



Zmeny vlastností hyperstenicko - augitického andezitu z lokality Ruskov

Pavol Rybár¹, Katarína Kysel'ová², Michal Zacharov³, Félix Sekula⁴

Changes of the properties of the hyperstene-augitic andesite from the Ruskov Area

This paper deals with the changes of the structure and physico-chemical properties after their remelting at the temperatures over 1500°C. The following properties were analyzed: chemical composition and microscopic changes in the structure of mineral.

Key words: changes of structure, Litho Jet, chemical composition, changes in the structure of mineral.

Úvod

Jednou z úloh riešenia štátnej objednávky LITHO-JET „Technológia termického tavenia hornín za účelom hĺbenia štíhlych vertikálnych diel“ bolo overiť zmenu vlastností hornín po pretavení horninovej vzorky, a to ich porovnaním v prírodnej forme a po pretavení pri teplote 1660°C. Cieľom uvedeného projektu je hĺbenie štíhlych vertikálnych diel do horninového masívu pomocou plameňového injektora (Sekula et al., 1998). Táto úloha bola dôležitá pre úspešnú realizáciu hlbinného vrtu a následné zatlačenie roztavenej horniny do jeho okolia. Prezentovaný príspevok obsahuje výsledky štúdia vlastností hyperstenicko - augitického andezitu z lokality Ruskov v prírodnej forme, počas tavenia aj po pretavení v atmosferických podmienkach.

Geologická charakteristika

Hornina pochádza z lávového prúdu spodnej štruktúrnej etáže formácie Hradisko (andezitový stratovulkán Hradisko), veku spodný sarmat.

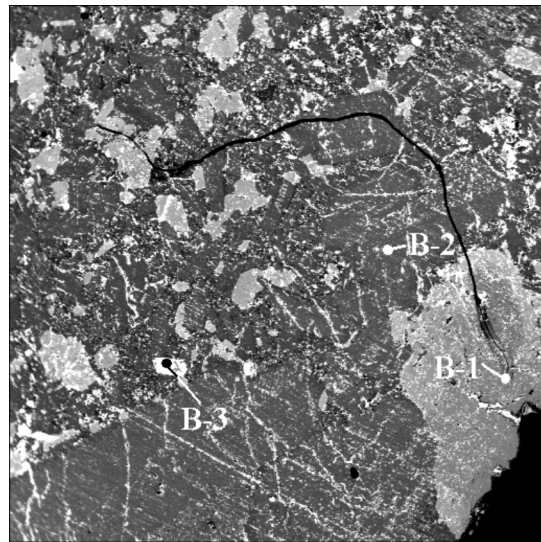
Petrografická charakteristika

Makropopis: Sivá až sivohnedá, celistvá, drobno - strednoporfyrická hornina.

Mikropopis: Hornina má porfyrickú štruktúru s pilotaxickou štruktúrou základnej hmoty, ktorú tvoria drobné lišty plagioklasov a zrn pyroxénov. Vyrastlice sú tvorené prevažne plagioklasmi, menej pyroxénmi-hypersténom, augitom, sporadicky amfibolom. Lokálne sa vyskytujú glomeroporfyrické zhluky vyrastlic. Akcesoricky je prítomný magnetit.



Obr.1. Hyperstenicko-augitický andezit Ruskov. Porfyrická štruktúra s pilotaxickou štruktúrou základnej hmoty. Polaroidy X



Obr.2. Hyperstenicko - augitický andezit – Ruskov, BEI obraz, zväčšenie 40x.

¹ Prof. Ing. Pavol Rybár, CSc. Katedra ropného inžinierstva a využitia zemských zdrojov FBERG, Park Komenského 19, 043 84 Košice

² RNDr. Katarína Kysel'ová, PhD. Katedra chémie HF, Park Komenského 19, 043 84 Košice

³ Doc. Ing. Michal Zacharov, CSc. Katedra geológie a mineralógie FBERG, Park Komenského 15, 043 84 Košice

⁴ Prof. Ing. Félix Sekula, DrSc. Katedra dobývania ložísk a geotechniky FBERG, Park Komenského 19, 043 84 Košice
(Recenzovali: Prof. RNDr. František Zábranský, CSc. a Ing. Vítazoslav Krúpa, CSc.)

zváč. 59 x.

Energiovodisperzná analýza primárnej horniny

Vzorka hyperstenicko–augitického andezitu bola podrobená na pracovisku Geologickej služby v Bratislave EDS analýze minerálov. Analýza bola realizovaná pomocou elektrónového rastrovacieho mikroskopu JEOL JSM-840 a energiovo-disperzného mikroanalýzátora KEVEX DELTA+. Tento mikroanalýzátor bol vybavený softwarom MIRROR QUANTEX+.

