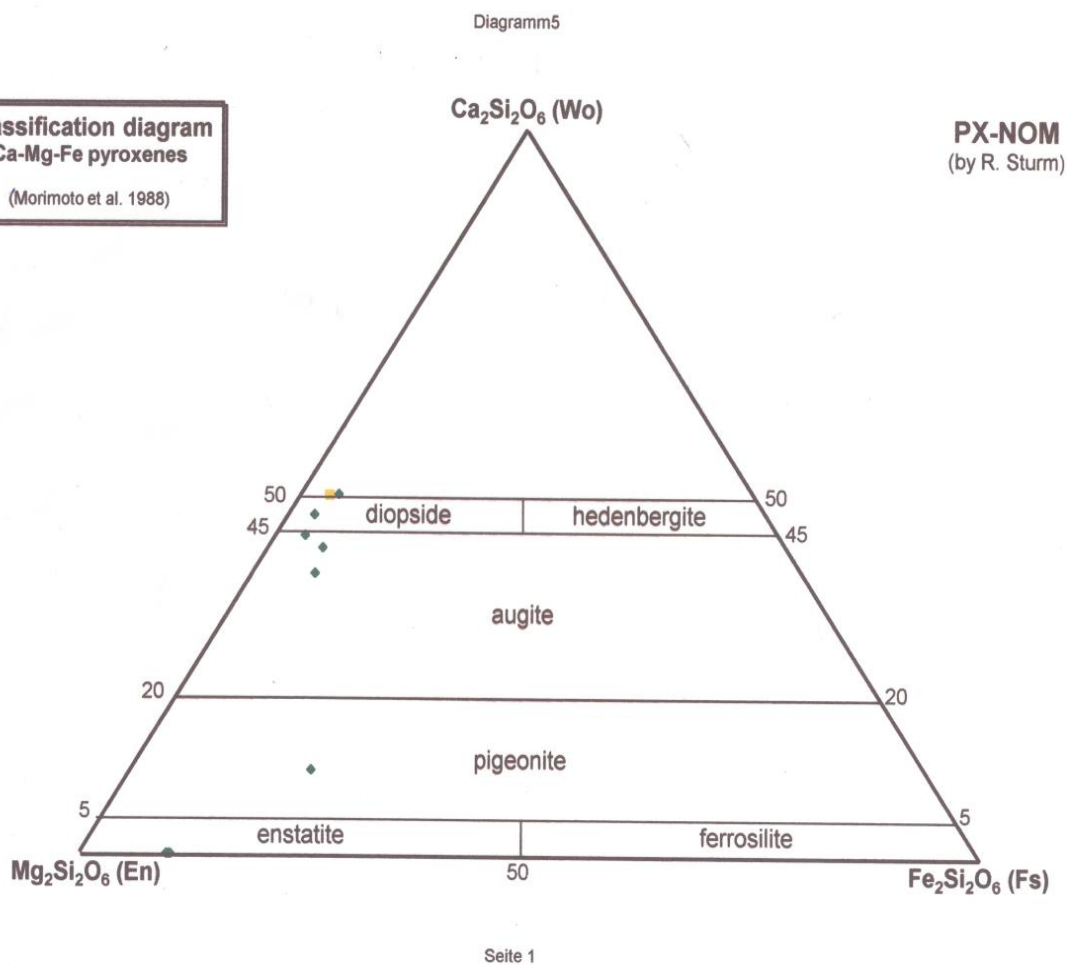


**Obr. 42.** Pyroxen (px) s olivínem (fo) a spinelem (spi) v matrici minerálů serpentinové skupiny (srp), vzorek M1, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 43.** Pyroxen (px) - vyrostlice s lemem amfibolu (hbl), vzorek M2, BSE-foto P. Sulovský



**Classification diagram  
Ca-Mg-Fe pyroxenes**  
(Morimoto et al. 1988)



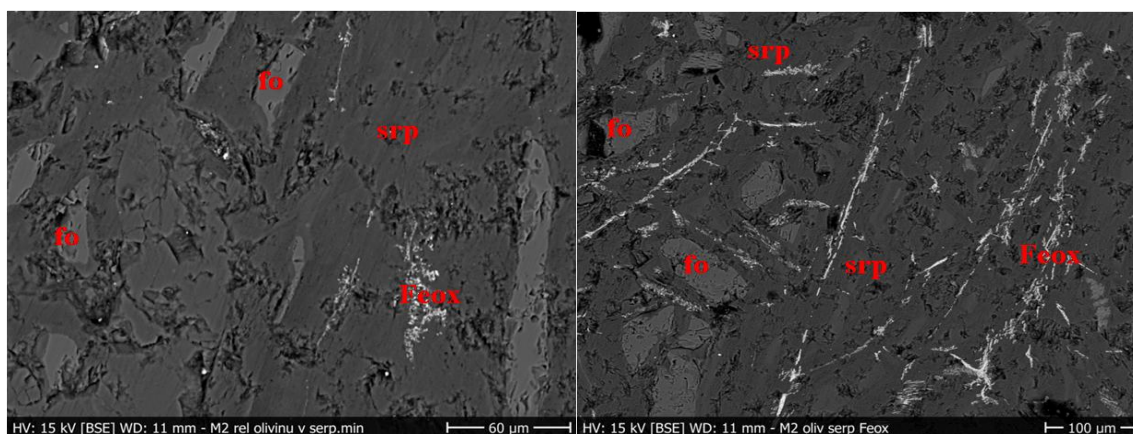
**Obr. 44.** Klasifikační diagram pyroxenů podle Morimota et al. (1988)

## Olivín

Z hlediska současného složení serpentinitu je vedlejším minerálem olivín (forsterit). Ten se vyskytuje v podobě reliktních zrn v serpentinitových minerálech spolu s oxidy železa (hematitem) pouze ve vzorcích z Mohelna. Oproti nim má v BSE olivín nepravidelný tvar a světlejší barvu (obr. 45, 46). Na mikrosondě byla analyzována čtyři zrna. V olivínu převažuje forsteritová složka (okolo 89,5 %) nad fayalitovou (okolo 10,5 %); obsah tefroitové složky je velmi nízký (Mn = 0-0,14 hm. % MnO) - (tab. 11). Charakteristickou stopovou příměsí je nikl (0-0,41 hm. % NiO).

**Tab. 11.** EDX analýzy olivínů ve vzorcích M1, M2 v hm.%, přepočteno na 4 kyslíky

Vzorek č.	M1/1	M1/2	M2/1	M2/2
MgO	48,96	48,46	48,88	49
SiO <sub>2</sub>	40,5	39,97	40,35	40,36
FeO	10,33	10,28	10,01	10,35
NiO	0,35	0,41	0	0,22
MnO	0	0	0,14	0
<b>TOTAL</b>	<b>100,14</b>	<b>99,12</b>	<b>99,38</b>	<b>99,93</b>
Mg <sup>2+</sup>	1,792	1,794	1,799	1,797
Si <sup>4+</sup>	0,994	0,992	0,996	0,993
Fe <sup>2+</sup>	0,212	0,213	0,207	0,213
Ni <sup>2+</sup>	0,007	0,008	0	0,004
Mn <sup>2+</sup>	0	0	0,003	0
<b>CATSUM</b>	<b>3,006</b>	<b>3,008</b>	<b>3,004</b>	<b>3,007</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>



**Obr. 45.** Relikty olivínu (fo) v serpentinových minerálech (srp); bílé - Feox, vzorek M2, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 46.** Relikty olivínu (fo) v serpentinových minerálech (srp); bílé - Feox, vzorek M2, BSE-foto P. Sulovský

## Amfiboly

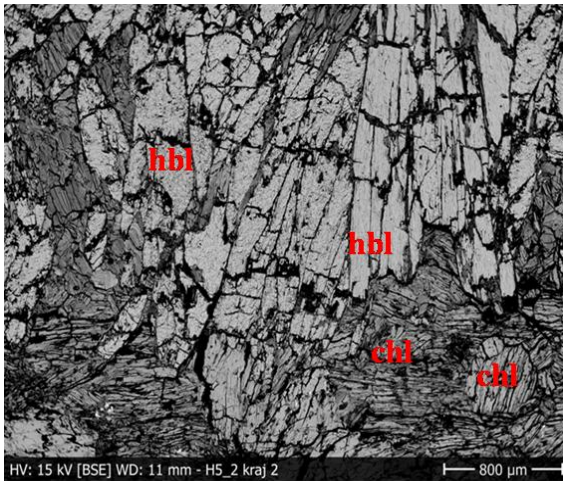
Amfibol byl nalezen ve vzorcích serpentinitu z Hrubšic, kde tvoří sloupcovité až jehlicovité krystaly v asociaci s chloritem, který vytváří lupenité útvary (obr. 47). Amfiboly byly identifikovány ve dvou vzorcích (H4, H5) EDX analýzou (tab. 12).

**Tab. 12.** EDX analýzy amfibolů ve vzorcích H4, H5 v hm. %, přepočteno na 23 kyslíků

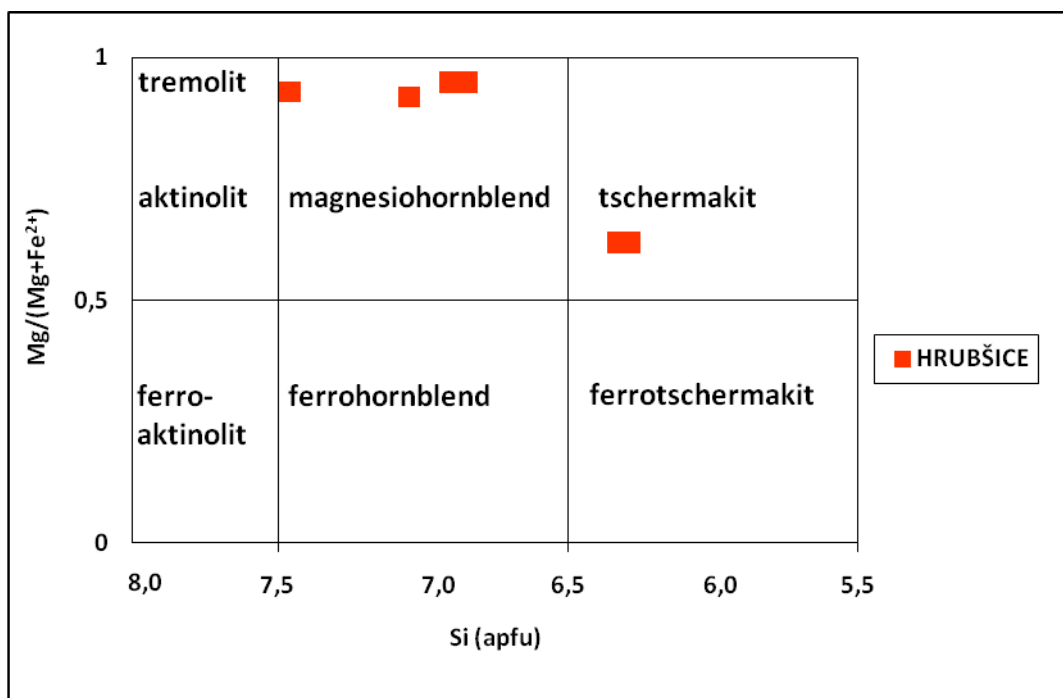
Vzorek č.	H4/1	H4/2	H5/3	H5/4	H5/s Cr 1	H5/s Cr 2
SiO <sub>2</sub>	42,08	43,16	51,75	55	50,1	49,32
TiO <sub>2</sub>	1,25	1,28	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,81	13,84	8,98	6,03	8,41	8,69
FeO	13,27	13,4	3,21	2,93	3,09	3,14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	1,23	0,76	1,07	1,28
MgO	12,36	12,5	21,57	22,49	20,93	20,52
CaO	10,68	11,1	9,25	9,43	12,36	12,33
Na <sub>2</sub> O	2,14	1,96	1,83	1,17	1,71	1,72
K <sub>2</sub> O	0,51	0,72	0	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0,15
<b>TOTAL</b>	<b>96,1</b>	<b>97,96</b>	<b>97,82</b>	<b>97,81</b>	<b>97,67</b>	<b>97,15</b>
Si <sup>4+</sup>	6,29	6,33	7,05	7,46	6,91	6,85
Ti <sup>4+</sup>	0,141	0,141	0	0	0	0
Al <sup>4+</sup>	1,71	1,67	0,95	0,54	1,09	1,15
Al <sup>6+</sup>	0,726	0,723	0,492	0,419	0,279	0,271
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0,119	0,135
Fe <sup>2+</sup>	1,659	1,643	0,366	0,332	0,238	0,23
Cr <sup>3+</sup>	0	0	0,265	0,163	0,233	0,281
Mg <sup>2+</sup>	2,755	2,733	4,381	4,545	4,305	4,248
Ca <sup>2+</sup>	1,711	1,744	1,35	1,369	1,827	1,834
Na <sup>+</sup>	0,62	0,557	0,483	0,307	0,457	0,463
K <sup>+</sup>	0,097	0,135	0	0	0	0
Ni <sup>2+</sup>	0	0	0	0	0	0,017
<b>CATSUM</b>	<b>15,709</b>	<b>15,676</b>	<b>15,337</b>	<b>15,135</b>	<b>15,458</b>	<b>15,479</b>
<b>O</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

Vzorky se od sebe značně liší: zatímco ve vzorku H4 lze amfibol zařadit do skupiny vápenatých amfibolů jako tschermakit, ve vzorku H5 byl identifikován vápenatý magnesihornblend. Ve vzorku H5 byl ve všech analýzách zjištěn chrom (0,76 – 1,28 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kdežto ve vzorku H4 byl obsah Cr pod mezí stanovitelnosti. Dvě analýzy (H4/1, H4/2) podle Leakeho klasifikačního diagramu (Leake et al. 1977) spadají do pole tschermakitu (obr. 48), který se nachází v magmatických a metamorfovaných horninách. Obsahy Cr, Ni a Zn jsou pod mez detekce EDS analýzy. Koncentrace Ti se v něm

pohybuje okolo 1,3 hm. %  $\text{TiO}_2$ . Poměr  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$  se pohybuje u magnesianhornblendu v poměrně úzkém rozmezí (0,92 až 0,95), zatímco u tschermakitu je okolo 0,62.



**Obr. 47.** Amfibol (hbl) s chloritem (chl), vzorek H5, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 48.** Klasifikační diagram amfibolů podle Leakeho et al. (1977)

## Spinelidy

Spinely se vyskytují s minerály serpentínové skupiny, zrna mají izometrický až nepravidelný tvar, jsou rozpraskaná a tvoří shluky (obr. 49). Obr. 50 znázorňuje relikt spinelu, které jsou zatlačovány minerály serpentínové skupiny a jsou v asociaci s amfiboly. Při metamorfóze bývá chromit často zatlačován magnetitem (obr. 52), ale také může být magnesiochromit obrostlý lemem Cr-magnetitu (obr. 53). Popřípadě může docházet k pronikání magnetitu podél trhlin do magnesiochromitu. Magnetitové lemy vznikají, když dojde k uvolnění železa při serpentinizaci olivínu. Magnetit se také objevuje v akcesorickém množství spolu s chromitem a pyroxenem. Na obr. 54 dochází k rozsáhlému zatlačení chromitu magnetitem. Magnetit obsahuje izomorfní příměs Cr (0,54-0,92 hm.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a minoritní množství Zn (0,35 hm.% ZnO) a S<sup>4+</sup> (0,24 hm.% SO<sub>2</sub>). Chemismus magnetitu je uveden v tab. 13.

**Tab. 13.** EDX analýzy magnetitu ve vzorcích H8 a M1 - výsledky v hm. %, přepočteny na 3 kationty (železo stanoveno jako FeO = 91,81% a 88,63%, rozpočteno na Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a FeO podle valenčního vyrovnání)

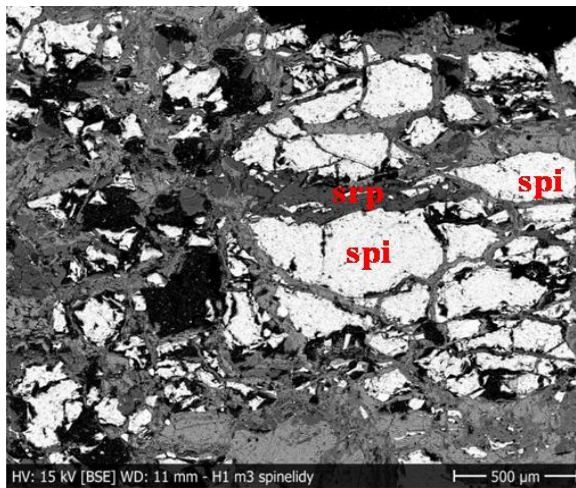
Vzorek č.	H8/lem	M1/1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,92	0,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,47	48,7
FeO	46,39	43,8
SiO <sub>2</sub>	0	0,06
SO <sub>2</sub>	0	0,24
ZnO	0	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>97,78</b>	<b>93,69</b>
Cr <sup>3+</sup>	0,028	0,017
Fe <sup>3+</sup>	1,47	1,465
Fe <sup>2+</sup>	1,502	1,497
Si <sup>4+</sup>	0	0,002
S <sup>4+</sup>	0	0,009
Zn <sup>2+</sup>	0	0,01
<b>Σkat</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Spinelidy pozorované ve všech vzorcích z Hrubšic a Mohelna se vyskytují v akcesorickém množství. Pro spinelidy je typická špatná nebo chybějící štěpnost a vysoká tvrdost. Mají vysoký poměr  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , zpravidla 3-21 (obr. 56), a tudíž chemicky patří do řady chromit-magnesiochromit, přičemž převažuje chromitová komponenta ( $FeCr_2O_4$ ) nad magnesiochromitovou ( $MgCr_2O_4$ ). Srovnání se spinely z hadce od Mohelna na základě tzv. Mg-čísla ( $100 \cdot Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ) a Cr-čísla ( $100 \cdot Cr/(Cr+Al)$ ) ukazuje, že hrubšické spinelidy jsou mnohem chromitější a méně hořčnaté – viz obr. 55. Spinelidy z Hrubšic se také vyznačují minoritními obsahy Mn (0-0,6 hm. % MnO) a Zn (0-1,23 hm. % ZnO). Minerály ze skupiny spinelidů z Mohelna spadají do pole spinelu ( $MgAl_2O_4$ ). Ve stopovém množství je u nich zastoupeno  $Fe^{3+}$  (0,81-0,99 hm. %  $Fe_2O_3$ ), Co (0-0,25 hm. % CoO) a Zn (0-0,64 hm. % ZnO). V klasifikačním diagramu podle Stevense (1944), který je založený na poměru trojmocných kationů, spadají jednotlivé spinelidy hlavně do pole ferichromitu a chrommagnetitu a vzácně do pole alumochromitu. Ve vzorku M2/2 je spinel lemován hematitem. Chemismus je uveden v tab. 14.

