Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Průmyslové využití granátu

Industrial use of garnets

Bakalářská práce

Michal Kubový

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Dobroslav Matějka, CSc.

Praha 2010

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval svému školiteli, RNDr. Dobroslavu Matějkovi CSc, za poskytnutí většiny studijních materiálů a odbornou konzultaci při psaní této bakalářské práce.

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a všechny citace a parafráze řádně vyznačil v textu. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Praze, dne 30.8. 2010 ……

Michal Kubový

Abstrakt

OBSAH

1. Úvod ……..…... 1
2. Charakteristika skupiny granátů ……..... 2
2.1. Systematické zařazení granátů ……..... 2
2.2. Mineralogická charakteristika granátu, fyzikální a chemické vlastnosti …… 2
2.3. Klasifikace granátu ……..…... 3
2.3.1. Skupina pyralspity …… 4
2.3.1.1. Pyrop ……..... 4
2.3.1.2. Almandin ……..... 5
2.3.1.3. Spesartin ……..…… 5
2.3.2. Skupina ugrandity ……..….. 6
2.3.2.1. Grosulár ……..…..... 6
2.3.2.2. Andradit …….. …. 6
2.3.2.3. Uvarovat ……..... 6
3. Průmyslové využití granátu ……... 8
3.1. Výhodné vlastnosti granátu ……..…….. 8
3.2. Rozdělení granátu podle zrnitosti ……..……..… 8
3.3. Granátová drť ……..…….……... 8
3.4. Granátová zrna …….……..……. 9
3.5. Průmyslové využití granátu ..……..…….…….…. 10
3.5.1. Plazmové nástřiky z granátů ..…….……..……. 10
3.5.2. Řezání vodním paprskem ..…….……... 11
3.5.2.1. Historie …..…….…… 11
3.5.2.2. Vlastnosti potřebné pro abrazivní granát …….…….. 11
3.5.2.3. Vodní tryska …….. 11
3.5.2.4. Výkonnost různých abrazivních materiálů za pomoci abrazivního vodního paprsku ……..…….. 12
3.5.2.5. Proces řezání …….. 12
3.5.2.6. Výhody řezání vodním paprskem ……..… 13
3.5.3. Vodní filtry …… 13
3.5.4. Další využití granátu ……... 15
4. Ložiska granátu ……...…… 16
4.1. Typy ložisek granátu ……...…. 16
4.2. Významná světová ložiska granátu ……... 16

5. Závěr ……..…… 18
6. Seznam literatury ……..…… 19

1. ÚVOD

Granát je minerál, který byl po staletí využíván téměř výhradně ke šperkařským účelům a zájem o něj jako o drahý kámen neklesá. Čím dál víc však vzrůstá poptávka po granátech, které nemají sice parametry šperkových kamenů, ale které díky svým specifickým vlastnostem mohou být využívány pro průmyslové účely. Jako první granát použil Henry Hudson Barton v USA v roce 1878 k výrobě brusného papíru (Evans et al. 2002).

Cílem této bakalářské práce je ukázat granát z hlediska možností průmyslového využití. Nejprve bude představen po stránce mineralogické a poté budou následovat příklady jeho využití v závislosti na jeho unikátních vlastnostech. Na závěr je uveden stručný přehled hlavních ložisek granátu ve světě.

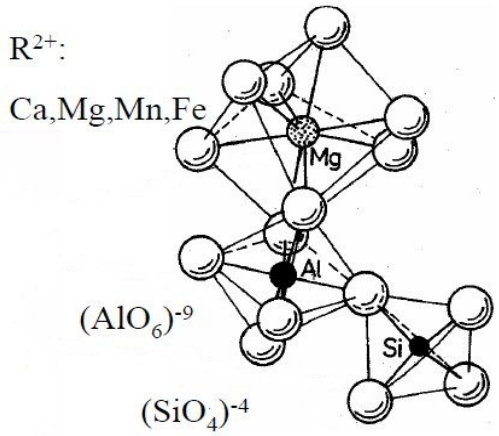
2. CHARAKTERISTIKA SKUPINY GRANÁTŮ

2.1. Systematické zařazení granátů

Granáty jsou silikáty zařazené do skupiny nesosilikátů, jejichž název je odvozen z řeckého slova *nésos*, což znamená ostrov. Tato skupina je také někdy označována jako ortosilikáty. Základním stavebním prvkem minerálů této skupiny jsou izolované tetraedry SiO_4, které jsou v prostoru propojeny přes vnější kationy obvykle menších rozměrů, nejčastěji Fe, Mg, Ca, Al nebo Mn. Uspořádání atomů ve struktuře nesosilikátů je poměrně těsné, a proto mají relativně vysokou hustotu, tvrdost a index lomu. Štěpnost u nesosilikátů obvykle chybí nebo je špatná, protože nezávislé tetraedry nevytváří ve většině případů žádný přednostní směr. V některých případech může docházet k substituci Al za Si. Do této skupiny patří řada velmi významných skupin minerálů, jako příklad lze jmenovat olivín, granáty, zirkon, topaz, titanit a další. Granáty krystalizují v kubické soustavě, což je soustava s nejvyšším stupněm symetrie. Osní kříž kubické soustavy je tvořen třemi vzájemně kolmými osami, které mají stejnou délku ($a_1=a_2=a_3$).. Kubická soustava se dále dělí do pěti oddělení (bodových grup). Nejčastější bodovou grupou je oddělení hexaoktaedrické (4/m-32/m). Charakteristickými minerály tohoto oddělení jsou např. diamant, galenit, fluorit, spinel, magnetit a také vlastní skupina granátů. Všechny minerály krystalizující v kubické soustavě jsou opticky izotropní, ale např. minerály ze skupiny granátů mohou velmi vzácně vykazovat anizotropii (Chvátal, 2005).

