Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav petrologie a strukturní geologie

PROBLÉMY DEFINICE A KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ

Bakalářská práce

Šárka Kubínová

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. RNDr. František Holub, CSc.**

Praha 2012

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a všechnu použitou literaturu řádně cituji a uvádím v seznamu literatury.

V Praze, dne 29.8.2012 …….

Šárka Kubínová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému učiteli ze střední školy Ing. Petru Karešovi, který ve mně svébytným a někdy trochu neotřelým způsobem vzbudil velký zájem o geologické vědy a po celé čtyři roky rozvíjel moje poznatky jak z petrologie samotné, tak i z ostatních, některých pro mě méně zajímavých, geologických disciplín. Velké díky patří především docentu Františku Holubovi, který mě vedl při zpracování této bakalářské práce, poskytl mi cenné rady a ještě více prohloubil moje znalosti a nadšení pro petrologii. Práce byla částečně podpořena Grantovou agenturou České republiky (grant 205/09/0630, řešitel F. Holub), které rovněž děkuji.

Abstrakt

Lamprofyry jsou porfyrické mafické až ultramafické horniny obsahující vyrostlice hydratovaných mafických minerálů, převážně tmavé slídy a amfibolu, které tvoří i součást základní hmoty a typicky jsou nápadně idiomorfně omezeny. Světlé minerály, hlavně živce a foidy, jsou naopak zastoupeny pouze v základní hmotě, kde může být také přítomen v podstatném množství primární karbonát. Mezi lamprofyry lze rozlišovat tři základní skupiny – (1) vápenatoalkalické, (2) alkalické a (3) ultramafické, z nichž každá zahrnuje několik horninových typů. Některé lamprofyry velmi úzce souvisejí s kimberlity, lamproity i karbonatity a někdy postupně přecházejí do "nelamprofyrových" hornin podobného minerálního složení.

Ačkoli lamprofyry a jim blízké horniny představují objemově jen malou část magmatických hornin, v určitých ohledech jsou velmi významné. Zejména jde o pochopení složitých procesů, probíhajících v zemském plášti a kůře, význam však mohou mít například i při vyhledávání ložisek diamantů nebo zlata.

Značnou roli pro správné rozpoznání lamprofyrů hraje pochopení procesů formování lamprofyrových magmat, jejich případné interakce s korovým materiálem nebo obohacování některými prvky v plášti. Lamprofyry mohou být velmi podobné běžným magmatickým horninám a lze je odlišit pouze na základě několika mineralogických a geochemických detailů. Jedním z hlavních problémů je správné zařazení přechodných horninových typů. Potíž při klasifikaci mohou způsobit makrokrysty obsažené v lamprofyrech jevící se jako vyrostlice, které jsou však xenokrysty, nebo časté hydrotermální alterace.

Během téměř 140 let výzkumu lamprofyrů prošla jejich definice a také klasifikace rozsáhlými změnami. Problémem nebylo jen rozlišení lamprofyrů od ostatních hornin, ale také shodnout se na třídění jejich jednotlivých typů. Zpočátku byl výsledkem vznik rozporuplných publikací. Pozdější výzkum přinesl několik zajímavých myšlenek, například koncepci lamprofyrového klanu, zahrnujícího nejen tři skupiny lamprofyrů (vápenatoalkalické, alkalické a ultramafické), ale také kimberlity a lamproity.

Současná klasifikace magmatických hornin podle IUGS rozlišuje na základě obsahů hlavních minerálů sedm typů lamprofyrů (dva typy reprezentující dřívější skupinu ultramafických lamprofyrů přeřazuje do skupiny hornin s melilitem). Lamprofyry charakterizuje jako variabilní skupinu hornin s obtížným chemickým odlišením od běžných magmatických hornin. Bohužel posední souhrnně publikovaná verze této "oficiální" klasifikace neuznává skupinu ultramafických lamprofyrů, což je značným nedostatkem a může vést ke vzájemné záměně ultramafických lamprofyrů, kimberlitů a některých lamproitů.

Abstract

Lamprophyres are mafit to ultramafic porphyritic rocks containing phenocrysts of hydrated mafic minerals, namely dark mica (phlogopite, biotite) and amphibole that are present also in the matrix and commonly are euhedral or nearly euhedral. On the other side, felsic minerals as various feldspars and feldspathoids, are present only in the matrix sometimes containing also significant amounts of primary carbonates. Lamprophyres are commonly divided into three major groups – (1) calc-alkaline, (2) alkaline, and (3) ultramafic. Some of them are closely related to kimberlites, lamproites and carbonatites and gradual transitions to these rocks as well as to other non-lamprophyric types do exist.

Lamprophyres are volumetricaly minor group of igneous rocks.. In some respects, however, they are very important, particularly for our understanding of complicated petrogenetic processes in the upper mantle and lower crust, and also diamond or gold prospecting.

Significant role in proper lamprophyres classification is played by perception of processes of lamprophyres magmas forming and their possible interaction with crustal material or enrichment by some elements contained in mantle. Lamprophyres may be very similar to normal igneous rocks. These rocks can be distinguished only on the basis of some mineralogical and geochemical properties. One of the main problems is the correct classification of transitional rock types. Difficulties in classification can be caused by macrocrystals contained in lamprophyres which seem to be phenocrysts but these are mostly xenocrysts or frequently also hydrothermal alteration.

In course of nearly 140 years from the first description of lamprophyres, their definition and classification were changing. Difficulties arise not only in distinguishing lamprophyres from other rocks, but also in general agreement on their particular types classification. At first, the result of research was formation contradictory publications. Later research has brought some interesting ideas, such as a creating of the lamprophyre clan covering not only three groups of lamprophyres but also kimberlites and lamproites.

Contemporary classification of igneous rock presented by IUGS recognizes seven rock types of lamprophyres based on modal compositions. Two types of former ultramafic lamprophyres are rearranged to the melilite-bearing rock classification. Lamprophyres are characterized as a diverse group of rocks with very difficultly defined chemical differences from common igneous rocks. Unfortunately, this classification abolished the group of ultramafic lamprohyres what is considerable shortcoming that can lead to mutual misidentification of ultramafic lamprophyres, kimberlites and some lamproites.

OBSAH

1 ÚVOD 1
2 HISTORIE VÝZKUMU, DEFINICE A KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ 2
3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI LAMPROFYRŮ 4
4 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ LAMPROFYRŮ 6
4.1 Vápenatoalkalické lamprofyry 6
4.2 Alkalické lamprofyry 8
4.3 Ultramafické lamprofyry 9
4.4 Leucitové lamproity 10
5 GENEZE LAMPROFYRŮ 11
5.1 Vznik tavenin lamprofyrového složení a formy jejich výskytu 11
5.2 Petrogeneze hlavních skupin lamprofyrů 12
5.2.1 Procesy vzniku vápenatoalkalických lamprofyrů 12
5.2.2 Vznik alkalických lamprofyrů 12
5.2.3 Ultramafické lamprofyry a jejich původ 12
6 VZÁJEMNÉ VZTAHY MEZI JEDNOTLIVÝMI TYPY LAMPROFYRŮ A JEJICH ASOCIACE S OSTATNÍMI MAGMATICKÝMI HORNINAMI; POTÍŽE ROZLIŠENÍ 13
6.1 Lamprofyry a jim podobné horniny 13
6.2 Přechody lamprofyrů do hornin příbuzného složení bez lamprofyrických vlastností 14
6.2.1 „Suché“ ekvivalenty lamprofyrů 14
6.2.2 Kumuláty a diferenciáty 14
6.3 Vztah lamprofyrů k lamproitům, kimberlitům a karbonatitům 15
6.3.1 Spojitost lamprofyrů s lamproity 15
6.3.2 Postavení lamprofyrů a kimberlitů 17
6.3.3 Vztahy lamprofyrů a karbonatitů 18
6.4 Vzájemné přechody mezi jednotlivými skupinami a typy lamprofyrů 19
6.5 Plutonické a vulkanické ekvivalenty lamprofyrů 19
7 DIFERENCIACE VÁPENATOALKALICKÝCH LAMPROFYROVÝCH TAVENIN; LAMPROFYRY A PORFYRY 20
7.1 Společný výskyt vápenatoalkalických lamprofyrů a porfyrů 20
7.2 Mikrodiority, spessartity, vogesity a kersantity 21
8 RŮZNÁ POJETÍ KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ; ZAČLENĚNÍ LAMPROFYRŮ DO KLASIFIKAČNÍHO SYSTÉMU IUGS 22
8.1 Projekce lamprofyrů do QAPF diagramu 22
8.2 Skupina „lamprofyrických hornin“ 24
8.3 Lamprofyrový klan 25
8.4 Lamprofyrové facie 26
8.5 Integrace lamprofyrů, lamproitů a kimberlitů do klasifikačního systému magmatických hornin a jejich odlišení od melilitových, leucitových a kalsilitových hornin 27
9 SOUČASNÁ KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ PODLE IUGS 28
9.1 Definice a klasifikace základních typů lamprofyrů 28
9.2 Nedostatky a omezení stávající klasifikace 28
10 ZÁVĚR 31
Seznam použité literatury 34

1 ÚVOD

Lamprofyry jsou geneticky významnou skupinou magmatických hornin tvořících převážně žilná tělesa. Typicky obsahují fenokrysty hydratovaných mafických minerálů (amfibol, tmavá slída), felsické minerály (živce, foidy) jsou vázané na základní hmotu (např. Rock, 1977).

Přes svůj malý objem jsou to horniny v mnoha ohledech velmi zajímavé. Hrají významnou roli v porozumění široké škále geodynamických procesů, jako jsou například kontinentální extenze (Tappe et al., 2006), interakce litosféry s hmotou sublitosférického pláště (Gibson et al., 2006; Kerr et al., 2010), rozpad kontinentů (Riley et al., 2003; Tappe et al., 2006) i jejich kolize (např. O'Leary et al., 2009), anebo procesy obohacování pláště v důsledku dehydratace subdukované desky nebo metasomatózy a parciálního tavení (Beard et al., 1996; Guo et al., 2004). Xenolity v některých lamprofyrech dokládají charakter svrchního pláště a spodní kůry (Dessai et al., 2004; Nédli et al., 2010; Orejana et al., 2006). Některé typy lamprofyrů mohou být indikátory ložisek diamantů (Rock, 1991; Tappe et al., 2006; Wyman et al., 2006) a bývají také spjaty s mesotermálními ložisky zlata (Ashley et al., 1994; Müller a Groves, 1997; Rock, 1991).

Lamprofyry tvoří skupinu hornin, jež je obtížně klasifikovatelná podle stanovených kritérií v klasifikačním systému IUGS. Nelze je třídit podle modálního obsahu aplikováním QAPF diagramu pro plutonické horniny, ani na základě chemického složení použitím TAS diagramu pro výlevné horniny. K jejich správnému zařazení je potřebná speciální klasifikace. Během vývoje výzkumu hornin skupiny lamprofyrů prošlo názvosloví a hodnocení těchto hornin mnoha změnami. Následkem však byla značně nejednotná, nepřehledná nebo neúplná klasifikace. Subkomise IUGS pro klasifikaci magmatických hornin se pokusila o sestavení klasifikačního schématu pro lamprofyry, avšak ani její poslední publikace sepsaná Le Maitrem et al. (2002) není plně dostačující. Velmi hrubým nedostatkem je zejména úplné opomenutí horninových typů řazených mezi ultramafické lamprofyry.

Předkládaná bakalářská práce s názvem „Problémy definice a klasifikace lamprofyrů" shrnuje poznatky o lamprofyrech souvisejících s jejich definicí a podrobnější klasifikací, stručně se zabývá historií výzkumu této horninové skupiny a na vybraných příkladech se snaží poukázat na problémy a úskalí při snaze zařadit určité horniny mezi lamprofyry. Práce dále popisuje genezi každé skupiny lamprofyrů a jejich vztahy k ostatním horninám, s nimiž se vyskytují. Zabývá se vzájemnými přechody mezi lamprofyry samotnými i mezi horninami podobného minerálního složení, jež vedou k jejich problematickému odlišení. V této práci je také diskutováno několik základních principů, které ve vývoji klasifikace lamprofyrů sehrály významnou roli, ale pozdějším výzkumem byly zpochybněny nebo se neosvědčily. Příkladem může být „lamprofyrový klan" zavedený Rockem roku 1991. Na závěr je uvedena současná klasifikace lamprofyrů podle IUGS a poukázáno na její nedostatky.

2 HISTORIE VÝZKUMU, DEFINICE A KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ

Termín lamprofyr pochází z řeckého slova *lamprós* = lesknoucí se, a *porphyros*, jež označuje horninu nápadnou porfyrickými vyrostlicemi. Poprvé tento název použil C.W. Gümbel v roce 1874 pro označení mafických žilných hornin s četnými lesknoucími se lupínky biotitu při popisování magmatických hornin v oblasti Smrčin na německém území. V roce 1887 H. Rosenbusch zařadil mezi lamprofyry i tmavé žilné horniny s vyrostlicemi amfibolu.

Ve výzkumu lamprofyrů lze vyčlenit tři základní etapy. Ranné období, v 19. a na začátku 20. století, bylo zaměřené na samotnou charakteristiku lamprofyrů. Dále stadium v letech 1940-1960, jež bylo dobou zmatečné definice, chybného přehodnocení některých hornin na lamprofyry a útlumu výzkumu zapříčiněného druhou světovou válkou. A nakonec vrcholné období trvající od konce roku 1960 až po současnost. Tato fáze je význačná nesmírným množstvím provedených chemických analýz lamprofyrů a publikovaných dokumentů. Začalo se spekulovat o výskytu ložisek diamatů a zlata v některých lamprofyrech, jejichž nález byl i potvrzen, a možnosti vzniku post-orogenních granitoidů z magmat lamprofyrového složení (Rock, 1991).

V rané éře výzkumu byly zjevné značné odlišnosti lamprofyrů od ostatních magmatických hornin, např. unikátní panidiomorfní struktura nebo intensivní autometasomatóza zapříčiňující vznik minerálů obvykle se vyskytujících sekundárně (karbonát, chlorit, epidot, zeolity, aj.). Z tohoto důvodu musela být zavedena jejich speciální klasifikace, ale výsledkem byl bohužel vznik navzájem rozporuplných publikací (Rock, 1991).

V počátečních letech výzkumu lamprofyrů byla sepsána tři významná díla zabývající se jejich klasifikací. Prvním z nich byla kniha Rosenbusche o magmatických horninách vyhotovená v roce 1887, která se mimo jiné zaobírá detailním výkladem pojetí lamprofyrů. Rosenbusch rozpoznal několik různých skupin těchto hornin a všiml si, že minety se typicky vyskytují s granity, spessartity s diority, ale camptonity a monchiquity jsou obvykle asociovány se syenity. Druhá monografie, vytvořená Begerem v roce 1923, založená na výzkumu lamprofyrů ve Švýcarsku a předkládající značné množství analýz, ve své době vzbudila mezi petrology velký zájem o lamprofyry. Třetím dílem je kompendium Niggliho zabývající se magmatickými horninami sepsané roku 1923. Niggli zde poprvé zavedl termín „lamproit“ označující extruzivní horniny lamprofyrického vzhledu. Toto pojmenování však později získalo zcela odlišný význam a dnes jsou jím označovány intruzivní i výlevné horniny se specifickým geochemickým a mineralogickým složením (Le Maitre, et al., 2002).

Okolo poloviny 20. století nastalo ve výzkumu lamprofyrů rušné období. Příkladem je Knopfovo dílo z roku 1936 zabývající se lamprofyry z oblasti Spanish Peaks v USA, které vyvolalo dojem obtížné klasifikace lamprofyrů a vedlo k přiřazování nejasných horninových druhů k lamprofyrům. Výsledkem byl vznik chybných pojmenování horninových typů v některých oblastech, například Fenner roku 1938 popsal obyčejné bazalty a bazanity z oblasti Antarktidy jako

fourchity (druh alkalického lamprofyru) (přehled citací viz. Rock, 1991). Teprve až v roce 1979 byla Knopfova vlivná práce přehodnocena Jahnovým výzkumem. S příchodem druhé světové války se rozrůstající výzkum lamprofyrů zastavuje.

Koncem roku 1960 opět začíná vzrůstat zájem o lamprofyry, který pokračuje až dodnes. Zásluhu na obnovení výzkumu lamprofyrů má trojice evropských vědců - D. Velde z Francie, D. Němec v bývalém Československu a W. Wimmenauer působící v Německu (Rock, 1991).