**Tab. 14.** EDX analýzy Cr-spinelu ve vzorcích H1, H2, H5, H8, H10, M1 a M2 v hm. %, přepočteno na 4 kyslíky;  $Fe^{2+}$ :  $Fe^{3+}$  přepočteno podle valenčního vyrovnání

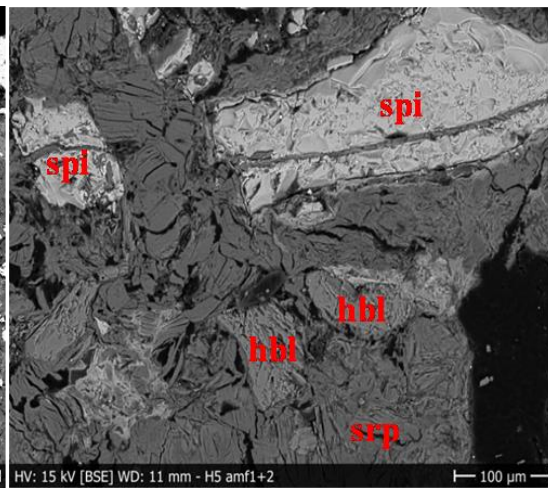
Vzorek č.	H1/1	H1/2	H2/1	H2/2	H5/1	H8/1	H8/2	H10/1	H10/2
<b>MgO</b>	12,77	12,79	3,09	8,63	5,31	10,67	10,15	6,33	3,51
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12,48	12,23	5,59	16,84	19,55	20,83	21,88	12	5,78
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	58,16	58,68	48,32	45,3	42,75	42,51	40,37	49,87	56,31
<b>MnO</b>	0,56	0	0,59	0,6	0	0	0	0	0
<b>FeO</b>	13,76	14,37	27,5	20,44	27,35	18,07	18,06	24,22	27,19
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,39	1,83	13,29	6,98	1,47	5,16	3,68	5,14	4,48
<b>ZnO</b>	0	0	0,47	0	1,23	0	0	0,66	0,42
<b>CoO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>99,12</b>	<b>99,9</b>	<b>98,85</b>	<b>98,79</b>	<b>97,66</b>	<b>97,24</b>	<b>94,14</b>	<b>98,22</b>	<b>97,69</b>
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,616	0,613	0,167	0,422	0,267	0,513	0,5	0,324	0,19
<b>Al<sup>3+</sup></b>	0,476	0,464	0,238	0,652	0,777	0,791	0,853	0,486	0,247
<b>Cr<sup>3+</sup></b>	1,488	1,492	1,381	1,176	1,14	1,083	1,056	1,356	1,614
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	0,015	0	0,018	0,017	0	0	0	0	0
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	0,372	0,387	0,831	0,561	0,771	0,487	0,5	0,696	0,824
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	0,034	0,044	0,362	0,172	0,037	0,125	0,092	0,133	0,122
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	0	0	0,013	0	0,031	0	0	0,017	0,011
<b>Co<sup>2+</sup></b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>CATSUM</b>	<b>3,001</b>	<b>3</b>	<b>3,01</b>	<b>3</b>	<b>3,023</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3,013</b>	<b>3,008</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Pokračování tab. 14.				
Vzorek č.	M1/1	M1/2	M2/1	M2/2
MgO	16,94	18,29	20,15	20,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49,17	53,94	60,12	62,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	12,09	7,82	7,07
FeO	13,7	12,37	10,59	9,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84	0,81	0,99	0,89
CoO	0	0,25	0	0
ZnO	0,47	0,64	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>98,12</b>	<b>98,39</b>	<b>99,67</b>	<b>100,89</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,696	0,732	0,772	0,783
Al <sup>3+</sup>	1,598	1,708	1,822	1,853
Cr <sup>3+</sup>	0,371	0,257	0,159	0,141
Fe <sup>2+</sup>	0,316	0,278	0,228	0,201
Fe <sup>3+</sup>	0,017	0,016	0,019	0,017
Co <sup>2+</sup>	0	0,005	0	0
Zn <sup>2+</sup>	0,01	0,013	0	0
<b>CATSUM</b>	<b>3,007</b>	<b>3,009</b>	<b>3</b>	<b>2,995</b>
O	4	4	4	4



HV: 15 kV [BSE] WD: 11 mm - H1 m3 spinelidy

500 µm

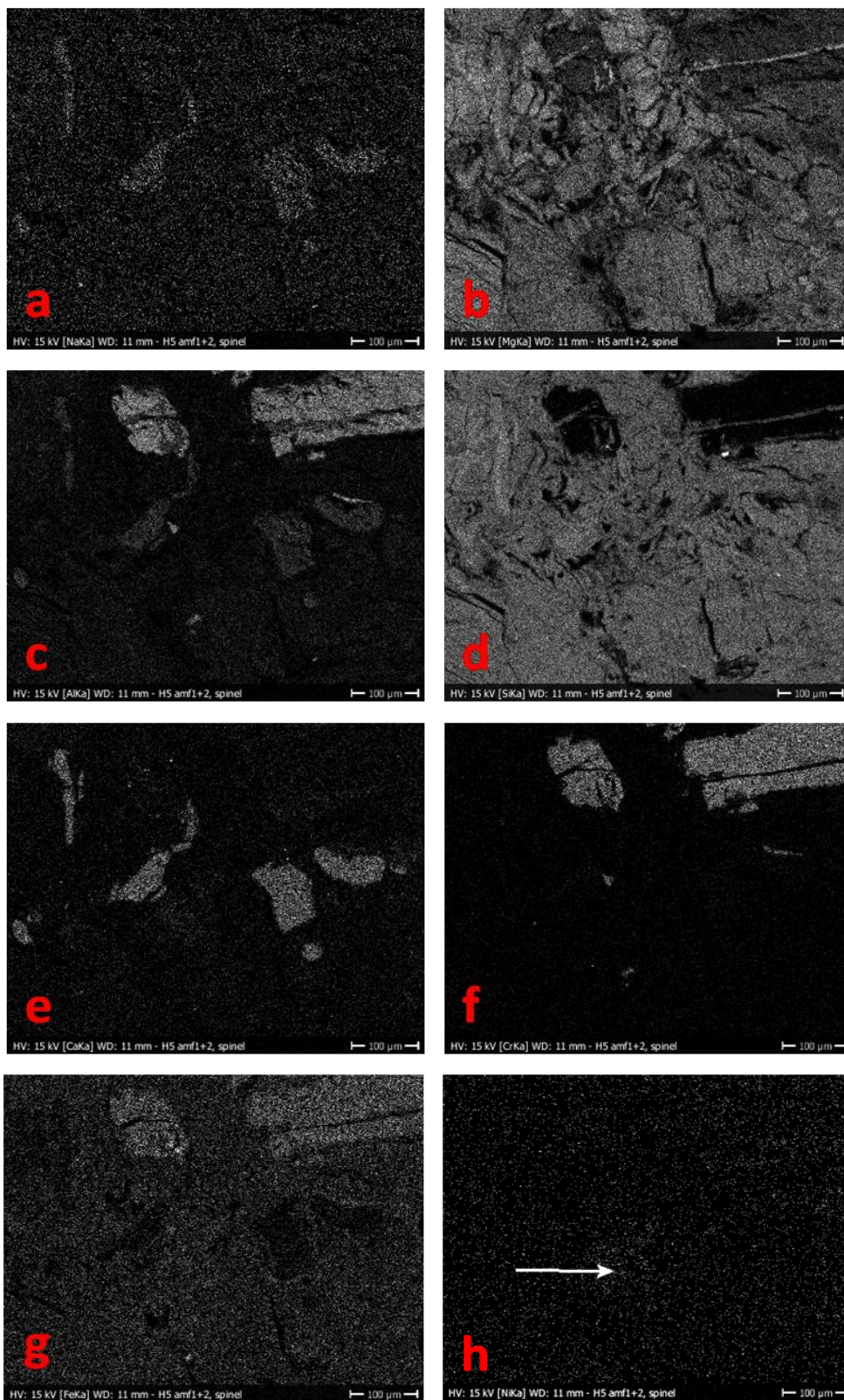


HV: 15 kV [BSE] WD: 11 mm - H5 amf1+2

100 µm

**Obr. 49.** Spinel (spi) a minerály skupiny serpentinu (srp), vzorek H1, BSE-foto P. Sulovský

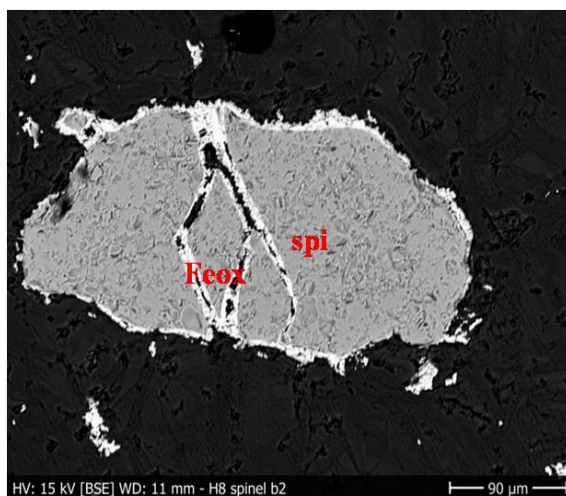
**Obr. 50.** Cr-spinel (spi) s amfiboly (hbl) v agregátu serpentinu (srp), vzorek H5, BSE-foto P. Sulovský



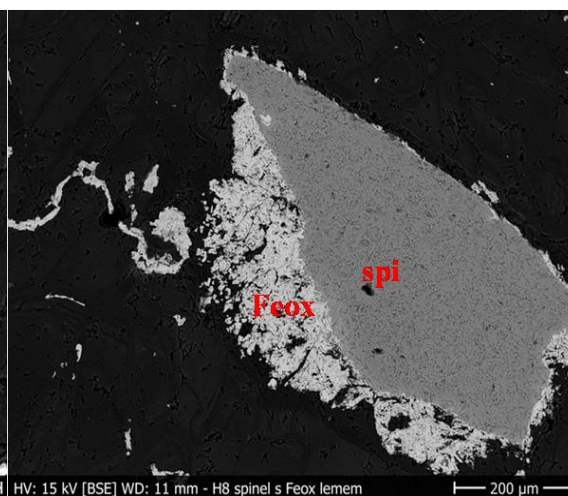
**Obr. 51.** Plošná analýza z nábrusu vzorku H5: a – distribuce Na; b – distribuce Mg; c – distribuce Al; d – distribuce Si; e – distribuce Ca; f – distribuce Cr; g – distribuce Fe; h – distribuce Ni (šipka ukazuje lokální zvýšení – viz světlá partie na BSE)



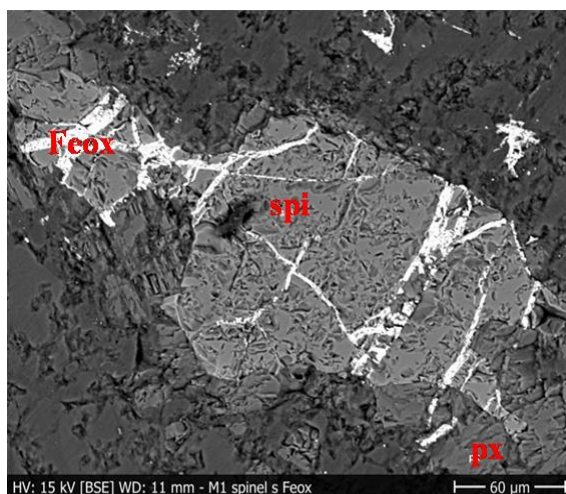
Plošná analýza (obr. 51) zobrazuje distribuci zvoleného prvku ve vzorku H5 (obr. 50). Světlá místa na BSE znázorňují přítomnost prvku a naopak tmavá místa pozorovaný prvek neobsahují.



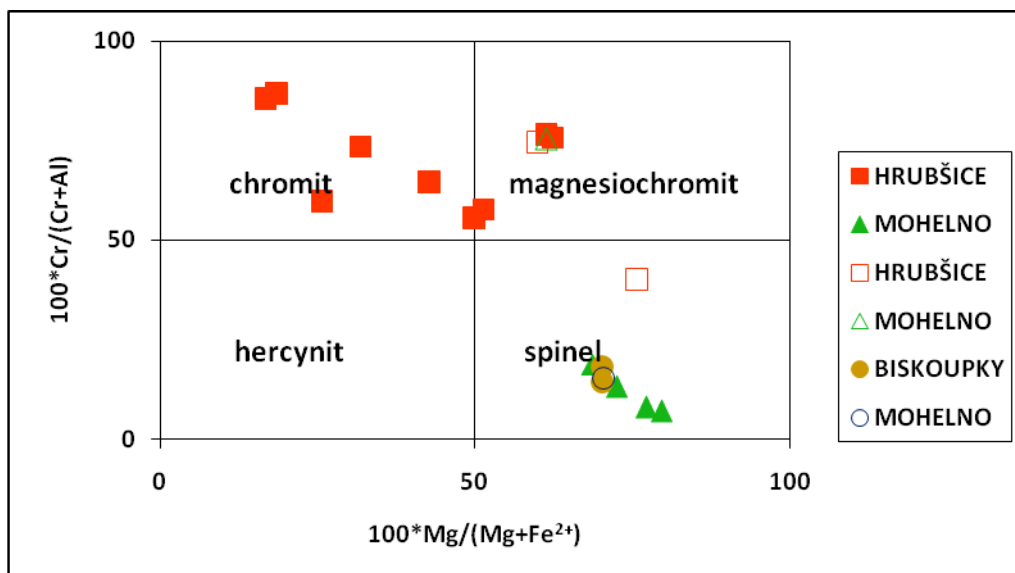
**Obr. 52.** Spinel (spi) s magnetitem (mag), vzorek H8, BSE- foto P. Sulovský



**Obr. 53.** Cr-spinel (spi) s lemem magnetitu (mag), vzorek H8, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 54.** Spinel (spi) podél trhlin zatlačovaný magnetitem (Feox), obklopený pyroxenem (px) a serpentinem (nejtmavší fáze v horní části snímku), vzorek M1, BSE-foto P. Sulovský



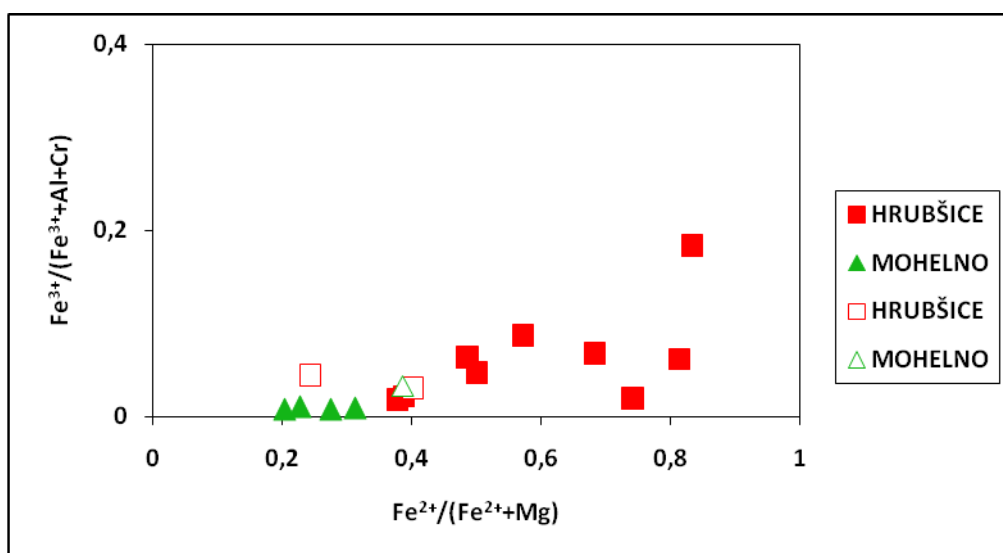
**Obr. 55.** Srovnání chemismu spinelidů z hrubšického a mohelenského serpentinitu, vedle vlastních analýz byla pro srovnání použita data Čopjakové et al. (2005) a Medarise et al. (2005):

prázdný čtverec – rozptýlené a masivní Cr-spinely - Hrubšice (data Čopjakové et al.)

prázdný trojúhelník – rozptýlený Cr-spinel – Mohelno (data Čopjakové et al.)

plné kolečko – spinelový peridotit – Biskoupky (data Medarise et al.)

prázdné kolečko – spinelový peridotit – Mohelno (data Medarise et al.)



**Obr. 56.** Diagram spinelidů z hrubšického a mohelenského serpentinitu udávající poměr  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$  a  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Al}+\text{Cr})$ , vedle vlastních analýz byla pro srovnání použita data Čopjakové et al. (2005):

prázdný čtverec – Hrubšice (data Čopjakové et al.)

prázdný trojúhelník – Mohelno (data Čopjakové et al.)