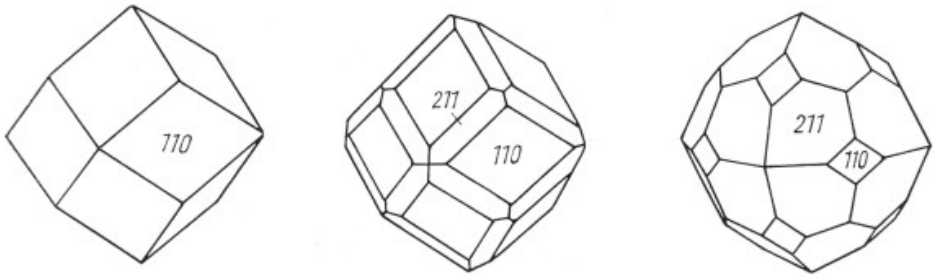
2.2. Mineralogická charakteristika granátu, fyzikální a chemické vlastnosti

Obecný vzorec pro granáty je $A^{2+}{}_3B^{3+}{}_2(SiO_4)^{4-}{}_3$. V pozici A se nejčastěji zastupují prvky Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} a pozice B prvky Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}. Schématicky znázorněná struktura granátu je na obr. 1.



Obr. 1. Struktura granátu

Granáty vytvářejí běžně dobře omezené automorfní krystaly. Převládajícím krystalovým tvarem granátů je rombododekaedr (dvanáctistěn kosočtverečný), tetragontrioktaedr (čtyřiadvacetistěn deltoidový) a vzácněji hexaoktaedr (osmačtyřicetistěn), zřídka granáty vytvářejí též zrnité agregáty (Chvátal, 2005).



Obr. 2. Ideálně vyvinuté krystaly granátu, vlevo rombododekaedr, uprostřed a vpravo spojka rombododekaedru a tetragontrioktaedru (Rösler 1981).

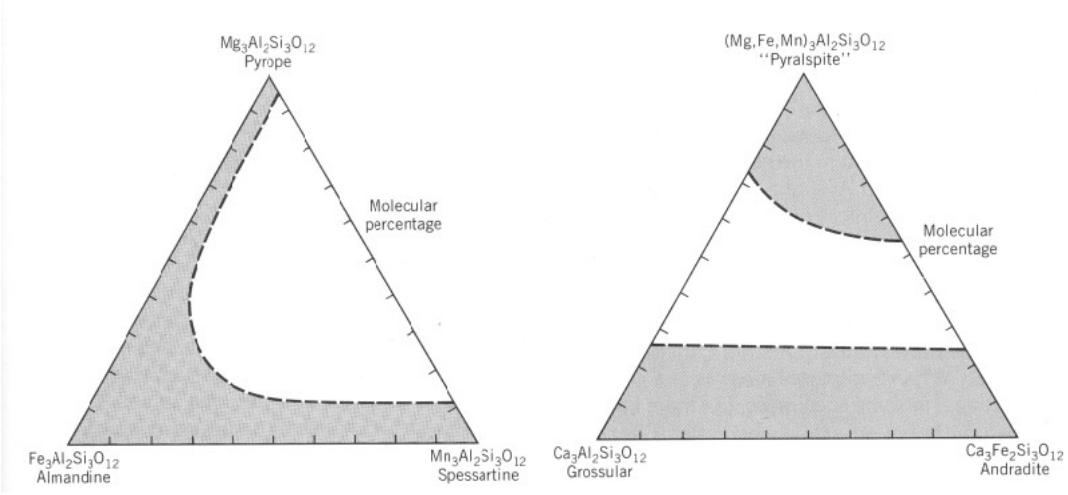
Zrna jsou xenomorfní a zpravidla izometrická. U granátů prakticky chybí štěpnost, resp. jsou velmi nedokonale štěpné podle (110). Mají lasturnatý až tříštnatý lom. Tvrdost a hustota granátu se liší v závislosti na složení. Tvrdost se pohybuje od 6,5 do 7,5 a hustota od 3,4 do 4,6. Index lomu (n) je v rozmezí 1,7 až 2,0. Často se může objevit anomální dvojlom (až D = 0,008). Barva granátů se silně liší v závislosti na chemickém složení, kolísá od čiré přes růžovou, červenou, nahnědlou, zelenou až po černou. Velmi často se u granátu setkáváme s barevnou zonálností (Chvátal, 2005).

2.3. Klasifikace granátů

Klasifikace granátů je založena na chemickém složení, resp. na společných prvcích. Z tohoto hlediska lze rozeznávat granáty hlinité (pyrop, almandin, spessartin), železité (andradit), vápenaté (grossulár), chromité (uvarovit) a titano-vanadité. Mezi jednotlivými členy dochází k větší či menší izomorfní mísivosti. Podle vzájemné mísivosti se rozlišují dvě základní skupiny granátů. První jsou tzv. pyralspity - hlinité granáty pyropového, almandinového a spessartinového složení. V rámci této skupiny je dobrá mísivost v řadě pyrop-almandin a almandin-spessartin. Druhou velkou skupinou jsou tzv. ugrandity (vápenaté granáty), k nimž se řadí uvarovit, grossulár a andradit; zejména dva poslední členy se velmi dobře a běžně mísí (tab. 1., obr. 3.; Chvátal, 2005).

Tab. 1 Nejběžnější granáty

Skupina	Název	Vzorec	Mísivost		Barva
Pyralspity	pyrop	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	široká	omezená	růžová, krvavě červená, fialová
	almandin	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$			červená, červeno-fialová
	spessartin	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$			červená, červeno-hnědá
Ugrandity	grossulár	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	široká		medově hnědá, hnědozelená
	andradit	$Ca_3Fe^{3+}{}_2(SiO_4)_3$			hnědá, žlutohnědá, černohnědá
	uvarovit	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$			smaragdově zelená
	melanit	$Ca_3Fe^{3+}{}_2(SiO_4)_3$ + Ti			až černá



Obr. 3. Pole izomorfní mísitelnosti ve skupině "pyralspitu" (vlevo) a "ugranditu" (vpravo). Bíle jsou vyznačeny oblasti nemísitelnosti. Podle: Klein, Hurlbut (1993).