Vo zvolených bodoch plochy, uvedených na obr. 2, bol na základe chemickej analýzy stanovovaný obsah zlúčenín, charakteristických pre niektoré minerály. Na základe porovnania analýzy so štandardmi určil inštalovaný softvér presne typ vyskytujúceho sa minerálu. Typické výsledky sú prezentované z originálnych počítačových výstupov.

Bod č. 1

GENERAL CONDITIONS		SAMPLE CONDITIONS	
Result file	: ANDEZIT_AMFIBOL	kV	: 15.0
File Version	: 1	Beam Current	: 1250.0 picoAmps
Background Method	: Auto	Working Distance	: 11.0 mm
Decon Method	: Gaussian	Tilt Angle	: 0.0 Degrees
Decon ChiSquared	: 1.47	TakeOff Angle	: 56.5 Degrees
Analysis Date	: 9-JUL-98	Solid Angle*BeamCurrent	: 3.9
Microscope	: SEM		
Comments			

Element	Line	Weight%	Cmpt	CmptWT%	Cations	Decon Regions	Atomic%
O		41.61					59.84
Na	Ka	0.32	Na ₂ O	0.43	0.1214	0.830-1.270	0.32
Mg	Ka	8.36	MgO	13.87	3.0422	1.040-1.480	7.92
Al	Ka	1.44	Al ₂ O ₃	2.72	0.4721	1.280-1.710	1.23
Si	Ka	23.30	SiO ₂	49.85	7.3378	1.520-1.970	19.09
K	Ka	0.06	K ₂ O	0.07	0.0138	3.050-3.580	0.04
Ca	Ka	14.31	CaO	20.02	3.1578	3.420-3.960	8.22
Ti	Ka	0.28	TiO ₂	0.47	0.0519	4.210-4.790	0.14
Cr	Ka	0.06	Cr ₂ O ₃	0.09	0.0107	5.090-5.790	0.03
Mn	Ka	0.10	MnO	0.12	0.0155	5.570-6.200	0.04
Fe	Ka	7.66	FeO	9.86	1.2132	6.060-6.710	3.16
Total		97.50			15.4364		

Number Of Cations calculated on basis of 23 O Atoms.

Analýzou tohto bodu sa potvrdila prítomnosť amfibolu v hyperstenicko – augitickom andezite.

Bod č. 2

GENERAL CONDITIONS		SAMPLE CONDITIONS	
Result file	: ANDEZIT_MAGNETIT	kV	: 15.0
File Version	: 1	Beam Current	: 1210.0 picoAmps
Background Method	: Auto	Working Distance	: 11.0 mm
Decon Method	: Gaussian	Tilt Angle	: 0.0 Degrees
Decon ChiSquared	: 1.72	TakeOff Angle	: 56.5 Degrees
Analysis Date	: 9-JUL-98	Solid Angle*BeamCurrent	: 3.8
Microscope	: SEM		
Comments			

Element	Line	Weight%	Cmpt	CmptWT%	Cations	Decon Regions	Atomic%
O		22.53					52.36
Mg	Ka	0.22	MgO	0.36	0.0189	1.100-1.450	52.36
Al	Ka	0.42	Al ₂ O ₃	0.79	0.0330	1.330-1.690	0.33
Si	Ka	0.05	SiO ₂	0.10	0.0035	1.570-1.950	0.58
Ca	Ka	0.09	CaO	0.12	0.0045	3.450-3.960	0.06
Ti	Ka	5.43	TiO ₂	9.06	0.2416	4.240-4.800	0.08
Cr	Ka	0.43	Cr ₂ O ₃	0.63	0.0176	5.120-5.720	4.22
Mn	Ka	0.25	MnO	0.32	0.0096	5.590-6.220	0.31
Fe	Ka	62.93	FeO	80.95	2.4008	6.080-6.730	0.17
Total		92.35			2.7295		41.90

Number Of Cations calculated on basis of 3 O Atoms.

Na základe analýzy tohto bodu bola potvrdená v skúmanej hornine prítomnosť magnetitu.