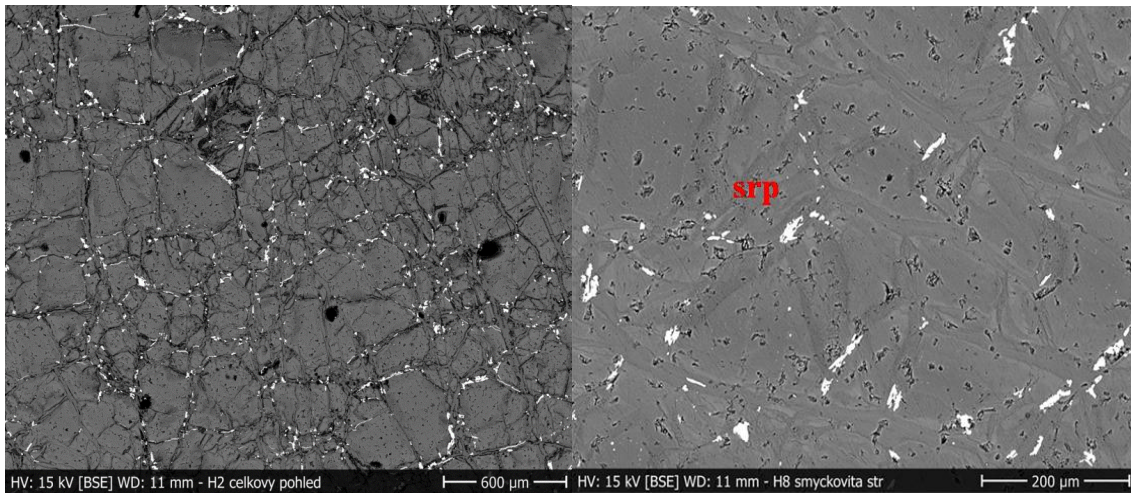
## Oxidy a hydroxidy železa

Oxidy železa uvolněné při serpentinizaci mají tvar žilek a jsou představovány **hematitem** (obr. 57). Odmišžený hematit (obr. 58) je přítomný s minerály serpentínové skupiny ve vzorku H8. Ve vzorku H10 je patrná smyčkovitá struktura serpentinitu (obr. 59). Hematit obsahuje podružné množství Mg (0,83 hm. % MgO). Pozice X je obsazena  $\text{Fe}^{3+}$  s množstvím (95,59-98,88 hm. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Hematit má pouze v jednom vzorku stopový obsah Cr (0,49 hm. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Hydratací oxidů minerálů železa vznikl **goethit**. Vyskytl se pouze v jednom vzorku. V pozici X vystupuje  $\text{Fe}^{3+}$  s obsahem 68,8 hm. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Hematit byl určen spolu s goethitem EDX analýzou (tab. 15).

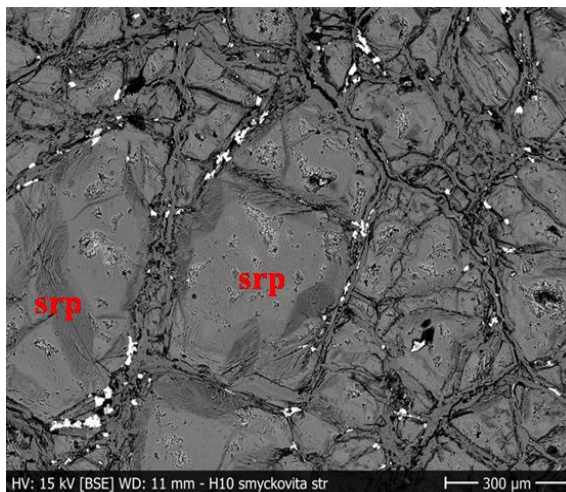
**Tab. 15.** EDX analýzy hematitu a goethitu ve vzorcích H2, H8 a M2 v hm.%, přepočteno na 2 a 3 kyslíky

Vzorek č.	H2/hem.1	H8/hem.2	M2/hem.	H2/goet.
MgO	0,83	0	0	5,18
SiO <sub>2</sub>	1,41	0,59	0,63	5,46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0,49	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,59	98,62	98,88	68,8
<b>TOTAL</b>	<b>97,83</b>	<b>99,21</b>	<b>100</b>	<b>79,44</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,033	0	0	0,16
Si <sup>4+</sup>	0,038	0,016	0,017	0,113
Cr <sup>3+</sup>	0	0	0,01	0
Fe <sup>3+</sup>	1,928	1,979	1,968	1,075
<b>CATSUM</b>	<b>1,998</b>	<b>1,995</b>	<b>1,995</b>	<b>1,349</b>
<b>O</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>



**Obr. 57.** Celkový pohled na smyčkovitou strukturu serpentinitu, ukazující rozložení oxidů Fe, lemujících zrna zcela serpentinizovaného olivínu, vzorek H2, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 58.** Minerály serpentínové skupiny (srp), bílé útvary jsou tvořeny hematitem, vzorek H8, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 59.** Minerály serpentínové skupiny (srp) (světlejší a tmavší), vzorek H10, BSE-foto P. Sulovský

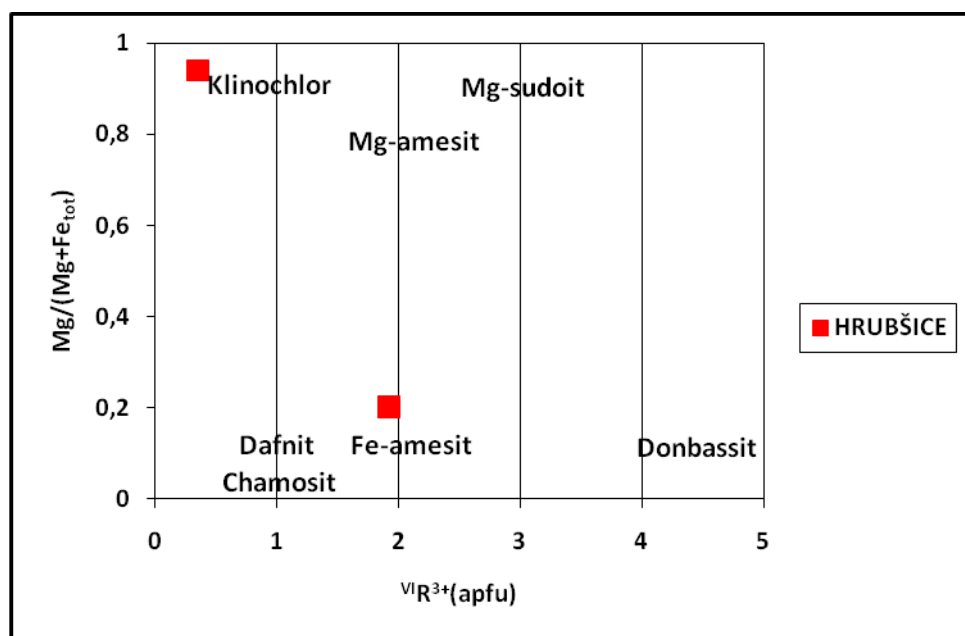
## Chlority

Druhotným minerálem je chlorit, který byl zjištěn pouze ve dvou vzorcích serpentinitu z Hrubšic (H4, H5 – viz obr. 61). EDX analýzy chloritů ze vzorků H4 a H5 jsou uvedeny v tab. 16.

**Tab. 16.** EDX analýzy chloritů ve vzorcích H4 a H5 v hm. %, přepočteno na 14 kyslíků

Vzorek č.	H4/chl	H5/chl
SiO <sub>2</sub>	26,66	40,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,79	3,02
FeO	38,12	4,16
MgO	5,33	37,44
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0,17
CaO	0,41	0
<b>TOTAL</b>	<b>84,31</b>	<b>85,59</b>
Si <sup>4+</sup>	3,164	3,901
Al <sup>3+</sup>	1,929	0,34
Fe <sup>2+</sup>	3,783	0,333
Mg <sup>2+</sup>	0,943	5,336
Cr <sup>3+</sup>	0	0,013
Ca <sup>2+</sup>	0,052	0
<b>CATSUM</b>	<b>9,872</b>	<b>9,923</b>
<b>O</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

V klasifikačním diagramu (obr. 60) podle Plissarta et al. (2009) se studované chlority zobrazují v poli klinochloru a Fe-amesitu.



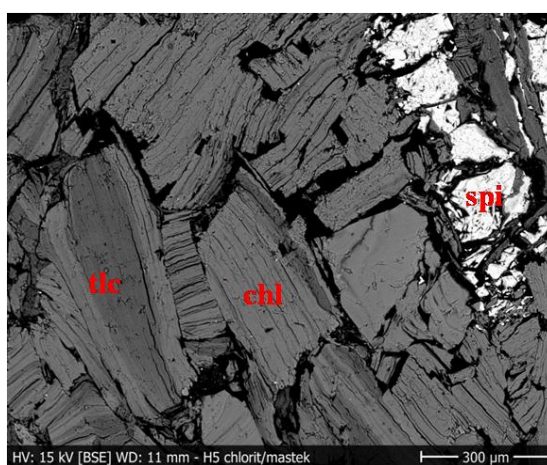
**Obr. 60.** Klasifikační diagram chloritů podle Plissarta et al. (2009)

## Mastek

Mastek, který je obvyklou součástí serpentinitů, byl analyzován v jednom vzorku. Tvoří společné agregáty s chloritem a krystaly jsou tabulkovitého tvaru (obr. 61). Pro mastek jsou příznačné anomální obsahy Cr (8,62-8,89 hm. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), nízké obsahy Al (0,99-1,25 hm. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), minoritní obsahy Fe (0,37-0,45 hm. % FeO) a Ca (0-0,21 hm. % CaO). Chromitý mastek je v literatuře znám pouze z lokality v NuggihalliSchistBelt (Varadarajan 1961), v němž bylo stanoveno 2,61 hm. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; tedy o mnoho menší, než ve vzorku H5. Chemismus mastku je uveden v tab. 17.

**Tab. 17.** EDX analýzy mastku ve vzorku H5 v hm. %, přepočteno na 12 kyslíků

Vzorek č.	H5/1	H5/2
$\text{SiO}_2$	58,24	58,32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,25	0,99
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	8,89	8,62
MgO	29,07	28,95
FeO	0,45	0,37
CaO	0,21	0
$\text{H}_2\text{O}$	4,37	4,37
<b>TOTAL</b>	<b>102,48</b>	<b>101,62</b>
$\text{Si}^{4+}$	3,722	3,749
$\text{Al}^{3+}$	0,094	0,075
$\text{Cr}^{3+}$	0,449	0,438
$\text{Mg}^{2+}$	2,770	2,775
$\text{Fe}^{2+}$	0,024	0,020
$\text{Ca}^{2+}$	0,014	0
$\text{H}^+$	1,863	1,874
<b>CATSUM</b>	<b>7,074</b>	<b>7,057</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>



**Obr. 61.** Mastek (tlc) s chloritem (chl) a spinelem (spi), vzorek H5, BSE-foto P. Sulovský

## Plagioklas

Plagioklas není stabilní minerál a lehce podléhá přeměně. Byl zjištěn jen ve vzorku H4 EDX analýzou (tab. 18) a byl klasifikován jako bazický plagioklas - **labradorit** (66,1 % An a 33,9 % Ab).

**Tab. 18.** EDX analýza plagioklasu ve vzorku H4 v hm. %, přepočteno na 8 kyslíků

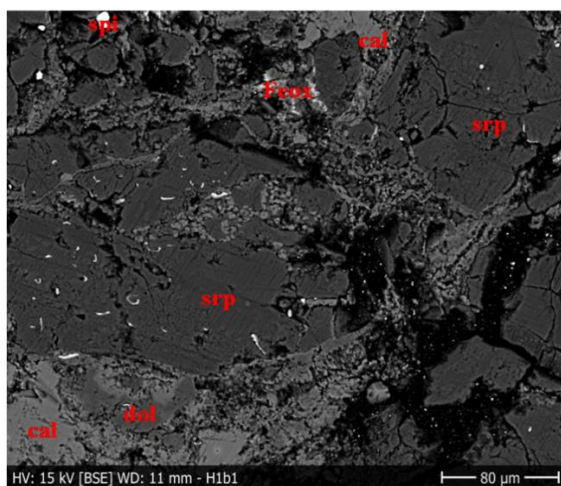
Hmot.%	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Total	Si <sup>4+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Catsum	O
<b>H4</b>	45,36	35,22	15,01	4,25	<b>99,84</b>	2,095	1,917	0,743	0,381	<b>5,136</b>	<b>8</b>

## Karbonáty

Ve vzorku H1 byla analyzována světlejší žilka představovaná karbonáty – **dolomitem a kalcitem** (obr. 62). Karbonáty se vyskytují jako druhotné minerály. Dolomit je čistý, má ve srovnání s ideálním chemickým složením mírně zvýšený obsah Ca (30,29 hm. % CaO) a snížený obsah Mg (20,91 hm. % MgO) a stopové množství Fe (0,10 hm. % FeO). Poměr Ca/Mg je roven 1. Kalcit má obvyklou izomorfní příměs Mg (0,25 hm. % MgO). Chemismus obou těchto karbonátů je uveden v tab. 19.

**Tab. 19.** EDX analýzy dolomitu a kalcitu ve vzorku H1 v hm. %, přepočteno na 6 kyslíků (CO<sub>2</sub> dopočteno podle stechiometrie)

Hmot.%	MgO	CaO	FeO	CO <sub>2</sub>	Total	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	C <sup>4+</sup>	Catsum	O
<b>Dolomit</b>	20,91	30,29	0,10	46,66	<b>97,96</b>	0,979	1,019	0,003	2	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>Kalcit</b>	0,25	56,36	0	42,9	<b>99,51</b>	0,003	1,997	0	2	<b>4</b>	<b>6</b>



**Obr. 62.** Žilkovité útvary karbonátů (dol, cal), obklopující agregáty minerálů serpentínové skupiny (srp); spi – spinel, vzorek H1, BSE-foto P. Sulovský

## Fluorokarbonát

Byla zjištěna také přítomnost **fluorokarbonátu** LREE s převahou Ce; bližší určení na základě neúplné analýzy EDX (tab. 20) není možné.

**Tab. 20.** EDX analýza fluorokarbonátu ve vzorku H1 v hm. % (normalizována na 100 %; řada dalších REE nestanovena, stejně jako CO<sub>2</sub>)

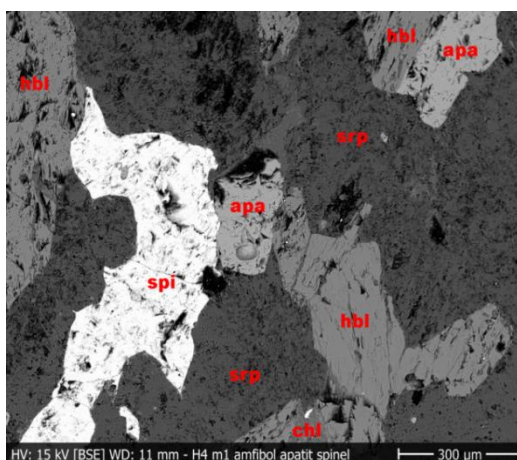
Hmot.%	F	La	Ce	Total	F <sup>-</sup>	La <sup>3+</sup>	Ce	Total
H1	2,53	22,02	75,46	100	0,6	0,61	2,06	3,27

## Apatit

Apatit se objevuje v asociaci s minerály serpentínové skupiny (na obr. 63 v BSE tmavší barvy), Cr-spinelem (v BSE bílé barvy, nepravidelného tvaru), amfibolem a chloritem a je automorfně omezen. Apatit podle chemického složení odpovídá fluorapatitu (F - 0,725 apfu) s nízkým obsahem Cl (0,116 apfu). Chemismus apatitu je uveden v tab. 21.

**Tab. 21.** EDX analýza apatitu ve vzorku H4 v hm. %, přepočteno na 8 kationtů

Vzorek č.	H4/apatit
CaO	52,64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	43,88
Cl	0,8
F	2,68
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>
O=F, Cl	1,31
<b>TOTAL</b>	<b>98,69</b>
Ca <sup>2+</sup>	4,823
P <sup>5+</sup>	3,177
Cl <sup>-</sup>	0,116
F <sup>-</sup>	0,725
O <sup>2-</sup>	12,345
<b>CATSUM</b>	<b>8</b>
<b>ANSUM</b>	<b>13,186</b>



**Obr. 63.** Apatit (apa), amfibol (hbl), minerály serpentínové skupiny (srp) s Cr-spinelem (spi) a chloritem (chl), vzorek H4, BSE-foto P. Sulovský



## Ilmenit

Ilmenit vytváří tabulky a je idiomorfně až hypidiomorfně omezen (obr. 64). Okolo něho je vytvořen chloritový lem. Ilmenit se v akcesorickém množství vyskytl pouze u vzorku H4. Poměrně dobře odpovídá stechiometrii a byl určen EDX analýzou (tab. 22).

