



BASALTBRÁÐ

Yfirlit yfir helztu eiginleika hráefnis,
sem ráða gæðum framleiðslu -

- Samantekt á birtum heimildum -

eftir

Einar Gunnlaugsson

Júlí 1973

BASALTBRÁÐ

Yfirlit yfir helztu eiginleika hráefnis,
sem ráða gæðum framleiðslu -

- Samantekt á birtum heimildum -

eftir

Einar Gunnlaugsson

Júlí 1973

Efnisyfirlit

0. Helztu ályktanir

I Helztu atriði í birtum tékkneskum heimildum

1. Lega hráefnis
2. Útlit bergsins
3. Efnasamsetning og petrografía
 - 3.1 Kristöllunarfasar við endurkristöllun
 - 3.2 Efnasamsetning
 - 3.3 Barths jafna
4. Fysiskir eiginleikar
 - 4.1 Seigja
 - 4.2 Bræðslumark og endurkristöllun

II Helztu atriði í birtum rússneskum heimildum

1. Basaltbræðsla
 - 1.1 Rovno basaltið
 - 1.2 Volnovakh basaltið
 - 1.3 Rörsteypa
 - 1.4 Kristöllunarhvatar
2. Basalt trefjar
 - 2.1 Helztu eiginleikar
 - 2.2 Sýruviðnám
 - 2.3 Kristöllun trefja

Ritskrá.

0. Helztu ályktanir

Þessari samantekt var ætlað að gefa yfirlit um þá eiginleika basalhráefnis sem ræður gæðum framleiðslu. Það hefur háð nokkuð að heimildir eru mjög af skornum skammti. Stuðzt var við eina tékkneska grein auk skýrslu Kopeckys og nokkrar stuttar rússneskar greinar. Tékkneska greinin fjallar um athugun á bergi með tilliti til bræðslu. Þar kemur fram, að hentugasta berggerðin er tertiert ólivín basalt, lágt í SiO_2 og hátt í MgO . Svo virðist á skýrslu Kopeckys, að vinna Tékka á Íslandi hafi einkum verið leit að þessari basaltgerð.

Í rússnesku greininum kemur í ljós, að það basalt sem þeir nota er ekki eins og það basalt sem Tékkar telja heppilegast. Má þar einkum nefna herra glermagn og það, að Rússar bæta leir saman við hráefnið til að fá hentuga efnasamsetningu, en Tékkar aftur á móti forðast leir. Þessi aðferð Rússa, að blanda hráefnið leir eykur vinnslukostnað þess mjög mikið. Það má því telja víst, að það basalt sem Tékkar leita að, er bezta hráefnið, en með auknum framleiðslukostnaði megi nota flestar gerðir basalts.

I Helztu atriði í birtum tékkneskum heimildum

1. Lega hráefnis

Eitt af meginskilyrðunum við val á hráefni er, að kostnaður við vinnslu og flutning sé sem allra minnstur. Þetta hafa Tékkar tekið tillit til við val svæða á Íslandi, sem þeir hafa athugað ítarlega. Auðunnið svæði þarf að vera nokkuð stórt, vera heppilega brotið og sámilega opið.

2. Útlit bergsins

Kristalstærð. Tveir meginþættir ráða kristalstærð storkubergs, efnasamsetning bergsins og ytri aðstæður við kólnun. Ef efnasamsetning bergsins orsakar grófkristöllun er bergið óheppilegt til bræðslu, vegna þess að þá má búast við að framleiðslan verði jafnframt grófkristölluð og því brotgjörn. Bræðsla á grófkristölluðu efni þarf jafnframt meiri orku en fínkristallað berg.

Dílar. Dílótt berg er ekki talið hentugt til bræðslu. Ef bergið er ólivíndílótt er mikil hættá á að bráðin verði ekki hómógen, vegna þess að ólivínkristallarnir eru torbræddari en bergið í heild. Plagioklasdílar í einhverju magni benda til óheppilegra efnasamsetningar. Ef plagioklas fellur út fyrst dregur það úr kristöllunarhraða og hættá er á myndun glers. Á sama hátt er reynt að forðast innlyksur.

Gler. Gler í bergi getur verið tilkomið á tvennan hátt. Annars vegar vegna hraðrar kólnunar, hins vegar vegna efnasamsetninga. Ef bergið er glerjað vegna efnasamsetningar er hættá, að brætt basalt úr því efni verði jafnframt glerjað við endurkristöllun. Berg, sem er glerjað vegna kólnunar er einungis glerjað að litlu leiti. Glerjað endurkristallað berg er ekki talin góð framleiðsla og því er glerjað basalt talið varhugavert til bræðslu.

Sekúnderir mineralar. Til þess að basalt teljist heppilegt til bræðslu má það ekki innihalda sekúndera minerala, svo sem zeolíta og leir, í neinu magni. Zeolítar gera það að verkun að bráðin freyðir. Leir inniheldur mikið vatn, en það orsakar langan bræðslutíma.

Blöðrur. Blöðrótt tertíert berg er yfirleitt holufyllt af sekúnderum minerölum svo sem zeolítum og leir. Að því leiti er blöðrótt basalt talið slæmt til bræðslu. Yngra basalt t.d. nútímahraun eru oft blöðrótt, en ekki holufyllt. Þrátt fyrir það er Tékkum mjög illa við blöðrótt berg. Er ástæðan óljós, en verið getur, að erfitt sé að losna við gas úr bráðinni.