Bod č. 3

GENERAL CONDITIONS		SAMPLE CONDITIONS	
Result file	ANDEZIT PLAGIOKLAS	KV	15.0
File Version	1	Beam Current	1210.0 picoAmps
Background Method	Auto	Working Distance	11.0 mm
Decon Method	Gaussian	Tilt Angle	0.0 Degrees
Decon ChiSquared	1.78	TakeOff Angle	56.5 Degrees
Analysis Date	9-JUL-98	Solid Angle*BeamCurrent	3.8
Microscope	SEM		
Comments			

Element	Line	Weight%	Cmpt	CmptWT %	Cations	Decon Regions	Atomic%
O		46.20					61.44
Na	Ka	1.15	Na ₂ O	1.55	0.1383	0.830-1.280	1.06
Al	Ka	17.97	Al ₂ O ₃	33.95	1.8450	1.270-1.720	14.17
Si	Ka	21.58	SiO ₂	46.17	2.1288	1.520-1.980	16.35
K	Ka	0.11	K ₂ O	0.13	0.0075	3.050-3.580	0.06
Ca	Ka	12.84	CaO	17.97	0.8876	3.420-3.960	6.82
Fe	Ka	0.29	FeO	0.37	0.0144	6.060-6.710	0.11
Total		100.14			5.0216		

Number Of Cations calculated on basis of 8 O Atoms.

Výsledky analýzy potvrdili v hyperstenicko-augitickom andezite výskyt plagioklasu.

Bod č. 4.

GENERAL CONDITIONS		SAMPLE CONDITIONS	
Result file	ANDEZIT PYROXEN	kV	15.0
File Version	1	Beam Current	1210.0 picoAmps
Background Method	Auto	Working Distance	11.0 mm
Decon Method	Gaussian	Tilt Angle	0.0 Degrees
Decon ChiSquared	1.35	TakeOff Angle	56.5 Degrees
Analysis Date	9-JUL-98	Solid Angle*BeamCurrent	3.8
Microscope	SEM		
Comments			

Element	Line	Weight%	Cmpt	CmptWT %	Cations	Decon Regions	Atomic%
O		42.53					59.84
Na	Ka	0.42	Na ₂ O	0.57	0.0414	0.830-1.270	0.41
Mg	Ka	8.54	MgO	14.16	0.7930	1.040-1.480	7.91
Al	Ka	1.09	Al ₂ O ₃	2.06	0.0911	1.280-1.710	0.91
Si	Ka	23.98	SiO ₂	51.30	1.9274	1.520-1.970	19.22
K	Ka	0.09	K ₂ O	0.10	0.0049	3.050-3.570	0.05
Ca	Ka	13.30	CaO	18.61	0.7489	3.420-3.960	7.47
Ti	Ka	0.47	TiO ₂	0.78	0.0221	4.220-4.790	0.22
Cr	Ka	0.10	Cr ₂ O ₃	0.15	0.0044	5.100-5.710	0.04
Mn	Ka	0.24	MnO	0.31	0.0098	5.570-6.200	0.10
Fe	Ka	9.48	FeO	12.19	0.3830	6.060-6.710	3.82
Total		100.24			4.0260		

Number Of Cations calculated on basis of 6 O Atoms.

V analyzovanom bode bol identifikovaný pyroxén.

Prítomnosť plagioklasu, pyroxénov, amfibolu a magnetitu, zistená petrografickou analýzou, bola potvrdená pomocou energiovo-disperznej mikroanalýzy.

Chemická analýza

Na základe klasickej chemickej analýzy bolo zistené, že uvedená vzorka obsahuje nasledovné zastúpenie analyzovaných prvkov a oxidov v hmotnostných percentách (tab.1):

Tab.1: Percentuálne zastúpenie analyzovaných prvkov a zlúčenín.