Po objevu světově nejbohatšího ložiska diamantů na severozápadě Austrálie se lamprofyry staly fenoménem. Do té doby převažoval názor, že diamanty se mohou vyskytovat pouze v kimberlitech. Původně byly horniny v této oblasti pojmenovány jako kimberlity, ale později překlasifikovány na lamproit. Důsledkem tohoto zjištění byla myšlenka, že diamanty by se mohli vyskytovat v příbuzných horninových typech – lamprofyrech, což bylo také potvrzeno výskytem diamantů ve dvou typech lamprofyrů, damtjernitu a monchiquitu, v „Argyle pipe“ v Austrálii, kde byl obsah diamantů vyšší než v některých kimberlitech. Od této doby se výzkum lamprofyrů začal pozoruhodně vyvíjet. Počátkem roku 1985 až po současnost bylo analyzováno nesmírné množství dat, které svým objemem přesáhlo kvantum analýz do té doby získaných z předchozích výzkumů. V roce 1985 se konalo historicky první symposium věnované lamprofyrům (Rock, 1991).

Na základě rostoucího zájmu o lamprofyry a nutnosti zavedení jejich jednoduché a přehledné klasifikace se Subkomise IUGS pro klasifikaci a názvosloví magmatických hornin pokusila zabudovat tuto skupinu hornin do svého klasifikačního systému. Streckeisen roku 1979 předložil QAPF diagram, do kterého promítl hlavní typy lamprofyrů, a v roce 1989 Le Maitre et al. zavedli termín „lamprofyrické horniny“, jímž seskupili lamprofyry, kimberlity a lamproity. Poté roku 1991 vznikla nejvýznamnější monografie sepsaná Rockem, který vytvořil koncept „lamprofyrového klanu“ zahrnující vápenatoalkalické, alkalické a ultramafické lamprofyry, kimberlity a lamproity, a každou větev tohoto klanu podrobně mineralogicky a geochemicky klasifikoval. Roku 1996 Woolley et al. uveřejnili dílo, ve kterém doporučují nahlížet na lamprofyry jako na samostatnou horninovou skupinu a nespojovat je s kimberlity a lamproity. Toto pojetí lamprofyrů bylo dále akceptováno a předloženo Subkomisí IUGS i v její poslední klasifikaci magmatických hornin sepsané Le Maitrem et al. v roce 2002.

Poslední přehled věnovaný definici a klasifikaci lamprofyrů sepsal bývalý předseda Subkomise IUGS pro klasifikaci a názvosloví magmatických hornin Le Bas (2007). V tomto díle je shrnuta historie postupného objevování a začleňování jednotlivých typů hornin mezi lamprofyry a jejich stručná charakteristika. Lamprofyry jsou zde rozděleny pouze na pět základních typů podle převládajících mafických a felsických minerálů, jak je původně vyčlenil Rosenbusch v roce 1896.

3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI LAMPROFYRŮ

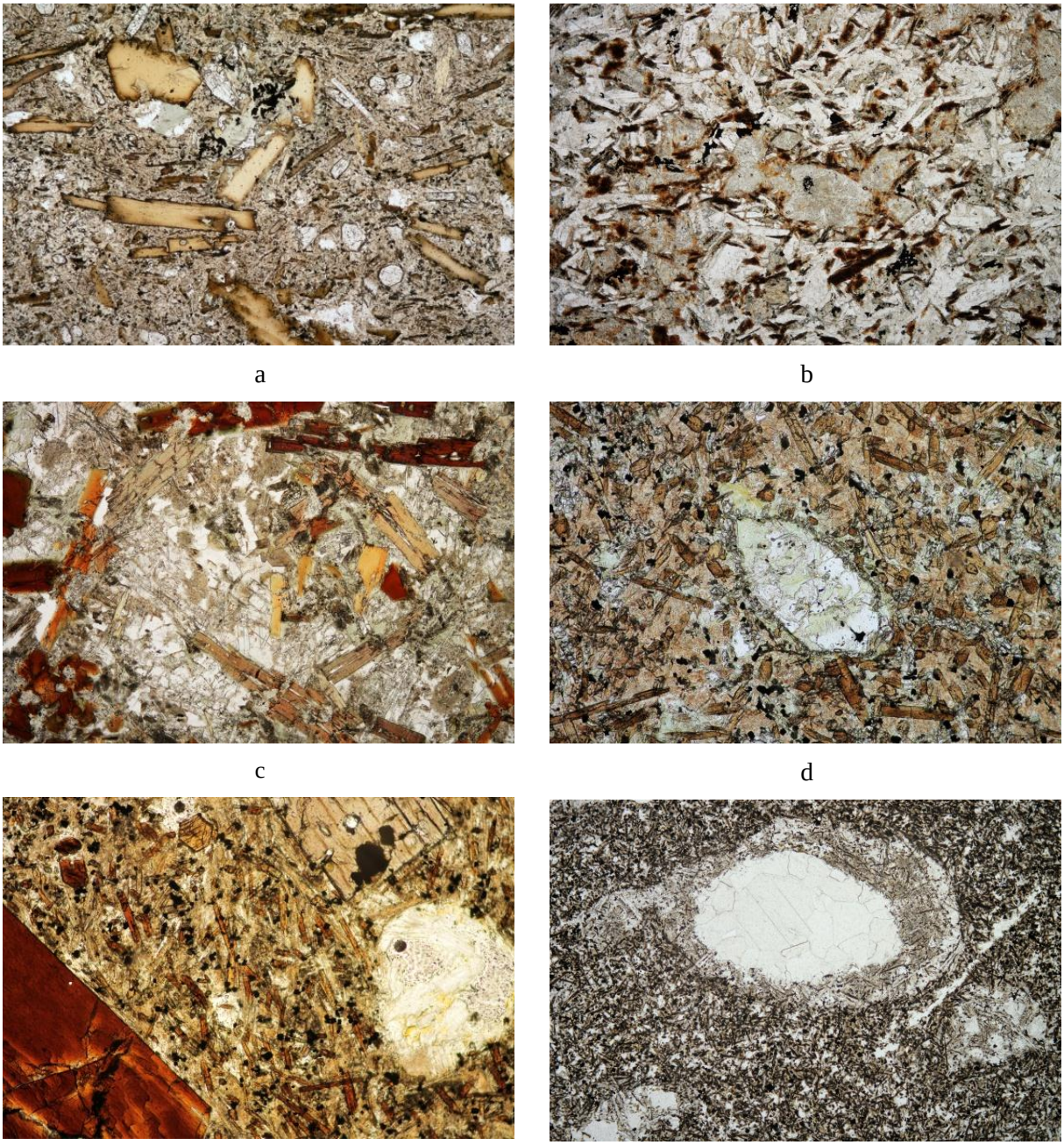
Lamprofyry jsou mesokratní až melanokratní horniny, vzácně mohou být i ultramafické. Obvykle bývají hypabysální s porfyrickou, někdy až panidiomorfní strukturou (obr. 1), a jsou bohaté volatilními komponentami, převážně H_2O a CO_2 (Streckeisen 1979; Woolley, et al., 1996).

Základní složkou jejich minerálního složení jsou hojné mafické fenokrysty biotitu (může se jednat i o flogopit bohatý železem) s charakteristickými lesklými lupínky, anebo amfibolu (Rock, 1977; Streckeisen 1979). Fenokrysty tmavé slídy jsou často zonální (obr. 1 a), s tmavě hnědými Fe-bohatými okraji a světlejšími hořečnatými jádry (např. Müller a Groves, 1997; Müller et al., 1993; Rock, 1984). Dále mohou lamprofyry obsahovat klinopyroxen a olivín, a v některých *silně mafických až ultramafických* varietách může být přítomen melilit. Felsické minerály, v podobě živců a foidů, se vyskytují pouze v základní hmotě, která bývá velmi často alterovaná (Rock, 1977, 1991; Streckeisen, 1979). Alterace je obvykle připisována autometasomatóze v subsolidu nebo deuterickým procesům ve volatiliemi bohatém zbytkovém magmatu (Bratzdrum et al., 2009; Fareeduddin et al., 2001). Běžné jsou alterace olivínu (obr. 1 b, d), pyroxenu, biotitu a plagioklasu. Také bývá primárně přítomen kalcit, zeolity a další hydrotermální minerály (Streckeisen, 1979).

Karbonát obsažený v lamprofyrech může být primární i sekundární, převážně o složení kalcitu, někdy až dolomitu, jehož způsob vzniku je různý. Bývá hydrotermální, vzniklý segregací reziduální taveniny nebo následek magmatické nemísivosti. Některé ultramafické lamprofyry obsahují až okolo 40% karbonátu a ve spojení s nízkým obsahem SiO_2 mohou naznačovat úzký vztah s karbonatity (Vichi et al., 2005). Někdy však bývá složité odlišit primární a sekundární karbonát, což může vést k nesprávnému pojmenování příslušné horniny (Rock, 1991).

V lamprofyrech je častý výskyt leukokratních „oček“ tvořených akumulací světlých minerálů (obr. 1 e, f), jež jsou někdy lemovaná biotitem nebo amfibolem, označují se jako ocellární struktura (textura) (Rock, 1977). Ocelli mohou vzniknout likvací nebo segregací reziduální taveniny (Rock, 1977). Tato struktura někdy může být nazývána negenetickým termínem jako globulární textura (Rock, 1984) a může se projevovat výskytem vezikul, „oček“, mandlí nebo nepravidelných dutinek vyplněných hlavně karbonáty, chloritem, epidotem, živci a křemenem (Rock, 1984).

Některé lamprofyry mohou obsahovat felsické i mafické xenokrysty, jejichž přítomnost může vést ke špatnému pojmenování horniny, pokud jsou zaměněny za fenokrysty. V některých typech vápenatoalkalických lamprofyrů byly nalezeny například xenokrysty živců (Cid Plá et al., 2006; Rock, 1984), běžné jsou xenokrysty křemene (Müller a Groves, 1997; O'Leary et al., 2009; Rock, 1984; Xu et al., 2007). Zvláštním případem je i výskyt makrokrystů ortopyroxenu, které jsou pravděpodobně též xenokrysty (Carlier et al., 1997). Pro některé alkalické lamprofyry je běžný obsah makrokrystů anortoklasu a i minerálů mafických (kaersutitu, augitu) (Rock, 1977).



a b c d e f

Obr. 1. *Typické petrografické rysy lamprofyrů - panidiomorfní (lamprofyrická) struktura, světlé minerály jen v základní hmotě, světlé segregace či ocelli: a -mineta s automorfními fenokrysty zonálního flogopitu až biotitu (Buk u Milína, středočeský plutonický komplex); b- kersantit s pseudomorfózami po fenokrystech olivínu (Jáchymov); c - hrubší varieta kersantitu s fenokrysty biotitu (Plougastel, Bretaň); d - spessartit s automorfními stébly hnědého amfibolu a pseudomorfózou po fenokrystu olivínu (Týřovice); e - camptonit s velkými fenokrysty červenohnědého amfibolu (kaersutitu) a Ti-bohatého diopsidu, v matrix jsou automorfní stébla amfibolu a světlý ocellus (Dobkovice, České středohoří); f - světlé segregace ve světlejší varietě camptonitu, největší útvar obsahuje karbonátovou mandli (České středohoří, archivní výbrus). Všechny mikrofotografie jsou s jedním nikolem, delší strana odpovídá 5,6 mm.*

Chemické složení lamprofyrů je velmi rozmanité a liší se podle geotektonického prostředí jejich vzniku a způsobu formování lamprofyrové taveniny (např. Rock, 1991). Vzhledem ke střednímu až nízkému obsahu SiO_2 mají poměrně vysoký obsah K_2O a Na_2O. Obsahy H_2O, CO_2, S, P_2O_5, F, Cl, Rb, Ba, Th, LILE a některých vzácných prvků (LREE) jsou ve srovnání s horninami podobného minerálního složení vysoké. Naproti tomu množství Y, Ti, HREE a Sc je na obdobné úrovni jako u MORB. Jejich chemické složení odráží bohatý obsah hydratovaných minerálů jako je slída, amfibol, chlorit, serpentin nebo mastek, karbonátů (hlavně kalcitu), sulfidů, apatitu a zeolitů. Chemické složení lamprofyrů je však celkově velmi variabilní. Pohybuje se od ultrabazických k intermediálním, peraluminických až k perdraselným typům, bohatých sodíkem až velmi bohatých draslíkem; v závislosti na chemismu pak mohou být obsaženy tak kontrastní minerály jako na jedné straně melilit, na druhé křemen (Rock, 1991; Streckeisen, 1979).

Lamprofyry mohou být významné při vyhledávání ložisek zlata a diamantů. Převážně vápenatoalkalické lamprofyry bývají spjaty s mesotermálními ložisky zlata (Ashley et al. 1994; Rock a Groves, 1988), ultramafické lamprofyry mohou obsahovat diamanty (Tappe et al., 2004; 2006; 2008). Není to však pravidlem, zlato bylo také nalezeno v lamprofyrech alkalických (Fareeduddin et al., 2001), a poněkud neobvyklý je výskyt diamantů ve vápenatoalkalických lamprofyrech (Lefebvre et al., 2005; Wyman et al., 2006).

Navzdory striktnímu kritériu definujícímu typickou strukturu lamprofyrů s felsickými minerály pouze v základní hmotě se objevují publikace popisující lamprofyry s vyrostlicemi světlých minerálů. Příkladem může být práce Gua et al. (2004), kteří popisují porfyrické žíly lamprofyrů s převládajícími fenokrysty draselného živce, plagioklasu, biotitu, klinopyroxenu a méně zastoupeného olivínu.

4 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ LAMPROFYRŮ

Jsou rozeznávány tři základní skupiny lamprofyrů – vápenatoalkalické, alkalické a ultramafické, které byly poprvé zavedeny Rockem (1977). Tyto skupiny lamprofyrů jsou dále podrobněji členěny na jednotlivé horninové typy podle obsahu hlavních minerálů. Rock (1977) vyčlenil i čtvrtou velmi vzácnou skupinu leucitových lamproitů, která již není v současné době mezi lamprofyry zahrnována.

V následujících kapitolách jsou popsány pouze hlavní typy každé skupiny lamprofyrů, detailnější členění těchto základních horninových typů zde není zahrnuto.

4.1 Vápenatoalkalické lamprofyry

Do skupiny vápenatoalkalických lamprofyrů jsou řazeny středně draselné až ultradraselné horniny intermediálního složení (obsah SiO_2 okolo 52%), téměř nasycené (Rock, 1977). Někdy bývají

nazývány šošonitickými, podle příbuzného složení se šošonitickými horninami (Rock, 1997; Streckeisen, 1979).

V rámci této skupiny lamprofyrů se vyčleňují čtyři hlavní typy – *mineta* a *kersantit*, jež byly k lamprofyrům zařazeny Gümbelem (1874), a dále *vogesit* se *spessartitem*, které mezi lamprofyry zahrnul Rosenbusch (1887, 1896). Pro každý typ je charakteristická přítomnost dvojice určitých hlavních minerálů, kterým je tmavá slída (biotit nebo až vysoce hořečnatý flogopit), amfibol (hornblend), alkalický živec nebo plagioklas (Rock, 1977), jak je znázorněno v Tab. 1. Klasifikace této skupiny lamprofyrů byla jasně definována již od počátku a každý typ si, na rozdíl od lamprofyrů alkalických a ultramafických, zachoval svůj původní význam.

Tab. 1. *Klasifikace vápenatoalkalických lamprofyrů na základě obsahu hlavních minerálů. Upraveno podle Rocka (1977).*

Převládající světlý minerál	Hlavní mafický minerál	
	Tmavá slída	**Amfibol**
Alkalický živec	*mineta*	*vogesit*
Plagioklas	*kersantit*	*spessartit*

Mineta obsahuje fenokrysty biotitu (někdy až flogopitu), v základní hmotě draselný živec a méně plagioklas. Dále může být přítomný hornblend, diopsidický augit a hořečnatý olivín, většinou nahrazený tzv. pilitem. Pro *vogesit* je typický obsah alkalického živce a hornblendu, také se v menší míře může vyskytovat plagioklas a biotit, a často je přítomný augit. Součástí *kersantitu* jsou vyrostlice hořečnatého biotitu, někdy navíc i hornblendu, olivínu nebo augitu. Matrix kromě těchto minerálů obsahuje plagioklas o složení oligoklasu až andezinu a příležitostně alkalický živec. Strukturu *spessartitu* charakterizují fenokrysty zeleného nebo hnědého hornblendu, zřídka i biotitu, olivínu nebo diopsidického augitu, a matrix složená dále z plagioklasu (andezinu) a méně z alkalického živce. Těmito původními definicemi se řídil ve svém díle i Streckeisen (1979) a jeho modifikací pak Le Maitre, et al. (2002).