3. Petrografía og efnafræði

3.1 Kristöllumarfasar við endurkristöllumun

Við upphaf basaltbræðslu í Tékkóslóvakíu var gerð athugun á 38 bergtegundum til að finna út hvaða tegund hentaði best sem hráefni fyrir bræðslu. Bergið var allt frá ísúru yfir í mjög basískt basalt og auk þess myndbreytt berg. Var bergið brætt og látið kristallast. Það var síðan flokkað eftir þeim kristalfösum, sem fram komu í endurkristallaða berginu. Bergið er flokkað í 4 aðalflokka, eftir því hvort ólivín og feldspat séu til staðar. Hverjum aðalflokki er síðan skipt eftir því hvort amfiból sé til staðar eða ekki. Flokkun þeirra er sýnd í töflu 1.

Allt endurkristallað berg hefur tvo kristalla, magnetít og mónóklín pýroxen. Magnetít er mjög þýðingarmikið í upphafi kristöllumunar, vegna þess hve vel það bindur bergið. Niðurstaða athugana Tékkar er sýnd í töflu 2. Basískasta og súrasta bergið lendir í flokka sem hafa fæsta minerala, en þeir flokkar, sem hafa flesta minerala, eru nær miðju seríunnar (SiO_2 43,0-47,0%). Eftir því sem mineralfasarnir eru fleiri, þeim mun hentugra er bergið talið til bræðslu, vegna þess að þá er minni hætta á myndun glers í lok kristöllumunar. Að þeirra mati er ólivín-feldspat flokkurinn (IV A) heppilegasta berggerðin, en í þann hóp fellur ólivín basalt og basanít.

Það ber að hafa í huga, að við endurkristöllun fást yfirleitt ekki jafnmargir kristallar og í upphaflega berginu. Er það vegna ýmissa aðstæðna í náttúrunni, svo sem breytilegs þrýstings, mismunandi hitafalli, diffrun o.s.frv. Það berg sem hefur sömu efnasamsetningu hefur yfirleitt sömu minerala í endurkristöllun. Þeir mineralar, sem hafa svipaða efnasamsetningu og bráðin falla fyrst út.

3.2 Efnasamsetning

Samkvæmt athugunum Tékka á mismunandi gerðum bergs telja þeir heppilegasta bergið hafa eftirfarandi samsetningu:

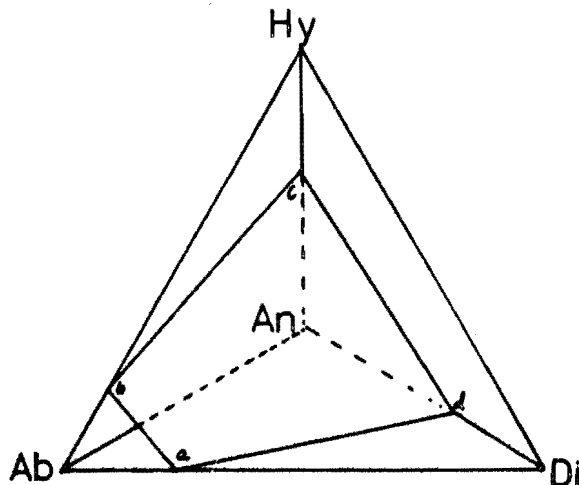
SiO ₂	43,5 - 47,0 %
TiO ₂	2,0 - 3,5 %
Al ₂ O ₃	11,0 - 13,0 %
Fe ₂ O ₃	4,0 - 7,0 %
FeO	5,0 - 8,0 %
MnO	0,2 - 0,3 %
MgO	8,0 - 11,0 %
CaO	10,0 - 12,0 %
Na ₂ O	2,0 - 3,5 %
K ₂ O	1,0 - 2,0 %

3.3 Barths jafna

Tékkar notast nokkuð við jöfnu, sem þeir nefna Barths jöfnu við val á hentugu basalti. Jafnan er:

$$AB' + 2Di' + 2,3Hy' = 123$$

Rétt þykir að gera örlitla grein fyrir því, hversvegna og hvernig þessi jafna er fengin. Er það fengið frá Barth (1962).



MYND 1.

Þessi jafna byggir á efnakerfinu Ab-An-Di-Hy (albít-anortít-díopsít-hypersten) en það er sýnt á mynd 1. Hornpunktur tetraedersins eru mineralarnir albít, anortít, díopsít og hypersten, sem reiknaðir eru út frá efnasamsetningu með CIPW-norni. Flöturinn a-b-c-d-afmarkar þær basaltsamsetningar þar sem plagioklas fellur út fyrst og þar þar sem pýroxen fellur út fyrst. Í því basalti sem lendir díopsít megin við flötinn fellur pýroxen út fyrst, en í því basalti sem lendir anortít megin við flötinn fellur plagioklas út fyrst. Þessi flötur er skilgreindur með þremur koordinötum, Ab, Di, og Hy en þá er sá fjórði jafnframt þekktur, ef summa þeirra allra er jafnt og 100. Líkingin fyrir þennan flöt er Barths jafna

$$1Ab' + 2Di' + 2,3Hy' = 123$$

Þef útreiknað gildi er milli 117 og 123 fellur plagioklas og pýroxen (ólivín) út samtímis. Ef gildið er lægra en 117 fellur plagioklas út fyrst, en ef gildið er hærra en 123 fellur pýroxen (ólivín) út fyrst. Ef gildið fer yfir 140 fellur yfirleitt ekki út neinn plagioklas.