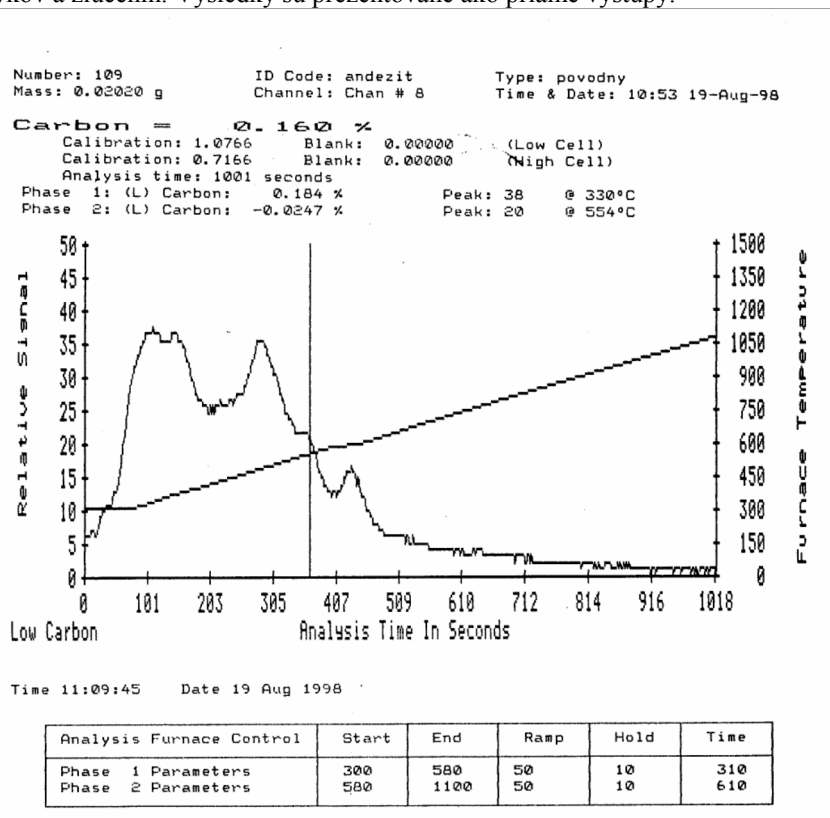
SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe	FeO	C	Σ
57,10	19,08	3,23	8,01	3,02	4,88	0,160	95,48

Strata žíhaním pri teplote 950 °C je 0,73 % (Sekula et al., 1998).

Pre kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie uhlíka bol použitý prístroj LECO RC 412 s využitím infračervenej spektrometrie. Z priloženého C-spektra (obr.3) vyplýva, že vzorka obsahuje 0,160 hmot. % C.

Energiovodisperzná silikátová analýza

Kvantitatívna silikátová EDS analýza sledovanej plochy hyperstenicko - augitického andezitu bola realizovaná tými istými prostriedkami, ako primárna hornina. Jej výsledky podávajú presné chemické zastúpenie analyzovaných prvkov a zlúčenín. Výsledky sú prezentované ako priame výstupy.



Obr.3. C-spektrum hyperstenicko – augitického andezitu.

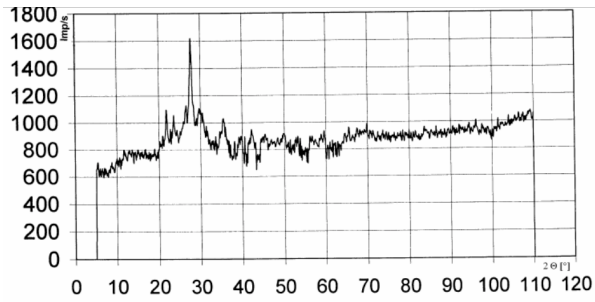
GENERAL CONDITIONS		SAMPLE CONDITIONS	
Result file	ANDEZIT PLOCHA	kV	15.0
File Version	1	Beam Current	1210.0 picoAmps
Background Method	Auto	Working Distance	11.0 mm
Decon Method	Gaussian	Tilt Angle	0.0 Degrees
Decon ChiSquared	2.4	TakeOff Angle	56.5 Degrees
Analysis Date	9-JUL-98	Solid Angle*BeamCurrent	3.4
Microscope	SEM		
Comments			

Element	Line	Weight%	Cmpt	CmptWT %	Cations	Decon Regions	Atomic%
O		44.74					61.86
Na	Ka	2.15	Na ₂ O	2.89	0.7680	0.830-1.270	2.07
Mg	Ka	1.27	MgO	2.11	0.4298	1.050-1.490	1.16
Al	Ka	11.00	Al ₂ O ₃	20.79	3.3538	1.280-1.720	9.02
Si	Ka	25.87	SiO ₂	55.34	7.5752	1.530-1.980	20.37
K	Ka	0.97	K ₂ O	1.16	0.2031	3.060-3.590	0.55
Ca	Ka	6.67	CaO	9.33	1.3676	3.430-3.970	3.68
Ti	Ka	0.20	TiO ₂	0.33	0.0343	4.230-4.810	0.09
Cr	Ka	0.22	Cr ₂ O ₃	0.32	0.0343	5.120-5.730	0.09
Mn	Ka	0.00	MnO	0.00	0.0000	0.000-0.000	0.00
Fe	Ka	2.82	FeO	3.63	0.4160	6.080-6.740	1.12
Total		95.91			14.1821		

Integrálna kvantitatívna analýza potvrdila nadpolovičný obsah SiO_2 . Veľké percentuálne zastúpenie má aj Al_2O_3 a CaO . Ostatné analyzované zlúčeniny vykazujú koncentráciu pod 5 hmot. %.