Podle Rocka (1984) je pro vápenatoalkalické lamprofyry běžný *heteromorfismus*, který se projevuje možností vyjádřit chemického složení příslušné horniny rozdílnými minerálními asociacemi. Heteromorfismus tak může komplikovat vzájemné odlišení některých lamprofyrů (převážně kersantitů, spessartitů a vogesitů) v jednotlivých žilných tělesech, jelikož jejich chemické složení může být téměř identické, lišit se však mohou z mineralogického hlediska (Bratzdrum et al., 2009; Rock, 1984).

4.2 Alkalické lamprofyry

Alkalické lamprofyry mají složení podobné alkalickým bazaltům nebo bazanitům, některé z nich nefelinitům, ale s vyšším obsahem volatilních komponent. Jedná se o nenasycené horniny se zastoupením mafických minerálů přes 40% (Rock, 1977; Streckeisen, 1979).

Skupina alkalických lamprofyrů podle Rocka (1991) zahrnuje tři hlavní typy – *sannait, camptonit* a *monchiquit*. Pouze sannait byl od začátku jasně definován, ale problém byl s klasifikací zbylých druhů. V třídění alkalických lamprofyrů podle převládající světlé komponenty byla shoda, ale při snaze klasifikovat je podle obsahu mafických minerálů se vydané publikace v určitých detailech rozcházely (Rock, 1977).

Sannait byl Bröggerem (1921) určen jako druh lamprofyru s fenokrysty olivínu, titanaugitu, kaersutitu a Ti-bohatého biotitu, a základní hmotou složenou z alkalického živce převažujícího nad plagioklasem, a menšího množství nefelínu. V klasifikačním systému IUGS je pro sannait rozlišovacím kritériem jeho převaha alkalického živce nad plagioklasem, čímž se liší od jinak podobného camptonitu (Le Maitre et al., 2002; Streckeisenem, 1979).

Camptonit poprvé popsal Rosenbusch (1887) a definoval ho vyrostlicemi olivínu, kaersutitu, titanaugitu a Ti-bohatého biotitu, s matrix obsahujícím stejné minerály kromě olivínu, a dále plagioklas a menší množství alkalického živce a foidů. Později byl camptonit mnohými autory popisován s různými odchylkami od této původní definice. Například Holmes (1920) camptonit klasifikoval obsahem amfibolu a plagioklasu, avšak bez olivínu, klinopyroxenu a slídy, nebo Hanker (1954) tento typ lamprofyru popsal zastoupením klinopyroxenu, amfibolu, plagioklasu a menšího množství olivínu, avšak bez přítomnosti slídy (přehled citací viz. Rock, 1977). V klasifikačním systému IUGS se Streckeisen (1979) navrátil k původnímu pojetí camptonitu, jehož pojetí akceptovali i Le Maitre et al. (2002), kteří rozlišují camptonit od jinak podobného sannaitu na základě převažujícího množství plagioklasu nad alkalickým živcem. Akcesorickými minerály mohou být apatit, opakní minerály, kalcit a zeolity (Streckeisen, 1979).

Monchiquitem nazvali Hunter a Rosenbusch (1890) typ lamprofyru, jenž je podobný camptonitu, avšak liší se základní hmotou, která neobsahuje živce, ale kombinaci skla a foidů, obzvláště analcimu. Některými autory byl ale později popisován odlišně. Johannsen (1938) monchiquit definoval obsahem klinopyroxenu s častým výskytem olivínu, amfibolu a slídy, a sklovitou základní hmotou. Harker jej určil jako horninu obsahující převážně olivín a klinopyroxen, často také amfibol a slídu, se základní hmotou složenou převážně z analcimu (přehled citací viz. Rock, 1977). V klasifikačním systému IUGS je Streckeisenem (1979) popisován přítomností titanaugitu, amfibolu (barkevikitu, kaersutitu), biotitu a často i olivínu, s izotropní základní hmotou složenou ze skla, analcimu nebo nefelínu, která je bohatá na mikrolity pyroxenu, amfibolu, opakních minerálů, apatitu, kalcitu a zelotitů.

4.3 Ultramafické lamprofyry

Ultramafické lamprofyry mají nízký obsah SiO_2 (< 35%), jenž je odlišuje od alkalických lamprofyrů (obsah SiO_2 40-46%), se kterými se běžně vyskytují, a jsou obohaceny o biotit nebo olivín. Typickými komponentami základní hmoty jsou melilit, který zastupuje plagioklas a převážně pyroxen, dále kalcit a perovskit. Od alkalických lamprofyrů se také liší vyšším poměrem K/Na (Rock, 1977). Horniny této skupiny jsou silně nenasycené SiO_2 a mají velmi podobnou strukturu a genezi kimberlitům (Tappe et al., 2005).

Streckeisen (1979) uvedl, že podíl tmavých minerálů v hornině typu ultramafického lamprofyru přesahuje 70%. Podle Le Maitra et al. (2002) jsou ultramafické horniny definovány obsahem mafických minerálů nad 90%. Tappe et al. (2005) uvádí, že ke jménu ultramafického lamprofyru, jež obsahuje více než 90% tmavých minerálů, může být přidána předpona *mela-*, která tento stav indikuje.

Původně Streckeisen (1979) zavedl skupinu *melilitových lamprofyrů*, která ale obsahovala jen alnöit a polzenit, a ostatní typy, jako například aillikit, byly opomenuty. Později Rock přejmenoval tento souhrnný název na skupinu *ultramafických lamprofyrů*, která zahrnovala melilitové lamprofyry a také variety bohaté karbonátem, bez melilitu a s foidy (Tappe et al., 2005). Důvodem byl běžný společný výskyt melilitem bohatých lamprofyrů s lamprofyry bez melilitu (Rock, 1991). Poté Wolley et al. (1996) odstranili alnöit a polzenit z klasifikace lamprofyrů navrhnuté Le Maitrem et al. v roce 1989 a přiřadili je k melilitovým horninám. V poslední klasifikaci IUGS z roku 2002 jsou alnöit s polzenitem zařazeny mezi melilitové horniny (Le Maitre et al., 2002).

V rámci skupiny ultramafických lamprofyrů je podle Rocka (1991) rozeznáváno pět horninových typů – *aillikit, alnöit, damtjernit, ouachitit* a *polzenit*. Přesto, že jsou nyní v klasifikaci IUGS alnöit a polzenit řazeny k melilitovým horninám, budou pro úplnost popsány v této kapitole.

Aillikit je karbonátem bohatý typ lamprofyru, jenž je složen z fenokrystů olivínu, diopsidického pyroxenu, amfibolu a flogopitu. Základní hmotu tvoří, kromě minerálů obsažených i v podobě vyrostlic, primární karbonát a méně perovskit. Melilit se v této hornině nevyskytuje (Kranck, 1939). Prvotně byl aillikit IUGS řazen mezi siliko-karbonatity, a to i vzhledem k jeho modálnímu obsahu karbonátu menšímu než 50%, který je nutný pro klasifikaci horniny jako karbonatitu (Tappe et al., 2005).

Častým typem je *mela-aillikit*, který je oproti aillikitu bohatší mafickými silikáty, což je způsobeno přítomností klinopyroxenu anebo amfibolu typu richteritu v základní hmotě, vzácně se může vyskytovat monticellit (Tappe et al., 2005). Na rozdíl od aillikitu obsahuje více mafických silikátů (nad 70 obj. %) a méně karbonátu (pod 10 obj. %) (Tappe et al., 2006).

Ouachitit obsahuje fenokrysty olivínu, flogopitu, amfibolu anebo klinopyroxenu, a foidovou nebo karbonátovou matrix (Kemp, 1890). Vzhledem k jeho nízkému obsahu SiO_2 a draselnému charakteru je blízký alnöitu (Rock, 1977).

Součástí skupiny ultramafických lamprofyrů je i *damtjernit* a jemu příbuzné horniny. Původně byla tato hornina Bröggerem (1921) nazvána jako damkjernit na základě chybného označení lokality jeho prvního nálezu v alkalickém komplexu Fen v Norsku. Bröger (1921) tento typ horniny označil jako melanokratní druh nefelinového lamprofyru, jenž je charakteristický fenokrysty biotitu a titanaugitu, v základní hmotě je navíc přítomen nefelín, kalcit a ortoklas. Griffin a Taylor (1975) považovali damtjernit za lamprofyrickou alnöitovou horninu.

Alnöit obsahuje hlavně vyrostlice tmavé slídy (biotitu až flogopitu), méně olivínu a augitu, melilitovou nebo karbonátovou matrix, a dále může být přítomen apatit, perovskit, opakní minerály, nefelín nebo granát, živec chybí. Podíl mafických minerálů přesahuje 90% (Rosenbusch, 1887; Streckeisen, 1978). Horniny typu alnöitu jsou velmi podobné kimberlitům a mohou úzce souviset i s karbonatity (Rock, 1977).

Termín *polzenit* je skupinový název pro olivínové a melilitové horniny s nefelinem (Scheumann, 1913). Je definován přítomností melilitu, biotitu a nějakého foidu (nefelinu, hauynu atd.), v menší míře se může vyskytovat olivín, titanaugitu, kalcit, apatit, perovskit a opakní minerály, živce chybí. Zastoupení tmavých minerálů se pohybuje v rozmezí 70-90% (Rock, 1977; Streckeisen, 1979).

Z výše vyjmenovaného složení všech základních typů ultramafických lamprofyrů vyplývá, že hlavním rozlišovacím kritériem je z mineralogického hlediska složení základní hmoty. Pro aillikit je typický obsah primárního karbonátu. Ouachitit a damtjernit jsou definovány foidy s karbonátem a vzájemně se liší podle přítomnosti alkalického živce v damtjernitu. Pro alnöit s polzenitem je charakteristický melilit a obě horniny lze rozlišit podle množství obsažených mafických minerálů.

4.4 Leucitové lamproity

Vzácná skupina leucitových lamproitů byla vyčleněna Rockem (1977). Jedná se o ultradraselné výlevné horniny a mezi lamprofyry byly zařazeny pro jejich porfyrický charakter s vyrostlicemi biotitu nebo hořečnatého amfibolu. Jejich vzájemné vztahy s horninami skupiny lamprofyrů jsou podle Rocka (1977) však nejasné a petrogeneze je pravděpodobně odlišná.

5 GENEZE LAMPROFYRŮ

5.1 Vznik tavenin lamprofyrového složení a formy jejich výskytu

První publikaci zabývající se původem lamprofyrů sepsal Bowen roku 1928. Bowen v tomto díle předpokládá, že vznik lamprofyrů zcela nesouvisí s tekutým magmatem vzhledem k jejich porfyrickému stavu, ale za možný způsob vzniku lamprofyrů považuje resorpci komplexních fází, jako je hornblend nebo biotit, do již vyvinutých (např. granitových) tavenin.

V poslední době jsou lamprofyrová magmata považována za primární taveniny vykazující široké spektrum složení a vyskytující se ve vulkanických a plutonických horninách v odlišných geotektonických prostředích (O'Leary et al., 2009). Vznik primárního lamprofyrové taveniny pravděpodobně souvisí s procesy obohacování pláště během vývoje litosféry (Guo et al., 2004).

Geneze lamprofyrů je založena na několika hlavních modelech. Jednak mohou vznikat mísením vystupujících bazaltových magmat s ultradraselnými taveninami litosférického pláště nebo pláštěm derivovaných mafických (bazaltových nebo lamproitových) tavenin se silikátovými taveninami pocházejícími z korového materiálu (Xu et al., 2007). Druhým způsobem je kontaminace mafických magmat materiálem zemské kůry (Moayyed et al., 2008; O'Leary et al., 2009; Plá Cid et al., 2006). Další možnost zahrnuje proces nízkého stupně parciálního tavení metasomatizovaného plášťového materiálu v sub-kontinentálním litosférickém plášti (Gibson et al., 2006; Riley et al., 2003; Tappe et al., 2008). A také mohou být lamprofyry derivovány přímo z astenosféry prostřednictvím plášťových plumů (Kerr et al., 2010). Podstatnou roli při formování lamprofyrových tavenin hraje lokální přínos volatilních komponent společně s diferenciací taveniny (Currie a Williams, 1993; Rock, 1984) a autometasomatické procesy (Wyman et al., 2006).

Horniny náležící ke skupině lamprofyrů byly Rockem (1977) považovány za poslední projev magmatické činnosti v určité oblasti. Novější výzkumy však prokázaly jejich tvorbu i při ranně magmatickém stádiu, což dokazuje přítomnost enkláv a kumulátů, složením odpovídajícím některým lamprofyrům, převážně v horninách granitového nebo syenitového typu (Plá Cid et al., 2006). Lamprofyry doprovázejí aplity, pegmatity nebo karbonatity, a mohou formovat tělesa pravých žil, méně ložní žíly, vulkanické přívodní kanály, pně a sopouchy, výjimečně tvoří okraje větších intruzí. Někdy je u nich evidentní subvulkanický charakter, hlavně u monchiquitů a alnöitů, běžný je i výskyt intruzivních a explozivních brekcií. Velmi neobvyklé jsou však lamprofyrové lávové proudy a výlevy, tufy a pyroklastické horniny (Rock, 1991).

5.2 Petrogeneze hlavních skupin lamprofyrů

5.2.1 Procesy vzniku vápenatoalkalických lamprofyrů

S petrogenezí vápenatoalkalických lamprofyrů bylo spojováno několik různých teorií, příkladem mohou být modely zahrnující procesy hybridizace, metasomatózy a metamorfózy, déle diferenciaci různých typů magmat ve spojení s resorpcí nebo frakcionací, i proces parciálního tavení rozmanitých plášťových hornin (Rock, 1984). Avšak jejich původ není zcela objasněn a v současnosti neexistuje jednotný model geneze této skupiny lamprofyrů (Awdankiewicz, 2010).

Přes značné množství potvrzených i vyvrácených hypotéz týkajících se původu vápenatoalkalických lamprofyrů je ale zřejmé, že jsou produktem magmatismu spjatým s konvergentním deskovým rozhraním v různých stádiích jeho vývoje. Obvykle souvisejí s post-kolizní extenzí (Plá Cid et al., 2006; Guo et al., 2004; O'Leary et al., 2009; Rock, 1984), ale mohou se vyskytovat i v pásmu extenze vázaném na zaobloukové pánve (Bratzdrum et al., 2009; Semiz et al., 2012) a také v subvulkanických sériích oblastí vulkanických oblouků a ranně stabilizovaných orogenních zón (Rock, 1984).

5.2.2 Vznik alkalických lamprofyrů

Výchozím materiálem alkalických lamprofyrů je alkalické bazaltoidní magma obohacené volatilními komponentami. Původ této skupiny lamprofyrů je spojován s magmatismem v oblastech divergentního rozhraní a extenze (např. Dessai et al., 2004). Všechny typy alkalických lamprofyrů se vyskytují s alkalickými bazalty nebo nefelín-syenitovými až gabrovými plutony. Monchiquity a sannaity se navíc objevují i v některých karbonatitových komplexech (Rock, 1977).

5.2.3 Ultramafické lamprofyry a jejich původ

Ultramafické lamprofyry jsou spjaty s kontinentální extenzí (Tappe et al., 2006), velmi vzácně s vnitrodeskovým magmatismem na oceánské kůře (Kerr et al., 2010), ale jejich původ je špatně interpretovatelný. Pravděpodobně se vyvinuly z primárních magmat derivovaných ze svrchního pláště, možná až z úrovně astenosféry, jejichž výstup musel být poměrně rychlý. Výstup teplejší hmoty do mělčí úrovně a následná termální eroze vyvolaly ztenčování litosféry a další postupné rozpínání již frakturované kůry (Gibson et al., 2006; Tappe et al., 2006). Ultramafické lamprofyry byly pravděpodobně generovány nízkým stupněm parciálního tavení různě metasomatizovaného plášťového zdroje (Kerr et al., 2010; Riley et al., 2003) bohatého na CO_2 a K (Tappe et al., 2008), zdrojem mohl být například karbonátem obohacený peridotit (Gibson et al., 2006).

Ultramafické lamprofyry se často vyskytují společně s alkalickými horninovými komplexy anebo karbonatity (Beard et al., 1996; Rilley et al., 2003; Streckeisen, 1979; Tappe et al., 2006, 2008; Upton et al., 2006). Přesto, že objemově tvoří nepatrnou část magmatismu na kontinentech, mají

zásadní význam pro pochopení událostí hlubokého tavení pláště během počátečních stádií rozvoje kontinentálních riftů a možného následného rozpadu kontinentů (Gibson et al., 2006; Riley et al., 2003; Tappe et al., 2006). Mohou se vyskytovat v oblastech LIP, především s CFB, kde tvoří ložní žíly, a representují tak impakt plumu na bázi litosféry několik milionu let před startem vulkanismu typu platobazaltů (Gibson et at., 2006; Kerr et al., 2010).