Hentugasta gildið fyrir basalt ætlað í bræðslu telja Tékkar vera á bilinu 124-136. Ef bergið er enn basiskara (þ.e. Barthsgildi hærra en 136) er hætta á því að bergið sé feldspat laust, og því grófkornað og brotgarnt. Eftir því sem bergið er súrara, (þ.e. því lægri sem Barthgildin eru fyrir neðan 124) er meiri hætta á að bergið verði glerjað vegna hægrar kristöllumunar plagioklas.

Smá athugasemd við útreikninga á Barths gildum í skýrslu Kopeckys.

Samkvæmt grein Kopecky og Voldan (1959) nota þeir jöfnuna $1Ab' + 2Di' + 2,3Hy' = 123$ á sama hátt og Barth. Í skýrslu Kopeckys, eru reiknuð þessi gildi og eru þau fyrir Brynjudal 85, Brattholt 102,95 og fyrir Iðu 107,73. Þessi gildi eru ekki rétt. Svo virðist sem í tvö síðari skiptin hafi gleymst að jafna út gildin þannig að summa Ab, An, Di og Hy sé 100. Talan fyrir Brynjudal er þrátt fyrir þessa skekkju enn röng og stafar það líklega af því

að An hefur verið tekið fyrir Ab. Tafla 3 sýnir Barths gildi. Fremst eru gildin úr skýrslu Kopeckys. Í öðrum dálki gildið reiknað beint frá Ab, Di, Hy og í dálki 3 gildin reiknuð skv. söferð Barths í Theoretical Petrology.

TAFLA 3.

	<u>skv. Kopecky</u>	<u>skv. Ab+2Di+2,3Hy</u>	<u>skv. Ab'+2Di'+2,3Hy'</u>
Brynjudalur	85	77,39 (84,17)*	104,87
Brattholt	102,93	102,93	125,88
Iða	107,73	107,98	127,12

* An sett í stað Ab.

Samkvæmt þessu hækka gildin allstaðar. Tvö svæðin hafa þá heppilegt gildi, en eitt, Brynjudalur, er fyrir neðan mörkin en mjög svipað því og áður var álitid vera á Iðusvæðinu.

4. Fysiskir eiginleikar.

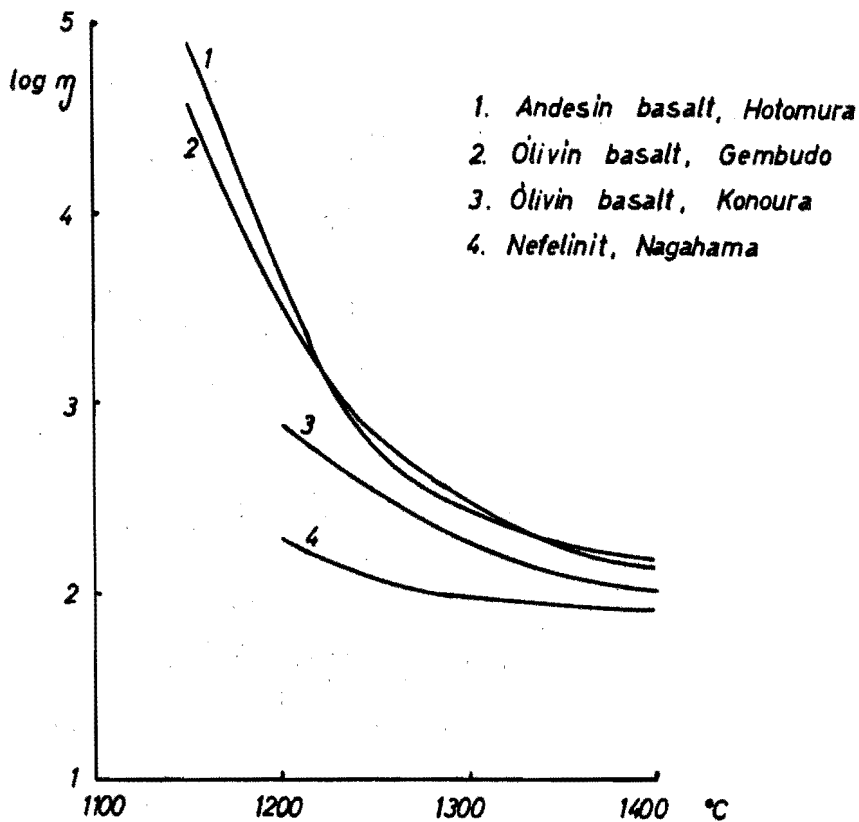
4.1 Seigja.

Seigja getur haft mikið að segja varðandi kristöllun og getur ráðið hvort bergið myndar kristalla með reglulega kristalfleti eða ófullkomna kristalla. Mjög lág seigja getur komið í veg fyrir kristöllun. Við ákveðin seigjumörk hætta kristallar að falla út. Vegna þessa kristallast sumt súrt og ísúrt berg illa eða alls ekki (t.d. hrafntinna). Hér á eftir eru gefin nokkur seigjugildi skv. Barth 1962.