Rentgenová fázová analýza

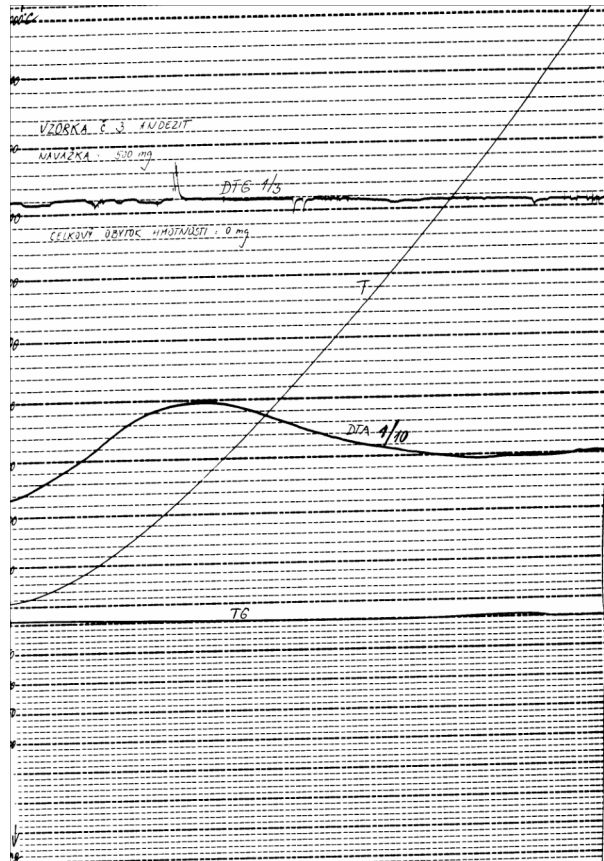
RTG analýza bola vykonaná na RTG-difraktometri Mikrometa 2, výrobcu Chirana Praha. Vzorka bola ožarovaná monochromatickým RTG-žiarením $\text{CuK}\alpha$. Napätie na lampe bolo 30 kV, anódový prúd 20 mA. Zložka žiarenia $\text{CuK}\beta$ bola odfiltrovaná Ni filtrom. Výstupná clona šírky $10'$, vstupná clona $5'$. Impulzy z GM čítača boli vyhodnocovacou jednotkou spracovávané s rozsahom $1000 \text{ impulzov}\cdot\text{s}^{-1}$ a integračnou konštantou 3 s. Napätie na GM čítači bolo 1140 V (Kyseľová, 1998).



Obr. 4. RTG difraktogram hyperstenicko-augitického andezitu z lokality Ruskov.

⇒

Obr. 5. Derivatogram hyperstenicko – augitického andezitu.



Vyhodnotením difraktogramu obr.4 z chemického hľadiska bol potvrdený vysoký obsah SiO_2 v menšej miere Al_2O_3 a MgO . Z mineralogického vyhodnotenia vyplýva prítomnosť pyroxénov, plagioklasov v menšom množstve amfibolu.

Diferenčná termická analýza (DTA) a termogravimetrické merania (TG) sa prevádzali za účelom sledovania termických efektov a hmotnostných zmien v závislosti od teploty na prístroji maďarskej výroby Derivatograph.

Podmienky DTA a TG boli nasledovné:

Navážka:	500 mg	Citlivosť DTA:	1/10,
Citlivosť DTG:	1/3	Rozsah TG:	0-1000 mg,
Rýchlosť ohrevu:	$9,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$	Celková doba ohrevu:	100 min,
Teplotný rozsah merania: 25-1000 $^\circ\text{C}$.			

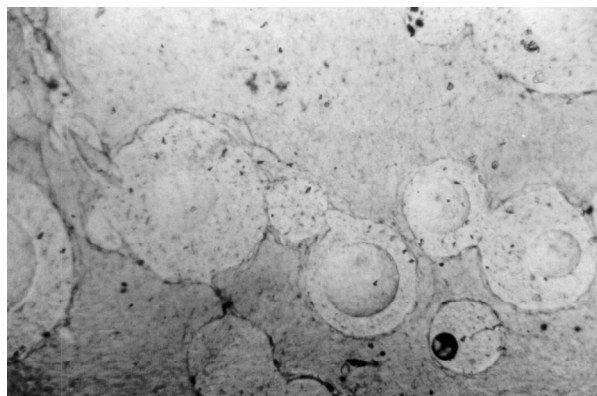
V teplotnom intervale 25 – 1000 $^\circ\text{C}$ nebola na TG krivke pozorovaná žiadna strata hmotnosti. Podobne neboli pozorované žiadne exotermické, resp. endotermické efekty (viď krivka DTA). Na základe týchto zistení možno konštatovať, že v sledovanom teplotnom intervale nedochádza u tejto horniny k hmotnostným resp. fázovým zmenám.