2.3.1. Skupina pyralspitů

2.3.1.1. Pyrop

Název, který "pyrop" dostal v roce 1883, by se dal přeložit jako "ohnivého vzhledu". Jinak se mu říká také český granát, nebo kapský rubín. Teoretické složení koncového členu je $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$, avšak zcela běžný je izomorfní podíl Fe, Mn nebo Ca (místo Mg) a častý je také obsah chromu (Cr_2O_3), cca 3 %; Cr v tomto případě nahrazuje část Al. Tato změna chemického složení ovlivňuje barvu krystalu, která je obvykle krvavě červená, nafialovělá, někdy do hněda, s charakteristickým skelným leskem. Vysoký obsah Cr může způsobit „měňavost" pyropu. Tvoří i krystaly velmi dobře vyvinuté, ale nejčastěji se vyskytuje ve formě zaoblených zrnek, dosahujících velikosti až malé třešně. Tvrdost je 7- 7,5 a hustota 3,58- 3,8, štěpnost chybí. Je průhledný až průsvitný. Pyrop je charakteristickým minerálem bazických až ultrabazických hornin (peridotit, dunit, lherzolit) a je též běžný ve vysokotlakých metamorfovaných

ekvivalentech těchto hornin. Díky své odolnosti se hojně nalézá v náplavech. Jde o poměrně rozšířený minerál, který je hojně používán jako drahý kámen. Typovou lokalitou je Česká republika (České středohoří, Podkrkonoší, oblast Kolína atd.), další výskyty jsou také v Sasku, na Sibiři, na Cejlonu, v Indii, v okolí Kimberley v JAR aj. (Bonewitz, 2005; Svoboda, 1983).

2.3.1.2. Almandin

Název almandin vznikl zkomolením jména Alabanda (Turecko, dnešní Arafisar), kde se tento minerál brousí už od starověku pod názvem carbunculus. Teoretické složení almandinu je $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$, ale běžně obsahuje příměsi Mn, Mg nebo Ca. Barva almandinu bývá růžovočervená, zřídka hnědá až černá. Často obsahuje rutilové jehličky, které se po výbrusu jeví jako čtyřcípá hvězda. Tvrdost almandinu je 7- 7,5, hustota je vyšší než u pyropu, a to 4,1- 4,3. Vyskytuje se v regionálně metamorfovaných, živcem chudých horninách (svory, ruly, amfibolity), ale i v žulách a pegmatitech. Občas také tvoří inkluze v diamantech. Je rozšířen téměř po celém světě. U nás se nachází např. na Čáslavsku, Kutnohorsku, na severní Moravě atd. Světová naleziště jsou např. v Austrálii (Broken Hill), ve Skandinávii, na Aljašce atd. Vytěžený almandin slouží zejména jako brusivo nebo jako drahý kámen. Při broušení je ale nutné dát si pozor na jeho relativní křehkost.

2.3.1.3. Spessartin

Tento granát má název podle typové lokality, bavorského Spessartu. Koncový člen má složení $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ s běžnou izomorfní příměsí Fe, Mg nebo Ca. Tvoří izomorfní řadu s almandinem. Barva spesartinu bývá typicky žlutá, žlutohnědá, dle příměsí až oranžová nebo červená. Krystaly bývají opět dobře omezené, většinou v podobě dvanáctistěnů. Často spessartin vytváří zrnité agregáty. Tvrdost je 6,5- 7,5 a hustota 3,4- 4,5. Jeho výskyty jsou vázány na Mn bohaté metamorfované horniny (běžný je v ložiscích Mn rud). Dále se vyskytuje také v granitech a pegmatitových žilách. Klasickými lokalitami u nás jsou Mariánské Lázně, Budislav u Litomyšle atd. Mezi světové lokality patří pohoří Spessart a Harz v Německu, důl Rudherford ve Virginiiv hezkých ukázkách se vyskytuje též na Urale nebo v Brazílii (Bonewitz, 2005, Svoboda, 1983).

2.3.2. Skupina ugranditů

2.3.2.1. Grosulár

Jméno dostal podle barvy, jeho zeleň připomíná angrešt. Koncový člen má složení $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, izomorfní příměs Fe^{+2}, Fe^{+3} nebo Mn je běžná. Grosulár s větším obsahem železa se nazývá hesonit. Barva bývá bílá, bezbarvá, nažloutlá, nazelenalá, hnědá až černá. Hesonit bývá červenohnědý. Grosulár je neomezeně mísitelný s andraditem a uvarovitem. Krystaly jsou kubické, oddělení hexaoktaedrické. V důsledku uspořádání kationů ve struktuře může symetrie klesat na rombickou, monoklinickou až triklinickou. Vytváří nejčastěji zrnité agregáty. Krystaly jsou skelně lesklé, neštěpné s lasturnatým lomem a bílým vrypem. Tvrdost je 7 a hustota 3,6. Je typický pro kontaktní karbonátové horniny (kontaktní mramory, erlány), na styku s granitoidy. Můžeme ho však nalézt také v regionálně metamorfovaných horninách. U nás se vyskytuje v krušnohorských skarnech (Přísečnice), u Vlastějovic a na Moravě u Bludova. Ve světě ho můžeme nalézt např. v Banátu v Rumunsku, v Piemontě, na Elbě a na Vesuvu v Itálii, v oblasti Kmito ve Finsku nebo v poříčí Filmuje na Sibiři (Bonewitz, 2005, Svoboda, 1983).

2.3.2.2. Andradit

Andradit je silikát vápníku a železa. Koncový člen má složení $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$, běžná je izomorfní příměs Fe^{+2}, Mn nebo Al. Tvoří pevné roztoky zejména s grosulárem, méně hojně s ostatními granáty. Odrůda bohatá na Ti se označuje jako melanit. Barva bývá především hnědá, zelená, černá nebo hnědočervená. Žlutavému andraditu se říká démantoid. Nejčastěji vytváří zrnité agregáty a nepravidelná zrna. Krystaly jsou průsvitné, skelně lesklé, neštěpné a mají lasturnatý lom a bílý vryp. Tvrdost je 6,5-7 a hustota 3,7-4,1. Někdy bývá anomálně izotropní. Nejčastěji se vyskytuje v magnetitových skarnech a na kontaktech. Méně často v erlánech a serpentinitech. Odrůda melanit se vyskytuje v alkalických vulkanitech. V Čechách je hojný ve skarnech u Vlastějovic a Malešova a v Krušných horách. V erlánu ho můžeme najít např. u Bludova. Ve světě se vyskytuje například v okolí Osla v Norsku a v oblasti Rocky Mountains v USA (Bonewitz, 2005, Svoboda, 1983).

