



Forðafraeðistuðlar á Kolaskaga

Valgarður Stefánsson

Greinargerð VS-92-07

FORÐAFRÆÐISTUÐLAR Á KOLASKAGA

1. INNGANGUR

Á Kolaskaga hefur verið boruð 12 km djúp kjarnahola. Er þetta víst dýpsta hola í heimi. Um þessa holu hefur verið skrifuð 560 blaðsíðna bók, sem ber heitið *The Superdeep Well of the Kola Peninsula* (Springer 1987), en ritstjóri bókar var Ye.A.Kozlovsky. Hér er vitnað til enskrar þýðingar á bókinni, en bókin kom fyrst út á rússnesku 1984.

Berg á Kolaskaga er gamalt, aldurinn mælist í gígaárum (Ga), og bergið er myndbreytt (metamorphic). Menn skipta staflanum í tvær grúppur, annars vegar *Proterozoic* grúppu 0-6842 m og hins vegar *Archean* grúppu þar fyrir neðan. Helstu atriði í ummyndunarbeltum eru þau að neðan við 1400 m byrjar epidot-klórít belti, og en neðar koma biotit-aktinolit, hornblendi-oligoklasi o.s.frv. Ofan við 1400 m dýpi eru lághitasteindir kenndar við prenit og pumpellit.

Þó berg á Kolaskaga sé mjög frábrugðið íslensku bergi, er áhugavert að skoða niðurstöður af mælingum á kjarna úr þessari holu. Bergið á Kolaskaga er það sem útlendingar kalla stundum kristallað berg til aðgreiningar frá seti. Forðafræðistuðlar í svona myndbreyttu bergi eru því eflaust líkari því sem gerist í hraunlagastafla heldur en í setbergi. Þar að auki er holan á Kolaskaga boruð í ummyndunarbelti, sem svipar til ummyndunar á háhitasvæðum (epidot og þaðan af hærri ummyndun). Þessi greinargerð fjallar um valdar niðurstöður á mælingum á kjarnanum, sem lesa má um í ofangreindri bók.

2. EÐLISÞYNGD, PORUHLUTI OG LEKT

Skilgreiningar: Hér verður talað um tvenns konar poruhluta og tvenns konar eðlisþyngd.

Eðlisþyngd = *bulk density*, þ.e. eðlisþyngd vatnsósa bergs.

Bergeðlisþyngd = *matrix density* eða *grain density*, þ.e. eðlisþyngd bergmassans þegar leiðrétt hefur verið fyrir poruhluta bergsins. Bergeðlisþyngd er efniseiginleiki og er í raun eðlisþyngd bergsins þegar poruhlutinn = 0.

Poruhluti = *total porosity*, þ.e. það rúmmálshlutfall bergsins sem er fyllt með vatni.

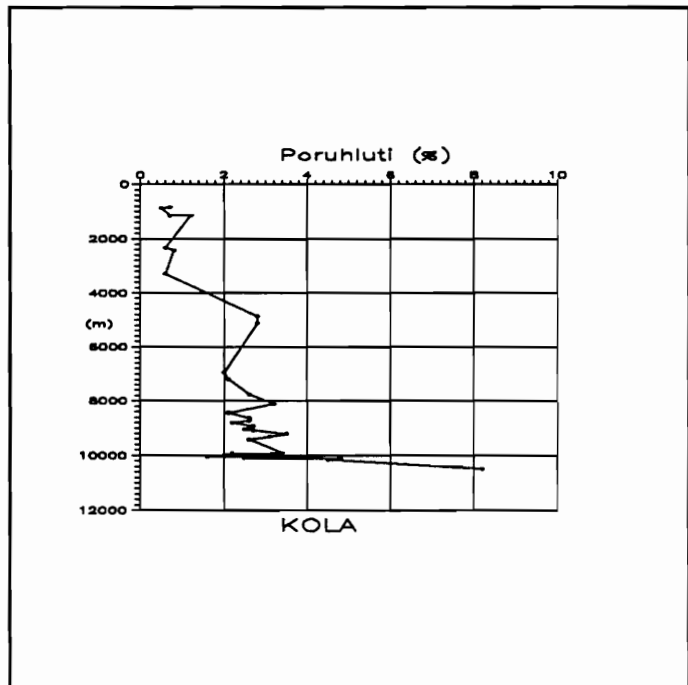
Virkur poruhluti = *effective porosity*, þ.e. sá poruhluti bergsins sem er samtengdur.