6 VZÁJEMNÉ VZTAHY MEZI JEDNOTLIVÝMI TYPY LAMPROFYRŮ A JEJICH ASOCIACE S OSTATNÍMI MAGMATICKÝMI HORNINAMI; POTÍŽE ROZLIŠENÍ

Z hlediska minerálního složení lamprofyry vytvářejí postupné přechody jak mezi svými jednotlivými typy, tak i s horninami obdobné minerální asociace (Rock, 1991). Nejen mezi lamprofyry samotnými, ale například i mezi lamprofyry, lamproity a kimberlity existují v různých klasifikačních schématech, jež jsou založena na vzájemných poměrech určitých stopových prvků, pole překryvu, která znemožňují jejich rozeznání a musí být uvažován další možný způsob odlišení (např. Moayyed et al., 2008). V některých případech může být velmi obtížné stanovit hranici mezi lamprofyry a běžnými žilnými horninami podobných mineralogických a geochemických vlastností, nebo rozhodnout o zařazení určité horniny k jednomu typu lamprofyrů (např. Fareeduddin et al., 2001; Chalapathi Rao et al., 2012).

Rozvoj výzkumu této horninové skupiny s sebou přináší nové poznatky, díky kterým je zpřesňována její klasifikace, a opětovný průzkum některých lokalit může vést k přejmenování dříve označených hornin. Například žilné horniny na ostrovech zálivu Kandalaksha v Bílém moři při pobřeží Ruska byly prvně pojmenovány jako kimberlity, poté nazvány monchiquity, a nyní na základě obsahu hlavních i stopových prvků a minerálního složení jsou definovány jako ultramafické lamprofyry (Beard et al., 1996).

6.1 Lamprofyry a jim podobné horniny

Lamprofyry mohou mít odpovídající minerální složení některým běžným magmatickým horninám. Problémem jejich vzájemného rozpoznání je absence jednoznačných kritérií. Například vápenatoalkalické lamprofyry, obzvláště spessartity a vogesity, mohou být příbuzné andezitům, dioritům, absarokitům a šošonitům. Od těchto hornin se mohou odlišovat globulární a panidiomorfní strukturou, nepřítomností ortopyroxenu nebo větší hojností olivínu. Amfibol, klinopyroxen a slída mívají vyšší hořečnatost, mohou být přítomny Zn-bohaté spinely, primární karbonáty a sulfáty. Lamprofyry mívají vyšší mg-hodnotu, obsah K2O, Ba, Rb, Sr, V, Cr, Ni a LREE/HREE (Rock, 1991).

Alkalické lamprofyry jsou značně podobné alkalickým bazaltům a bazanitům. Hlavním odlišujícím faktorem je hydratovaný stav lamprofyrů projevující se přítomností primárního amfibolu a slídy (Rock, 1977). Určité typy ultramafických lamprofyrů (např. ouachitity) mohou mít vzhledem k obsahu stopových prvků afinitu k bazaltům typu OIB (Riley et al., 2003).

Některé ultramafické lamprofyry jsou analogické melilititům a jim příbuzným horninám, avšak určitými vlastnostmi se mohou lišit. Ultramafické lamprofyry mívají ve své struktuře obsažen flogopit, obvykle ve dvou generacích, v melilititech se flogopit může vyskytovat jako vedlejší minerál v základní hmotě. Na rozdíl od melilititů, ultramafické lamprofyry obsahují amfibol a primární karbonáty. Dále zřídka mívají olivín v základní hmotě a fenokrysty melilitu, kdežto melilitity běžně obsahují dvě generace těchto minerálů. Melilitity vytvářejí lávy, ultramafické lamprofyry nikoliv (Rock, 1991). Kromě zvýšených obsahů volatilních komponent se v obsazích hlavních chemických prvků mohou ultramafické lamprofyry shodovat s určitými typy melilititů a také s horninami některých alkalických ultramafických intruzí (Beard et al., 2003).

Dále mohou být ultramafické lamprofyry podobné horninám s leucitem, především draslíkem bohatým horninovým typům jako jsou např. některé kamafugitové horniny (Rock, 1991). Takovéto horniny se vyznačují (mimo některých minerálů obsažených i v lamprofyrech) především přítomností leucitu anebo kalsilitu (Le Maitre et al., 2002; Rock, 1991). Také mívají vyšší obsah K_2O a nebývají asociovány se sodnými alkalickými horninami (karbonatity, ijolity, atd.) (Rock, 1991).

6.2 Přechody lamprofyrů do hornin příbuzného složení bez lamprofyrických vlastností

6.2.1 „Suché“ ekvivalenty lamprofyrů

Některé lamprofyry, zejména alkalické a ultramafické, postupně přecházejí do hornin podobného složení, které se však mohou lišit menším obsahem volatilních komponent, nebo dokonce i jejich absencí, a také menším množství amfibolu, biotitu a karbonátů. Obyčejně se u nich nevyskytuje globulární stavba, a oproti lamprofyrům mívají přítomny fenokrysty plagioklasu nebo olivín v základní hmotě (Rock, 1991).

Příkladem je šošonit a absarokit do nichž může přecházet spessartit nebo kersantit (Bratzdrum et al., 2009; Rock, 1991), anebo bazalt, bazanit a tefrit, s nimiž může souviset camptonit (Ahijado et al., 2001; Orejana et al., 2006; Rock, 1991), a řada dalších přechodů mezi lamprofyry a běžnými magmatickými horninami.

6.2.2 Kumuláty a diferenciáty

V prostorové asociaci některých lamprofyrů jsou občas rozšířené horninové typy obohacené nebo naopak ochuzené o mafické složky, tvoří kumuláty nebo diferenciáty (Rock, 1991). V blízkosti vápenatoalkalických lamprofyrů se mohou vyskytovat diferenciáty odpovídající porfyrům nebo malchitům a kumuláty hornblenditové, pyroxenitové nebo peridotitové. Společně s alkalickými lamprofyry mohou být přítomny diferenciáty trachytů nebo fonolitů a kumuláty o složení pikritu (Rock, 1991).

Naopak v některých horninových komplexech se také můžeme setkat s kumuláty, které jsou složením velmi blízké určitým lamprofyrům, příkladem je pikritový monchiquit a mela-spessartit (Rock, 1991) nebo enklávy minetového složení (Plá Cid et al., 2006).

6.3 Vztah lamprofyrů k lamproitům, kimberlitům a karbonatitům

V určitých horninových komplexech se běžně vyskytují ultramafické lamprofyry s kimberlity a lamprofyry vápenatoalkalické s lamproity (Rock, 1991). Poměrně častou asociací je i výskyt ultramafických lamprofyrů s karbonatity (Tappe et al., 2004, 2008).

Lamprofyry jsou mineralogicky podobné některým kimberlitům a lamproitům (Woolley et al., 1996). Určité typy kimberlitů mohou mít geochemickou a izotopovou afinitu k lamproitům a některé ke karbonatitům, občas kimberlity mohou do lamproitů i přecházet a karbonatity vzniknout diferenciací z kimberlitového magmatu (Beard et al., 2000). Lamproity, karbonatity a určité typy ultramafických lamprofyrů mohou vzniknout ze stejného typu peridotitu, avšak za odlišných podmínek (Tappe et al., 2008). Všechny tyto typy hornin tak spolu mohou být různě svázány. Podstatné při jejich vzájemném odlišení může být chemické složení jednotlivých minerálů v nich obsažených. Lze tak například odlišit kimberlity, lamproity a ultramafické lamprofyry na základě složení flogopitu, klinopyroxenu nebo spinelu (Tappe et al., 2006). V následujících kapitolách je stručně shrnuta definice lamproitů, karbonatitů a kimberlitů a aspekty jejich odlišení od lamprofyrů.

6.3.1 Spojitost lamprofyrů s lamproity

Podle současné klasifikace magmatických hornin jsou lamproity definovány jako žilné nebo výlevné, ultradraselné, peralkalické horniny s variabilním množstvím primárních minerálních fází, kterými jsou fenokrysty hliníkem chudého Ti-flogopitu, draselný richterit, olivín s převažující složkou forsteritu, hliníkem a sodíkem chudý diopsid, železnatý sanidin, železem obohacený leucit a poikilitická základní hmota s flogopitem. Naopak přítomnost některých minerálů vylučuje klasifikaci horniny jako lamproitu, jsou to primární plagioklas, melilit, monticellit, kalsilit, nefelín, Na-bohatý alkalický živec nebo sodalit (Le Maitre et al., 2002). Dále je pro ně charakteristický obsah neobvyklých minerálů z řady K-Ba a K-Zr silikátů, a také obohacení inkompatibilními prvky a prvky skupiny LILE, kterým se odlišují od lamprofyrů a některých kimberlitů (Woolley et al., 1996).

Petrografické vztahy pozorované u lamprofyrů a lamproitů naznačují, že obě tyto skupiny hornin krystalizovaly z magmat, která byla bohatá volatiliemi a vznikla částečným tavením metasomatizovaných plášťových zdrojů (Plá Cid et al., 2006). Podle Tappe et al. (2008) jsou lamproity produkty nejextrémnějšího parciálního tavení plášťového materiálu, který byl přednostně obohacený inkompatibilními prvky a volatiliemi.

Některé výzkumy odůvodňují vznik lamprofyrových magmat modifikací lamproitové taveniny (Rios et al., 2007; Rock, 1984; Tappe et al., 2008), například mísením Al-bohatého lamproitového

magmatu s částečně vykrystalizovanými peraluminickými monzogranity (Carlier et al., 1997). Vznik lamprofyrů z tavenin lamproitového složení tak odůvodňuje jejich podobné minerální složení a společný výskyt v některých oblastech, a naznačuje případný problém jejich vzájemného odlišení nebo správného pojmenování příslušné horniny. V některých případech může být afinita lamprofyrů k lamproitům značná (Semiz et al., 2012; Tappet et al., 2008).

Lamproity na rozdíl od lamprofyrů obsahují sodno-vápenatý amfibol o složení richteritu nebo sodný amfibol odpovídající riebeckitu, ale chybí jim plagioklas, jenž je hlavní komponentou mnoha lamprofyrů. Ovšem mohou se vyskytovat lamprofyry obsahující sodný amfibol (Müller et al., 1993). Takovýmto zvláštním druhem lamprofyru je *alkalická mineta*, jež je peralkalická a ve své struktuře má zastoupen alkalický amfibol (Hejtman, 1957), nebo *mineta sodná* obsahující richterit nebo některý ze sodných amfibolů (riebeckit, ackermanit, arfvedsonit) (Rock, 1984). Matchan et al. (2009) popisují případ, kdy hornina na základě celkové geochemické analýzy a minerálního složení odpovídá podle doporučené klasifikace lamproitům, ale při více podrobných mineralogických kritériích by měla být klasifikována spíše jako alkalická mineta. Občas tak může být složité určit, zda se jedná o minetu s alkalickým amfibolem nebo zda už bude hornina popsána jako lamproit.

Další zvláštní případ předkládá Krmíček et al. (2011), kteří popisují peralkalické, ultradraselné žíly obsahující převážně mikroklin a draselný amfibol o složení richteritu v lokalitě Šebkovice nedaleko Třebíče na západní Moravě. Zdejší žilný roj byl původně nazván jako „alkalický mikrosyenit minetové diferenciační série“, nyní je Krmíčekem et al. (2011) popisován jako „nový druh lamproitu s vysokým obsahem SiO_2“.

V některých horninových komplexech se můžeme setkat s peralkalickými ultradraselnými žilnými horninami blízkými lamprofyrům a lamproitům, které mají zavedené speciální názvy. Jedná se například o thuresit nebo karlsteinit, a také raabsit. *Raabsit* značí peralkalickou minetu tvořící přechodnou varietu k výrazně peralkalickým žilným horninám. Tato hornina je definována obsahem mikroklinu, sodného amfibolu, biotitu a olivínu (Hackl a Waldman, 1935). *Thuresit* je slabě peralkalický mikrosyenit složený z mikroklinu, Na-amfibolu a hornblendu s augitovými jádry (Hackl a Waldman, 1935). *Karlsteinit* značí silně peralkalický až pearakaliový křemenný mikrosyenit až mikrogranit charakterizovaný hojným obsahem mikroklinu a alkalického amfibolu (Hackl a Waldman, 1935).

Některé aillikity mohou mít mineralogické složení podobné olivínovým lamproitům, například výskyt fenokrystů olivínu a flogopitu se základní hmotou tvořenou draselným richteritem s vysokým obsahem Ti, ale lze je odlišit podle výrazně nižšího obsahu a stupně saturace SiO_2 (30-37% na rozdíl od 41-46 % pro typické olivínové lamproity). Aillikity vyžadují pro svůj vznik přítomnost CO_2, kdežto pro lamproity je potřebný zdroj H_2O (Beard et al., 1996; Tappe et al., 2008).

6.3.2 Postavení lamprofyrů a kimberlitů

Kimberlity jsou vzácné ultramafické horniny spjaté s vulkanismem uvnitř staré kontinentální kůry (Beard et al., 2000; Müller a Groves 1997). Podle Le Maitra et al. (2002) jsou rozdělovány do dvou skupin, jež jsou mineralogicky odlišné a petrogeneticky rozdílné.

Kimberlity I. skupiny jsou bohaté volatiliemi (dominantně CO_2), draselné, ultrabazické horniny. Obsahují makrokrysty a megakrysty xenomorfního olivínu, Mg-ilmenitu, pyropu, diopsidu, flogopitu, enstatitu a Ti-chudého chromitu, z nichž některé jsou xenokrysty. Matrix je složena z druhé generace automorfního až hypautomorfního olivínu, který se vyskytuje společně s některými dalšími primárními fázemi, jako je monticellit, flogopit, perovskit, spinel, apatit, karbonát a serpentin. Tyto kimberlity jsou hybridní horniny s problematickým odlišením primárních komponent od xenokrystů, což naznačuje jejich obtížnou klasifikaci (Le Maitre et al., 2002).

Kimberlity II. skupiny (orangeity) náleží ke skupině ultradraselných, peralkalických, volatiliemi (hlavně H_2O) bohatých hornin. Je pro ně charakteristická přítomnost flogopitových makrokrystů a mikrofenokrystů společně se slídou v základné hmotě, jejíž složení odpovídá tetraferriflogopitu až flogopitu. Olivín ve formě zaoblených makrokrystů i primárních automorfních krystalů je běžný, ale není vždy hlavní komponentou. Typickými primárními fázemi v základní hmotě jsou diopsid, spinelidy (Mg-chromit až Ti-magnetit), perovskit, apatit, fosfáty (monazit), rutil a ilmenit obsahující Mn. Některé typy mohou mít v základní hmotě sanidin a draselný richterit. Skupina těchto hornin je mineralogicky bližší lamproitům, než kimberlitům I. skupiny, avšak i od typických lamproitů se v určitých ohledech významně liší (Le Maitre et a., 2002).

Některé ultramafické lamprofyry, např. alnöity (Rock, 1977) nebo damtjernity (Kerr et al., 2010), mohou být svým chemickým i mineralogickým složením kimberlitům velmi podobné a některými autory byly chápány jako variety kimberlitu, hlavně vzhledem k podobnému makroskopickému vzhledu a problematickému odlišování podle existujících klasifikačních schémat (Tappe et al., 2006). Nicméně některé rozdíly v chemickém a modálním složení (popsané níže) a chybějící prostorové vztahy mezi ultramafickými lamprofyry a kimberlity naznačují, že jsou derivovány z odlišných typů magmat (Tappe et al., 2006).

Z chemického hlediska se ultramafické lamprofyry odlišují od pravých kimberlitů nižšími poměry SiO_2/Al_2O_3, MgO/CaO, obsahy Cr a Ni, ale vyšším množstvím Zn, P_2O_5 a CO_2, jež odrážejí větší kvantitu karbonátů a apatitu, ale menší zastoupení olivínu. V ultramafických lamprofyrech bývá běžný alkalický živec, foidy, Ti-Zr-melanit, melilit, primární karbonáty bohatší na Mg a Fe, a Na-Fe-Ti-Al-bohaté amfiboly, které ale chybí v typických kimberlitech. Makrokrysty olivínu bývají automorfní v ultramafických lamprofyrech a zaoblené v kimberlitech. Pyroxeny v lamprofyrech mívají značně vyšší obsah Al_2O_3 a TiO_2. Některé flogopity v ultramafických lamprofyrech dosahují mnohem

vyšších hodnot TiO_2, spinely někdy vykazují obohacení Zn a Mn, ilmenity mohou být bohatší na Mn, a některé perovskity obsahují více Na a Fe (Rock, 1991).