2.3.2.3. Uvarovit

Od roku 1832 nese jméno ruského šlechtice, hraběte Uvarova. Chromitý minerál s poměrně vzácným výskytem, jehož teoretické složení je $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$. Často tvoří izomorfní směsi s grosulárem, avšak s andraditem je jen omezeně mísitelný. Barva bývá smaragdově až temně zelená, což způsobuje přítomnost chromu. Tvoří dobře omezená i nepravidelná zrna. Uvarovit je skelně lesklý, neštěpný, má lasturnatý lom a bílý vryp. Tvrdost je 7 a hustota 3,9. Vyskytuje se v Cr-bohatých serpentinitech, v mramorech a dolomitech a na metamorfovaných ložiskách Cu-rud v bazických nebo vulkanosedimentárních komplexech. Je znám z mnohých ložisek chromitu a užívá se jako ozdobný kámen. Mezi světové lokality patří Outukumpu ve Finsku, Bisersk a Zlatoust na Urale, Hanlé v Kašmíru (Bonewitz, 2005, Svoboda, 1983).

3. PRŮMYSLOVÉ VYUŽITÍ GRANÁTU

3.1. Výhodné vlastnosti granátu

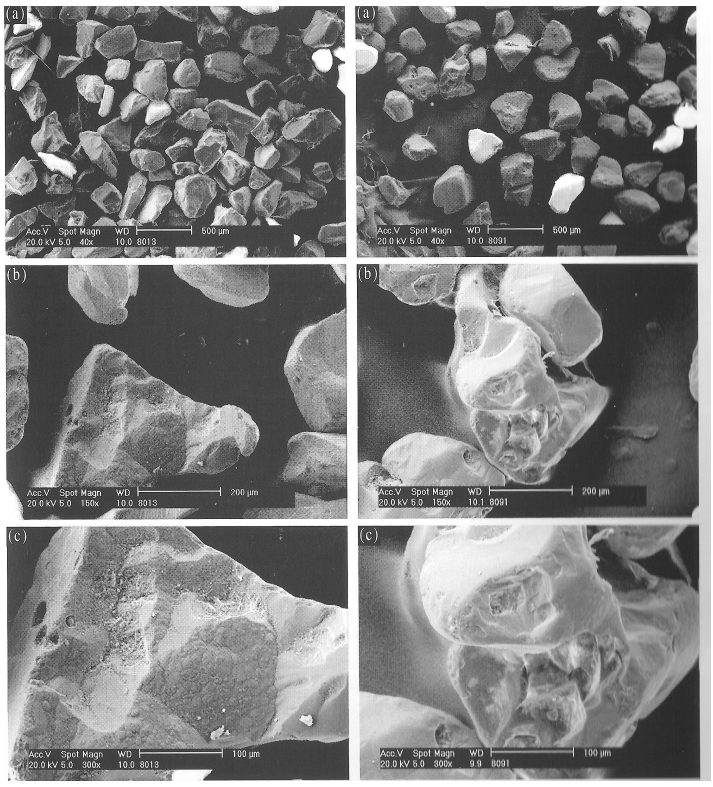
Granáty mají pro svojí charakteristiku velký průmyslový význam. Svojí tvrdostí, způsobem lomu a charakteristickou křehkostí jsou vhodným brusivem pro některé způsoby využití. Významné je i to, že mají stejné fyzikální vlastnosti ve všech směrech a nejsou štěpné. Během drcení se lámou na ostrohranné úlomky až střepy. K takovémuto drcení dochází i během broušení, což se označuje jako samoostření brusných břitů. Má to velký význam při opracovávání povrchu měkkých a středně tvrdých materiálů (hlavně dřeva, skla a umělých hmot). Během brusného obrábění povrchu nedochází k přehřívání a "spálení". Z hygienického hlediska je fibrogenita prachu granátu přípustná, granát tedy nevykazuje karcinogenní účinky.

3.2. Rozdělení granátu podle zrnitosti

Pro technické účely můžeme granáty rozdělit do tří skupin podle druhu zrnitosti:
1) prachový prášek – využití pro abrazivní řezání tvrdých materiálů vysokotlakým vodním paprskem. Použití pro výrobu brusných pláten (smirek), papírů a kotoučů, pro slinované vodní filtry i jako plnivo do tmelů, plastů, cementových hmot a betonů.
2) jemně zrnitý granát – ten bývá používán k opískování a leštění dřeva, kůže, skla, kovů a plastů.
3) hrubě zrnný granát – ten je nejvhodnější pro otryskávání a pro vytváření protiskluzových povrchů.

3.3. Granátová drť

Ganátovou drť můžeme použít buď pro volné broušení, nebo se z ní vyrábějí brusné kotouče s bakelitovou a pryskyřičnou vazbou, brusná plátna a papíry (obr. 6.). Z jemně drcených granátů se vyrábějí lapovací a leštící pasty. Lapování je jemná povrchová úprava, označovaná někdy též jako hlazení. Při obrábění kovů, např. opracování vnitřní části válců výbušných motorů, bývá lapování konečnou operací.
Volné brusivo se nejčastěji používá pro opracování umělých hmot, do brusných kotoučů pro sklo, dřevo a umělé hmoty, na brusná plátna a papíry a hlavně pro dokončování povrchu nábytkářských výrobků. Lapovací a leštící pasty mají význam při opracování povrchů zrcadlových skel a čoček pro optické přístroje od fotoaparátů až po dalekohledy a mikroskopy.
Větší granátová drť se uplatňuje při protismykové úpravě povrchu přechodů na živičných vozovkách, nebo se používá ke zpevnění svrchní vrstvy dlaždic a schodů u silně frekventovaných prostor, jako jsou obchodní domy, kina, haly divadel, nádražní a letištní prostory. S takovýmto využitím granátové suroviny se setkáváme hlavně v severských evropských zemích a ve Spojených státech amerických.