Petrografická charakteristika pretaveného hyperstenicko – augitického andezitu

Teplota tavenia: 1660 $^\circ\text{C}$

Makropopis: Čierna kompaktná sklovitá hmota, lokálne s pórovitou vesikulárnou textúrou. Maximálna veľkosť dutín guľovitého a oválneho tvaru je do priemeru 0,6 cm.

Mikropopis: Materiál sivej - sivočiernej farby s hyalinnou štruktúrou s nevýraznými zvlnenými prúžkami - stopy fluidálneho prúdenia sklovitej hmoty.



Obr.6. Tavenina hyperstenicko–augitického andezitu, hyalinná štruktúra, sklovitá hmota má lokálne pórovitú vesikulárnu textúru. Polaroidy ||, zväčšenie 73 ×.

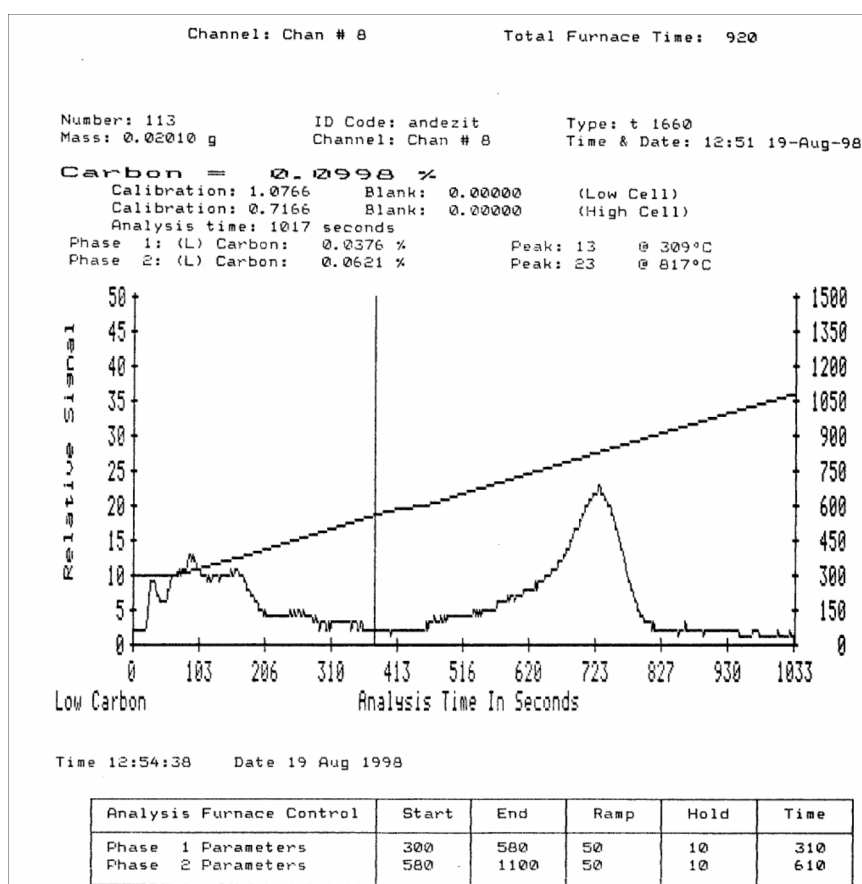
Chemická analýza po pretavení hyperstenicko – augitického andezitu

Skúmaná vzorka bola v Tamannovej peci pretavená pri teplote 1660°C. Následne bola podrobená klasickej chemickej analýze, ktorou sa zistilo nasledovné hmotnostné percentuálne zastúpenie jednotlivých zlúčenín v suchej silikátovej tavenine (tab.2).

Tab.2. Percentuálne zastúpenie analyzovaných prvkov a zlúčenín.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe	FeO	C	Σ
57,80	17,61	2,82	9,65	1,80	2,13	0,0998	91,9098

Percentuálne zastúpenie uhlíka v pretavenej vzorke bolo opäť stanovené na prístroji LECO 421 (obr. 7).