**Tab. 22.** EDX analýza ilmenitu ve vzorku H4 v hm. %, přepočteno na 3 kyslíky

Hmot.%	TiO <sub>2</sub>	FeO	Total	Ti <sup>4+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Catsum	O
Ilmenit	50,54	48,37	<b>98,91</b>	0,979	1,042	<b>2,021</b>	<b>3</b>

## Sulfidy

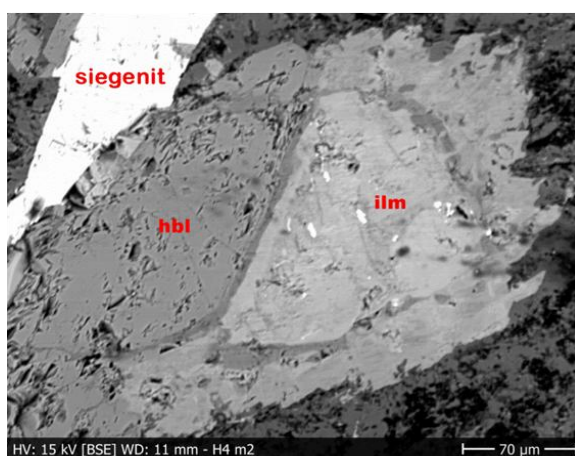
Z hlediska vazby niklu a kobaltu jsou významnými nositeli těchto prvků sulfidy. Akcesorický **sulfid Ni, Co, Fe-siegenit** řady linnéitu-polybasitu byl identifikován ve vzorku serpentinitu z lokality Hrubšice; vyskytuje se v asociaci s amfibolem a ilmenitem (obr. 64). EDX analýza (tab. 23) ukázala kromě hlavních prvků (Co, Ni a S) přítomnost Cu, který se běžně v siegenitu nevyskytuje. Empirický vzorec siegenitu je Ni<sub>1,35</sub>Co<sub>1,12</sub>Cu<sub>0,44</sub>Fe<sub>0,26</sub>S<sub>4</sub>. Anthony et al. (1992) ve svém kompendiu uvádějí tyto hodnoty: S (42,1-42,63 hm. %), Fe (0,62-3,22 hm. %) Co (13,7-26,08 hm. %), Ni (31,18-41,50 hm. %) a Cu (3,16 hm. % - pouze v jedné analýze). Ve dvou vzorcích z Mohelna byl také zjištěn **pentlandit** (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>, který se vyznačuje kolísavými poměry železa a niklu. Často vstupuje do struktury kobalt (0-15,35 hm. % Co). EDX analýzy pentlanditu jsou uvedeny v tab. 24.

**Tab. 23.** EDX analýza siegenitu ve vzorku H4, přepočteno na 4 atomy S

Vzorek č.	hm. %	apfu (S=4)
S	40,39	4
Fe	4,54	0,26
Co	20,87	1,12
Ni	24,91	1,35
Cu	8,77	0,44
<b>TOTAL</b>	<b>99,50</b>	<b>7,17</b>

**Tab. 24.** EDX analýzy pentlanditu ve vzorcích M1, M2, přepočteno na 8 atomů S

Vzorek č.	M1/1	M1/2	M2/1	M2/2	M2/3
S	32,65	32,65	33,34	32,05	32,66
Fe	31,11	29,8	27,79	26,7	20,21
Co	1,42	1,72	0	0	15,35
Ni	31,57	32,34	37,32	36,53	28,45
<b>TOTAL</b>	<b>96,75</b>	<b>96,51</b>	<b>98,45</b>	<b>95,28</b>	<b>96,68</b>
S	47,65	47,76	47,85	47,6	47,92
Fe	26,06	25,03	22,9	22,77	17,02
Co	1,12	1,37	0	0	12,26
Ni	25,16	25,84	29,25	29,63	22,8
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Obr. 64.** Siegenit s amfibolem (hbl) a ilmenitem (ilm), vzorek H4, BSE-foto P. Sulovský

## Slitina Fe a Ni

Slitiny jsou známy jak z ultramafit, tak i serpentinitů. Slitina byla zjištěna pouze ve vzorku M2. Chemická analýza je uvedena v tab. 25.

**Tab. 25.** Chemická analýza NiFe slitiny ve vzorku M2 v hm. %

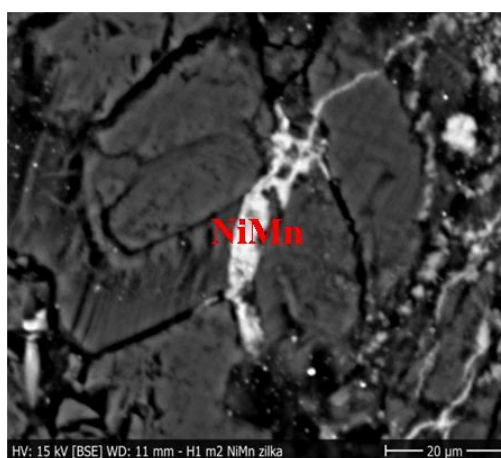
Vzorek č.	M2
Fe	17,67
Ni	80,65
<b>TOTAL</b>	<b>98,32</b>

## Ernienickelit

Pouze v jednom vzorku z Hrubšic (obr. 65) byla nalezena tenká žilka ernienickelitu  $\text{NiMn}^{4+}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , který byl uznán IMA v r. 1997. Tento výskyt na lokalitě Hrubšice je třetí na světě (po masivu Kempirsay na Urale a typové lokalitě Siberia v Kalgoorlie v západní Austrálii, kde vyplňoval dutiny v lateritizovaném dunitu). Žilka ernienickelitu má délku 0,04 mm a šířku 0,01 mm. Tato žilka se vyznačuje vysokým obsahem Mn, který dosahuje 48,43 hm. % MnO. Obsah Ti je minoritní (0,21 hm. %  $\text{TiO}_2$ ) a koncentrace NiO je 8,5 hm. %. Ernienickelit byl určen EDX analýzou (tab. 26).

**Tab. 26.** EDX analýza žilky ernienickelitu ve vzorku H1 v hm. %, přepočteno na 7 kyslíků

Vzorek č.	H1/žilka
MgO	4,14
SiO <sub>2</sub>	5,31
CaO	4,97
TiO <sub>2</sub>	0,21
MnO	48,43
NiO	8,5
<b>TOTAL</b>	<b>71,56</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,615
Si <sup>4+</sup>	0,529
Ca <sup>2+</sup>	0,53
Ti <sup>4+</sup>	0,016
Mn <sup>2+</sup>	4,085
Ni <sup>2+</sup>	0,681
<b>CATSUM</b>	<b>6,456</b>
<b>O</b>	<b>7</b>



**Obr. 65.** Žilka ernienickelitu  $\text{NiMn}^{4+}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , vzorek H1, BSE-foto P. Sulovský

## 12. Hadcové půdy

### 12.1 Zrnitostní analýza

U Hrubšic (tab. 27) bylo největší množství vysušeného vzorku půdy u frakce 2 – 1 mm (38,3 hmot. %) a nejmenší u zrnitostní frakce <0,125 mm (7,4 hmot. %). Naproti tomu u Mohelna (tab. 28) je patrné, že největší hmotnost vysušeného vzorku půdy byla u frakce 1 – 0,5 mm (37,2 hmot. %) a nejmenší množství půdy bylo stejně jako u Hrubšic u frakce <0,125 mm (3,6 hmot. %).

**Tab. 27.** Zrnitostní frakce z Hrubšic

půda z Hrubšic	zastoupení (hmot. %)
2 – 1 mm	38,3
1 – 0,5 mm	29,0
0,5 – 0,25 mm	17,1
0,25 – 0,125 mm	8,3
<0,125 mm	7,4

**Tab. 28.** Zrnitostní frakce z Mohelna

půda z Mohelna	zastoupení (hmot. %)
2 – 1 mm	31,6
1 – 0,5 mm	37,2
0,5 – 0,25 mm	21,0
0,25 – 0,125 mm	6,7
<0,125 mm	3,6

### 12.2 Ztráta půdy žiháním

Určení organické hmoty v půdě bylo provedeno vyžiháním navážky. Do porcelánových misek bylo dáno 10 g navážky, přesně zvážené a vloženo do spalovací pece. Poté došlo k žihání při teplotě 900 °C. Po spálení organických látek byly misky s půdou ochlazeny v exsikátoru a opět zváženy. Tato metoda patří do přímých metod.

Ztrátu půdy žiháním také způsobují karbonáty (část vody v minerálech serpentínové skupiny odchází).

Ztráta žiháním byla vypočítána v procentech podle následujícího vzorce:

$$m1 \cdot 100 / m$$

m1 – úbytek hmotnosti

m – navážka vzorku

Z tab. 29 je patrné, že u Hrubšice byla největší ztráta žíháním stanovena u frakce <0,125 mm (27,94 %), zatímco u stejné frakce z Mohelna je tomu přesně naopak (13,05 %). Největší ztráta u Mohelna (tab. 30) byla zjištěna u frakce 0,5 – 0,25 mm (22,50 %). Nejnižší ztráta u Hrubšice byla odhalena u frakce 1 – 0,5 mm (9,13 %).

U frakce 2 – 1 mm z obou lokalit je ztráta žíháním v úzkém rozmezí, liší se pouze o 1,51 %.

**Tab. 29.** Ztráta žíháním (hmot. %): Hrubšice **Tab. 30.** Ztráta žíháním (hmot. %): Mohelno

	frakce (mm)	L. O. I. (%)		frakce (mm)	L. O. I. (%)
	<b>Hrubšice</b>	2 – 1		21,51	<b>Mohelno</b>
1 – 0,5		9,13	1 – 0,5	18,85	
0,5 – 0,25		14,76	0,5 – 0,25	22,50	
0,25 – 0,125		9,32	0,25 – 0,125	21,03	
<0,125		27,94	<0,125	13,05	

Po žíhání následovala ruční separace slíd a spinelidů. Na podložku byl nasypán vzorek půdy a zrna se ručně vybírala pod mikroskopem pomocí preparační jehly nebo také jednovlasého štětečku. Tato metoda je, co se týká času, poměrně náročná.

### 12.3 Chemické složení hadcových půd

Rentgenová fluorescence byla použita k určení makroprvků i stopových prvků práškových preparátů z Hrubšice i Mohelna. Limity stanovení se udávají v řádu ppm.

**Tab. 31.** Chemické analýzy (ED-XRF) půd z lokality Hrubšice

frakce půdy	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	obsah v hm. %									obsah v ppm				
Hrubšice nad 2 mm	26,38	0,10	2,44	7,49	16,38	1,48	0,11	0,11	0,07	961	32	2027	29	67
Hrubšice pod 2 mm	21,99	0,18	3,60	6,16	10,20	2,70	0,28	0,13	0,38	884	30	1208	28	90

**Tab. 32.** Chemické analýzy (ED-XRF) půd z lokality Mohelno

frakce půdy	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	obsah v hm. %									obsah v ppm				
Mohelno nad 2 mm	28,35	0,04	2,43	7,53	17,76	0,86	0,09	0,09	0,07	701	25	2439	32	55
Mohelno pod 2 mm	21,74	0,33	4,42	3,81	4,08	2,47	0,94	0,09	0,23	63	9	169	21	81

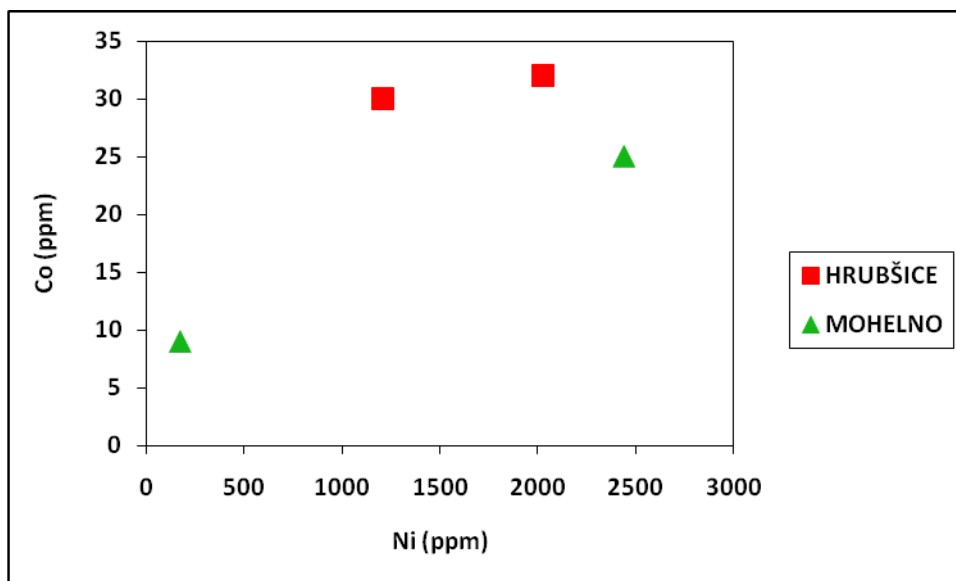
Obsahy MgO u frakce půdy nad 2 mm z lokality Hrubšice a Mohelno (tab. 31 a 32) jsou poměrně vysoké a stálé (16,38-17,76 hm. %). Jinak je tomu u frakce půdy pod 2 mm, kde jsou koncentrace MgO (4,08-10,20 hm. %) velmi proměnlivé. Obsahy Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7,49-7,53 hm. %) u nadsítné frakce jsou relativně stabilní a vyšší u obou lokalit, než je tomu u podsítné frakce (3,81-6,16 hm. %). Koncentrace Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u nadsítné frakce z Hrubšic a Mohelna se téměř shodují (2,43-2,44 hm. %) a jsou nižší oproti podsítné frakci (3,60-4,42 hm. %). Koncentrace TiO<sub>2</sub> u nadsítné frakce se pohybují v rozmezí 0,04-0,10 hm. % a u podsítné frakce jsou vysoké (0,18-0,33 hm. %). U všech frakcí z obou lokalit jsou obsahy CaO (0,86-2,70 hm. %) nízké a poměr Ca:Mg je vždy <1 (většinou nižší než 0,4). Obsahy K<sub>2</sub>O jsou u všech frakcí nízké, ale v Mohelně u podsítné frakce je koncentrace vysoká (0,94 hm. %). Je to způsobeno tím, že draslík pocházel z granulitu. Obsahy MnO (0,09-0,13 hm. %) se v půdě z Hrubšic i Mohelna vyskytují ve zvýšeném množství. Obsahy SO<sub>3</sub> (0,07 hm. %) u nadsítné frakce jsou shodné, ale u podsítné frakce jsou mnohem vyšší a pohybují se od 0,23 do 0,38 hm. %.

V Hrubšicích u nadsítné frakce byl pozorován nejvyšší obsah Cr (961 ppm), kdežto v Mohelně u též frakce byl obsah Cr podstatně menší (701 ppm). V Hrubšicích u podsítné frakce byl zjištěn vysoký obsah Cr (884 ppm), ale u stejné půdní frakce z Mohelna je koncentrace Cr mnohokrát menší (63 ppm). Hadcová půda z Mohelna s frakcí nad 2 mm je bohatší Ni (2439 ppm) než shodná frakce z Hrubšic (2027 ppm). Půda z Hrubšic s frakcí pod 2 mm se také vyznačuje vysokým zastoupením Ni (1208 ppm), kdežto frakce z Mohelna má více než sedmkrát menší obsah Ni (169 ppm). Nízké obsahy Cr a Ni u podsítné frakce z Mohelna jsou zapříčiněny organikou a minerály z granulitu, které tyto prvky neobsahují. Nadsítná frakce obsahuje zbytky serpentinitu, a proto obsahy Cr a Ni jsou vysoké (vliv granulitového materiálu je daleko menší).

Obsah Cu u nadsítné frakce z obou zájmových lokalit se pohybuje v rozmezí od 29 do 32 ppm a u podsítné frakce od 21 do 28 ppm. Nejvyšší obsah Zn (90 ppm) byl určen v Hrubšicích u podsítné frakce a nejnižší v Mohelně (55 ppm) u nadsítné frakce. Koncentrace Co (32 ppm) u nadsítné frakce z Hrubšic dosahuje nejvyšší hodnoty a též frakce z Mohelna se příliš neliší v obsahu Co (25 ppm). Nejnižší koncentrace Co (9 ppm) byla identifikována u podsítné frakce z Mohelna, avšak u stejné frakce z Hrubšic množství Co výrazně roste (30 ppm). Na obr. 66 je znázorněn diagram, který udává poměr Ni/Co v hadcových půdách.

Hadcové půdy z obou lokalit se vyznačují vysokými obsahy Mg, Fe, Mn, Ni, Cr, Cu a Zn, přičemž obsahují málo Ca a K. U Hrubšic se nachází více detritických Cr-spinelů,

ale u Mohelna jich je méně. Tyto Cr-spinely jsou významným ukazatelem provenience sedimentů. Chemismus spinelů dává informace, v jakém tektonickém prostředí hornina vzniká.



**Obr. 66.** Diagram udávající poměr Ni/Co v hadcových půdách

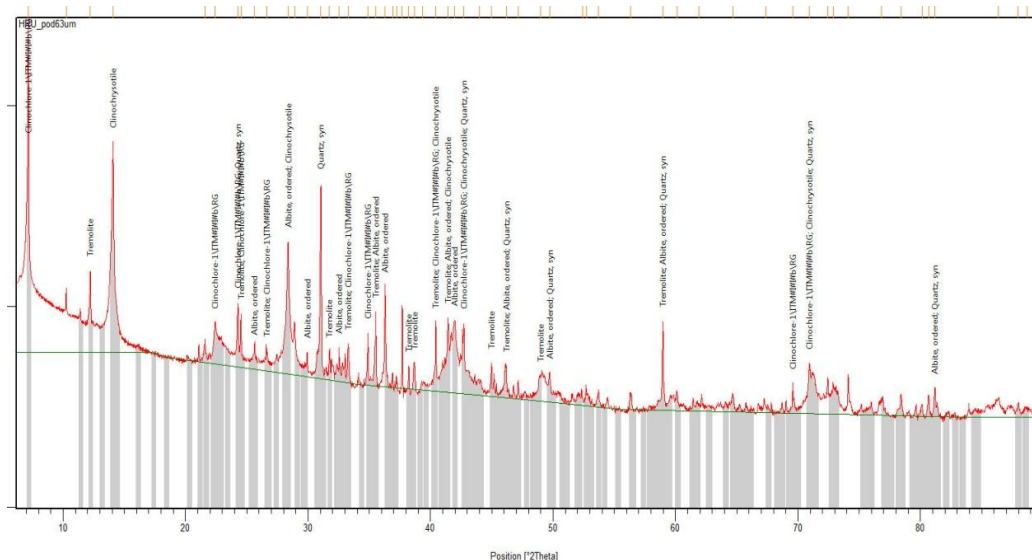
## 12.4 Minerální složení hadcových půd

Pro Rtg-difrakční analýzu byly vybrány dva vzorky hadcové půdy: půda z Hrubšic a z Mohelna.