Obr. 6. Morfologie zrn v granátové drti (vlevo indický almandin, vpravo australský). Podle: Martinec et al. (2001).

3.4. Granátová zrna

Granátová zrna (obr. 7) jsou vhodná pro otryskávání, jsou zhruba třikrát až čtyřikrát účinnější než křemenný písek. Otryskávání je vlastně specifickou brusnou operací. Tryskou jsou granátová zrna pod velkým tlakem vzduchu vrhána proti obráběnému předmětu. Tímto způsobem se matuje sklo, upravují keramické a plechové povrchy nebo kovové odlitky, ale lze jím vytvarovat i plastické objekty ze skla, keramiky, nebo přírodního kamene. Otryskávání stálo na začátku metody dělení materiálů (kovových i nekovových) abrazivním vysokotlakým vodním paprskem. Granátové brusivo je hnáno pod vysokým tlakem vodou proti materiálu, který chceme rozdělit. Proud vody s brusivem jej velice rychle a zároveň i velmi přesně rozřízne. Jde o progresivní metodu, jejíž využití se postupně zvyšuje.

Obr. 7. Granátová zrna. (http://bosstambang.com/Mineral-Gallery/Page-5.html)

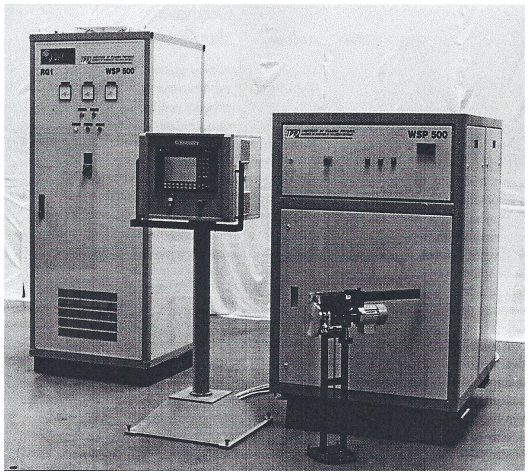
3.5. Průmyslové využití granátu

3.5.1. Plazmové nástřiky z granátů

Plazmové nástřiky se nanášejí na podkladové materiály a vytvářejí samostatný konstrukční prvek. Ctibor (1999) popisuje nástřiky prováděné vodou stabilizovaným plazmatronem WSP PAL 160 (obr. 8.), přičemž všechny práškové materiály byly podávány stlačeným vzduchem. Nástřiky z granátů almandinového složení se vytvářejí relativně snadno v porovnání s jinými silikátovými materiály včetně pyropu. Po nástřiku jsou granáty v amorfním stavu, ačkoli prášky byly krystalické. V proudu plazmatu jsou totiž materiály krátkodobě vystaveny teplotám několika tisíc kelvinů a posléze velmi prudce zchlazeny.

Pórovitost nástřiku dosahuje v určitých případech u granátu GBM i nižších hodnot než 2%. Příčinou takto nízké pórovitosti je amorfní stav nástřiku, v jehož důsledku je i tvar pórů jiný než obvykle. Póry jsou spíše malé, kulovité a navzájem nepropojené, což je velmi výhodné z hlediska funkce nástřiku jako korozní ochrany. Plocha pórů se pohybuje od 3 do 8 tisíc cm^2 na cm^3, což je hodnota o řád nižší, než u krystalických keramik.

Granáty byly také nanášeny na běžné keramické dlaždice dostupné v maloobchodních sítí, čímž vznikly velmi originální estetické prvky. Takovéto dlaždice jsou díky vysoké drsnosti povrchu nástřiku protiskluzné (Ctibor, 1999).



Obr. 8. Systém WSP 500, inovovaný z plazmatronu PAL 160. Vlevo vzadu: elektrický zdroj (výrobce Škoda Controls, Plzeň), vpravo vzadu: vodní systém vyvinutý v Ústavu fyziky plazmatu, uprostřed: řídící jednotka (výrobce Alan Bradley, USA), vpravo vepředu: vodou stabilizovaný plazmatron vyvinutý v Ústavu fyziky plazmatu. (Ctibor, 1999).

3.5.2. Řezání vodním paprskem

3.5.2.1. Historie

Historie využití vodního paprsku pro řezání sahá do 50. let 20. století. Tehdy se začalo experimentovat s využitím síly vodního paprsku při řezání dřeva. Technologie byla vylepšena v 70.letech, kdy se při řezání začalo používat přidávání abraziva. Podstatou dělení materiálů je obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku s použitím abrazivních složek.

3.5.2.2. Vlastnosti potřebné pro abrazivní granát

Tvrdost - zajišťuje vysokou abrazivní schopnost granátu a umožňuje též jeho použití jako technického kamene. Má se pohybovat v rozmezí 1100 až 1400 kg/mm^2.

Stupeň homogenity – krystaly granátu jsou většinou pokryty sítí jemných trhlinek. Některé z nich pronikají hluboko do hmoty zrna,jiné mají jen povrchový charakter. Příliš hustá síť trhlin škodí kvalitě granátu, protože napomáhá drobení na velmi malé frakce. Řídká síť hlubokých trhlin snižuje ztráty energie při desintegraci velkých krystalů. Trhliny na povrchu zrn jsou výhodné pro abrazivní granát; ovlivňují totiž příznivě regeneraci ostrých hran při broušení a podporují proces samozjemňování.

Lom - má značný význam především význam pro broušení vázaným zrnem. Ne každý granát má dokonalý lom nebo schopnost vytvářet ostrohranné úlomky.

Tvar zrn – je důležitý, protože na ostrohranosti úlomků závisí přilnavost zrn k pojivu. Čím pevněji zrna lpí, tím lépe se využívá jejich abrazivní schopnosti.