	<u>Seigja</u> <u>g/sek/cm</u>	<u>Hitastig</u> <u>°C</u>
pýroxen	$5 \cdot 10^0$	1450
basalt	$2 \cdot 10^2$	1400
ólivín basalt	$3 \cdot 10^3$	1200
albít	$4 \cdot 10^4$	1400
albít	$n \cdot 10^8$	1150

SiO ₂ gler	1·10 ¹⁰	1440
SiO ₂ gler	1·10 ¹²	1300
hrafntinna	1·10 ¹²	800

Ef seigja bergsins er á heppilegu bili á sér stað hægfara kristöllun. Á mynd 2 er sýnd seigja (η) á móti hitastigi nokkurra basaltsýna.



MYND 2

Eftir því sem kristöllunareiginleiki bráðinnar er meiri því meiri verður aukning seigjunnar við kristöllunina.

Seigja bráðinnar er þýðingarmikil við steypu röra með snúningsaðferð. Ef seigjan er of lág myndast turbulent flæði, en þegar hún nær ákveðnu marki myndast laminar flæði. Turbulent flæði minnkar gæði framleiðslunnar. Skilin milli turbulent flæðis og laminar flæðis er ákvarðað þegar Reynolds tala er ca. 1000. Niðurstaða Tékka er því sú, að bráðin verður að hafa lága seigju ($10^3 - 10^2$ poise).

4.2 Bræðslumark og endurkristöllun.

Heppilegast er talið að bergið bráðni við 1200 - 1300 °C og hafi lága seigju ($10^3 - 10^2$ poise). Bráðin verður síðan að kristallast auðveldlega og mynda fína kristalla. Kristöllunin tekur mjög stuttan tíma (3-10 mín) svo að plagioklas dílar hafa lítinn tíma til að myndast. Við endurkristöllun á bráði myndast yfirleitt þrjú lög. Miðlagið er bezt kristallað en ytri lögin verr. Þykkt innri zónunnar fer eftir efnasamsetningu, bræðslutíma og hámark bræðslumarki.

II Helztu atriði í birtum rússneskum heimildum.

1. Basaltbræðsla.

Þær heimildir sem til eru hér á landi um basaltbræðslu í Rússlandi gefa mjög lítið til kynna hvaða skilyrði hráefnið þarf að uppfylla. Þó er ljóst að framkvæmd þeirra er á ýmsan hátt frábrugðin aðferðum Tékka.

Aðalkostur þeirra við að nota basalt í stað úrgangs frá málmbræðslu er sá, að hráefnið er mun hentugra og framleiðslan kostnaðarminni. Til þess að halda kostnaðinum niðri verður vinnslukostnaður að vera hverfandi lítill.

Einn aðalmismunur framleiðsluaðferða Rússa og Tékka er, að Rússar blanda ýmsum efnum saman við hráefnið.

1.1 Rovno basaltið.

Rovno basaltið í Ukrainu nota Rússar sem hráefni fyrir bræðslu. Það er fínkristallað berg, sem hefur eftirfarandi samsetningu :

<u>Efnasamsetning</u>	<u>Mineralsamsetning</u>
SiO ₂ 50.40	plagioklas ?
Al ₂ O ₃ 12.88	pýroxen 17-20%
TiO ₂ 3.12	glar 5-6%
Fe ₂ O ₃ 3.97	málmur 3%
FeO 10.17	
MnO 0.20	
MgO 5.51	
CaO 9.24	
Na ₂ O 2.58	
K ₂ O	
P ₂ O ₅ 0.42	
H ₂ O 0.50	

Saman við þetta berg blanda Rússar síðan leir í hlutföllunum basalt 83% : plastiskur leir 17%. Það sem einkum vekur hér athygli er hið háa glermagn og viðbót leirs.