### Půda z Hrubšic, frakce pod 63 $\mu\text{m}$

**Tab. 33.** Identifikované fáze

Ref. Code	Score	Fáze	Chemical Formula
00-046-1045	51	Křemen	$\text{SiO}_2$
00-013-0437	40	Tremolit	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
00-020-0554	35	Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
00-027-1276	27	Klinochrysofil	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
00-002-0385	17	Dafnit	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Fe}^{+3})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$
00-007-0027	13	Montmorillonit-chlorit (smíšená str.)	$\text{Na} - \text{Ca} - \text{Al} - \text{Si}_4\text{O}_{10} - \text{O}$

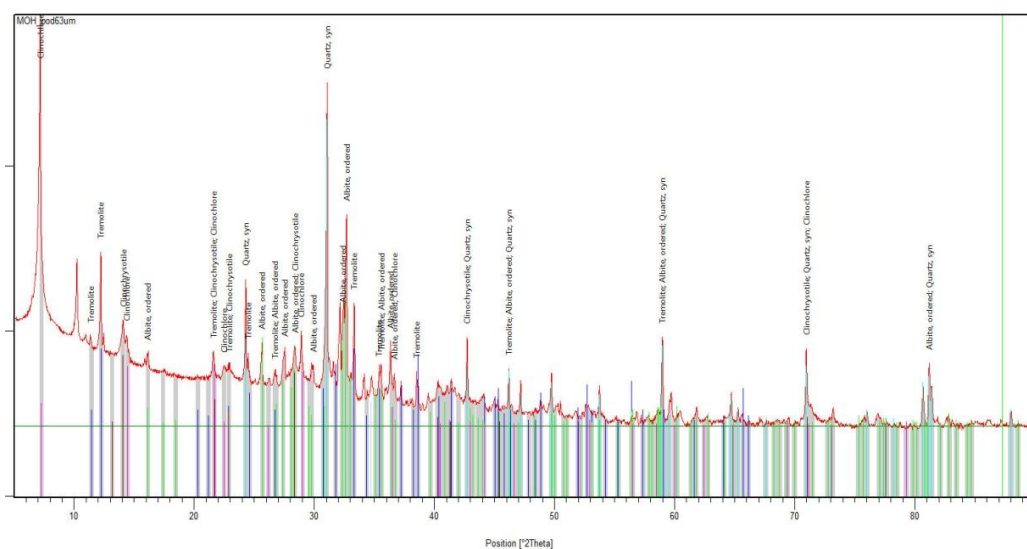


**Obr. 67.** Rtg-difrakční záznam vzorku půdy (frakce pod 63 μm) z Hrubšic s vyznačenými pozicemi píků identifikovaných fází

**Půda z Mohelna, frakce pod 63 μm**

**Tab. 34.** Identifikované fáze

Ref. Code	Score	Fáze	Chemical Formula
00-046-1045	50	Křemen	SiO <sub>2</sub>
00-013-0437	38	Tremolit	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>
00-020-0554	35	Albit	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-027-1276	27	Klinochrysofit	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
00-007-0027	16	Montmorillonit-chlorit (smíšená str.)	Na - Ca - Al - Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> -O
00-032-0469	29	Hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>



**Obr. 68.** Rtg-difrakční záznam vzorku půdy (frakce pod 63 μm) z Mohelna s vyznačenými pozicemi píků identifikovaných fází



Fázové složení podsítné frakce (pod 63  $\mu\text{m}$ ) hadcových půd z Hrubšic i Mohelna (obr. 67 a 68) se od složení serpentinitů liší přítomností minerálů, které se do půd dostaly nikoli ze serpentinitu, ale patrně z granulitu, který serpentinitová tělesa obklopují nebo do nich pronikají – křemen a albit (tab. 33 a 34). Ze serpentinitových minerálů do půdy přechází tremolit; minerály skupiny serpentinu jsou oproti zdrojovým horninám zastoupeny klinochrysoilem; z fylosilikátů je přítomen minerál s interstratifikovanou strukturou montmorillonitu a chloritu a u půdy z Hrubšic i samotný chlorit (dafnit); v téže půdě je přítomen hojnější hematit (než v půdě z Mohelna).

## ***12.5 Chemické složení minerálů studovaných hadcových půd***

Pomocí laserové ablace byly stanoveny stopové prvky ve vybraných zrnech minerálů hadcových půd z Hrubšic a Mohelna, analyzovaných předtím na elektronové mikrosondě na hlavní prvky.

### **Minerály serpentinové skupiny**

Minerály serpentinové skupiny se vyznačují vysokými obsahy Cr a Ni. Na lokalitě Hrubšice bylo stanoveno až 4698 ppm Cr a 6170 ppm Ni. V Mohelně byla koncentrace Cr (až 5175 ppm) a Ni (2165 ppm) také vysoká. Analýzy minerálů serpentinové skupiny jsou uvedeny v tab. 35.

**Tab. 35.** Výsledky analýzy minerálů serpentinové skupiny z půdy z Hrubšic (hlavní prvky stanoveny před laserovou ablací metodou EDS na mikrosondě, stopové prvky v týchž zrnech metodou LA-ICP-MS)

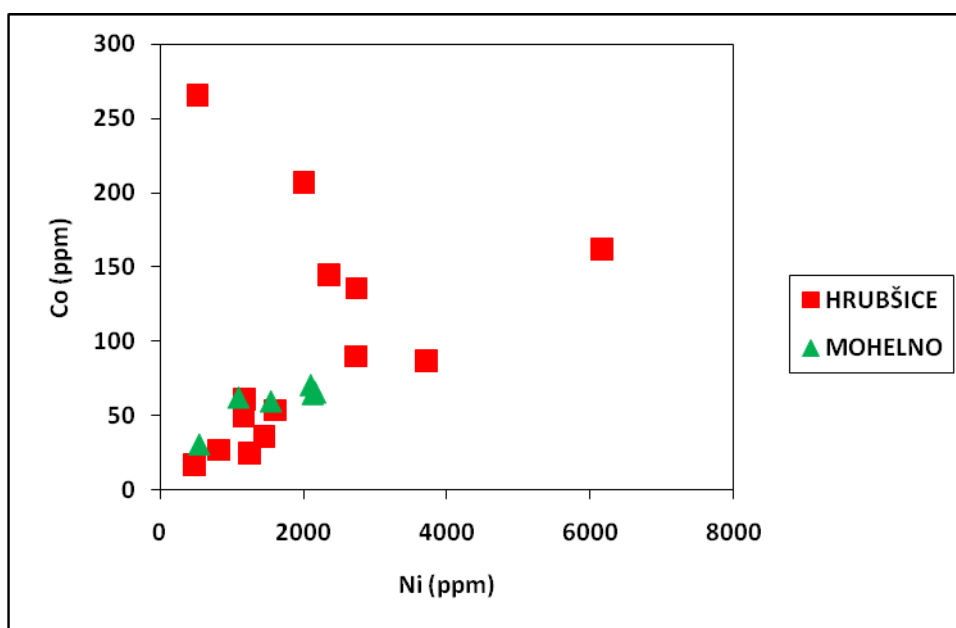
Vzorek č.	H7LA3	H7LA6	H7LA8	H7LA10	H7LA11	H7LA12	H7LA13
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0,33	0
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0
MgO	34,37	38,7	38,66	25,43	36,9	27,34	35,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3	0	0	1,43	0,65	1,67	1,25
SiO <sub>2</sub>	41,23	42,8	42,01	35,02	43,56	39,11	41,23
CaO	0	0	0	0,77	0	0	0
TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0
FeO	8,17	3,87	3,79	4,75	2,91	9,54	6,59
<b>SUMA</b>	<b>86,07</b>	<b>85,3</b>	<b>84,46</b>	<b>67,4</b>	<b>84,03</b>	<b>77,99</b>	<b>84,09</b>
Apfu na Si+Al=2							
Na <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0,031	0
K <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0	0
Mg <sup>2+</sup>	2,332	2,696	2,328	2,065	2,482	1,984	2,444
Al <sup>3+</sup>	0,123	0	0	0,092	0,035	0,096	0,069
Si <sup>4+</sup>	1,878	2	2	1,908	1,965	1,904	1,931
Ca <sup>2+</sup>	0	0	0	0,045	0	0	0
Ti <sup>4+</sup>	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,311	0,151	0,128	0,216	0,11	0,388	0,258
<b>Σkat</b>	<b>4,643</b>	<b>4,847</b>	<b>4,456</b>	<b>4,327</b>	<b>4,591</b>	<b>4,404</b>	<b>4,702</b>
<b>ΣO</b>	<b>6,581</b>	<b>6,847</b>	<b>5,456</b>	<b>6,281</b>	<b>6,574</b>	<b>6,34</b>	<b>6,668</b>
Stopové prvky (LA-ICP-MS, v ppm)							
Cr	33	42	23	<b>438</b>	<b>215</b>	<b>1040</b>	80
Co	17	90	87	27	266	36	207
Ni	475	<b>2736</b>	<b>3712</b>	821	526	<b>1453</b>	<b>2010</b>
Zn	113	65	79	52	10	30	42
Ni/Co	<b>28,3</b>	<b>30,3</b>	<b>42,7</b>	<b>30,6</b>	<b>2</b>	<b>40,1</b>	<b>9,7</b>

**Pokračování tab. 35.**

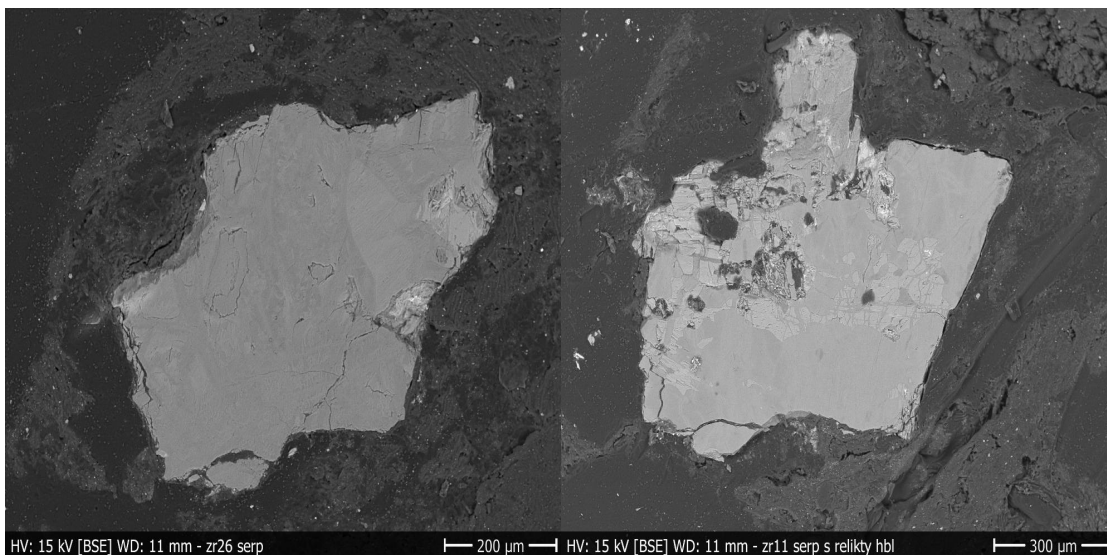
Vzorek č.	H7LA14	H7LA15 lem serp	H7LA17serp	H7LA18	H7LA20	H7LA21	H7LA22	
Na <sub>2</sub> O	0,14	0	0	0	0	0	0	
K <sub>2</sub> O	0,29	0	0	0	0	0	0	
MgO	28,97	37,07	38,16	34,49	33,4	24,26	20,03	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,83	0,74	0,85	0,63	2,15	2,89	2	
SiO <sub>2</sub>	38,69	41,87	43,05	42,18	41,75	44,24	45,87	
CaO	0	0	0	0,2	0	0,58	0,9	
TiO <sub>2</sub>	0,83	0	0	0	0	0	0	
FeO	6,35	5,2	2,78	6,47	7,71	10,85	12,4	
<b>SUMA</b>	<b>83,1</b>	<b>84,87</b>	<b>84,84</b>	<b>83,97</b>	<b>85</b>	<b>82,82</b>	<b>81,2</b>	
<b>Apfu na Si+Al=2</b>								
Na <sup>+</sup>	0,011	0	0	0	0	0	0	
K <sup>+</sup>	0,015	0	0	0	0	0	0	
Mg <sup>2+</sup>	1,802	2,585	2,582	2,395	2,248	1,518	1,238	
Al <sup>3+</sup>	0,385	0,041	0,045	0,035	0,114	0,143	0,098	
Si <sup>4+</sup>	1,615	1,959	1,955	1,965	1,886	1,857	1,902	
Ca <sup>2+</sup>	0	0	0	0,01	0	0,026	0,04	
Ti <sup>4+</sup>	0,026	0	0	0	0	0	0	
Fe <sup>2+</sup>	0,222	0,203	0,106	0,252	0,291	0,381	0,43	
<b>Σkat</b>	<b>4,077</b>	<b>4,789</b>	<b>4,688</b>	<b>4,657</b>	<b>4,54</b>	<b>3,925</b>	<b>3,708</b>	
<b>ΣO</b>	<b>5,897</b>	<b>6,769</b>	<b>6,665</b>	<b>6,64</b>	<b>6,482</b>	<b>5,853</b>	<b>5,659</b>	
<b>Stopové prvky (LA- ICP-MS, v ppm)</b>								<b>Medián</b>
Cr	259	16	<b>409</b>	6	<b>350</b>	<b>4698</b>	105	<b>160</b>
Co	25	136	54	61	50	145	162	<b>74</b>
Ni	<b>1246</b>	<b>2742</b>	<b>1602</b>	<b>1180</b>	<b>1164</b>	<b>2354</b>	<b>6170</b>	<b>1528</b>
Zn	77	43	28	107	38	165	762	<b>59</b>
Ni/Co	<b>50,5</b>	<b>20,2</b>	<b>29,8</b>	<b>19,2</b>	<b>23,3</b>	<b>16,3</b>	<b>38,1</b>	

Pokračování tab. 35.

Vzorek č.	M3zr11a nal13	M3zr9an al14	M3zr15a nalX	M3zr23a nal19	M3zr26a nal20	M3zrXan alM1-3 rastr	
MgO	26,47	37,78	37,66	32,89	29,97	36,73	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,41	0,61	0	3,06	3,38	0	
SiO <sub>2</sub>	42,66	40,24	42,7	40,18	40,37	40,69	
CaO	0,31	0	0	0	0	0	
FeO	12,03	5,73	4,68	6,53	9,64	8,66	
Suma	<b>82,88</b>	<b>84,36</b>	<b>85,04</b>	<b>82,66</b>	<b>83,36</b>	<b>86,08</b>	
<b>Apfu na sumu Si+Al=2</b>							
Mg <sup>2+</sup>	1,780	2,750	2,629	2,239	2,014	2,691	
Al <sup>3+</sup>	0,075	0,035	0,000	0,165	0,180	0,000	
Si <sup>4+</sup>	1,925	1,965	2,000	1,835	1,820	2,000	
Ca <sup>2+</sup>	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe <sup>2+</sup>	0,454	0,234	0,183	0,249	0,364	0,356	
Σkat	<b>4,249</b>	<b>4,984</b>	<b>4,812</b>	<b>4,489</b>	<b>4,378</b>	<b>5,047</b>	
ΣO	<b>6,212</b>	<b>6,966</b>	<b>6,812</b>	<b>6,406</b>	<b>6,288</b>	<b>7,047</b>	
<b>Stopové prvky (LA-ICP-MS)</b>							<b>Medián</b>
Cr (ppm)	5175	1278	1962,2	4078	1109	3526	<b>2744</b>
Ni (ppm)	1546	2130	1092,8	544	2103	2165	<b>1825</b>
Co (ppm)	60	65	62,6	31	71	66	<b>64</b>
Ni/Co	<b>25,8</b>	<b>32,8</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>29,6</b>	<b>32,8</b>	

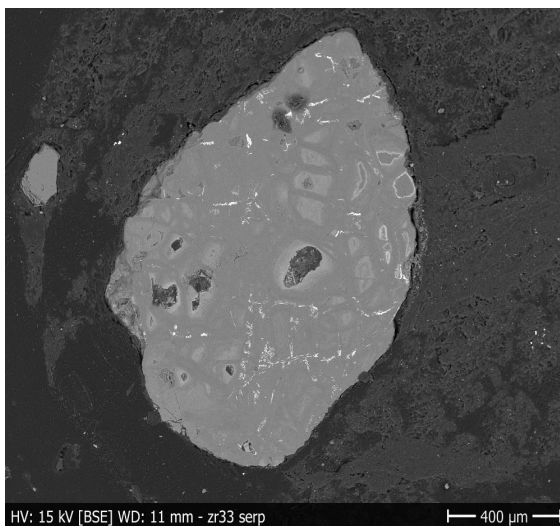


Obr. 69. Diagram udávající poměr Ni/Co v zrnech minerálů hadcových púd



**Obr. 70.** Minerály serpentínové skupiny (srp), vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 71.** Serpentin (srp) s relikty amfibolu (hbl), vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 72.** Minerály skupiny serpentínu (srp), vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský

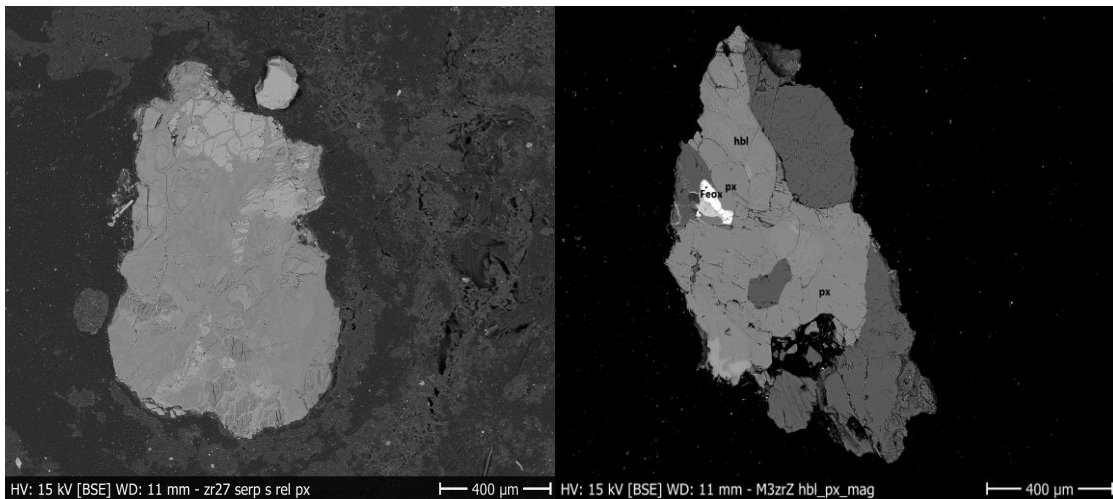
Minerály serpentínové skupiny (obr. 70 a 72) se vyskytují v asociaci s relikty amfibolu (obr. 71). Na obr. 69 je znázorněn diagram udávající poměr Ni/Co v zrnech minerálů půd z Hrubšic i Mohelna. V analýze H7LA14 minerálů serpentínové skupiny z hadcové půdy z Hrubšic je vysoký poměr Ni/Co.