Upp er gefið í bókinni að mælingar hafi verið gerðar á 46.000 kjarnabútum! Allar þær mælingar eru ekki gefnar upp í bókinni, en tafla 2.5 í bók gefur upp poruhluta, virkan poruhluta, eðlisþyngd og bergeðlisþyngd fyrir 32 sýni, þar sem dýpi er gefið með 0,1 m nákvæmni. Virðist því sem þetta séu beinlínis 32 valin mæligildi en ekki einhvers konar

meðaltöl. Gallinn við þessi mæligildi er m.a. sá að þau eru ekki jafndreifð um holuna (flest úr neðsta hluta holunnar). Ef þetta eru beinar mælingar eru þessi 32 gildi 0,07 % af því data sem liggur fyrir.

Við byrjum á því að skoða hvernig mældar stærðir breytast með dýpi. Mynd 1 sýnir heildarporuhluta sem fall af dýpi. Þó um það megi deila hvort mynd 1 gefi marktæka mynd af sambandi dýptar og poruhluta, gefur myndin til kynna að poruhluti aukist með dýpi.

Þetta er í raun sú niðurstaða sem Rússarnir fá ef tillit er tekið til allra gagna. Mynd 2 er tekin beint úr bókinni og sýnir eðlisþyngd (σ), poruhluta (ϕ), s-bylgjuhraða (v_s), p-bylgjuhraða (v_p) og stærðina K_a^d , sem er *velocity anisotropy*, mælt á þurrum kjarna (d = dry).



Mynd 1.

Það kemur greinilega fram á mynd 2 að poruhluti eykst með dýpi í holunni á Kola skaganum. Þetta er nokkuð óvænt niðurstaða. Flestir hefðu líklega gert ráð fyrir að ekkert vatn væri í bergi á 10 km dýpi. Það tekur þó steininn úr að poruhlutinn aukist með dýpi. Í framsetningu Rússana (mynd 2) er meðalporuhlutinn í botni aðeins 1%, en á mynd 1 má sjá að eitt sýni nálægt botni hefur 8% poruhluta.

Mynd 2 sýnir einnig að eðlisþyngd bergsins lækkar með dýpi, og að p- og s-bylgjuhraðinn er viðsnúinn, þ.e. lækkar með dýpi.

Því miður hafa allar einingar fyrir eðlisþyngd, p-bylgjuhraða og s-bylgjuhraða gleymst á mynd 2. Það er því ástæða að teikna eðlisþyngd sem fall af dýpi fyrir það data sem fyrir liggur. En áður en það er gert er ástæða að ræða um poruhlutann.

Tvær skoðanir eru uppi um áhrif ummyndunar á poruhluta. Önnur skoðunin er sú, að ummyndun hafi í för með sér að poruhluti minnki. Hin skoðunin er að aukin ummyndun hafi í för með sér aukinn poruhluta. Ég hef ekki heyrt þá skoðun að ummyndun hefði engin áhrif á poruhluta. Í Greinargerð VS-91/02 stakk ég upp á því að aukin ummyndun hefði í för með sér að poruhluti bergsins ykist. Í byrjun var þessi skoðun studd mjög almennum rökum, en seinna hef ég séð fáeinar mælingar sem virðast styrkja þessa skoðun.

Gagnorðasta skýring Rússana á breytingum með dýpi í Kola holunni er þessi: *changes in rock composition, together with secondary processes, are responsible for the fact that rock density decreases while porosity and permeability increase with depth*. Hér verður það túlkunaratriði hvort verið sé að halda því fram að ummyndun hafi áhrif á poruhluta, eða hvort þetta er bara almennt orðalag sem heldur öllum möguleikum opnum. Það er þó rétt að vitna orðrétt í eina