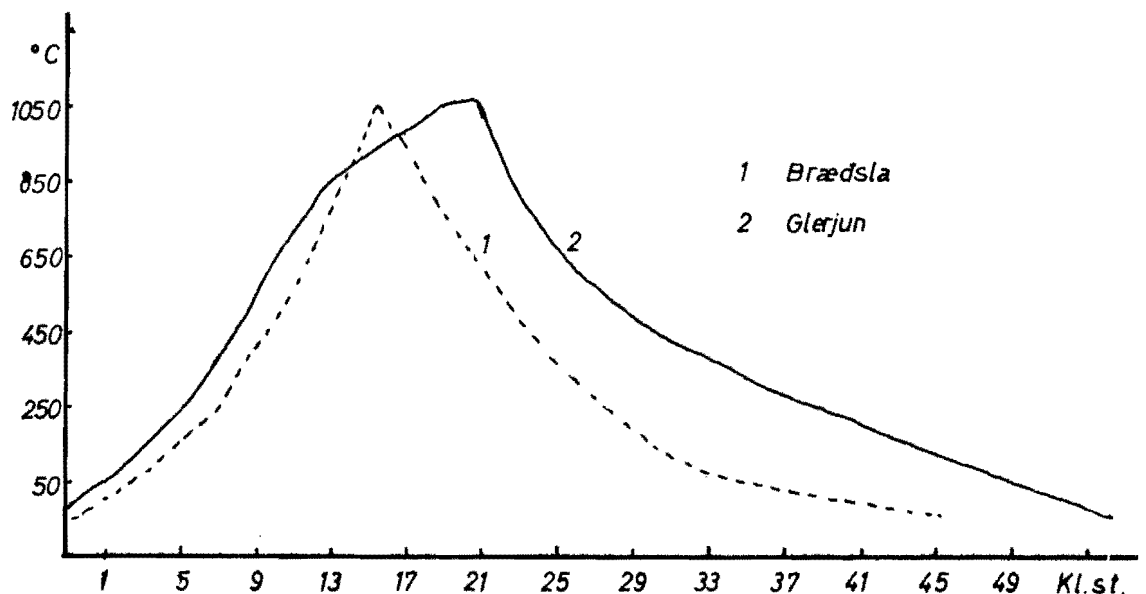
Hvorutveggja stingur í stúf við það basalt, er Tékkar leita að hér á landi. Blöndunina má framkvæma á tvennan hátt, þurra eða blauta blöndun. Í þurri blöndun er leir og basalti blandað saman en því síðan blandað saman við elektrolyta. Ef blautblöndun er gerð er basalti, leir og vatni með uppleystum elektrolytum blandað saman í einu. Tilgangur elektrolytanna er líklega sá, að lækka bræðslumarkið.

Þar sem framleiðslan má ekki taka í sig vatn er mynduð glerhúð á yfirborði framleiðslunnar. Til þess er notað:

90.6%	"fritt"	{	23.4% kvarz
			29.4% feldspat
			28.3% borax
			6.8% "litharg"
			12.0% CaCO ₃
9.4%	kaolin		
0.24%	gyps.		

Þetta er brætt við 1060 °C - 1120 °C.

Það er augljóst að Rússar verða að beita öðrum aðferðum við bræðslu en Tékkar vegna hins mikla vatnsmagns, sem er í hráefni þeirra. Samkvæmt mynd 3 hita þeir blönduna mjög hægt upp. Tekur um 5 - 6 tíma að ná 100 °C - 120 °C og um 16 tíma



MYND 3

að ná hámarks hitastigi 1050 °C. Um 29 tíma tekur að kæla steypuna úr þessu hitastigi. Gljáamyndunin tekur síðan um 50 tíma. Þessi aðferð Rússa hlýtur því að vera mun orkufrekari en aðferð Tékka.

1.2 Volnovakh basaltið.

Volnovakh basaltið er talið mun heppilegra til basaltbræðslu en Rovno basaltið vegna lægri kostnaðar við framleiðslu. Þetta basalt hefur samsetninguna :

SiO ₂	47.47
MgO	6.72
CaO	8.18
Fe ₂ O ₃	14.47
Al ₂ O ₃	19.57
önnur oxíð	4.0

Aðalmunur þessa basalts og Rovno basaltsins er að það inniheldur nægilegt magn MgO og járnoxíðs, svo óþarfi er að blanda öðrum komponentum saman við. Framleiðslukostnaður lækkar um 45 % við að nota þetta hráefni.

Basaltið byrjar að bráðna við 1150 - 1250 °C, en við 1350 - 1400 °C á aðalbræðslan sér stað. Seigja bráðinnar er lág 30 - 40 poise. Bræðslutíminn er 1.5 klst.

Steypan er fínkristölluð og þétt. Aðalminerallinn er pýroxen ásamt dálitlu magnetíti.

1.3 Rörsteypa.

Í rörsteypu nota Rússar brád sem hefur eftirfarandi samsetningu :

SiO ₂	47-48 %
Al ₂ O ₃	15-16 %
FeO	15-16 %
Fe ₂ O ₃	
CaO	11-12 %
MgO	6-7 %
R ₂ O	2-4 %

Þessa samsetningu fá þeir með blöndun basalts, hornblendíts og krómíts í hlutföllunum 91:7:1. Kornastærð basaltsins er allt að 350 mm, hornblendítsins allt að 60 mm og krómítið er duft. Krómítinu er bætt út í til að auka kristöllumunarhraða bráðinnar

Blandan er brædd við 1520-1560 °C, en síðan kæld í 1350 °C en þá blönduð vatni. Síðan er bráðinni hellt í mótin við 1300-1200 °C. Tilgangur vatnsins er óviss.

1.4 Kristöllumunarhvatar.

Rússar bæta ýmsum efnum út í bráðina til að hraða kristöllumun. Í sum sýni af Volnovakh basalti er bætt 2-3% af króm-magnetíti eða flússpati. Auk þessarra efna hafa þeir gert tilraunir með periklas og magnetít viðbót. Öll þessi efni hafa svipuð áhrif á kristöllumunarhraðann, en strúktúrinn getur verið mismunandi. Ef notað er periklas verður strúktúrinn grófkristallaður, en ef notað er magnetít verður hann fínkristallaður.

2. Basalt trefjar.

2.1 Helztu eiginleikar.

Að áliti Rússa eru einkum eftirfarandi atriði, sem segja til um gæði basalts til trefjagerðar.

Seigja. Til þess að basaltbráð teljist heppileg til trefjagerðar með blástursaðferð þarf seigja hennar við 1400 °C að vera a.m.k. 90 poise og við 1250 °C fyrir neðan 350 poise.