## Pyroxeny

Relikty pyroxenu se vyskytují v asociaci s minerály serpentinové skupiny (obr. 73) nebo také s amfibolem a magnetitem (obr. 74). V klasifikačním diagramu (obr. 75) podle Morimota et al. (1988) se analyzovaný pyroxen zobrazil v poli (klino)enstatitu ( $\text{En}_{88,68}$ ), který se řadí do podskupiny Mg-Fe pyroxenů, vyznačuje se nízkým obsahem Al (1,53 hm. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a stopovým obsahem Mn (0,14 hm. % MnO). U tohoto pyroxenu byl laserovou ablací zjištěn vysoký obsah Cr (625,2 ppm) a Co (457,6 ppm). Pyroxen byl přítomen v hadcové půdě z Hrubšic, ale v hornině byl identifikován jen u Mohelna. EDX analýza je uvedena v tab. 36.

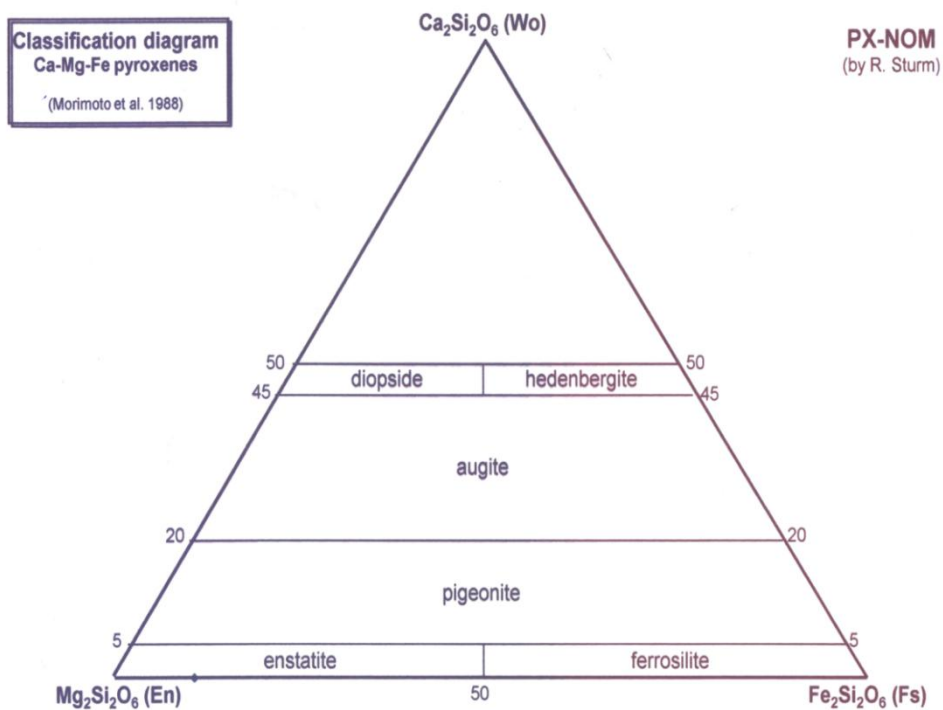
**Tab. 36.** Výsledky analýzy pyroxenu (88,7% enstatitové, 11,3% ferrosilitové složky) z půdy z Hrubšic (hlavní prvky stanoveny před laserovou ablací metodou EDS na mikrosondě, stopové prvky v témž zrnu metodou LA-ICP-MS)

Vzorek č.	H7LA7a
MgO	33,97
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,53
$\text{SiO}_2$	56,79
FeO	7,59
MnO	0,14
<b>SUMA</b>	<b>100,02</b>
<b>Apfu na 6 kyslíků</b>	
$\text{Mg}^{2+}$	1,752
$\text{Al}^{3+}$	0,062
$\text{Si}^{4+}$	1,965
$\text{Fe}^{2+}$	0,22
$\text{Mn}^{2+}$	0,004
$\Sigma\text{kat}$	<b>4,004</b>
$\Sigma\text{O}$	<b>6</b>
<b>Stopové prvky (ppm)</b>	
Cr	<b>625,2</b>
Ni	48,1
Co	<b>457,6</b>
Zn	53,3



**Obr. 73.** Minerály serpentínové skupiny s relikty pyroxenu, vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 74.** Pyroxen (px) s amfibolem (hbl) a magnetitem (mag), vzorek M3, BSE-foto P. Sulovský



**Obr. 75.** Klasifikační diagram pyroxenů podle Morimota et al. (1988)

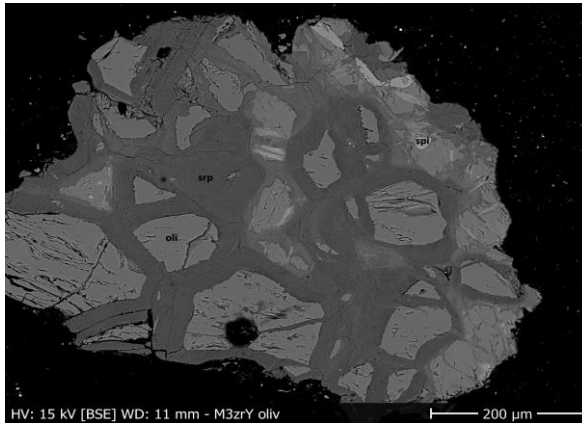
## Olivín

Olivín je idiomorfně omezen a vyskytuje se s minerály serpentinové skupiny a Cr-spinelem (obr. 76). Na mikrosondě bylo analyzováno několik zrn. V olivínu dominuje forsteritová složka (okolo 90 %) nad fayalitovou (okolo 10 %) a minoritní je zastoupení tefroitové složky (0,04-0,12 hm. % MnO). Je nutné zdůraznit, že olivín v hadcové půdě z Hrubšic i Mohelna má velkou roli, jako minerální nositel Ni (1602,5-4180 ppm). EDX analýzy forsteritů jsou uvedeny v tab. 37.

**Tab. 37.** Výsledky analýzy olivínů z půdy z Hrubšic a Mohelna (hlavní prvky stanoveny před laserovou ablací metodou EDS na mikrosondě, stopové prvky v týchž zrnech metodou LA-ICP-MS)

Vzorek č.	H7LA15	H7LA17	M3zrY ol1	M3zrY ol2	M3-24
<b>MgO</b>	47,6	48,23	48,72	48,95	48,02
<b>SiO<sub>2</sub></b>	40,8	41,2	40,52	41,02	40,63
<b>FeO</b>	10,06	9,12	10,05	10,01	10,15
<b>MnO (LA)</b>	0,12	0,06	0,06	0,08	0,04
<b>NiO (LA)</b>	0	0	0,53	0,35	0,48
<b>SUMA</b>	<b>98,58</b>	<b>98,61</b>	<b>99,88</b>	<b>100,41</b>	<b>99,32</b>
<b>apfu na 4 kyslíky</b>					
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	1,762	1,776	1,787	1,783	1,77
<b>Si<sup>4+</sup></b>	1,013	1,017	0,997	1,002	1,005
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	0,209	0,188	0,207	0,204	0,21
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001
<b>Ni<sup>2+</sup></b>	0	0	0,011	0,007	0,01
<b>Σkat</b>	<b>2,987</b>	<b>2,982</b>	<b>3,003</b>	<b>2,998</b>	<b>2,996</b>
<b>ΣO</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Stopové prvky (LA-ICP-MS, v ppm)</b>					
<b>Cr</b>	16,3	409,2	8,7	4,4	19,1
<b>Ni</b>	<b>2741,9</b>	<b>1602,5</b>	<b>4180</b>	<b>2779</b>	<b>3766</b>
<b>Co</b>	135,9	53,8	142,4	179,8	112,1
<b>Endmembers</b>					
<b>Fo</b>	89,3	90,4	89,6	89,6	89,3
<b>Fa</b>	10,6	9,6	10,4	10,3	10,6
<b>Tf</b>	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1





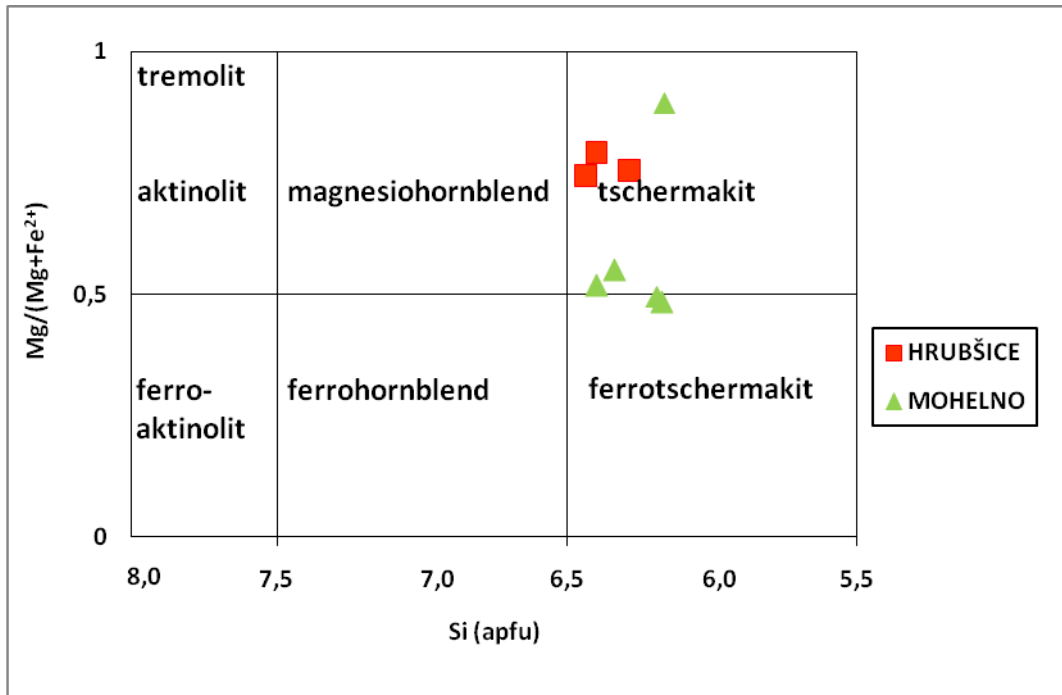
**Obr. 76.** Olivín (ol) s minerály serpentínové skupiny (srp) a Cr-spinelem (spi), vzorek M3, BSE-foto P. Sulovský

## Amfiboly

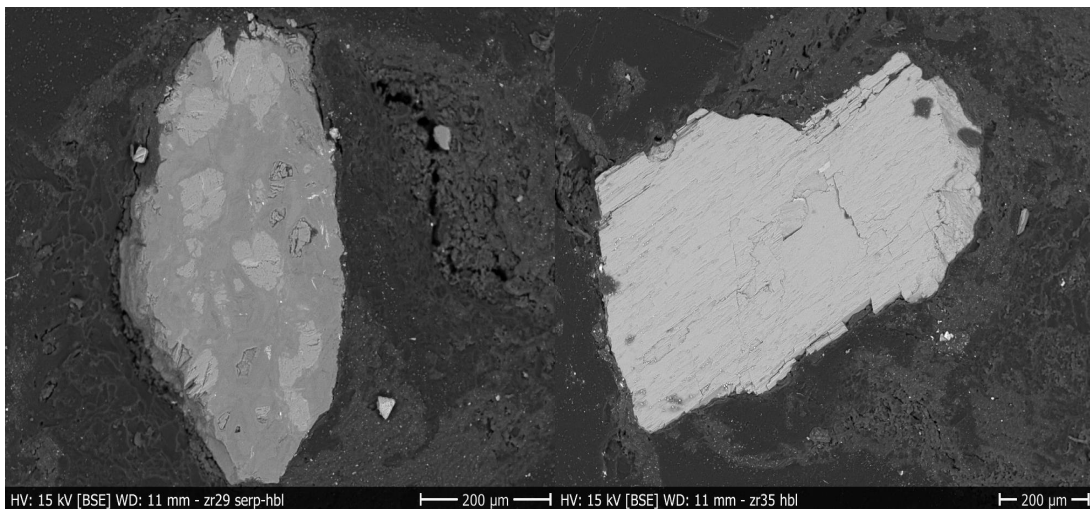
Amfibol (obr. 79) se vyskytuje v asociaci s minerály serpentínové skupiny (obr. 78), s plagioklasem (obr. 80) nebo se může jednat o chrómem bohatý amfibol z Mohelna (obr. 81). Vysoké koncentrace Cr a Ni jsou spjaty s výskytem amfibolů. Největší hodnoty dosahuje Cr ve vzorku M3 v zrně 17 (4452 ppm) a Ni ve vzorku M3 v zrně 21 (4180 ppm). V klasifikačním diagramu (obr. 77) podle Leakeho et al. (1977) se analyzované amfiboly promítly v poli tschermakitu a ferrotschermakitu. Analýzy amfibolů jsou uvedeny v tab. 38.

**Tab. 38.** Výsledky analýzy amfibolů z půdy z Hrubšic (hlavní prvky stanoveny před laserovou ablací metodou EDS na mikrosondě, stopové prvky v týchž zrnech metodou LA-ICP-MS)

Vzorek č.	H7LA1	H7LA5	H7LA16	H7LA19	M3zr21 a8	M3zr17 a10	M3zr4 a16	M3zr3 a17	M3zr18 a18
Na <sub>2</sub> O	0	2,07	2,74	1,95	1,12	1,42	1,23	1,4	2,33
K <sub>2</sub> O	0	0	0,41	0,42	0,3	0,5	0,56	0,42	0
MgO	6,16	16,52	15,06	15,97	10,62	9,47	9,7	11,65	16,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>21,04</b>	11,36	11,77	10,44	10,43	12,23	11,87	11,17	14,74
SiO <sub>2</sub>	38,02	45,75	43,78	45,88	43,17	41,55	41,59	44,41	44,83
CaO	9,87	10,92	10,46	10,45	9,95	10,4	10,71	10,24	11,83
TiO <sub>2</sub>	0	0,55	0,69	0,83	0,62	0,76	0,82	0,76	0,19
MnO	0	0	0	0	0,39	0,16	0,26	0,34	1,02
FeO	23,01	7,82	8,77	9,88	17,52	18,09	17,59	17,08	3,55
<b>TOTAL</b>	<b>98,1</b>	<b>94,98</b>	<b>93,68</b>	<b>95,82</b>	<b>94,12</b>	<b>94,58</b>	<b>94,33</b>	<b>97,47</b>	<b>95,39</b>
<b>apfu na 22 kyslíků</b>									
Na <sup>+</sup>	0	0,561	0,762	0,53	0,322	0,409	0,355	0,387	0,621
K <sup>+</sup>	0	0	0,075	0,075	0,057	0,095	0,106	0,076	0
Mg <sup>2+</sup>	1,327	3,444	3,221	3,338	2,346	2,097	2,152	2,477	3,465
Al <sup>3+</sup>	3,584	1,873	1,991	1,725	1,822	2,141	2,082	1,878	2,389
Si <sup>4+</sup>	5,494	6,399	6,282	6,434	6,397	6,173	6,19	6,334	6,165
Ca <sup>2+</sup>	1,528	1,637	1,608	1,57	1,58	1,655	1,708	1,565	1,743
Ti <sup>4+</sup>	0	0,058	0,074	0,088	0,069	0,085	0,092	0,082	0,02
Mn <sup>2+</sup>	0	0	0	0	0,049	0,02	0,033	0,041	0,119
Fe <sup>2+</sup>	2,781	0,915	1,052	1,159	2,171	2,248	2,189	2,037	0,408
Σkat	<b>14,714</b>	<b>14,887</b>	<b>15,067</b>	<b>14,919</b>	<b>14,812</b>	<b>14,923</b>	<b>14,908</b>	<b>14,877</b>	<b>14,931</b>
ΣO	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>Stopové prvky (LA-ICP-MS, v ppm)</b>									
Cr	1,4	<b>778,6</b>	86	83,8	8,7	<b>4452</b>	0,3	70,1	19,1
Ni	0	<b>329,2</b>	210,4	204,6	<b>4180</b>	892	0	64,5	<b>3766</b>
Co	22,7	33,9	32,9	37,1	142,4	62,5	0	16	112,1
Zn	28,3	54,7	54,7	79,4	0	0	0	0	0

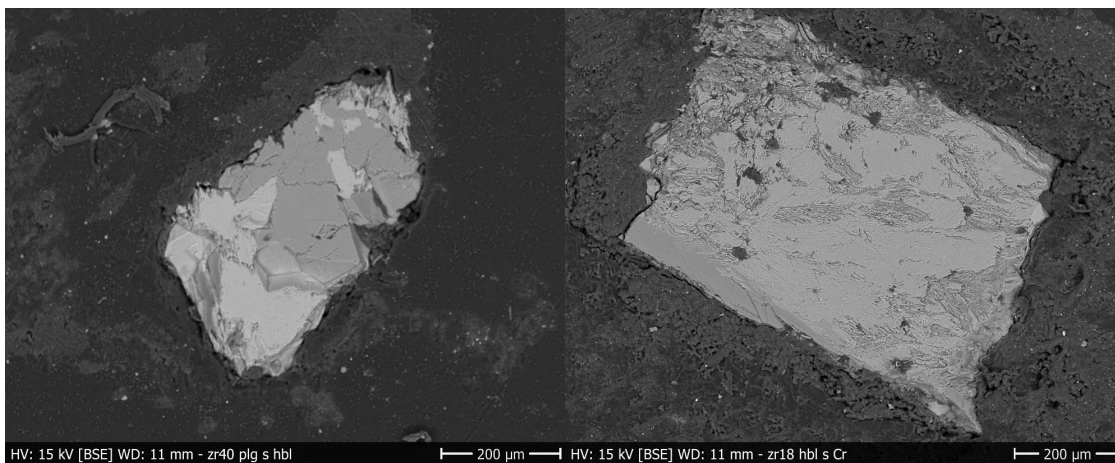


**Obr. 77.** Klasifikační diagram amfibolů podle Leakeho et al. (1977)



**Obr. 78.** Amfibol a minerály serpentínové skupiny, vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský

**Obr. 79.** Amfibol (hbl), vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský



<b>Obr. 80.</b> Amfibol (hbl) s plagioklasem (pl), vzorek H7, BSE-foto P. Sulovský	<b>Obr. 81.</b> Amfibol (hbl) s Cr, vzorek M3, BSE-foto P. Sulovský
--	---

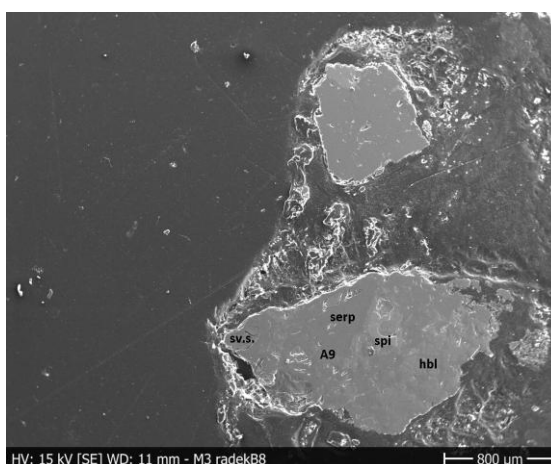
## Spinelidy

Spinel je omezen idiomorfne a byl pozorován s minerály serpentínové skupiny a amfibolem (obr. 82).