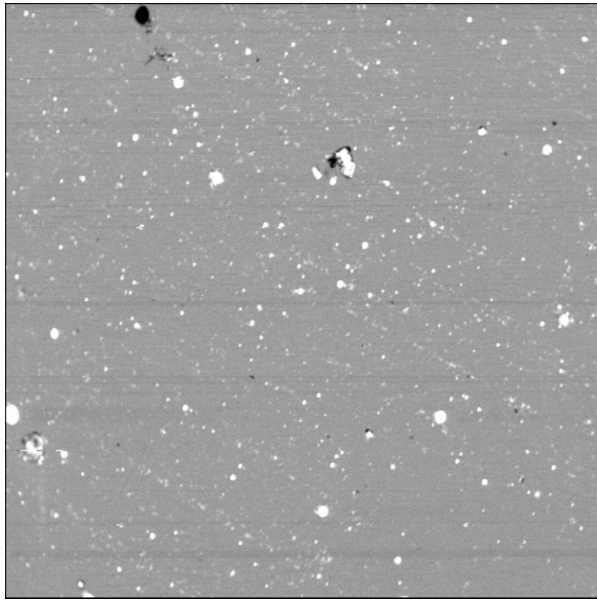
Obr.7. C - spektrum pretaveného hyperstenicko - augitického andezitu – Ruskov.

Rozdielny obsah ostatných analyzovaných prvkov a zlúčenín je spôsobený buď nehomogénnosťou vzorky, alebo vznikom komplexov, ktoré sa klasickými analytickými metódami nedajú rozložiť.

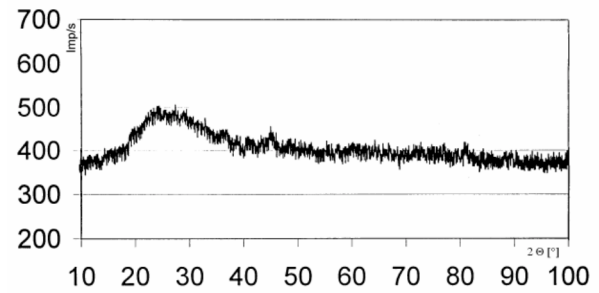
Vlnovodisperzná analýza pretaveného hyperstenicko – augitického andezitu

Pretavená vzorka bola podrobená WDS analýze, realizovanej na elektrónovom vlnovo-disperznom mikroanalýzátore JEOL JXA – 33 SUPERPROBE, osadeného 4 spektrometrami s difrakčnými kryštálmi TAP, PET, LIF. Mikroanalýzátor bol riadený systémom KEVEX SESAME s 32-bitovým softvérom SAMx na IBM-PC.

Experimentálne podmienky sú rovnaké ako pri analýze primárnej horniny. Výsledky WDS analýzy analyzovanej plochy, zobrazenej na obr. 8, sú prezentované pôvodným výpisom.



Obr.8. Pretavený hyperstenicko - augitický andezit – Ruskov, BEI obraz, zväčšenie 86x.



Obr.9. Difrakčný záznam pretaveného hyperstenicko-augitického andezitu z lokality Ruskov.

RESULTS										
Point 1 : (11273, 28492, 10111), 2 iterations-----andezit tavenina										
Elt	W%	interval(95%)	A%	Ix/Istd	Kratio	Z.A.F. coefs			Ox%	Cat%
O	45.83		61.80						0.00	0.00
F	0.00	[0.00, 6.44]	0.01	0.0000	0.0000	1.0146	4.4383	1.0043	0.01	0.00
Na	2.54	[2.31, 2.78]	2.38	0.2794	0.0132	1.0395	1.8526	1.0001	3.43	0.23
Mg	1.75	[1.63, 1.88]	1.56	0.0251	0.0116	1.0216	1.4943	0.9918	2.91	0.15
Al	10.40	[10.15, 10.65]	8.32	0.1809	0.0767	1.0594	1.2921	0.9896	19.65	0.81
Si	26.97	[26.57, 27.37]	20.72	0.5146	0.2054	1.0353	1.2670	0.9992	57.70	2.01
P	0.01	[0.00, 0.16]	0.01	0.0003	0.0000	1.0763	1.3923	1.0071	0.01	0.00
Cl	0.04	[0.00, 0.08]	0.02	0.0005	0.0003	1.1067	1.1606	0.9958	0.04	0.00
K	1.21	[1.03, 1.40]	0.67	0.0953	0.0104	1.1103	1.0658	0.9900	1.46	0.07
Ca	6.73	[6.38, 7.08]	3.62	0.1890	0.0592	1.0899	1.0446	0.9987	9.42	0.35
Ti	0.60	[0.49, 0.72]	0.27	0.0090	0.0049	1.2033	1.0284	0.9984	1.01	0.03
Cr	0.00	[0.00, 1.07]	0.00	0.0000	0.0000	1.2176	1.0111	1.0146	0.00	0.00
Mn	0.11	[0.00, 0.27]	0.04	0.0034	0.0009	1.2460	1.0060	1.0019	0.14	0.00
Fe	1.52	[1.21, 1.83]	0.59	0.0191	0.0123	1.2292	1.0023	1.0000	1.95	0.06
Sum	97.72		100.00						97.72	3.71