Kólnunarhraði. Athugun á kólnunarhraða sýnir, að basaltbráð kólnar 1.5 -2 sinnum hægar en bráð af alkalisnaudu gleri. Ástæðuna telja Rússar vera þá, að sölt sem eru slæmir hitaleiðar myndast á yfirborði basaltsins. Kólnunarhraði á yfirborði basaltbráðar er aftur á móti mun hraðari en kólnunarhraði alkalisnauds glers.

Yfirborðsspenna. Basaltbráð hefur hærri yfirborðs-spennu en glerbráð sem notuð er til trefjagerðar. Mismunandi samsetning basaltsins hefur engin áhrif.

Kristöllun. Til þess að basaltbráð teljist hentug til trefjagerðar þarf kristöllun að byrja við 1250 °C eða lægra hitastig.

"Wettability". "Wettability" horn basalts er heldur lægra við öll hitastig en "wettability" horn alkalisnauds glers.

2.2 Sýruviðnám.

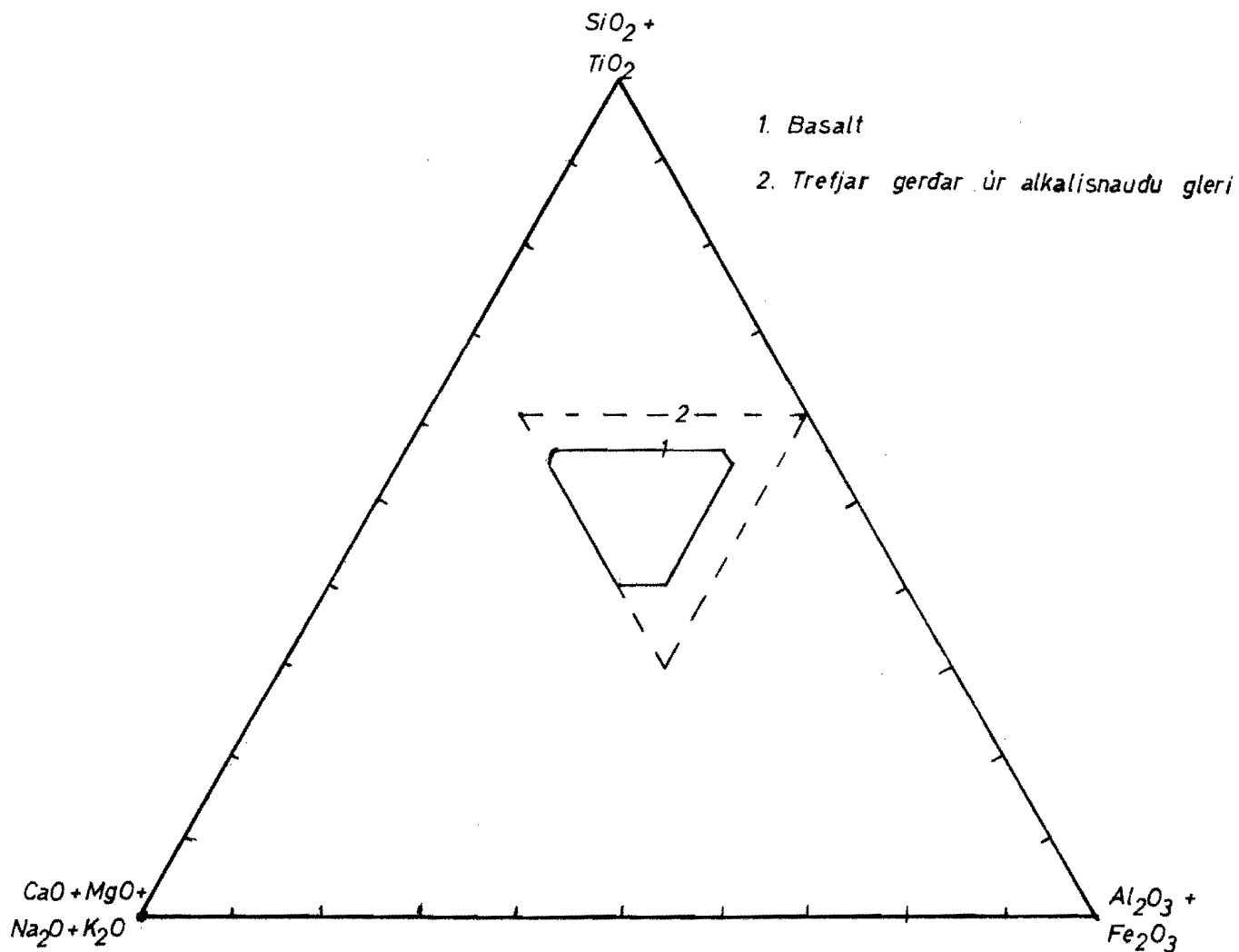
Mismunandi notkun basalttrefja fer mjög eftir efna-samsetningu og sýruviðnámi. Ef trefjarnar hafa slæmt sýruviðnám er í sumum tilfellum hægt að nota þær sem háhita einangrandi efni (leached fiber).