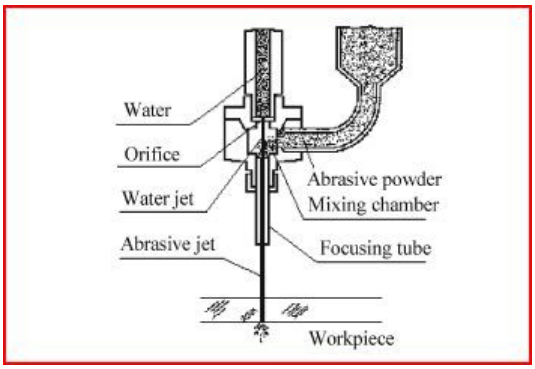
Čistota – jde o přítomnost vrostlic. V řadě případů vrostlice napomáhají drobení zrn a snižují abrazivní schopnost. Pro některé účely však vrostlice nevadí, protože jsou vesměs zastoupeny měkčími minerály.

Složení – všechny druhy granátů nejsou vhodné pro praktické využití. Pro abrazivní účely se osvědčily nejlépe granáty obsahující železo, především almandin. Méně vhodné jsou spessartin a andradit.

Velikost zrn – pro abrazivní účely nejsou vhodná zrna větší než 1 cm, protože po rozdrcení mají menší schopnost regenerace ostrých hran. (Hříchová, 1966).

3.5.2.3. Vodní tryska

Typická abrazivní vodní tryska se skládá z několika komponent (obr. 9). Voda je hnána pod vysokým tlakem přes velmi malý otvor a tudíž má vysokou potencionální energii. Paprsek tak vysokou rychlostí pokračuje přes směšovací komory a dále směřuje do střední trysky nebo směšovací trubice. Během tohoto procesu se odstraňuje přebytečný vzduch od směšovací komory. Ve střední částí trysky je přidáváno abrazivo a hnáno společně s vodu pod vysokým tlakem úzkým otvorem na konci zařízení (Zhang, 2009).



Obr. 9 Typická vodní řezací hlava (Zhang, 2009).

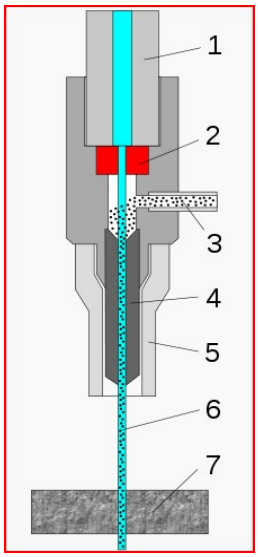
3.5.2.4 Výkonnost různých abrazivních materiálů za pomoci abrazivního vodního paprsku.

Jako brusné medium se dají použít různé typy abraziv jako např. granát, oxid hlinitý, olivín, křemičitý písek, karbid křemíku.Větší vzdáleností trysky od řezu se zvětšuje i šířka řezu. Nejlepší brusný materiál je granát, jenž produkuje nejmenší šířku řezu, následovaný oxidem hlinitým a karbidem křemíku. To je z důvodu vyšší tvrdosti (Khan, 2007).

3.5.2.5 Proces řezání

Nejefektivnějšího výsledku řezání za studena se dosáhne kombinací vodního paprsku a určitého abraziva, nejlépe drceného přírodního olivínu nebo přírodního granátu. Paprsek se pohybuje rychlostí přibližně dvojnásobku rychlosti zvuku. Při používání procesu v dílenském prostředí se u této technologie používá portálových robotů. Jelikož technologie řezání vodním paprskem se používá i v terénu, kde hrozí vyšší bezpečnostní riziko, např. při ražení důlních štol nebo tunelů, je vhodné její dálkové řízení a ovládání.

Pracovní tlak vody se pohybuje v rozmezí 2000 - 6200 barů. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem a průtokem vody. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek , pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek . Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Je možné tedy provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace (obr. 10).



Obr. 10 Vodní frézovací hlava.1-vysokotlaký přívod vody, 2-rubínová nebo diamantová tryska, 3-abraziva, 4-směšovací trubička, 5–držák, 6–paprsek, 7-materiál. (http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)

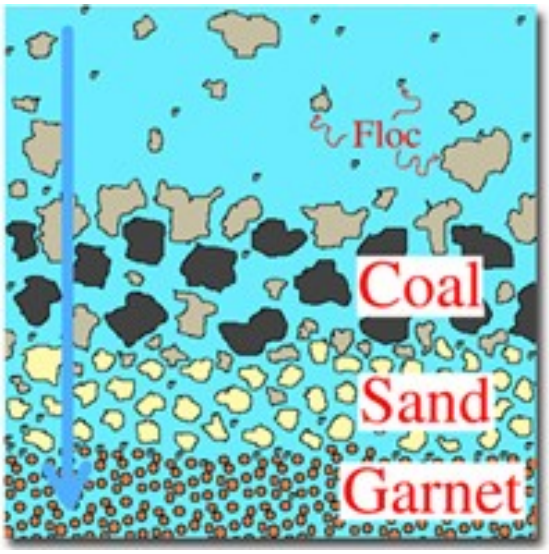
3.5.2.6. Výhody řezání vodním paprskem

1. Velkou výhodou při řezání vysokotlakým vodním paprskem je řezání bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu, tzv. studený řez. Obráběný díl nevykazuje fyzikální, chemické ani mechanické změny a je následně snadno dále obrobitelný.
2. Minimální silové působení paprsku na řezaný materiál, nedochází ke vzniku mikrotrhlin.
3. Univerzálnost – paprsek dělí většinu materiálů při velkém rozsahu řezaných tloušťek
4. Řezání vodním paprskem je technologií přijatelnou k životnímu prostředí. Při vlastním řezání nevznikají žádné ekologicky nevhodné zplodiny. Spotřeba vody na řezání je velmi malá (závisí na tlaku a velikosti použité trysky). Z odpadní vody se při sedimentaci vyloučí nečistoty. Jako abrazivo se používají netoxické látky, které mohou být recyklovány pro opakované použití.
5. Malý prořez materiálu a z toho vyplývající vysoké využití polotovaru – mezi jednotlivými výrobky se ponechávají mezery cca 3 mm.