Odlišné je i prostředí vzniku obou hornin. Ultramafické lamprofyry se převážně vyskytují v oblastech extenze, běžně jsou asociovány s karbonatity, a navíc souvisejí s magmatickou aktivitou v některých provinciích platobazaltů a oceánických plató. Naproti tomu kimberlity jsou vázány výhradně na starou, dlouhodobě stabilní kontinentální litosféru, zejména archaické kratony, případně i přilehlé části okolních proterozoických mobilních pásem (Tappe et al., 2006).

6.3.3 Vztahy lamprofyrů a karbonatitů

Karbonatity jsou plutonické nebo vulkanické horniny s obsahem karbonátů nad 50% (Le Maitre et al., 2002). Jejich společný výskyt s lamprofyry se vyznačuje postupným přechodem aillikitu do karbonatitu a mela-aillikitu (Tappe et al., 2004, 2008). Karbonatity a aillikity mají běžně vyšší obsah karbonátu a nedostatek klinopyroxenu, mela-aillikity jsou bohatší na mafické silikáty, hlavně klinopyroxen a amfibol, a obsahují pouze malé množství primárního karbonátu (Tappe et al., 2004).

Petrogenetický vztah karbonatitů a lamprofyrů je velmi spekulativní (Tappe et al., 2006). V některých případech jsou ultramafické lamprofyry považovány za mateřské taveniny karbonatitových komplexů (Beard et al., 1996; Tappe et al., 2006; Upton et al., 2006). Podle Tappe et al. (2006) může být rozdíl ve složení karbonatitů a ultramafických lamprofyrů odrazem heterogenity plášťového zdroje nebo variability v procesech tavení, nebo se týká modifikace běžných mateřských magmat ultramafických lamprofyrů při nízkotlakých procesech jako nemísivost tavenin a devolatilizace.

Plynulý přechod ve složení od aillikitu do mela-aillikitu vyznačující se překryvem celkového obsahu hlavních prvků naznačuje, že jejich mateřská magmata jsou příbuzná. Kontinuální složení vylučuje při formování tavenin proces frakční krystalizace (Tappe at al., 2004). Podle Tappe at al. (2004) aillikity, karbonatity a mela-aillikity krystalizovaly z podobných typů magmat, ale za odlišného tlaku a teploty a velmi významnou roli hrály volatilní podmínky. Mela-aillikity musely krystalizovat pomaleji a ve větších hloubkách, ale v otevřeném systému, který umožňoval ztrátu volatilních komponent, na rozdíl od aillikitů a karbonatitů (Tappe et al, 2004; Upton et al, 2006).

V karbonatitových komplexech se běžně vedle sebe vyskytují ultramafické lamprofyry s alkalickými, zřídka s vápenatoalkalickými. Alkalické a ultramafické lamprofyry společně vytvářejí kontinuální látkovou řadu, ale mohou se různě lišit ve složení melilitu, perovskitu a flogopitu, které se v ultramafických lamprofyrech blíží složením běžným pro karbonatity. Vzhledem k obtížnému rozlišení primárního a sekundárního karbonátu, někdy bývá problém odlišit karbonátový alnöit, kde melilit byl nahrazen sekundárními karbonáty, od aillikitu a karbonatitu (Rock, 1991).

6.4 Vzájemné přechody mezi jednotlivými skupinami a typy lamprofyrů

Přechody a asociace mezi jednotlivými skupinami a typy lamprofyrů jsou široce rozšířené a zdokumentované na mnoha místech (Rock, 1991). Příkladem může být vzájemný vztah aillikitů, mela-aillikitů a damtjernitů (Tappe et al., 2006), výskyt minet s kersantity (Ownby et al., 2008), spessartitů s kersantity (Bratzdrum et al., 2009) nebo různých vápenatoalkalických lamprofyrů (spessartitů, minet a vogesitů) s lamprofyry alkalickými (Plát Cid et al., 2006).

Nejčastěji se spolu vyskytují dvě skupiny lamprofyrů, převážně vápenatoalkalické lamprofyry s alkalickými nebo alkalické s ultramafickými, ale možný je i společný výskyt zástupců všech tří skupin těchto hornin (Rock, 1991).

V některých oblastech byly zaznamenány výskyty lamprofyrových žil s vnitřními partiemi a okraji tvořenými odlišnými typy lamprofyrů. Například žíly kersantitu se spessartitovými okraji jejichž chemické složení může být (ve shodě s principem heteromorfismu) téměř identické (Kramer a Seifert, 1994). Vyskytují se také minety, ve kterých místy amfibol převládá nad biotitem a hornina tak tvoří přechodní typ k vogesitu (Hejtman, 1957).

Kvůli vzájemným přechodům může být obtížné zařadit lamprofyry do jedné určité skupiny nebo je vzájemně odlišit. Například nově objevené lamprofyrové žíly uvnitř narmadské riftové zóny v severozápadní Indii nelze podle existujících klasifikačních schémat přímo přiřadit k jedné skupině lamprofyrů, neboť vykazují některé mineralogické a geochemické vlastnosti charakteristické pro lamprofyry alkalické (karbonátová „očka“, kaersutit, vysoký obsah Al a Ti v biotitu, Ne-normativnost, vysoký obsah Ti a celková Na-K povaha ($Na_2O > K_2O$)) i vápenatoalkalické (vysoký obsah SiO_2 a K_2O) lamprofyry (Chalapathi Rao et al., 2012).

6.5 Plutonické a vulkanické ekvivalenty lamprofyrů

Podle Rocka (1991) přímé ekvivalenty lamprofyrů mezi běžnými plutonity a vulkanity neexistují. Alkalické lamprofyry mohou být nejvíce podobné horninám typu alkalických bazaltů, bazanitů, nefelinitů a gaber s amfibolem, jež jsou bohaté na volatilní složky (Rock 1991). Některé vápenatoalkalické lamprofyry se složením podobají šošonitickým horninám (Bratzdrum et al., 2009; Rock, 1984; 1991).

Existují však zvláštní typy mafických plutonických hornin, jež s lamprofyry pravděpodobně souvisejí, byly generovány ze stejných typů magmat, mohou případně do lamprofyrů přecházet nebo představovat kumuláty z lamprofyrových tavenin. Jedná se například o appinity, jež jsou plutonickým ekvivalentem vogesitu a spessartitu (Rock, 1991), durbachity představující melanokratní varietu syenitu a mající chemické složení minet (Rock, 1991; Wimmenauer, 1974), nebo vaugnerity, plutonické ekvivalenty kersantitů, někdy i minet (Rock, 1991; Wimmenauer, 1974).

7 DIFERENCIACE VÁPENATOALKALICKÝCH LAMPROFYROVÝCH TAVENIN; LAMPROFYRY A PORFYRY

Rock (1984) uvedl, že vápenatoalkalická lamprofyrová tavenina by mohla vytvořit diferenciáty granitového složení. Tuto hypotézu Rock (1991) dále rozvinul na základě nových výzkumů vztahů mezi granity a lamprofyry, a výskytů magmatických enkláv složením blízkým lamprofyrům v některých granitoidech. Plá Cid et al. (2006) uvedli, že lamprofyrová tavenina mohla generovat horniny syenitového složení, což dokládá i výzkum Riose et al. (2007), kteří shledali, že syenitové magma bylo formováno frakční krystalizací z mateřského lamprofyrového magmatu. Tyto myšlenky tak vrhají nový pohled na význam lamprofyrových magmat a vztah lamprofyrů k těmto horninám.

Vzhledem k původu vápenatoalkalických lamprofyrových tavenin, které mohou být různě modifikovány mixingem, minglingem, frakcionací nebo asimilací, může z primární taveniny vzniknout řada odlišných dceřiných magmat a petrograficky variabilních žilných hornin (Awdankiewicz, 2010).

7.1 Společný výskyt vápenatoalkalických lamprofyrů a porfyrů

V souvislosti s diferenciací magmatu se často vyskytují přechody mezi vápenatoalkalickými lamprofyry a běžnými magmatickými horninami (různými druhy porfyrů), díky kterým může být klasifikace příslušné horniny poněkud obtížná a diskutabilní.

Spessartity mohou přibýváním vyrostlic plagioklasu přecházet do porfyrických mikrodioritů, resp. dioritových porfyrů, minety přibýváním živcových fenokrystů do porfyrických mikrosyenitů (syenitových porfyrů). Porfyrické mikrosyenity se postupným přibýváním křemene mohou měnit v porfyrické mikrogranity, zvyšováním množství vyrostlic tmavých minerálů v lamprofyry (Hejtman, 1957,1984).

Zdokumentovaný je také výskyt lamprofyrových žil, jež od okraje do centra postupně přecházejí v podobné horninové typy. Příkladem je mineta ze středočeského plutonického komplexu, která se směrem ke středu žíly mění na křemenný melasyenitový až granitový porfyr (Holub et al., 2009), nebo granitový porfyr v jádru žíly přecházející přes granodioritový porfyr a dioritový až křemendioritový porfyr do kersantitu, jež byl zdokumentován na Jáchymovsku (Hejtman, 1984).

Vzhledem k tomu, že v některých kersantitech a minetách, ale také porfyrech se mohou vyskytovat podobné křemenné xenolity (Hejtman, 1957), a i v ostatních typech vápenatoalkalických lamprofyrů byly nalezeny xenokrysty křemene nebo živce (Cid Plá et al., 2006; Müller a Groves, 1997; O'Leary et al., 2009; Xu et al., 2007), může být následkem jejich záměny za fenokrysty příslušná hornina chybně pojmenována.

7.2 Mikrodiority, spessartity, vogesity a kersantity

Jedním z úskalí při klasifikaci hornin jsou problémy s přechodnými horninovými typy mezi vápenatoalkalickými lamprofyry a dioritovými porfyry. Některé dioritové porfyry mohou vzniknout mísením magmat lamprofyrického složení s magmaty kyselými, a mohou mít lamprofyrický vzhled (Štemprok et al., 2008).

Pro horniny dioritového složení je typický obsah plagioklasu (nejčastěji andezinu, méně oligoklasu) běžně s hornblendem, častý je biotit nebo augit, v menší míře křemen a K-živec. Akcesoricky je přítomen apatit, titanit, ilmenit, magnetit nebo pyrit, občas granát, a někdy zirkon (Hejtman, 1957; Le Maitre et al., 2002). Odlišit diority a vápenatoalkalické lamprofyry (převážně spessartity a vogesity) lze na základě několika mineralogických detailů, které jsou přehledně shrnuty v Tab. 2.

Tab. 2. *Některé mineralogické a mikrstrukturní rozdíly mezi vápenatoalkalickými lamprofyry a diority. Upraveno podle Rocka (1991).*

	Diorit	**Spessartit/vogesit**
Olivín	vzácný	mohou se vyskytovat pseudomorfózy
Ortopyroxen	vzácný	chybí
Klinopyroxen	augit	Ti-diopsid
Amfibol	běžně hornblend, obvykle xenomorfní	pargasit/tschermakit, obvykle automorfní
Slída	běžně xenomorfní biotit	běžně lištovitý flogopit
Vyrostlice plagioklasu	vzácné	chybí
Karbonát	nezaznamenán	běžně akcesorický
Globulární textura	nezaznamenána	běžná
Korové xenolity	vzácné	běžné

Pivec et al. (2002) zdokumentovali výskyt dioritového porfyru v asociaci s kersantitem a biotitovým spessartitem, jež místy do těchto lamprofyrů i přechází, je jim velmi podobný, a lze ho odlišit pouze podle obsahu plagioklasových fenokrystů a menšího množství vyrostlic mafických minerálů. Navíc všechny tyto výše jmenované žilné horniny mohou obsahovat xenokrysty křemene. Pokud jsou ještě značně alterované, původní petrografický charakter je těžce rozeznatelný, a horniny pak mohou být nazvány pouze jako „alterované mafické žilné horniny“ bez dalšího rozlišení (Pivec et al., 2002).

Někdy může být problematické rozhodnout o zařazení horniny mezi lamprofyry nebo mikrodiority. Například hornina na základě mineralogického a petrografického popisu se může nacházet mezi typickými mikrodiority a amfibolovými lamprofyry (Krmíček et al., 2011). Dále se vyskytuje případ alkalicko-živcového porfyrického mikrodioritu s chemismem podobným

lamprofyrům, u kterého však nelze vyloučit, že by se mohlo jednat o živcem bohatou část zonální žíly lamprofyru (Krmíček et al., 2006).

8 RŮZNÁ POJETÍ KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ; ZAČLENĚNÍ LAMPROFYRŮ DO KLASIFIKAČNÍHO SYSTÉMU IUGS

Během dlouholetého vývoje definice a klasifikace lamprofyrů se objevilo několik zajímavých představ a názorů, které si zde zaslouží zmínku. Jako příklad je uvedeno promítnutí lamprofyrů do QAPF diagramu publikované Streckeisenem (1979), myšlenka „lamprofyrických hornin" zavedená Le Maitrem et al. (1989), idea „lamprofyrového klanu" vytvořená Rockem (1991), koncept „lamprofyrových facií" navrhnutý Mitchelem (1994), a na závěr je zmíněna integrace lamprofyrů, lamproitů a kimberlitů do klasifikačního systému magmatických hornin předložená Woolleyem et al. (1996).

8.1 Projekce lamprofyrů do QAPF diagramu

Primární modální klasifikace plutonických a vulkanických hornin je založena na vzájemném poměru skupin určitých minerálů (Le Maitre et al., 2002). Principem modální analýzy je stanovení objemového složení minerálů v hornině, například výpočtem z chemické analýzy, a pak následné vynesení získaných hodnot do QAPF diagramu (obr. 3) a konečné určení horniny.

Dvojitý trojúhelníkový diagram má čtyři vrcholy (Q, A, P a F), z nichž každý představuje danou skupinu minerálů:

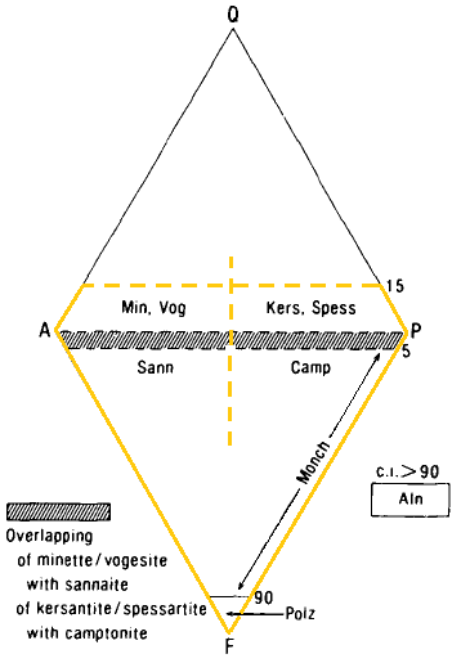
- **Q** = křemen, tridymit, cristobalit;
- **A** = alkalický živec (ortoklas, mikroklin, perthit, anortoklas, sanidin) a albit ($An_{0–5}$);
- **P** = plagioklas ($An_{5–100}$) a skapolit;
- **F** = foidy (nefelin, leucit, kalsilit, analcim, sodalit, nosean, haüyn, cancrinit a pseudoleucit).

Přítomnost minerálů skupiny *Q* a *F* se vzájemně vylučuje. Tento diagram lze užít pouze v případě, že hornina má $M < 90\%$. Symbol *M* značí mafické a příbuzné minerály, např. slída, amfibol, pyroxen, olivín, opakní minerály, akcesorické minerály (zirkon, apatit, titanit), epidot, allanit, granát, melilit, monticellit, primární karbonát (Le Maitre et al., 2002). Pokud $M > 90\%$ jedná se o ultramafickou horninu, jejíž klasifikace je upravena podle obsahu mafických minerálů jiným diagramem.