Rússar hafa gert tilraun til að athuga samband efna-samsetningar og sýruviðnáms. Niðurstöðurnar setja þeir fram á þríhyrningslínuriti $RO_2-R_2O_3-RO$ ($RO_2 = SiO_2 + TiO_2$; $R_2O_3 = Al_2O_3 + Fe_2O_3$; $RO = CaO + MgO + Na_2O + K_2O$) (mynd 4). Niðurstöðurnar eru þó ekki þannig að hægt sé að plotta eina ákveðna efnasamsetningu og segja til um notagildi hráefnisins. Helztu niðurstöður eru í stórum dráttum þær, að það efni sem næst er RO_2 horni þríhyrningsins hefur hátt sýruviðnám, en það sem næst er RO horni þríhyrningsins leysist í sýru. Það efni sem er góður hitaeinangrari lendir á milli á línuritinu.

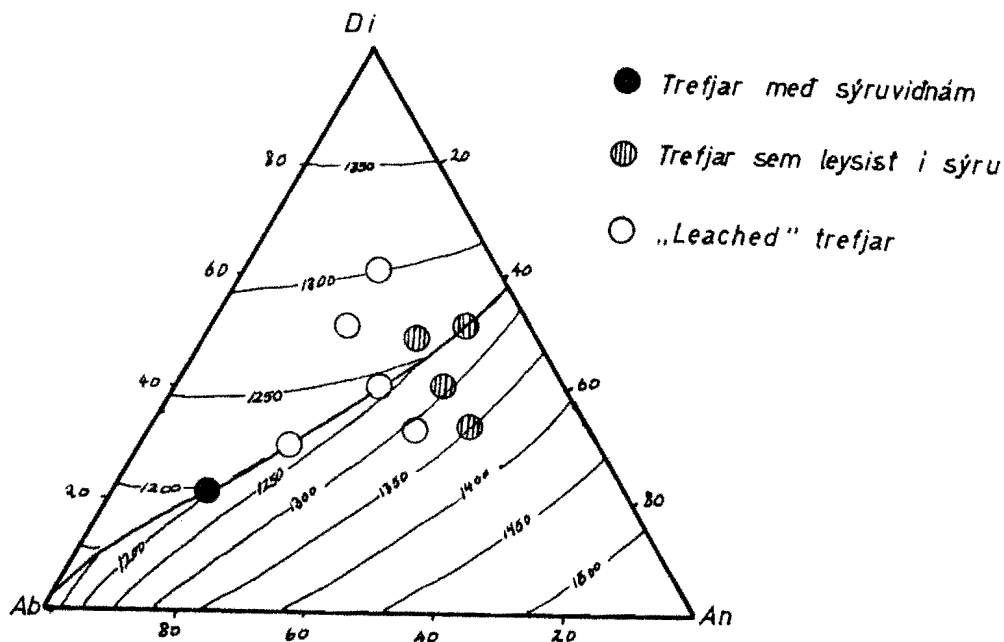
Ef Al_2O_3 er konstant lækkar sýruviðnámið með auknu magni Fe_2O_3 . Skilin milli uppleysanlegra og stabílla trefja er um Al_2O_3 15%. Ef bergið er lágt í alkali eykur aukið magn Fe_2O_3 meir sýruviðnámið en aukið magn Al_2O_3 .

Athugað hefur verið samband sýruviðnáms og efnakerfisins Di-Ab-An. Í ljós kemur að ekki er samband milli sýruviðnáms og kerfisins. Það eina sem kemur í ljós er, að því nær sem bergið er horni Ab þeim mun meira er sýruviðnámið (mynd 5).

Samsetning basalts er mjög svipuð og samsetning alkali snauða glersins sem notað er í slíka framleiðslu (sbr. mynd 4).



MYND 4.



MYND 5

2.3 Kristöllum trefja og upphitun.

Kristöllum basalttrefja var athuguð með upphitun. Notað var basalt með samsetninguna:

SiO ₂	51.0 %
TiO ₂	1.6 %
Fe ₂ O ₃	8.9 %
FeO	8.0 %
Al ₂ O ₃	15.2 %
CaO	9.3 %
MgO	5.6 %
R ₂ O	2.9 %

Í ljós kom, að þegar trefjarnar höfðu verið hitaðar upp í 600 °C breytast ýmsir eiginleikar þeirra þó svo hitastigið sé fyrir neðan bræðslumark. Kemur þetta einkum fram í oxideringu á járn, sem byrjar við 500-600 °C og endar við 800-1000 °C. Röntgenathugun á basalttrefjum sýnir að hitun í 600 °C hefur engin sýnileg áhrif á glerstrúktúrinn. Helztu niðurstöður úr þessari athugun er sú, að trefjar framleiddar með "vertical air blowing" aðferð þola 600-650 °C, en "superfine" trefjar má nota upp í 700-750 °C.