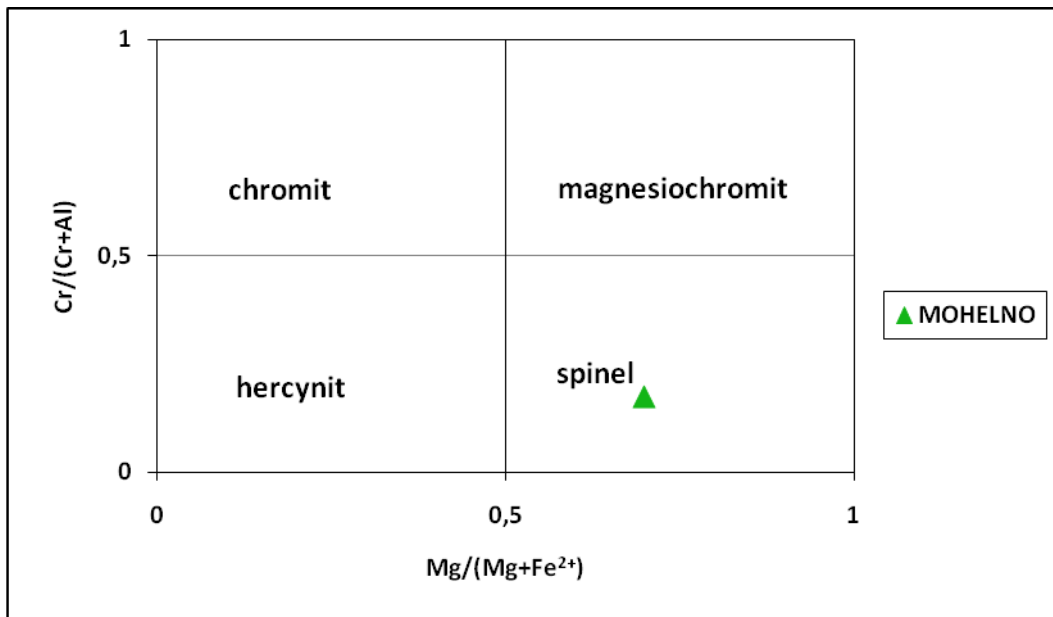
Spinel zjištěný ve vzorku půdy z Mohelna se vyskytuje v akcesorickém množství, stejně jako v hornině. Chemicky spadá do řady spinel (obr. 83). Ve stopovém množství je zastoupeno  $Fe^{3+}$  (1,93 hm. %  $Fe_2O_3$ ). Při laserové ablaci se nenarazilo na žádné dostatečně velké zrno spinelu, tato analýza je z elektronové mikrosondy. Chemismus spinelů je uveden v tab. 39.

**Tab. 39.** EDX analýza Cr-spinelu ve vzorku M3 v hm. %, přepočteno na 4 kyslíky

Vzorek č.	M3zrY spi
MgO	17,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,35
FeO	13,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,93
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,85
<b>TOTAL</b>	<b>98,51</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,699
Al <sup>3+</sup>	1,619
Fe <sup>2+</sup>	0,301
Fe <sup>3+</sup>	0,04
Cr <sup>3+</sup>	0,342
<b>CATSUM</b>	<b>3,001</b>
<b>O</b>	<b>4</b>



**Obr. 82.** Spinel (spi) s minerály serpentínové skupiny (srp) a amfibolem (hbl), vzorek M3, SEI-foto P. Sulovský



**Obr. 83.** Diagram spinelidů udávající poměr  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  a  $Cr/(Cr+Al)$  ve studované hadcové půdě z Mohelna

## 13. Diskuse

Srovnání chemického složení zdrojových serpentinitů a z nich vzniklých půd ukázalo, že na obou zkoumaných lokalitách jsou obsahy MgO v podsítné (< 2 mm) frakci významně nižší, než v serpentinitu, obsahy ve frakci > 2 mm jsou hodnotám serpentinitu bližší (tab. 40). Vysvětlení je v relativně vysoké mobilitě hořčíku, který je z půdy vyplavován, přičemž vyloučení je vyšší u lokality Mohelno (39 %), než u Hrubšic (50 %). Podobný výsledek uvádí u srbských serpentinitů a půd na nich Kostic et al. (1998). Zajímavý je vyšší obsah TiO<sub>2</sub> v podsítné frakci obou půd, než u zdrojového serpentinitu. Obsah hliníku je v podsítné frakci u Mohelna srovnatelný s obsahem serpentinitu, kdežto u Hrubšic je obsah Al v podsítné frakci výrazně nižší než ve zdrojovém serpentinitu. Podobně rozdílné je i vystupování železa. U Hrubšic je obsah Fe v nadsítné frakci (kde převažují drobné úlomky serpentinitu) a hornině prakticky stejný a v podsítné frakci je o málo nižší, u Mohelna je obsah Fe v podsítné frakci méně než poloviční oproti zdrojovému serpentinitu. Obsah vápníku v Hrubšicích i Mohelně je nejvyšší v podsítné frakci a obě lokality se v jeho obsazích navzájem neliší. Obsahy manganu jsou jak u Mohelna, tak u Hrubšic nejvyšší ve zdrojovém serpentinitu. Největší rozdíl mezi oběma lokalitami je u chromu. Zatímco u Hrubšic jsou obsahy Cr v obou zrnitostních frakcích půdy vyšší (i když ne výrazně) než ve zdrojovém serpentinitu, u Mohelna je střední obsah (medián ze 4 vzorků) v serpentinitu vyšší než v nadsítné frakci půdy, a výrazně vyšší, než obsah v podsítné frakci. Tento rozdíl je jen obtížné vysvětlit významným vyluhováním tohoto prvku, protože chrom je, stejně jako u naprosté většiny serpentinitů, koncentrován ve spinelidech (chromit, chrompicotit apod.), tj. minerálů odolných ke zvětrávání. Také střední obsahy Cr ve zdrojovém serpentinitu jsou rozdílné: U Mohelna jsou vyšší, než u Hrubšic (1289 ppm oproti 721 ppm), pokud se jako střední hodnota použije medián; do něj se nepromítl extrémně vysoký obsah Cr ve vzorku H1, daný přítomností žilky s vysokým obsahem chromspinelidu. Naopak obsah Ni je u obou hornin prakticky stejný (Mohelno 2201 ppm, Hrubšice 2026 ppm), obsah v podsítné frakci je u Mohelna více než o jeden řád nižší (169 ppm), kdežto u Hrubšic je „jen“ poloviční. Nicméně to v obou případech odpovídá známé skutečnosti, že nikl je v exogenních podmínkách velmi mobilní, protože v půdách s pH < 8 tvoří rozpustný hydratovaný ion, náchylný k vyluhování (Kostic et al. 1998).

Odlišnosti v obsazích typických stopových prvků serpentinitových půd jsou dány jednak odlišnostmi v obsazích těchto prvků v půdotvorném substrátu (serpentinitu), jednak

v tom, na jaké minerály jsou tyto prvky vázány a v jakém množství jsou hlavní nositelé těchto prvků v serpentinitu přítomny. Určitou roli bude hrát i samotný charakter pedogeneze v daných lokalitách, ovlivněný mj. i místním mikroklimatem (zatímco u lomu Hrubšice byla zkoumaná půda odebrána v přilehlém lese, u Mohelna to byla otevřená krajina).

**Tab. 40.** Chemické analýzy hadcových půd a serpentinitů – Hrubšice a Mohelno

frakce půdy	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
	obsah v hmot. %										obsah v ppm			
Hrubšice >2 mm	26.38	0.10	2.44	7.49	16.38	1.48	0.11	0.11	0.07	961	32	2027	29	67
Hrubšice < 2 mm	21.99	0.18	3.6	6.16	10.2	2.7	0.28	0.13	0.38	884	30	1208	28	90
hadec Hrubšice	36.05	0.13	5.67	7.23	33.58	1.48	<0.05	0.17	<0.01	721	26	2026	33	40
Mohelno > 2 mm	28.35	0.04	2.43	7.53	17.76	0.86	0.09	0.09	0.07	701	25	2439	32	55
Mohelno < 2 mm	21.74	0.33	4.42	3.81	4.08	2.47	0.94	0.09	0.23	211	9	169	21	81
hadec Mohelno	43.75	0.13	4.35	10.45	33.94	1.46	0.20	0.13	0.25	1289	25	2201	24	56

Při vzájemném porovnání výše uvedených hodnot s údaji, které o stejných lokalitách publikuje Hruška a Bajer (2004, 2005) v novější literatuře, jsou patrné velmi výrazné rozdíly obsahů Cr, Ni a Zn. Podle zmíněných autorů obsah Cr u Biskoupek v horizontu A (11–42 cm) dosahuje hodnoty 4500 ppm, Ni 2390 ppm a Zn 540 ppm. Koncentrace Cr v půdě z Mohelna v horizontu A' (15–42 cm) byla 2600 ppm, Ni 1250 ppm a Zn 60 ppm.

Nejvíce se obsahům Cr a Ni z Hrubšic přibližuje hadcová půda z Holubova u Křemže (dle Hrušky a Bajera 2004). Obsah Cr v hadcové půdě z Holubova u Křemže v horizontu A' (12–30 cm) dosahuje 1800 ppm, Ni 2900 ppm a Zn 90 ppm.

Problematikou hadcových půd v zahraničí se zabývala celá řada autorů. Jedním z nich je Kierczak se svým kolektivem (2016), který zkoumal oblast Szklary v Polsku. Půda ve studované lokalitě je v horizontech A černá, velmi tmavě hnědá nebo hnědá a koncentrace Cr v ní je 3503 ppm, Ni 2117 ppm a Co 164 ppm.

Vzorky půdy mnou odebrané z obou lokalit byly taktéž tmavě hnědé jak v Polsku. Při srovnání s mými vzorky z Hrubšic je obsah Cr v půdě v Polsku téměř 2x vyšší a obsah Ni je výrazně nižší. Při srovnání s mými vzorky z Mohelna je obsah Cr v půdě v Polsku více než 4x vyšší, ale naopak obsah Ni je nižší.

Další autoři se zabývali serpentinitovými půdami v Polsku (Kierczak et al. 2016), v Srbsku Kostic et al. (1998), mimo Evropu (USA, Nová Kaledonie aj.) např. Oze et al.

(2004b). Všichni zmiňovaní autoři, ale i řada dalších, diskutujících geochemii chrómu v serpentinitech a půdách na nich vzniklých zmiňují zásadní roli oxidických minerálů Cr (III) pro celkovou bilanci chrómu. V podmínkách hypergeneze totiž velmi odolávají zvětrávání a v serpentinitových půdách zůstávají v této formě. Možné rozdíly mezi obsahem Cr ve zdrojovém serpentinitu a v půdě je snad možné hledat ve velikosti jeho zrn ve zvětrávajícím serpentinitu. Tam, kde jsou tyto Cr obsahující spinelidy v podobě velmi malých zrníček v serpentinitové hmotě mezi zrny serpentinitovaného olivínu či pyroxenu, je větší pravděpodobnost, že v půdním profilu dojde ke změnám v koncentraci Cr. Oze et al. (2004b) shrnuli data jiných autorů a z jimi publikovaných grafů vyplývá, že s hloubkou se koncentrace Cr snižují, což je i případ Mohelna. Nelze ovšem zanedbávat ani možnou vazbu Cr na silikáty (především fylosilikáty) a také sorpční vazby na hydroxyoxidy Fe a Mn. Významné jsou především zvýšené obsahy Cr v klinopyroxenech z mohelenského serpentinitu (0,35-1,36 hm. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), které zvětrávání (a následnému odnosu Cr v šestimocné podobě) odolávají mnohem hůře než spinelidy. To může vysvětlovat rozdíl proti lokalitě Hrubšice, kde vazba pyroxen vzhledem k jeho nepřítomnosti chybí. Chróm se také může uvolňovat z chrómem bohatého mastku a chloritu, které byly zjištěny v serpentinitu z Hrubšic.

Chróm je také vázán v serpentinitových půdách v minerálech serpentinitové skupiny. Na lokalitě Hrubšice byly v serpentinitech z půdy zjištěny metodou LA-ICP-MS střední koncentrace (medián) Cr 160 ppm, u Mohelna byl medián výrazně vyšší, a to 2774 ppm. V porovnání s dostupnými literárními údaji jsou to poměrně vysoké hodnoty – Page a Coleman (1967) uvádí 1500 ppm, avšak Oze et al. (2004b) soudí, že většinou jsou nižší. Také pyroxen analyzovaný v půdě z Hrubšic představuje významný zdroj Cr (625 ppm). Nejvyšší obsahy Cr (4452 ppm) a Ni (4180 ppm) jsou pozorovány v amfibolech z Mohelna, přičemž amfiboly v Hrubšicích jsou mnohem menším nositelem Cr (778,6 ppm) a Ni (329,2 ppm).

Všeobecně ale platí, že nejvýznamnějším zdrojem chrómu v serpentinitech a následně i v půdách z nich vzniklých jsou spinelidy. Při jejich alteraci – zatlačování - magnetitem může docházet ke vstupu významnějších množství Cr do magnetitu (Oze et al. 2004b). Tvorba magnetitu vytváří příznivé podmínky pro vznik kovových slitin Fe, Co a Ni (Coleman a Jove 1992 in Baker et al. 1992), jaké byly nalezeny i při mé práci v serpentinitu z Hrubšic.

Medián obsahů niklu v minerálech serpentinitové skupiny v půdě z Hrubšic činí 1528 ppm; v půdě z lokality Mohelno jsou v serpentinitových minerálech jen o něco vyšší



koncentrace Ni – 1825 ppm. Pokud jde o údaje publikované jinými autory, můžeme tyto obsahy srovnat např. s údaji Kierczaka et al. (2007), kteří uvádí koncentrace Ni v minerálech serpentinové skupiny v půdě řádově 4300 ppm. Hlavní zdroj niklu pro serpentinitové půdy lze spatřovat v olivínu, v němž byl u hrubšické půdy zjištěn v rozmezí 1600 – 2740 ppm, zatímco u půdy z Mohelna se pohyboval mezi 2800 a 4200 ppm.

Obsahy Co v serpentinových minerálech z hrubšické půdy (medián 74 ppm) jsou srovnatelné s obsahem v serpentinu z mohelenské půdy (64 ppm). V případě půdy z Hrubšic může být významnější část niklu vázána i na pyroxen, v němž byl dokonce kobalt v převaze nad niklem (457, resp. 48 ppm).

Obsahy Ni a Co ve zdrojových serpentinitech mohou být ovlivněny také proměnlivým zastoupením sulfidů Fe, Ni a Co – v našem případě siegenitu a pentlanditu; ty se ale v půdách nevyskytují, protože jsou při zvětrávání nestabilní.

Důležitým zdrojem Cu je siegenit (8,77 hm. %) a zdrojem Zn je magnetit (Mohelno) a Cr-spinely v obou lokalitách.

Peridotity, resp. serpentinity z nich vzniklé byly v zájmové oblasti analyzovány řadou autorů. Medaris et al. (2005) uvádějí pro serpentinit z Biskoupek průměrnou koncentraci Cr 2576 ppm, Ni 2123 ppm a Co dosahuje hodnoty 113 ppm; v Mohelně má v jejich vzorcích serpentinit průměrný obsah Cr 2695 ppm, Ni 2047 ppm a Co 108 ppm. Koncentrace toxických prvků v Hrubšicích jsou v mém případě následující: Průměrný obsah Cr je 2384 ppm, Ni 2280 ppm a Co 23 ppm (byl určen pouze ve 3 analýzách); v Mohelně průměrný obsah Cr dosahuje 1354 ppm, Ni 2002 ppm a Co 27 ppm (ve 2 analýzách nebyl detekován). Při vzájemném srovnání průměrných hodnot Cr a Ni dosahují lokality Biskoupky (Medaris) a Hrubšice podobných hodnot.