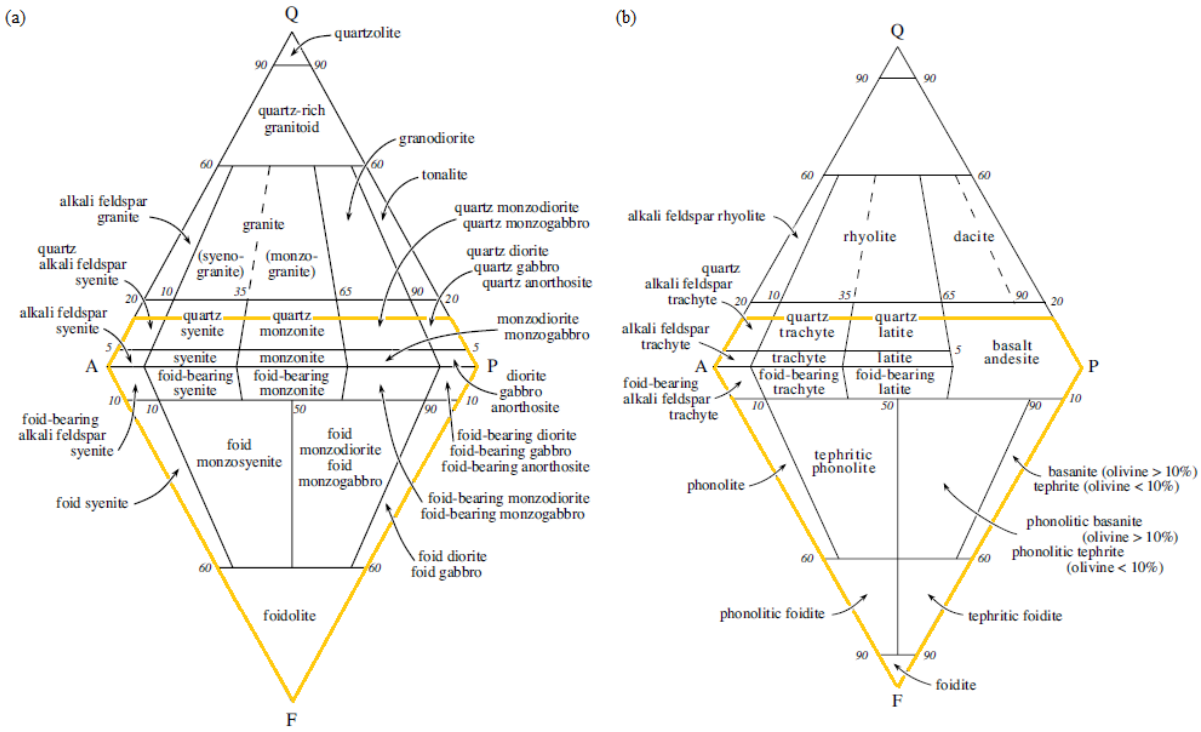
Streckeisen (1979) se pokusil promítnout hlavní typy lamprofyrů na základě jejich modálního obsahu do QAPF diagramu, což bylo ale zpochybněno Rockem (1991). Výsledek jeho práce je zobrazen na obr. 2. Sám Streckeisen (1979) ve svém díle uvedl, že je obtížné přesně určit modální (minerální) obsah lamprofyrů vzhledem k častým hydrotermálním alteracím. Rock (1991) dále argumentoval, že značné množství skla v monchiquitech může výrazně ovlivnit nebo znemožnit

stanovení modální analýzy, a také, že obsah mafických minerálů v některých lamprofyrech se pohybuje okolo hraniční hodnoty 90% a malé variace ve složení, tak již mohou znemožnit jejich klasifikaci podle tohoto diagramu. Z toho vyplývá, že tento diagram není moc přesný, ale pro hrubé přiblížení dostačující.

Pro názornost je přiložen QAPF diagram plutonických (obr. 3a) a vulkanických hornin (obr. 3b) publikovaný Le Maitrem et al. (2002). Při porovnání těchto schémat s QAPF diagramem pro lamprofyry zhruba získáme podobu základních typů lamprofyrů s druhy plutonických a vulkanických hornin. Je patrné, že mineta s vogesitem se složením podobají syenitu nebo monzonitu, kersantit a spessartit se shodují s monzonitem, dioritem a gabrem, pro sannait je příslušnou horninou syenit/monzonit s foidy až foidový monzosyenit, camptonit odpovídá monzodioritu nebo monzogabru s foidy a foidovému monzodioritu/monzogabru, monchiquit je podobný foidovému dioritu anebo gabru, a polzenit spadá do pole foidolitu. Alnöit obsahuje více než 90% mafických komponent a tudíž nemůže být zakreslen do tohoto diagramu. Opět je zde pro úplnost zmiňován alnöit s polzenitem, přesto, že jsou nyní IUGS řazeny mezi horniny s melilitem.



Obr. 2. *QAPF diagram s poli lamprofyrů podle Streckeisena (1979).*



Obr. 3. *QAPF diagramy pro plutonické (a) a vulkanické horniny (b) podle Le Maitrea et al. (2002).*

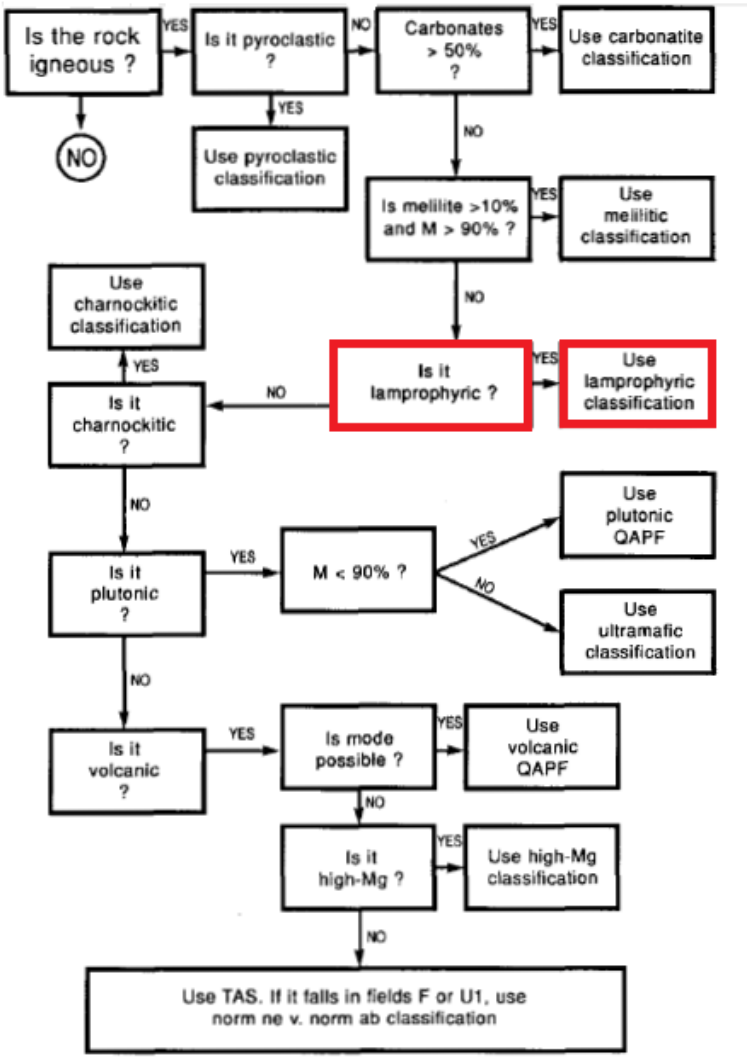
8.2 Skupina „lamprofyrických hornin“

Le Maitre et al. (1989) začlenili lamprofyry do klasifikačního systému pro magmatické horniny spolu s lamproity a kimberlity ve skupině, označené jako *„lamprofyrické horniny“*. Tato myšlenka byla považována za vhodnou, dokud nebyla stanovena uspokojivější klasifikace (Woolley et al., 1996).

Termín „lamprofyrické horniny“ použili dále ve své klasifikaci Le Bas a Streckeisen (1991). Tito autoři uvedli, že z důvodu včasného publikování kompendia IUGS o klasifikaci magmatických hornin a zbytečného nezdržování jejího zveřejnění, je zavedení názvu „lamprofyrické horniny“ dočasným kompromisem, a že těmto horninám by měla být později věnována pozornost. V jejich hierarchickém systému jsou lamprofyrové horniny chápány jako silně porfyrické, jež tvoří menší intruze a obsahují pouze mafické fenokrysty, obvykle biotitu, amfibolu nebo pyroxenu, živec je vázán jen na základní hmotu. Skupina lamprofyrických hornin je v jejich schématu klasifikačního postupu (obr. 4) zahrnuta ve čtvrtém kroku, hned po vyloučení příslušnosti horniny k pyroklastikům, karbonatitům a melilitovým horninám.

Le Bas a Streckeisen (1991) konstatovali, že jejich klasifikace je nedokonalá a měla by být zlepšena. Z toho důvodu Woolley et al. (1996) opustili termín lamprofyrické horniny a sestavili nové schéma, ve kterém samostatně vystupují lamprofyry, kimberlity a lamproity, a jsou odlišeny od melilitových, kalsilitových a leucitových hornin (viz. Integrace lamprofyrů, lamproitů a kimberlitů do

klasifikačního systému magmatických hornin a jejich odlišení od melilitových, leucitových a kalsilitových hornin).



Obr. 4. *Zjednodušené schéma IUGS klasifikace magmatických hornin podle Le Base a Streckeisena (1991).*

8.3 Lamprofyrový klan

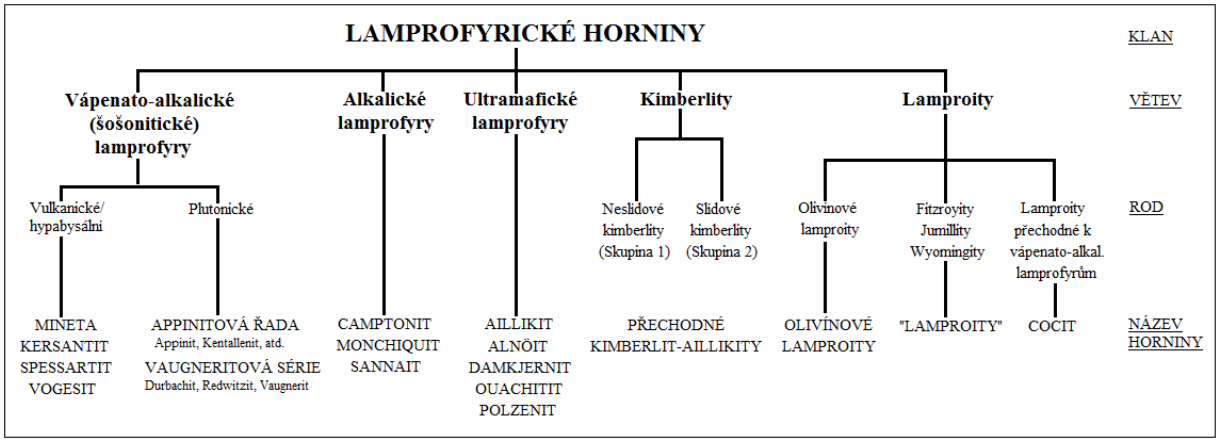
Koncept lamprofyrového klanu byl navrhnut Rockem roku 1991 v jeho monografii věnované lamprofyrům. Rockovo členění je znázorněno na obr. 5, podle něhož je lamprofyrový klan rozdělen do pěti větví – vápenatoalkalické lamprofyry, alkalické lamprofyry, ultramafické lamprofyry, kimberlity a lamproity, které se dále dělí na několik základních horninových typů.

Zavedení této myšlenky Rock (1991) obhajoval podobnými vlastnostmi hornin náležících do klanu a jejich rozdíly od běžných magmatických hornin. Dále konstatoval, že rozhraní mezi jednotlivými větvemi klanu nejsou ostrá, ale plynulá s mnoha přechody, a že klasifikace hornin na základě této hierarchické struktury je velmi výstižná v každém stádiu popisu horniny podle stavu získaných informací.

Důvod pro zahrnutí lamproitů do klanu byl také hlavně z etymologického hlediska. Rock (1991) se navrátil k původní definici lamproitů (=extruzivní horniny lamprofyrového vzhledu) zavedené Nigglim (1923).

Začlenění kimberlitů Rock (1991) zdůvodňoval navzájem blízkým mineralogickým a geochemickým složením kimberlitů a některých lamprofyrů. Kimberlity mají s lamprofyry nejen souhlasné minerální asociace, ale i strukturu a zčásti způsob výskytu. Dále jsou podle Rocka (1991) kimberlity z mikroskopického hlediska velmi podobné aillikitům a mohou být od sebe odlišeny jen v nepatrných detailech, například ve vývoji složení spinelu nebo slídy.

Na základě těchto argumentů Rock (1991) uvedl, že by bylo nesmyslné řadit zmiňované horniny do oddělených skupin. Přesto byla jeho myšlenka některými autory později zamítnuta, například Mitchellem (1994).



Obr. 5. *Hierarchické členění „lamprofyrového klanu" podle Rocka (1991).*

8.4 Lamprofyrové facie

Myšlenku lamprofyrových facií zaved Mitchell roku 1994. Považuje lamprofyry za polygenetickou skupinu hornin, která byla formována při krystalizaci běžných typů magmat (lamproitových a kimberlitových) v podmínkách bohatými volatilními komponentami. Popírá tak existenci primárních lamprofyrových magmat.

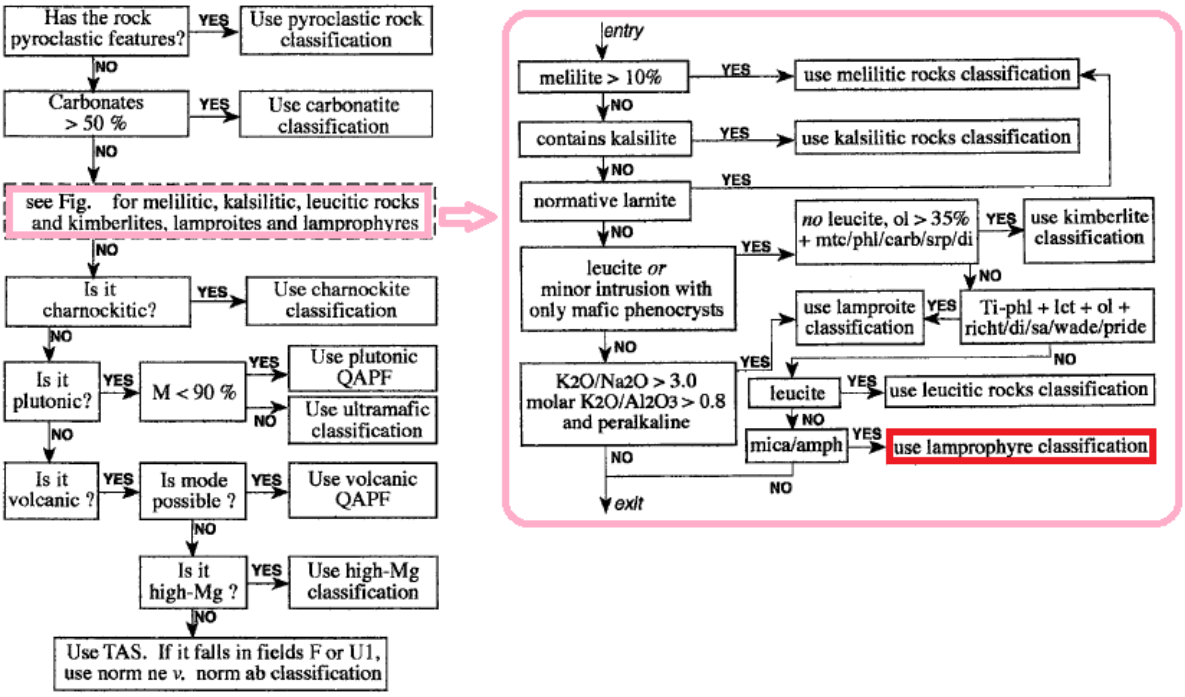
Mitchell (1994) zpochybňuje Rockovo (1991) pojetí lamprofyrového klanu a poukazuje na význam termínu „klan", jenž je užíván v magmatické petrologii odlišně. Podle původní definice by „klan" mě být použit pro horniny, které byly vytvořeny diferenciací a krystalizací mateřského magmatu. Rock použil klan pro seskupení hornin s podobnými petrografickými vlastnostmi, avšak geneticky nepříbuzných.

Mitchell (1994) nepopírá používání adjektiva „lamprofyrický", ale doporučuje jeho užívání pro popis facií hornin vzniklých z určité primární taveniny. Krystalizace magmatu za odlišných podmínek vede ke vzniku facií určitého petrologického klanu. Například sannaity, camptonity a monchiquity by

podle Mitchella (1994) mohly být popsány jako „horniny lamprofyrické facie klanu alkalického olivínového bazaltu“. Facie mají v podstatě genetický význam a jejich užívání pro klasifikaci magmatických hornin by mohlo zamezit nesprávnému pojmenování hornin s lamprofyrovými vlastnostmi (například některých kimberlitů nebo lamproitů).

8.5 Integrace lamprofyrů, lamproitů a kimberlitů do klasifikačního systému magmatických hornin a jejich odlišení od melilitových, leucitových a kalsilitových hornin

Woolley et al. (1996) doplnili systém klasifikace magmatických hornin navržený Le Basem a Streckeisenem z roku 1991. Kroky z předešlé klasifikace týkající se třídění melilitových hornin a lamprofyrů nahradil krokem novým, jež zahrnuje rozlišení leucitových, melilitových a kalsilitových hornin, lamprofyrů, lamproitů a kimberlitů (viz. obr. 6). Woolley et al. (1996) tyto horniny definovali na základě výskytu mafických fenokrystů, obsahu hlavních minerálů, a jejich původu z drobné intruze. Zdůraznili však, že jejich hierarchický systém není definitivní a obsahuje minimální množství informací. Každá klasifikace lamprofyrů, kimberlitů a lamproitů používající tento systém by podle nich měla být považována za provizorní.