Ritskrá

- Abramyan et al 1967: Rovnobasalts as raw materials for making stone-ceramic products by slip casting. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika no 8 pp. 24-26.
- Barth 1962: Theoretical petrology 416 bls.
- Darenskii et al 1968: Producing basalt staple fiber Ensk þýðing úr Steklo i Keramika no 1 pp 38-40
- Dubrovskii et al 1968: Basalt melts for the forming of staple fiber. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika no 12 pp. 18-20
- L. Kopecky 1973: Report on second stage of survey of Iceland's petrurgical materials 1972-1973. Geological part bls. 1-27.
- L Kopecky & J. Voldán 1959: Krystalisace travených hornin (Crystallization of melted rocks). Á tékknesku með enskum úrdrætti. 214 bls.
- Ladokhin et al 1965: Causes of chemical heterogeneity in stone casting melts. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 22 no 3 pp. 7-9.
- Lipovskii & Darofew 1963: Volnovakhbasalts as raw material for stone castings. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 20 no 1 pp. 14-15
- Lipovskii & Nashelskii 1965: Investigating the mechanical strength of stone castings at high temperatures. Ensk þýðing í Steklo i Keramika vol 22 no 3 pp.5-6

- Lipovskii et al 1966: Plasticity range for stone castings. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 23 no 5 pp 15-17
- Makhova 1968: Crystallization of basalt fibers. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika no 11 pp. 22-23.
- More attention to the development of the stone casting industry. (höf. Óþekktur). Ensk þýðing úr Steklo i Keramika (1965) vol 22 no 3 pp 1-2
- Myasnikov & Aslanova 1964: Influence of chemical composition of basalt fiber on its acid resistance. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 21 no 5 pp 15-17
- Myasnickov & Aslanova 1965: Choice of basalt rock composition for producing fibers for various purposes. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 22 no 3 pp 12-15
- Nagornyi et al 1965: Effect of additives on the crystallization of melts of metallurgical slags and rocks. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 22 no 3 pp 9-11
- Shaposhnikov & Zolotov 1965: Pipes produced from stone castings. Ensk þýðing úr Steklo i Keramika vol 22 no 3. pp.2-4.

TAFLA 1.

I FRUMMINERALAR

I A Frumminerala flokkur	I B Frumminerala-amfibolit flokkur
magnetít, mónóklín pýroxen.	magnetít, mónóklín pýroxen, mónóklín amfíból.

II FRUMMINERALAR + FELDSPAT

II A Feldspat flokkur		II B Amfíból-feldspat flokkur	
andesít gerð	melafyr gerð	basalt gerð	nefelínit gerð
plagioklas, magnetít, mónóklín pýroxen.	magnetít, plagioklas, mónóklín pýroxen.	magnetít, plagioklas, mónóklín pýroxen, mónóklín amfíból.	magnetít, mónóklín pýroxen, mónóklín amfíból, plagioklas.

III FRUMMINERALAR + ÓLIVÍN

II A Ólivín flokkur	III B Amfíból-ólvín flokkur
magnetít, ólivín, mónóklín pýroxen.	magnetít, ólivín, mónóklín pýroxen, mónóklín amfíból.

IV FRUMMINERALAR + ÓLIVÍN + FELDSPAT

IV A Ólivín-feldspat flokkur		IV B Amfíból-ólivín-feldspat flokkur	
ólivín basalt gerð	basanít gerð	pofyritisk díabas gerð	ólivín basalt gerð
magnetít, ólivín, plagioklas, mónóklín pýroxen.	magnetít, ólivín, mónóklín pýroxen, plagioklas.	magnetít, plagioklas, mónóklín pýroxen, ólivín, mónóklín amfíból.	magnetít, ólivín, mónóklín pýroxen, plagioklas, mónóklín amfíból.

TAFLA 2.

	SiO ₂ %		IA	IB	IIA	IIB	IIIA	IIIB	IVA	IVB
1	56,48	pýroxen andesít (leuco-gerð)			x					
2	52,52	melafýr			x					
3	51,56	nosean tefrít (leuco-gerð)			x					
4	51,28	basaltoid-ágít andesít			x					
5	50,00	amfibólít			x					
6	48,44	melafýr			x					
7	47,34	spilít (porfýritískt díabas)			x					
8	47,24	porfýritískt diorít								x
9	46,84	noseane tefrít (leuco-gerð)				x				
10	46,44	porfýritískt diorít								x
11	46,30	nefelín-lúsít basanít								x
12	46,13	ólivín basalt							x	
13	45,91	ólivín basalt						x		
14	45,88	ólivín basalt							x	
15	45,72	amfibólít			x					
16	45,69	ólivín díabas								x
17	45,48	analsít díabas								x
18	45,48	ólivín basalt								x
19	45,43	leucit basanít					x			
20	45,13	basalt				x				
21	44,97	ólivín basalt						x		
22	44,82	ólivín basalt								x
23	44,35	ólivín basalt								x
24	44,20	ólivín basalt							x	
25	44,06	ólivín basalt					x			
26	43,40	nefelín basanít								x
27	42,87	nefelín basanít							x	
28	42,73	nefelín tefrít	x	←			x			
29	42,43	ólivín basalt				x				
30	42,27	ólivín nefelínit					x			
31	40,84	ólivín nefelínit		x	←				x	
32	40,67	ólivín nefelínit					x			
33	40,02	leucit		x						

	SiO ₂ %		IA	IB	IIA	IIB	IIIA	IIIB	IVA	IVB
34	40,00	nefelínit		x						
25	39,56	Ólivín nefelínit					x			
36	38,73	leucit nefelínit		x ←		x →				
37	39,67	leucit nefelínit		x ←		x →				
38	38,67	melilita-Ólivín nefelíníð					x			