Dalším autorem zkoumajícím serpentinit ze stejné oblasti byl Quantin (2008). Jeho analýzy provedené v lokalitě Mohelno a Nové Dvory prokázaly, že skalní podklady mají vysoký obsah Cr a Ni, v některých případech byly obsahy vyšší než 3000 ppm. V lokalitě mnou studované (v Mohelně) se koncentrace Cr pohybuje v rozmezí 576-1624 ppm, což je v porovnání s Quantinem mnohem nižší. Rozdíly v obsahu Ni (1852-2201 ppm) nejsou natolik jiné. Oproti tomu koncentrace Co se velice odlišuje. Quantin uvádí hodnoty Co u Mohelna více než třikrát vyšší (92,2-96,9 ppm). Rentgenová difrakční analýza u tohoto autora ukázala přítomnost lizarditu, olivínu (forsteritu), enstatitu, diopsidu a stopová množství amfibolu, ale spinely nebyly zjištěny. Mé vzorky z Mohelna potvrdily přítomnost forsteritu, chrysotilu, enstatitu, tremolitu a antigoritu (neobsahují tedy diopsid ani lizardit).

Dalšími významnými nositeli Cr v serpentinitu z Mohelna jsou klinopyroxeny (diopsid, augit, enstatit a pigeonit) a v Hrubšicích především mastek a amfiboly (magnesiohornblend). Výše zmíněný polský autor určil sulfidy Ni a sekundární Mn a Ni-Fe oxidy jako hlavní zdroj Co v serpentinitech, ale také v minerálech spinelové skupiny. V Hrubšicích jsou největší koncentrace Co pozorovány v siegenitu (20,87 hm. % CoO) a v Mohelně v pentlanditu (1,42-15,35 hm. % CoO) a ve spinelu pouze v jedné analýze.

Bylo zjištěno, že Cr-spinely jsou největšími nositeli chrómu, a proto je vhodné srovnat, kde se zobrazují v mých vzorcích a kde u Čopjakové a Medarise. Podle Čopjakové et al. (2005) se rozptýlené a masivní Cr-spinely na lokalitě Hrubšice zobrazují nejen v poli magnesiochromitu, ale i spinelu a v Mohelně rozptýlený Cr-spinel spadá pouze do řady magnesiochromitu. Čopjaková a Houzar (2010) při dalším studiu zjistili, že masivní Cr-spinely se v Hrubšicích nečekaně zobrazily v poli spinelu, i když dříve odpovídaly chromitu a primární vtroušené Cr-spinely se promítají v poli magnesiochromitu. Dle Medarise et al. (2005) se analyzované spinely u Biskoupek i Mohelna zobrazují jen v poli spinelu. V mých analýzách se Cr-spinely zobrazují v Hrubšicích v poli chromitu a magnesiochromitu a na lokalitě Mohelno se zobrazují v poli spinelu.

## 14. Závěr

Důležitým předmětem studia byla geochemie serpentinitů a hadcových půd na lokalitě Hrubšice a Mohelno. Podle Rentgenové fluorescence byla zjištěna značná variabilita obsahu chrómu, především v serpentinitech z Hrubšic. V Mohelně byl obsah Cr nižší a stářejší. V obou lokalitách se průměrná koncentrace Ni od sebe příliš nelišila. Co se týče hadcové půdy, byla nejvyšší koncentrace Cr i Ni zjištěna u frakce půdy nad 2 mm, a to z obou lokalit. Naopak obsah Zn byl nejvyšší u podsítné frakce z Hrubšic.

RTG-difrakcí bylo potvrzeno, že na obou zájmových lokalitách byly dominantními minerálními složkami chrysotil, olivín (forsterit), tremolit, pyroxen (enstatit) a antigorit. V Hrubšicích se v serpentinitu navíc nachází další pyroxen (diopsid) a hematit. Z mineralogického hlediska u podsítné frakce na obou lokalitách převládaly minerály: tremolit, klinochrysotil, fylosilikát montmorillonit-chlorit (smíšená struktura) a křemen s albitem (ty se do půdy dostaly s největší pravděpodobností z granulitu, který serpentinitová tělesa obklopují). U půdy z Hrubšic byl identifikován i chlorit (dafnit) a hematit.

Na lokalitě Hrubšice se ve zdejších hadci poprvé v České republice nalézt **žilku ernienickelitu** s vysokým obsahem Mn (48,43 hm. % MnO) a Ni (8,5 hm. % NiO). Jedná se o třetí výskyt na světě - po Uralu a západní Austrálii. Podle elektronové mikroskopie a mikroanalýzy byly v hadci z Hrubšic a Mohelna zjištěny nejhojněji se vyskytující minerály serpentínové skupiny. Z vedlejších minerálů byly v hadci z Mohelna identifikovány pyroxeny (diopsid, augit, (klino)enstatit a pigeonit). Ve vzorcích z Mohelna byl dále zjištěn olivín, u něhož typicky převažuje forsteritová složka nad fayalitovou a je významným zdrojem Ni. Amfiboly ve vzorcích z Hrubšic jsou zastoupeny tschermakitem a magnesiohornblendem. Důležitým zdrojem Cr je právě magnesiohornblend. Z druhotných minerálů byly zjištěny chlority (klinochlor a Fe-amesit), které byly analyzovány ve dvou vzorcích z Hrubšic. Analýzami byl také v Hrubšicích potvrzen bazický plagioklas (labradorit), karbonáty (dolomit a kalcit) a fluorokarbonát LREE s převahou Ce. Významným přínosem je i výskyt **mastku** s anomálními obsahy Cr (8,62-8,89 hm. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), který nebyl dosud v české literatuře zaznamenán. Jako akcesorie byly na obou lokalitách určeny spinelidy. V Hrubšicích spinelidy chemicky spadají do pole chromit-magnesiochromit, kde chromitová komponenta převažuje nad magnesiochromitovou a na lokalitě Mohelno se zobrazují v poli spinelu. V akcesorickém množství se také vyskytuje ilmenit a apatit odpovídající fluorapatitu s nízkým obsahem Cl. Dále byl v Hrubšicích

v akcesorickém množství analyzován siegenit. Ve vzorcích z Mohelna byl také určen pentlandit a slitina Fe a Ni. V hadcových půdách byly na elektronové mikrosondě analyzovány minerály serpentínové skupiny, pyroxen, který byl klasifikován jako (klino)enstatit, olivíny, amfiboly (tschermakit a ferrotschermakit) a spinel (pouze na lokalitě Mohelno), který spadá do pole spinelu.

Na obou lokalitách bylo zjištěno, že koncentrace chrómu v mateřské hornině jsou vždy vyšší než v hadcových půdách.

## Seznam použité literatury

Alexander E. B., Coleman R. G., Keeler – Wolfe T. (2007): *Serpentine Geocology of Western North America: Geology, Soils, and Vegetation.* – Oxford University Press, New York.

Baker A. J. M., Proctor J., Reeves R. D. (1992): *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils.* – Intercept, 1 – 17. Andover, UK.

Barviř J. L. (1893): O některých serpentinech západní Moravy a horninách amfibolických je doprovázejících. – *Věst. Král. Česk. Spol. nauk, tř. math. – přír.*, 18. Praha.

Beneš K., Čech V., Hanuš V., Havlíček V., Horký R., Kalášek J., Klein V., Koutek J., Losert J., Matějovská O., Řezáč B., Soukup J., Svoboda J., Suk M., Urbánek L., Vachtl J., Vavřínová M., Vodička J., Weiss J. (1963): *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 m-33-XXI Jihlava.* – ČSAV. Praha.

Bernard J., Staněk J. (2000): *Minerály České republiky – stručný přehled.* – Academia, Praha.

Čech L., Šumpich J., Zabloudil V. (2002): Jihlavsko. In: Mackovčín P., Sedláček M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek VII. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno, Praha.*

Černý P., Povondra P. (1965): Chlorite and saponite replacing feldspars in West – Moravian desilicated pegmatites. – *Acta Univ. Carol., Suppl. 2*, 31 – 40. Praha.

Čopjaková R., Škoda R., Pertoldová J. (2005): Cr-bohaté spinely z ultramafických hornin moldanubika. – *Acta. Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 90, 89 – 98. Brno.

Čopjaková R., Houzar S. (2010): Spinely v peridotitech od Drahonína a Hrubšic. – *Minerál*, 18, 1, 40 – 42.

Garnier J., Quantin C., Martins E. S., Becquer T. (2006): Solid speciation and availability of chromium in ultramafic soils from Niquelandia, Brazil. – *Journal of Geochemical Exploration*, 88, 206 – 209.

Göttinger M. A. (1987): Mineralogy and Genesis of Vermiculite in Serpentinites of the Bohemian Massif in Austria. – *Mineralogy and Petrology*, 36, 93 – 110.

Grygar R. (2016): Geology and Tectonic Development of the Czech Republic. – In: Pánek T., Hradecký J. (eds.): *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. – Springer, Switzerland.

Holub V. F. (2002): *Obecná a magmatická petrologie*. – Karolinum, Praha.

Houzar S., Cempírek J., Hrazdil V. (2010): Výskyt spinelidů na Moravě a ve Slezsku. – *Minerál*, 18, 1, 31 – 31 – 39.

Hruška B., Bajer A. (2004): Geochemie Cr, Ni a Zn v českých a slovenských hadcových horninách a jejich zvětralinách a půdách. – Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Hruška B., Bajer A. (2005): Hadcové horniny vybraných lokalit ČR a SR, jejich mineralogie, petrografie, geochemie a podrobná charakteristika zvětralinových a půdních pokryvů. - Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Hruška B., Pokorný E. (2004): Jílové nerosty půd na hadcových horninách ČR a SR. - Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Chang-Ho Ch., Shih - Hao J., Yoshiyuki I., Heng T., Ying- Hsiou Ch., Zeng-Yei H. (2011): Pedogenic Chromium and Nickel Partitioning in Serpentine Soils along a Toposequence. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 75, 2, 659 – 668.

Jirásek J. (2007): Nový nález huntitu u Hrubšic na západní Moravě a otázka jeho vzniku. – *Acta. Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 92, 103 – 109. Brno.

Kantor J. (1955): Rudné minerály Spišsko-gemerských serpentinitov (awaruit, heazlewoodit atd.). – Geol. Sbor., 6, 302-315. Bratislava.

Kierczak J., Neel C., Bril H., Puziewicz J. (2007): Effect of mineralogy and pedoclimatic variations on Ni and Cr distribution in serpentine soils under temperate climate. – Geoderma, 142 (1-2), 165 – 177.

Kierczak J., Neel C., Kwaterczak – Aleksander U., Rybicka – Helios E., Bril H., Puziewicz J. (2008): Solid speciation and mobility of potentially toxic elements from natural and contaminated soils: A combined approach. – Chemosphere, 73, 776 – 784.

Kierczak J., Pedziwiatr A., Waroszewski J., Modelska M. (2016): Mobility of Ni, Cr and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate. – Geoderma, 268, 78 – 91.

Kostic N., Wilson J. M., Zivkovic M., Bain D. (1998): Mineralogy and Geochemical Speciation of Heavy Metals in some Serpentine Soils of Serbia. *In Proceedings of 16th World Congress of Soil Science*, 444 - 455. Elsevier, Amsterdam.

Kovář O., Losos Z. (2005): Artinit z hadcového lomu u Biskoupek u Oslavan, západní Morava – nový minerál pro Českou republiku. – Bull. mineral.- petrolog. Odd. Nár. Muz., 13, 137 – 139. Praha.

Kovář O., Losos Z., Houzar S., Zeman J. (2008): Hydromagnezit, brugnatellit a coalingit v minerální asociaci puklin serpentinitu z kamenolomu “U pustého mlýna“ u Hrubšic, moldanubikum, západní Morava. – Čas. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 93, 19 – 35. Brno.

Kruťa T. (1966): Moravské nerosty a jejich literatura 1940 – 1965. – Moravské museum v Brně, Brno.

Medaris G., Jelínek E. (2004): The Mohelno peridotite: a fragment of suboceanic mantle in the Náměšť granulite. – In: Janoušek V. (eds.): Intern. Workshop on petrogenesis of granulites and related rocks - Excursion guide and Abstract volume, 13 – 16, Moravian Mus., Brno.

Medaris G., Wang H., Jelínek E., Mihaljevič M., Jakeš P. (2005): Characteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Lithos*, 82, 1 – 23.

Medaris G., Jelínek E. (2011): The Mohelno and Nové Dvory Peridotites: Two Contrasting Types of Peridotite in the Gföhl Unit. – *Geolines*, 23, 115 – 126.

Moody J. B. (1976): Serpentinization: a review. – *Lithos*, 9, 125 – 138.

Mrázek I., Rejl L. (2010): *Drahé kameny Moravy a Slezska*. – Aventinum, Praha.

Němec F. (1937): Mineralogie, petrografie a geologie okolí Mohelna. Monografie hadce. – In: Němec F. (eds.): *Archiv Svazu pro ochranu přírody a domoviny v zemi Moravskoslezské*, 49 – 112. Brno.

Němec F. (1981): Huntit ze serpentinitové oblasti u Hrubšic na západní Moravě. – *Čas. Mineral. Geol.*, 26, 1, 75 – 78. Praha.

Novák J., Žák L. (1948): Předběžná zpráva o výzkumech v hadcové oblasti hrubšické. – *Věst. Stát. geol. Úst.*, 23, 152 – 155.

Oze Ch., Fendorf S., Bird D. K., Coleman R. G. (2004a): Chromium geochemistry in serpentinitized ultramafic rocks and serpentine soils from the Franciscan complex in California. – *American Journal of Science*, 304, 67 – 101.

Oze Ch., Fendorf S., Bird D. K., Coleman R. G. (2004b): Chromium geochemistry of serpentine soils. – *International Geology Review*, 46, 97 – 126.

Oze Ch., Skinner C., Schroth A. W., Coleman R. G. (2008): Growing up green on serpentine soils: Biogeochemistry of serpentine vegetation in the Central Coast Range of California. – *Applied Geochemistry*, 23, 3391 – 3403.

Page N. J., Coleman, R. G. (1967): Serpentine-mineral analyses and physical properties. – U. S. Geological Survey Professional Paper, B103 - B107.



- Page N. J. (1968): Chemical Differences Among the Serpentine “Polymorphs“. – *The American Mineralogist*, 53, 201 – 215.
- Pauliš P. (2005): Nejzajímavější mineralogická naleziště Moravy a Slezska II. – Kuttna, Kutná Hora.
- Pernica M. (2011): Okolí Brna, Ivančicko. – Trasa, spol. s. r. o., Praha.
- Přichystal A. (2009): Kamenné suroviny v pravěku východní části střední Evropy. – Masarykova univerzita, Brno.
- Putnis C. V., Díaz, L. F. (2010): Ion partitioning during mineral replacement reactions. - In: Prieto M., Stoll H. (eds.): Ion partitioning in ambient temperature aqueous systems. *European Mineralogical Union Notes in Mineralogy*, 10, 189 – 226.
- Quantin C., Ettler V., Garnier J., Šebek O. (2008): Sources and extractibility of chromium and nickel in soil profiles developed on Czech serpentinites. – *C. R. Geoscience*, 340, 872 – 882.
- Rinaudo C., Gastaldi D., Belluso E. (2003): Characterization of chrysotile, antigorite and lizardite by Ft-Raman spectroscopy. - *The Canadian Mineralogist*, 41, 883-890.
- Varadarajan S. (1961): Chromian talc from the talc deposits of Nuggihalli Schist Belt, Mysore state, India. – Department of geology, University of Delhi.
- Vrána S., Bliimel P., Petrakakis K. (1995): Metamorphic evolution (Moldanubian region: Moldanubian zone, ch. VII. CA). - In: Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds): *Pre – Permian Geology of Central and Eastern Europe*, 403 – 410. - Springer Verlag, Berlin.
- Vávra V., Štelcl J., Malý K. (2008): Průvodce po geologických zajímavostech kraje Vysočina. – Muzeum Vysočiny Jihlava, Jihlava.
- Vávra V., Štelcl J. (2014): Významné geologické lokality Moravy a Slezska. – Masarykova univerzita Brno, Brno.

Velebil D. (2012): Minerály pod nohama, v průmyslu a ve sbírkách. Hlavní minerály, jejich vznik, výskyt a použití. – Academia, Praha.

Veselý P. (2002): Mohelenská hadcová step – historie vzniku rezervace a jejího výzkumu.- Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

Whitney D. L., Evans B. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. – American Mineralogist, 95, 185-187.

Zejda R. (1998): Náměšť nad Oslavou a okolí. Turistický průvodce. Náměšť nad Oslavou. - Městské kulturní středisko v Náměšti nad Oslavou, Náměšť nad Oslavou.

Zimák J., Bábek O., Demek J., Doláková N., Hanžl P., Hladilová Š., Janoška M., Losos Z., Melichar R., Musil R., Pek I., Přichystal A., Štelcl J., Vávra V., Zapletal J. (1997): Průvodce ke geologickým exkurzím. Morava – střední a jižní část. - Univerzita Palackého, Olomouc.

Internetové zdroje:

www 1: Dostupné z: <http://www.geology.cz/app> (cit. 5. 4. 2015)

www 2: Dostupné z: <http://botany.natur.cuni.cz/cz/sklenar/EkologieRostlin/Gradienty.pdf> (cit. 1. 10. 2015)

www 3: Dostupné z: <http://botany.cz/cs/notholaena-marantae/> (cit. 5. 10. 2015)

www 4: Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext) (cit. 9. 10. 2015)