Obr. 6. *Schéma klasifikace magmatických hornin se začleněním lamprofyrů, lamproitů, kimberlitů a melilitových, kalsilitových a leucitových hornin podle Woolleye et al. (1996).*

Woolley et al. (1996) dále naznačili, že při sestavení klasifikačního systému by měla být uvažována geneze hornin, a je podle nich nerozumné popisovat lamprofyry jako jednu skupinu hornin, vzhledem k jejich rozdílnému původu. Tento názor je v souladu s pojetím Mitchellovým (1994).

9 SOUČASNÁ KLASIFIKACE LAMPROFYRŮ PODLE IUGS

Hlavním principem systému klasifikace magmatických hornin navrhnutého Le Maitrem et al. (2002) je hierarchický postup, který rozlišuje „speciální“ a „normální“ horninové typy na základě minerálního, popřípadě chemického složení. Mezi speciální typy hornin patří například pyroklastické horniny, karbonatity, kimberlity, lamproity nebo lamprofyry, k normálním horninám jsou řazeny běžné plutonity a vulkanity. Možnou příslušnost k některé speciální skupině je při klasifikaci horniny nutné prověřit či vyloučit před použitím základních klasifikačních diagramů pro normální plutonity nebo vulkanity.

9.1 Definice a klasifikace základních typů lamprofyrů

V poslední příručce *Subkomise IUGS pro klasifikaci a názvosloví magmatických hornin* (Le Maitre et al., 2002) jsou lamprofyry charakterizovány jako variabilní skupina hornin s obtížným chemickým odlišením od běžných magmatických hornin. Je zde rozeznáváno sedm základních typů lamprofyrů na základě mineralogického složení (viz. Tab. 3) – *mineta*, *kersantit*, *vogesit*, *spessartit*, *sannait*, *camptonit* a *monchiquit* - a tyto typy jsou definovány ve shodě s prací Streckeisena (1979). Nově zde však alnöit a polzenit nejsou považovány za lamprofyry, ale jsou zařazeny spolu s nelamprofyrovými typy do skupiny hornin s melilitem.

Tab. 3. *Klasifikace a názvosloví lamprofyrů založené na minerálním obsahu podle Le Maitrea et al. (2002).*

Světlé minerály		**Převládající mafický minerál**		
živec	foid	biotit > hornblend, ± diopsidický augit, (± olivín)	hornblend, diopsidický augit, ± olivín	hnědý amfibol, Ti-augit, olivín, biotit
alk. ž. > plg	-	*mineta*	*vogesit*	-
alk. ž. < plg	-	*kersantit*	*spessartit*	-
alk. ž. > plg	živec > foid	-	-	*sannait*
alk. ž. < plg	živec > foid	-	-	*camptonit*
-	sklo nebo foid	-	-	*monchiquit*

Alk. ž. = alkalický živec; plg = plagioklas.

9.2 Nedostatky a omezení stávající klasifikace

Značným nedostatkem posledního publikovaného systému klasifikace magmatických hornin je úplné opomenutí skupiny ultramafických lamprofyrů. Le Maitre et al. (2002) ve svém postupu zohledňují pouze vápenatoalkalické a alkalické lamprofyry, alnöit s polzenitem přeřazují mezi horniny s melilitem, ale aillikit, damtjernit a ouachitit nejsou vůbec zmiňovány. Z tohoto důvodu Tappe et al. (2005) navrhli úpravu stávajícího systému.

Schéma na obr. 7 znázorňuje zavedení nového kroku do systému klasifikace navrženého Le Maitrem et al. (2002). Tappe et al. (2005) v tomto novém kroku specifikovali rozlišení ultramafických lamprofyrů, kimberlitů, orangeitů a olivínových lamproitů. Ve své studii použili zjednodušenou verzi klasifikace ultramafických lamprofyrů zavedenou Rockem v roce 1986, tj. definují zde tři typy této skupiny lamprofyrů – alnöit, aillikit a damtjernit. Ouachitit a polzenit jsou zde podle nich pro zjednodušení vynechány, vzhledem k tomu, že se jedná o více felsické (nefelín obsahující) variety damtjernitu a alnöitu.

Všechny výše vyjmenované horniny jsou Tappem et al. (2005) souhrnně definovány jako nestejnozrnné ultramafické (melanokratní až holomelanokratní) horniny s M > 90% a obsahem makrokrystů anebo fenokrystů olivínu a flogopitu, a dále jsou podrobněji rozdělovány podle následujícího postupu.

Pokud hornina:

a) neobsahuje primární karbonát, může se jednat o lamproit a je dále popisována podle klasifikace IUGS v sekci „*Lamproity*“;

b) obsahuje-li melilite, jedná se o *alnöit*;

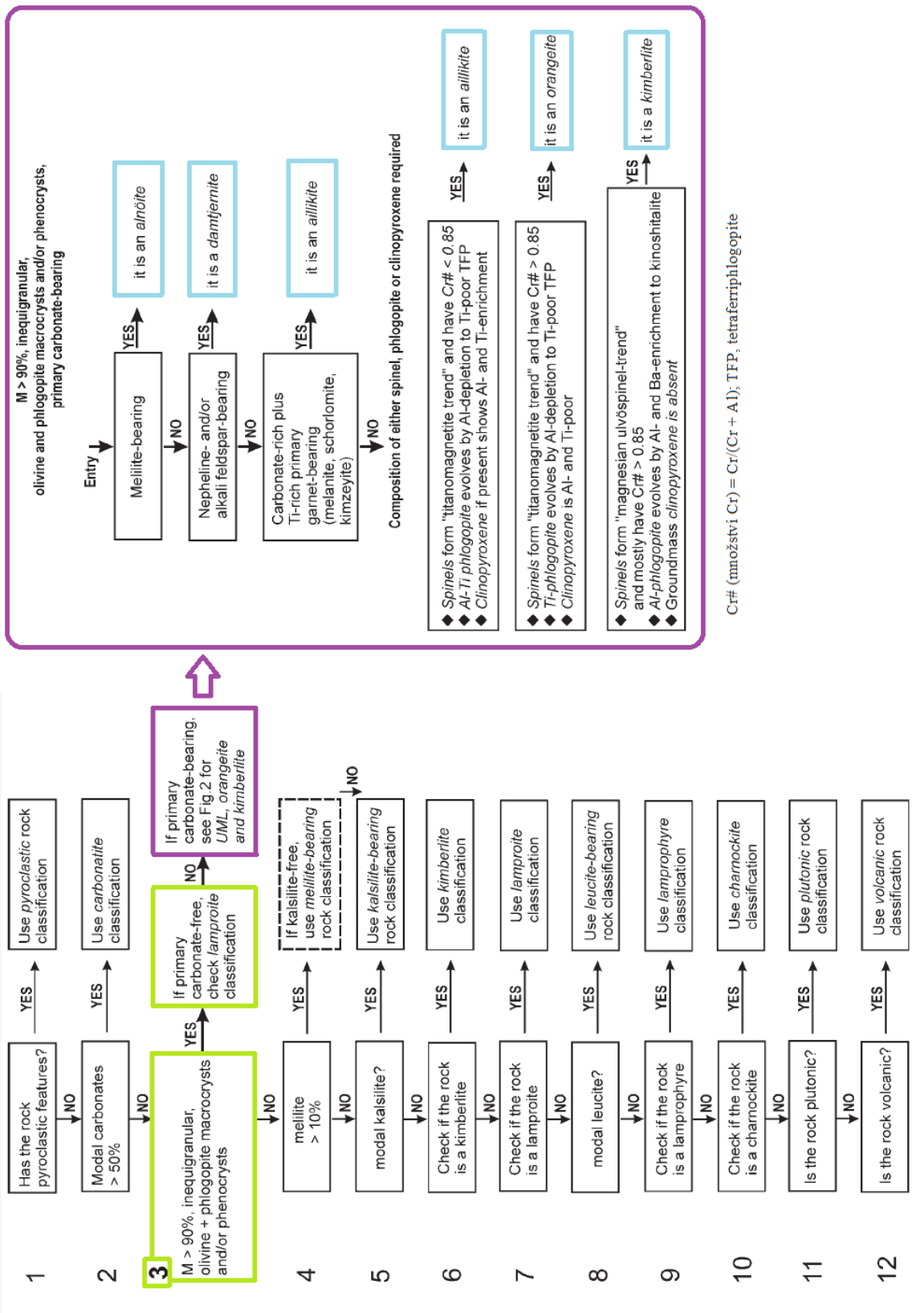
c) obsahuje-li nefelin anebo alkalický živec, je definována jako *damtjernit*;

d) je bohatá karbonátem a obsahuje primární granát bohatý na Ti nebo Zr, jedná se o *aillikit*;

e) obsahuje karbonát, může to být *aillikit*, *orangeit* (kimberlit II. skupiny) nebo *typický kimberlit*, které lze rozlišit na základě rozdílů v chemickém složení obsažených minerálů.

Odlišit aillikit, orangeit a kimberlit je možné podle složení spinelu, flogopitu nebo klinopyroxenu. Kimberlitové spinely vykazují rozdíly v Ti/(Ti + Cr + Al) při stálém vysokém obsahu Mg, řídí se hořčíkovým ulvöspinelovým trendem. Spinely v aillikitu a orangeitu se utvářejí podle titanomanetitového trendu, mají podobné variace v Ti/(Ti + Cr + Al) ale s klesajícím množstvím Mg. Liší se však obsahem Cr, kdy aillikitové spinely mají Cr/(Cr + Al) < 0,85, kdežto spinely v orangeitu Cr/(Cr + Al) > 0,85. Dále flogopity v kimberlitu jsou obohaceny Ba a Al, naproti tomu flogopit v orangeitu a aillikitu je bohatý Ti, ale chudý Ba. Klinopyroxen v základní hmotě kimberlitu chybí, v orangeitu se vyskytuje jako téměř čistý diopsid, a pokud je přítomen v aillikitu vykazuje Al a Ti obohacení (Tappe et al., 2005).

Tento návrh podle Tappe et al. (2005) umožňuje správnou identifikaci a klasifikaci ultramafických lamprofyrů v systému IUGS. Z výše uvedeného postupu je však patrné, že odlišení těchto navzájem podobných hornin může být velmi náročné.



Obr. 7. *Schéma znázorňující modifikovaný systém klasifikace magmatických hornin navržené IUGS. Nový krok č. 3 zahrnuje ultramafické lamprofyry, kimberlity, orangeity a olivínové lamproity. Upraveno podle Tappe et al. (2005).*

10 ZÁVĚR

Samotné tvrzení Le Maitra et al. (2002), že lamprofyry jsou těžko chemicky odlišitelné od běžných magmatických hornin, již naznačuje jejich obtížnou klasifikaci a následné správné pojmenování. Sestavit kritéria, podle kterých by byly lamprofyry jasně definovány, není jednoduché vzhledem k tomu, že mají značně variabilní složení, tvoří často vzájemné přechody i přechody do jiných (nelamprofyrových) horninových typů, vyskytují se v různých geotektonických prostředích a mohou být rozdílného původu.

Diferenciační vývoj lamprofyrových magmat směrem k horninám granitového, syenitového nebo dioritového složení, častý výskyt jejich přechodních typů, a možné zamění felsických xenokrystů za fenokrysty ve vápenatoalkalických lamprofyrech, může způsobit záměnu těchto lamprofyrů za běžné typy porfyrů. Některé lamprofyry mohou obsahovat i xenokrysty mafických minerálů, které se jeví jako vyrostlice, a též mohou vést k chybné interpretaci.

Pro klasifikaci lamprofyrů je podstatné pochopení jejich geneze, což však někdy může být značně složité. Podmínky krystalizace jednotlivých minerálů, obohacování tavenin v plášti a kůře, anebo mísení magmat a případná asimilace se odrážejí v chemismu výsledné lamprofyrové taveniny a vzniklé horniny. Z jednoho primárního magmatu se může vytvořit řada rozmanitých žilných hornin, které jsou si ale mineralogicky a geochemicky velmi podobné.

Z hlediska obsahu některých hlavních nebo stopových prvků se se mohou některé lamprofyry blížit kimberlitům, a určité typy vytvářejí významnou diferenciační řadu s karbonatity. Rovněž úzký vztah některých lamprofyrů (minet, alkalických minet) k lamproitům může představovat problém při pojmenování konkrétní horniny.

Problémem je také častá alterace lamprofyrů, jež může zapříčinit úplnou přeměnu některých minerálů a ztížit nebo dokonce znemožnit bližší rozpoznání horniny. Jedním z dalších úskalí je identifikace primárního a sekundárního karbonátu obsaženého v některých lamprofyrech, a následná potíž s odlišením například alnöitu a aillikitu.

Pro správné stanovení horniny jako lamprofyru je potřebný nejen makroskopický popis a důkladné mikroskopické pozorování, ale také podrobná chemická analýza celé horniny i jednotlivých minerálů v ní obsažených. Hornina by poté měla být klasifikována na základě převažujících vlastností, což indikuje poněkud náročný proces. Ne v každém případě jsou aspekty jednoznačné, a může se stát, že hornina leží přesně na hranici dvou horninových typů a podle stávající klasifikace neexistuje další možnost jejího rozlišení. Také se mohou vyskytovat případy, kdy byla hornina podle převládajících znaků určena jako druh lamprofyru, ale ve významném rozsahu vykazuje i vlastnosti typické pro podobné horniny. Můžeme se tak setkat s celou řadou lamprofyrů, v jejichž názvu se odráží afinita k těmto horninám.

S rozvojem lidského poznání se vyvíjel i výzkum hornin skupiny lamprofyrů. Ty byly postupně zabudovávány do klasifikace magmatických hornin sestavené subkomisí IUGS, a některé typy různě přeřazovány mezi jednotlivými skupinami lamprofyrů, nebo dokonce ze skupiny lamprofyrů vyjmuty úplně a zařazeny k horninám obdobného složení. Vývoj samotné klasifikace lamprofyrů podněcuje otázku, zda horniny určené podle starších klasifikačních schémat byly zařazeny správně, a zda není potřeba opětovný výzkum jejich lokalit, jak již bylo v některých oblastech provedeno, a jejich případné přejmenování.

Klasifikace magmatických hornin, navržená Subkomisí pro klasifikaci magmatických hornin při IUGS, je založena na kvantitativním zastoupení určitých minerálů (modální analýze) nebo celkovém chemickém složení horniny, neuvažuje však původ a vznik horniny, ani podrobné chemické složení obsažených minerálů, jež může být někdy rozhodující v jinak nejasných případech. Její třídění lamprofyrů, založené na obsahu hlavních mafických a felsických minerálů, je sice velmi přehledné, ale neřeší problém často se vyskytujících přechodných typů hornin. Značným nedostatkem této poslední publikace IUGS je opomenutí skupiny ultramafických lamprofyrů, což může vést k chybné interpretaci nebo zaměnění kimberlitů, lamproitů a ultramafických lamprofyrů. Navíc v tomto doporučení IUGS je pouze zmínka, že horniny typu alnöitu a polzenitu by měly být pojmenovány podle klasifikace melilitových hornin, ale v pasáži o třídění hornin s melilitem nejsou tyto dva typy lamprofyrů vůbec definovány a ani zmiňovány.

Zrušení skupiny ultramafických lamprofyru a přiřazení alnöitu a polzenitu k obyčejným horninám s melilitem v poslední verzi klasifikace magmatických hornin IUGS se zdá být logické z hlediska minerálního složení, nebere však v úvahu jejich specifické lamprofyrické rysy a navíc nikterak neuvažuje postavení dalších ultramafických, extrémně nenasycených lamprofyrů, které obsahovat melilit nemusí. Domnívám se, že zrušení skupiny ultramafických lamprofyrů, jenž nerespektuje přirozené skupiny hornin, bylo krokem nešťastným. Potřebu rozlišování skupiny ultramafických lamprofyrů a jejich podrobnější klasifikace zdůraznili v nedávné době Tappe et al. (2005).

Sestavení lamprofyrového klanu Rockem v roce 1991 bylo dle mého názoru velmi účelné a výstižné, vzhledem k tomu, že kimberlity a lamproity jsou s lamprofyry běžně asociovány, jsou si mineralogicky a geochemicky velmi podobné, a jak se zdá lamproity a lamprofyry spolu souvisejí i geneticky. Na druhou stranu však nejnovější výzkumy naznačují, že kimberlity a lamprofyry jsou derivovány z odlišných typů magmat a rozdílné je i jejich typické prostředí vzniku. A nakonec, lamprofyry jsou spojeny i s dalšími magmatickými horninami, jako jsou např. karbonatity, které též vyžadují speciální klasifikaci, nejsou běžnými typy hornin, lamprofyry do nich přecházejí, jejich magmata mohou být příbuzná, a přesto to klanu zařazeny nebyly.