3.5.3. Vodní filtry

Granáty se uplatňují jak v jednoduchých filtrech na koupalištích a v bazénech, tak ve vícemediových filtrech, kde se využívá větší objemové hmotnosti granátu proti písku. Drcením z nich lze snadno připravit požadovanou zrnitostní skladbu. Hlavní výhodou je mnohem jednodušší recyklace než u křemenného písku. Je dosti účinný pro odstraňování těžkých kovů.. Nejobvyklejší z multimediových filtračních směsí je kombinace písku, granátu a antracitu, jež jsou horizontálně zvrstveny. Granát se používá ve spodní vrstvě (obr. 11). V tab. 2 jsou pro ilustraci uvedeny charakteristiky granátového media SINOGARNET používaného ve vodních

filtrech. Přítomnost granátů v uvedených filtrech příznivě ovlivňuje kapacitu zařízení pro úpravu vod. Granáty jako filtrační materiál mají větší filtrační účinnost. V důsledku nižší zrnitosti (0,5-0,8 mm) neprojde jejich vrstvou řada mikroorganismů a nečistot, které pískové filtry nezachytí. Odstranění organických nečistot se provádí přežíháním náplně filtru, aby se usazené organické látky spálily. Zatímco při vypalování organických nečistot u křemenného písku dochází k praskání zrn a změně zrnitosti, granátové filtrační medium se vůbec nemění. Také objem granátů stačí menší než u písku. Proto se granát uplatňuje zvláště u mobilních filtrů v USA, Japonsku a Austrálii (Chrt a Zimmerhakl, 1990,1991).



Obr. 11. Schema třívrstvého vodního filtru. (http://www.hioneerim.com/product.asp?ArticleID=3).

Tab. 2 Parametry granátového filtru SINOGARNET (výr. Wuxi Ding Long Co., Ltd., Čína)

Charakteristika	
Tvar	ostrohranný
Hustota	4,0 – 4,2 g/cm^3
Tvrdost (Mohs)	7 – 8
Rozpustnost v kyselinách	nerozpustný
Chemické složení	
SiO2	33 – 37 %
Al2O3	17 – 21 %
MgO	4 – 6 %
FeO + Fe2O3	33 – 42 %
CaO	1,5 – 2,0 %
MnO	0,0 – 1,5 %
TiO2	0,0 – 1,5 %

3.5.4. Další využití granátu

Zajímavé pokusy proběhly před lety ve sklárnách ve Škrdlovicích na Moravě a Chřibské v Podkrušnohoří. Jemná granátová zrna se zatavovala (nabalovala) do skla. Jednalo se o návrh I. Turnovce a J. Žertové na využití drobných pyropových zrn. Vycházelo se z toho, že pyrop je ze všech granátů nejstabilnější. Bez mechanického porušení snesou zrna tepelné šoky do 1 070 °C přičemž teplota skloviny většinou nedosahuje ani 1 000 °C. Granátová zrna byla do skla zapracována tím způsobem, že se nabrala na sklářskou píšťalu sklovina (jádro), na ni se nanesla granátová zrna a na ně další vrstva skloviny. Ve výsledku dochází k efektnímu optickému zvětšování zrn. Kolem zatavených zrn jsou někdy rovnoměrně rozložené bublinky, které však nevadí konečnému vzhledu. Nepěkně ovšem působí větší nerovnoměrně dispergované bubliny, vznikající většinou rozkladem doprovodných složek (zirkon, aragonit a pod.). Granátová surovina se proto musí před zatavováním pečlivě vyčistit. Odstranit doprovodné složky je zatím možné pouze velmi pracným ručním vybíráním. Před vlastním zatavováním je vhodné pyropová zrna zahřát na teplotu kolem 500 °C. Ukázalo se, že granáty lze bez nebezpečí zatavovat i do tenkostěnné skloviny tak, že z jejího povrchu částečně vystupují. Velice hezkou soupravu se zatavenými granáty vytvořil i ing. Josef Starosta ve sklárně Chřibská. V posledních letech používá této metody výtvarnice Zdena Laštovičková ve Střední průmyslové škole sklářské v Železném Brodě při výrobě autorských šperků.

4. LOŽISKA GRANÁTŮ

4.1. Typy ložisek granátu

Ložiska granátu můžeme rozdělit na primární a sekundární:

a) primární ložiska – jsou to ložiska vzniklá v zonách vyššího stupně metamorfózy, ložiska vzniklá kontaktní metamorfózou s karbonáty a magmatická ložiska.

b) sekundární ložiska – nejvýznamnější jsou ložiska plážových písků, méně se využívají aluviální ložiska (Chrt a Zimmerakl, 1991).

4.2. Významná světová ložiska granátu

USA

North Creek-Barton Mines (stát New York) je největším producentem granátů v USA s nepřetržitou těžbou od r. 1887. Ložisko je tvořeno metamorfovaným dioritem. Složení horniny je amfibol a plagioklas (40 – 80%), granát (5 – 20%), méně hojné jsou hypersten, magnetit, biotit, apatit a pyrit. Těžba probíhá lomem. Krystaly granátu jsou obvykle velikosti pod 102 mm, výjimečně až 914 mm. Roční těžba činí 20 000 t rubaniny.

Rangeley (stát Maine). Toto ložisko tvoří granátické kvarcity a diority na kontaktu s gabrovým masívem. Rubanina obsahuje až 60% almandinu, ročně se těží 12 000 t rubaniny.

Willsboro (stát New York) je komplexní wollastonito-granátové ložisko s průměrným složením 60% wollastonitu a 40% granátu. Magnetickou separací se získává granátový koncentrát.

Esmerald Creek (stát Idaho). Jde o aluviální ložisko s příměsí almandinu.

Indie - *Manavalakurichi* (stát Tamil Nadu) a Chavera (stát Kerala) jsou ložiska plážových písků, z nichž se získává vedle rutilu, ilmenit, zirkonu a silimanitu též granát.. Další těžba pochází z krystalických břidlic ložiska Nad v distriku Ajmar (stát Rajastan).

Rusko - *Isilskoje* (Ural) je ložisko, které tvoří 2 polohy slídnatých granáticko-staurolitových svorů o mocnosti 30-50 m s průměrným obsahem 20% granátu s převahou almandinové složky (80%) o velikosti 0,2-2 cm.

Austrálie - *Port Gregory* (Západní Austrálie). Zde se těží granát z plážových písků jako vedlejší produkt při těžbě těžkých minerálů. Těžba byla započata v r. 1977.