Rentgenová analýza po pretavení

Difrakčný záznam pretaveného hyperstenicko-augitického andezitu bol zhotovený na prístroji MIKROMETA 2 za rovnakých experimentálnych podmienok, ako vzorka primárnej horniny (obr.4). Z vyhodnoteného difrakčného záznamu (obr.9) sa dá usudzovať, že prakticky celá vzorka je v amorfnom stave. V oblasti 20 až 35 2θ je možné pozorovať difrakcie mikrokryštálikov, ktoré sa v procese tavenia nepretavili.

Záver

Z petrografického hodnotenia vyplýva, že hyperstenicko – augitický andezit mal pôvodne porfyrickú štruktúru s pilotaxickou štruktúrou základnej hmoty, ktorú tvorili drobné lišty plagioklasov a zrn pyroxénov. Vyrastlice boli tvorené prevažne plagioklasmi, menej pyroxénmi - hypersténom a augitom. Prítomnosť spomínaných minerálov bola dokázaná aj EDS analýzou minerálov pomocou energiovo-disperzného mikroanalýzátora vybaveného softvérom MIRROR QUANTEX+. Po pretavení vzorky pri teplote 1660 °C došlo k vzniku čiernej kompaktnéj amorfnéj hmoty lokálne s pórovitou vesikulárnou textúrou. Mikroskopickým pozorovaním bola identifikovaná hyalinná štruktúra so stopami fluidálneho prúdenia sklovitej hmoty.

Na základe chemickej analýzy, vykonanej klasickými metódami bolo zistené, že základnými zložkami hyperstenicko - augitického andezitu je SiO_2 , Al_2O_3 a CaO . Obsah ostatných analyzovaných zlúčenín je pod 5 hmot. %. Výsledky tejto analýzy boli upresnené a rozšírené výsledkami EDS analýzy. Primárna hornina bola pri teplote 1660 °C pretavená a následne podrobená klasickej chemickej analýze a WDS analýze. WDS analýza rozšírila analyzovanú škálu o ďalšie prvky a ich oxidy (napr. P, Cl). Výsledky ukázali, že zastúpenie jednotlivých analyzovaných zložiek sa v priebehu procesu tavenia podstate nezmenilo.

RTG analýza primárneho hyperstenicko - augitického andezitu potvrdila vysoký obsah SiO_2 , v menšej miere Al_2O_3 a MgO . Mineralogické vyhodnotenie poukazuje na prítomnosť pyroxénov, plagioklasov a v malej miere aj amfibolu. Difrakčný záznam pretaveného hyperstenicko - augitického andezitu ukázal, že podstatná časť vzorky má amorfnú formu.

Diferenčná termická analýza a termogravimetrické merania svedčia o tom, že u tejto horniny v teplotnom intervale 25 – 1000 °C nedošlo k žiadnym stratám hmotnosti ani k fázovým premenám. Z hľadiska fyzikálno-chemických vlastností bol v rámci práce LITHO - JET venovaný veľký dôraz na stanovenie viskozity hyperstenicko - augitického andezitu v roztavenom stave, pre možnosť zatlačania tejto horniny do okolitého prostredia. Meranie viskozity na rotačnom viskozimetri HAAKE ROTOVISKO pri teplote 1660 °C však nebolo možné uskutočniť, nakoľko tavenina napriek vysokej teplote bola veľmi viskózna.

Všetky uvedené analýzy boli uskutočnené za atmosférických podmienok, čo nie celkom vystihuje proces, ktorý možno očakávať pri aplikácii plameňového injektora v rámci projektu LITHO-JET. Tavenie v podmienkach in situ totiž prebehne pri vysokých tlakoch a za prítomnosti vodných pár.

Literatúra

- Kyseľová, K.: Zmeny vlastností hornín po ich pretavení. *Dizertačná práca, Košice, 1998.*
Sekula, F., Rybár, P., Lazár, T. a kol.: Technológia termického tavenia hornín za účelom hĺbenia štíhlych vertikálnych diel. *Výskumná správa za rok 1997, Košice, 1998.*