Jak již bylo uvedeno, vzhledem k tomu, že lamprofyry jsou značně variabilní skupinou hornin s různými odchylkami od jejich běžného složení, může být někdy jejich označení velmi diskutabilní. Nedostatečně stanovené rozlišení lamprofyrů v klasifikačním systému IUGS nadále činí z této skupiny hornin určitou zvláštnost obestřenou mnoha nesrovnalostmi, anebo pro někoho i hrůznost z hlediska správného zařazení. Dokud nebude subkomisí IUGS navrhnuta uspokojivější klasifikace lamprofyrů, bude jejich pojmenování plné rozporů nebo případných chyb. S ohledem na heteromorfismus některých lamprofyrů a nepatrné mineralogické odlišnosti samotných lamprofyrů i běžných magmatických hornin, by podrobněji sestavená klasifikace musela kombinovat jak chemické, tak modální složení horniny, a možná i chemické složení obsažených minerálů a genezi horniny, což je ale v rozporu s principy jejich zavedené klasifikace.

Seznam použité literatury

Awdankiewicz, M., 2010. Petrogenesis of the Late Paleozoic lamprophyres and related mafic rocks of the Sudetes, SW Poland. *Mineralogia, Special Papers*, 37: 20–25.

Ahijado, A., Casillas, R., Hernández-Pacheco, A., 2001. The dyke swarms of the Amanay Massif, Fuerteventura, Canary Islands (Spain). *Journal of Asian Earth Sciences*, 19: 333–345.

Ashley, P. M., Cook, N. D. J., Hill, R. L., Kent, A. J. R., 1994. Shoshonitic lamprophyre dykes and their relation to mesothermal Au-Sb veins at Hillgrove, New South Wales, Australia. *Lithos*, 32: 249–272.

Beard, A. D., Downes, H., Hegner, E., Sablukov, S. M., 2000. Geochemistry and mineralogy of kimberlites from the Arkhangelsk Region, NW Russia: evidence for transitional kimberlite magma types. *Lithos*, 51: 47–73.

Beard, A. D., Downes, H., Vetrin, V., Kempton, P. D., Maluski, H., 1996. Petrogenesis of Devonian lamprophyre and carbonatite minor intrusions, Kandalaksha Gulf (Kola Peninsula, Russia). *Lithos*, 39: 93–119.

Beger, P. J., 1923. Der chemismus der Lamprophyre. In Niggli, P. (ed.), *Gesteins und Mineralprovizen*, Einführung, Berlin, str. 217-577.

Bowen, N. L., 1928. *The evolution of the igneous rocks*. Dover Publications, Inc., New York, 1959 reprint, 334 str.

Bratzdrum, Ch., Grapes, R., Gieré, R., 2009. Late-stage hydrothermal alteration and heteromorphism of calc–alkaline lamprophyre dykes in Late Jurassic Granite, Southeast China. *Lithos*, 113: 820–830.

Bröger, W. C., 1921. Die Eruptivgesteine des Kristianagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. *Skrifter udgit av Videnskabsselskabet i Kristiania. I. Math.-Nat. Klase*, 9: 1–408.

Carlier, G., Lorand, J-P., Audebaud, E., Kienast, J-R., 1997. Petrology of unusual orthopyroxene-bearing minette suite from southeastern Peru, Eastern Andean Cordillera: Al-rich lamproites contaminated by peraluminous granites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 75: 59–87.

Currie, K. L., Williams, P. R., 1993. An Archean calc-alkaline lamprophyre suite, northeastern Yilgarn Block, western Australia. *Lithos*, 31: 33–50.

Dessai, A. G., Marckwick, A., Vaselli, O., Downes, H., 2004. Granulite and pyroxenite xenoliths from the Deccan Trap: insight into the nature and composition of the lower lithosphere beneath cratonic India. *Lithos*, 78: 263–290.

Fareeduddin, Kirmani, I. R., Basavalingu, B., 2001. Petrology of Ocellar Lamprophyres in South Delhi Fold Belt, Danva, Sirohi District, Rajasthan, India. *Gondwana Research*, 4 (3): 497–508.

Gibson, S. A., Thompson, R. N., Day, J. A., 2006. Timescales and mechanism of plume-litosphere interactions: $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology and geochemistry of alkaline igneous rocks from the Parana-Etendeka large igneous province. *Earth and Planetary Science Letters*, 251: 1–17.

Griffin, W. L., Taylor, P. N., 1975. The Fen damkjernite: petrology of a „central-complex kimberlite". *Physics and Chemistry of the Earth*, 9: 163–167.

Guo, F., Fan, V., Wang, Y., Zhang, M., 2004. Origin of early Crateceous calc-alkaline lamprophyres from the Sulu orogen in eastern China: implications for enrichment processes beneath continental collisional belt. *Lithos*, 78: 291–305.

Gümbel, C. W., 1874. *Die paläolithischen Eruptivgesteine des Fichtelgeberges*. Königlichen Ludwig-Maximilians-Universität, München, 50 str.

Hackl, O., Waldmann, L., 1935. Ganggesteine der Kalireihe aus dem neider-österreichischen Waldviertel. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 85: 259–285.

Hejtman, B., 1957. *Systematická petrografie vyvřelých hornin*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 363 str.

Hejtman, B., 1984. *Petrografie vyvřelých hornin Českého masívu, část 1. Intruzivní vyvřelé horniny z. a sz. Čech.* Univerzita Karlova, Praha, 185 str.

Holub, F. V., Verner, K., Studená, M., Orságová, L., 2009. Žilné roje ultradraselných melasyenitových až melagranitových porfyrů ze středočeského plutonického komplexu a šumavského moldanubika. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008, Česká geologická služba*, str. 17–20.

Hunter, M., Rosenbusch, H., 1890. Ueber Monchiquit, ein camptonitisches Ganggestein aus der Gefolgschaft der Eläolithsyenite. *Tschermaks Mineralogische und Petrograpische Mitteilungen*, 11 (2): 445–466.

Chalapathi Rao, N. V., Dharma Rao, C. V., Das S., 2012. Petrogenesis of lamprophyres from Chhota Udepur area, Narmada rift zone, and its relation to Deccan magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 45: 24–39.

Jahn, B., 1979. A petrogenetic model of the Igneous Complex in the Spanish Peaks Region, Colorado. *Mineral and Petrology*, 41: 241–258.

Kemp, J. F., 1890. The basic dikes occurring outside of the syenite areas of Arkansas. *Annual Report of the Geological Survey of Arkansas, Little Rock*, 2: 392–406.

Kerr, A. C., Khan, M., Mahoney, J. J., Nicholson, K. N., Hall, C. M., 2010. Late Cretaceous alkaline sills of the south Tethyan suture zone, Pakistan: initial melts of the Réunion hotspot? *Lithos*, 117: 161–171.

Kramer W., Seifert, W., 1994. New data on lamprophyres from Gümbel's type locality. *Zbl. Geol. Paläont., Teil I*, 5/6: 503–507.

Kranck, E. H., 1939. The rock-ground of the coast of Labrador and the connection between the Pre-cambrian of Greenland and North America. *Bulletin de la Commission Géologique de la Finlande*, 22 (125): 65–86.

Krmíček, L., Cempírek, J., Havlín, A., Přichystal, A., Houzar, S., 2011. Mineralogy and petrogenesis of a Ba-Ti-Zr-rich peralkaline dyke from Šebkovice (Czech Republic): Recognition of the most lamproitic Variscan intrusion. *Lithos*, 121: 74–86.

Krmíček, L., Gregerová, M., Krmíčková, M., Čapek, P., 2011. Zajímavá mafická žíla ze štoly Holedná-Bosonohy (brněnský masiv): Přechodný petrografický typ mezi typickými mikrodiority a lamprofyry. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010/Mineralogie, Petrologie, Geochemie, Česká geologická služba, Praha*, 158–162.

Krmíček, L., Přichystal, A., Halavínová, M., 2006. Objev a genetický význam porfyrického alkalickoživcového mikrodioritu (dioritového porfyritu) v Olšanech na Drahanské vrchovině. *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2005*, 98–101.

Le Bas, M., 2007. Igneuos rock clasification revised 4: Lamprophyres. *Geology Today*, 23 (5): 167–168.

Le Bas, M. J., Streckeisen, A. L., 1991. The IUGS systematic of igneous rocks. *Journal of the Geological Society*, 148: 825–833.

Lefebvre, N., Kopylova, M., Kivi, K., 2005. Archean calc-alkaline lamprophyres of Wava, Ontario, Canada: Unconventional diamondiferous volcaniclastic rocks. *Precambrian Research*, 138: 57–87.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sϕrensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A. R., Zanettin, B., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and a Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks.* Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193 str.

Le Maitre, R. W., Streckeisen, A, Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sϕrensen, H., Wolley, A. R., 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks.* Cambridge University Press, Cambridge, 236 str.

Matchan E., Hergt, J., Phillips, D., Shee, S., 2009. The geochemistry, petrogenesis and age of an unusual alkaline intrusion in the western Pilbara craton, Western Australia. *Lithos*, 112S: 419–428.

Mitchell, R. H., 1994. The lamprophyre facies. *Mineralogy and Petrology*, 51: 137-146.

Moayyed, M., Moazzen, M., Calagari, A. A., Jahangri, A., Modjarrad, M., 2008. Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: Implications for deep-mantle metasomatism. *Chemie der Erde*, 68: 141–154.

Müller, D., Groves, D. I., 1997. *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization.* Springer, Berlin, 210 str.

Müller D., Morris, B. J., Farrand, M. G., 1993. Potassic alkaline lamprophyres with affinities to lamproites from the Karinya Syncline, South Australia. *Lithos*, 30: 123–137.

Nédli, Z., Tóth, T. M., Downes, H., Császár, G., Beard, A., Szabó, C., 2010. Petrology and geodynamical interpretation of mantle xenoliths from Late Cretaceous lamprophyres, Villány Mts (S Hungary). *Tectonophysics*, 489: 43–54.

Niggli, P., 1923. *Gesteins- und Mineralprovinzen.* Borntraeger, Berlin, 602 str.

O'Leary, M. S., Lira, R., Dorais, M. J., Tassinari, C. C. G., 2009. Post-collisional lamprophyric event In Sierra Norte, Córdoba, Argentina: Mineralogical, geochemical and isotopic characteristics. *Journal of South American Earth Sciences*, 28: 277–287.

Orejana, D., Villaseca, C., Paterson, B. A., 2006. Geochemistry of pyroxenitic and hornblenditic xenoliths in alkaline lamprophyres from the Spanish Central System. *Lithos*, 86: 167–196.

Ownby, S. E., Lange, R. A., Hall, Ch. M., 2008. The eruptive history of the Mascota volcanic field, western Mexico: Age and volume constraints on the origin of andesite among a diverse suite of lamprophyric and calc-alkaline lavas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177: 1077–1091.

Plá Cid, J., Rios, D. C., Conceição, H., 2006. Petrogenesis of mica-amphibole-bearing lamprophyres associated with the Paleoproterozoic Morro do Afonso syenite intrusion, eastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 22: 98–115.

Pivec, E., Holub, F. V., Lang, M., Novák, J. K., Štemprok, M., 2002. Rock-forming minerals of lamprophyres and associated mafic dykes from the Krušné hory/Erzgebirge (Czech Rebublic). *Journal of the Czech Geological Society*, 47/1-2: 23–32.

Riley, T. R., Leat, P. T., Storey, B. C., Parkinson, I. J., Millar, I. L., 2003. Ultramafic lamprophyres of the Ferrar large igneous province: evidence for a HIMU mantle component. *Lithos*, 66: 63–76.

Rios, D. C., Conceição, H., Davis, D. W., Plá Cid, J., Rosa, M. L. S., Macambira, M. J. B., McReath, I., Marinho, M. M., Davis, W. J., 2007. Paleoproterozoic potassic-ultrapotassic magmatism: Morro do Afonso Syenite Pluton, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*, 154: 1–30.

Rock, N. M. S., 1977. The nature and origin of lamprophyres: some definitions, distinctions, and derivations. *Earth-Science Reviews*, 13: 123–169.

Rock, N. M. S., 1984. Nature and origin of calc-alkaline lamprophyres: minettes, vogesites, kersantites and spessartites. *Earth Sciences*, 74: 193–227.

Rock, N. M. S., 1991. *Lamprophyres*. Blackie and Son Ltd, London, 275 str.

Rock, N. M. S., Groves, D. I., 1988. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits? *Geology*, 16: 538–541.

Rosenbusch, H., 1887. *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine*. *Band II, Massige Gesteine.* Schweizerbartsche, Stuttgart, 877 str.

Rosenbusch, H., 1898. *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Band II, Massige Gesteine.* Schweizerbartsche, Stuttgart, 1360 str.

Semiz, B., Coban, H., Roden, M. F., Özpinar, Y., Flower, M. F. J., McGregor, H., 2012. Mineral composition in cognate inclusions in Late Miocene-Early Pliocene potassic lamprophyres with affinities to lamproites from the Denizli region, Western Anatolia, Turkey: Implications for uppermost mantle processes in a back-arc setting. *Lithos*, 134–135: 253–272.

Scheumann, K. H., 1913. Petrographische Untersuchungen an Gesteinen des Polzengebietes in Nord-Böhmen. Abhandlungen der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. *Mathematisch-Physische Classe*, 32: 605–776.

Streckeisen, A., 1979. Clasification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the systematice of igneous rocks. *Geology*, 7: 331–335.

Štemprok, M., Seifert, T, Holub, F. V., Chlupáčová, M., Dolejš, D., Novák, J. K., Pivec, E., Lang, M., 2008. Petrology and geochemistry of Variscan dykes from the Jáchymov (Joachimsthal) ore district, Czech Republic. *Journal of Geosciences*, 53: 65–104.

Tappe, S., Foley, S. F., Jenner, G. A., Heaman, L. M., Kjarsgaard, B. A., Romer, R. L., Stracke, A., Joyce, N., Hoefs, J., 2006. Genesis of Ultramafic Lamprophyres and Carbonatites at Aillik Bay, Labrador: a Consequence of Incipient Lithospheric Thinning beneath the North Atlantic Craton. *Journal of Petrology*, 47 (7): 1261–1315.

Tappe, S., Foley, S. F., Jenner, G. A., Kjarsgaard, B. A., 2005. Integrating ultramafic lamprophyres into the IUGS classification of Igneous rocks: Rationale and implications. *Journal of Petrology*, 46 (9): 1893–1900.

Tappe, S., Foley, S. F., Kjarsgaard, B. A., Romer, R. L., Heaman, L. M., Stracke, A., Jenner, G. A., 2008. Between carbonatite and lamproite-Diamondiferous Torngat ultramafic lamprophyres formed by

carbonate-fluxed melting of cratonic MARID-type metasomes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 3258–3286.

Tappe, S., Jenner, G. A., Foley, S. F., Heaman, L., Besserer, D., Kjarsgaard, B. A., Ryan, B., 2004. Torngat ultramafic lamprophyres and their relation to the North Atlantic Alkaline Province. *Lithos*, 76: 491–518.

Upton, B. G. J., Craven, J. A., Kirstein, L. A., 2006. Crystallisation of mela-aillikites of the Narsaq region, Gardar alkaline province, south Greenland and relationships to other aillikitic-carbonatitic associations in the province. *Lithos*, 92: 300–319.

Vichi, G., Stoppaa, F., Wall, F., 2005. The carbonate fraction in carbonatitic Italian lamprophyres. *Lithos*, 85: 154–170.

Wimmenauer, W., 1973. Lamprophyre, Semilamprophyre und anchibasaltische Ganggesteine. *Fortschr. Mineral*., 51: 3–67.

Woolley, A. R., Bergman, S. C., Edgar, A. D., Le Bas, M. J., Mitchell, R. H., Rock, N. M. S., Scott Smith, B. H., 1996. Clasification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilic, melilitic and leucitic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 34: 175–186.

Wyman, D. A., Ayer, J. A., Conceição, R. V., Sage, R. P., 2006. Mantle processes in an Archean orogen: evidence from 2,67 Ga diamond-bearing lamprophyres and xenoliths. *Lithos*, 89: 300–328.

Xu, X., Zhang, B., Qin, K., Mao, Q., Cai, X., 2007. Origin of lamprophyres by the mixing of basic and alkaline melts in magma chamber in Beiya area, western Yunnan, China. *Lithos*, 99: 339–362.