Velká Británie - *Pitlochry* (Skotsko). Jde o slídnaté granátické svory z nichž se získává slídový koncentrát a jako vedlejší produkt almandinový koncentrát.

Itálie - *Piampaludo* u Janova. Ložiskem je eklogit s příměsí rutilu a almandinu s obsahem do 30%.

Kuba - *La Belleza* (provincie Villa Clara pohoří Escambray). Almandin je zde vrostlý ve formě 1-5 mm velkých krystalů v amfibolicko-pyroxenické břidlici s obsahem 13% almandinu. Podobným výskytem je lokalita *Pico Blanco* s obsahem granátu 4%. Surovina obou lokalit je dobře upravitelná magnetickou separací, úspěšně odzkoušenou v ÚNS Kutná Hora.

Arimao (provincie Cienfuegos). Granát spolu s wollastonitem se zde váže na polohy ve svrchnokřídových vápencích, tvořící pětikilometrovou polohu v podmořských vulkanitech strukturní jednotky Zaza. Granát vystupuje ve formě krystalů a shluků zrn o velikosti 0,8-3 mm, které náleží andraditu s 15% složkou grosulárovou 1% almandinovou. (Chrt, 1990).

5. ZÁVĚR

Potenciál využití granátu v různých oborech průmyslu je veliký. Při prostudování řady materiálů a projití množství internetových odkazů jsem zjistil, že granát se stává pro své vhodné vlastnosti minerálem budoucnosti.

Důležitými vlastnostmi granátů jsou zejména izotropie fyzikálních vlastností, vysoká tvrdost a odolnost, nedostatek štěpnosti, křehkost a charakter lomu.

Ze zdravotního hlediska představuje granátový prach jen malé riziko (není karcinogenní, nezpůsobuje silikózu).

V současné době má granát největší použití jako

- materiál pro protismykovou úpravu povrchu živičných vozovek,
- abrazivum pro řezání a obrábění dřeva, odlitků, keramických a sklářských výrobků,
- abrazivum pro řezání a obrábění tvrdých materiálů vodním paprskem,
- filtrační medium pro vodní filtry a čistící stanice,
- medium pro technologie plazmových nástřiků.

Výhodou průmyslové granátové suroviny je její celosvětový dostatek.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Azmira M.A., Ahsan A.K.,2009. *A study of abrasive water jet machining process on glass/epoxy composite laminate*. Journal of Materials Processing Technology. Malaysie, str. 6169-6172.

Babu M.K., Chetty O.V.K. 2006. *A study on the use of single mesh size abrasives in abrasive waterjet machining*. London, str. 533-538.

Bonewitz R.L., 2005. *Rock and Gems*. Dorling Kindersley limited, VB, str. 300-303.

Bouška V., Kouřimský J., 1976. *Drahé kameny kolem nás*. Praha, SPN, str. 352.

Ctibor P., 1999. *Granát- minerál i pro techniku*. MM Průmyslové spektrum, 1-2, str. 40-41.

Evans J.G., Moyle P.R., Frank D.G., Olson D.W., 2002. *Garnet—An Essential Industrial Mineral and January's Birthstone*. U.S. Geological Survey. Spokane, str. 1-2.

Harben P. W., 2002. *Garnet. In The industrial Minerals Handbook IV*. Industrial Minerals Information, Surrey (United Kingdom), str. 140-145.

Holub F., 2002. *Obecná a magmatická petrologie*. Nakladatelství Karolinum, Praha 1, str. 38-40.

Hříchová R., 1966. *Úprava granátu pro průmyslové účely*. Geologický průzkum, Praha, str. 96.

Chrt J., Zimmerhakl P., 1990. *Granát – významná průmyslová suroviny*. Geologický průzkum, Praha, str. 269-271.

Chrt J., Zimmerhakl P., 1991. *Granát jako průmyslový minerál*. Hornická Příbram ve vědě a technice, Praha, str. 87-91.

Chvátal M., 2002. *Mineralogie*. Nakladatelství Karolinum, Praha 1, str. 36-37.

Chvátal M., 2005. *Úvod do systematické mineralogie.* Vydal silikátový svaz, Praha 5, str. 76-77.

Khan A.A., Haque M.M. 2007. *Performance of different abrasive materials dutiny abrasive water jet machining of glass*. Department of Manufacturing and Materials Engineering, International Islamic University Malaysia, str. 405-406.

Klečák. J., Holásek. O., 1972. *Český granát.* Ústí nad Labem, Severočeské nakladatelství, str. 224.

Klein C., Hurlbut C.S., 1993: Manual of Mineralogy. J. Wiley, New York, s. 453

Martinec P., Foldyna J., Sitek L., Štučka J., Vašek J., 2001. *Abrasives for AWJ Cutting*. ÚGN Ostrava, str. 13-17, 54-57.

Olson D.W., 2001. Garnet, Industrial. Ch. in Mineral Commodity Summaries, annual. *Garned, Industrial*, str. 30-31.

Svoboda J., 1983. *Encyklopedický slovník geologických věd. 1. svazek A-M, 2. Svazek N-Ž.* Academia, Praha, str. 64, 448, 470, 668.

Starý. J., 2005. *Surovinové zdroje České republiky*. Nerostné suroviny (stav 2004). Ministerstvo životního prostředí, Praha, str. 240.

Turnovec I., 1997. *Od prvních nálezů k průmyslové těžbě*. Sb. Granát pyrop, Okr.muzeum Č.ráje, str. 66-75.

Vašek, J., Martinec, P., Foldyna, J., Hlaváč, L., 1993. Influence of Properties of Gamet on Cutting Process. *In Proceedings of the 7th American Water Jet Conference*, Seattle, Washington, WJTA, str. 375-387.

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

http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_4_3_optika/kap_4_3_optika.htm,

http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_9_nesosil/kap_7_9_nesosil.htm#7.9.1

http://www.mineral.cz/granaty-jako-prumyslova-surovina-clanek-2001092401.html

http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/d_kameny.html

http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-rezani-vodnim-paprskem

http://bosstambang.com/Mineral-Gallery/Page-5.html

http://www.kovojuza.cz/technologie.html