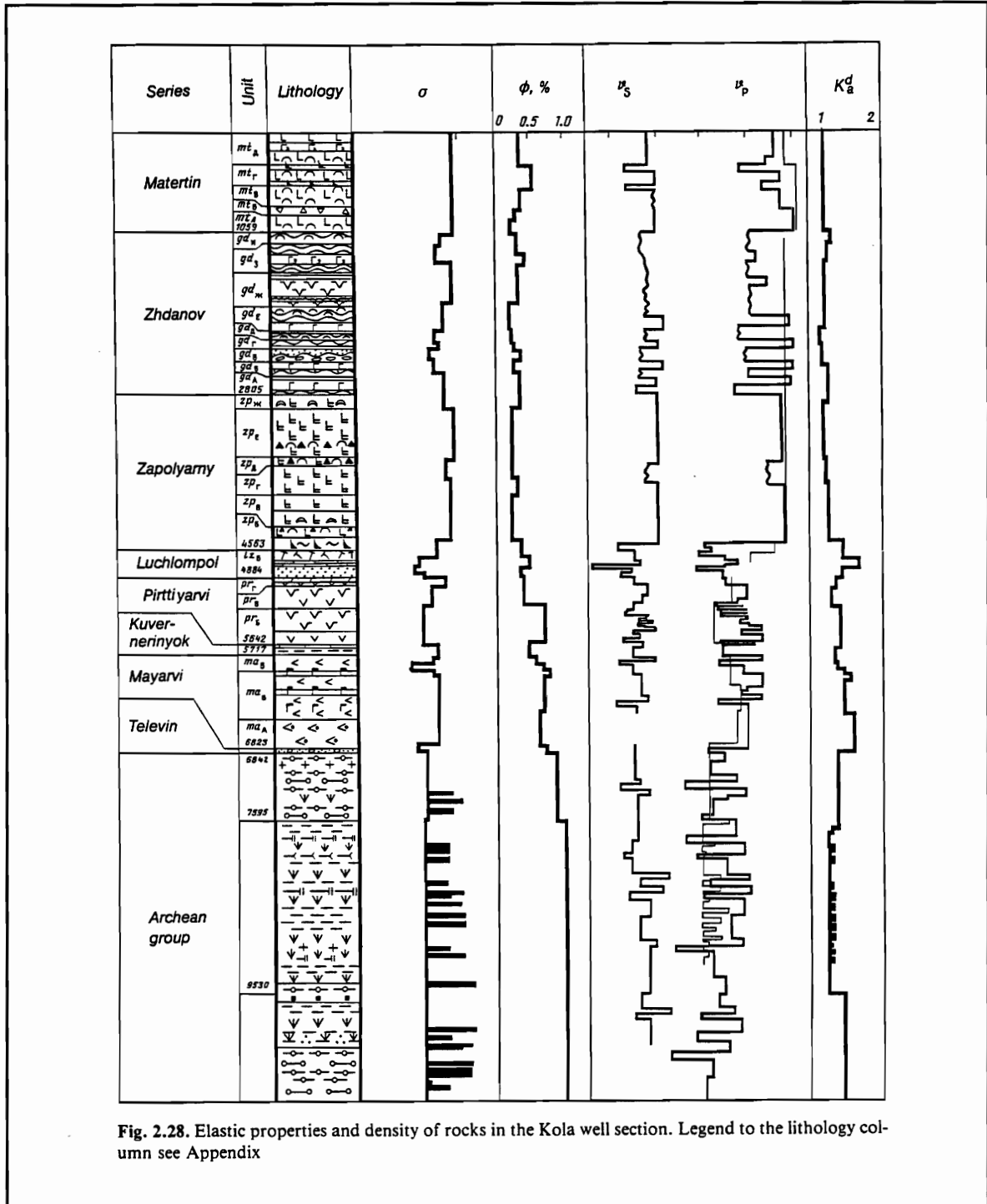


Fig. 2.28. Elastic properties and density of rocks in the Kola well section. Legend to the lithology column see Appendix

Mynd 2.

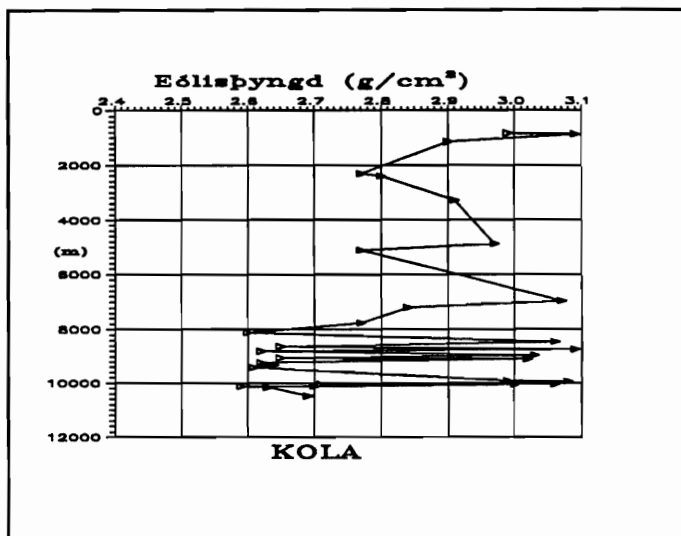
málsgrein (bls. 334) þar sem fjallað er um poruhluta. Þar segir:

Analysis of the ϕ - ϕ_0 interaction (ϕ = heildarporuhluti, ϕ_0 = virkur poruhluti) for various rock types shows that the core porosity increase with depth is accompanied by alteration in the pore structure: instead of isolated pores, there appear pore channels and microfractures. In cores taken from depths exceeding 7600-7700 m, in addition to the decompressional microfracturing there are evidences of breakage fracturing, which possibly takes place at the

well bottom under the action of the drill bit. The samples with maximum concentration of such fractures have the highest ϕ values (3.5-4.8%), their density decreasing by about 0.04 g cm^{-3} . Porosity of the crystalline rocks as measured at normal P-T conditions is a little higher for rocks of higher grades of metamorphism.

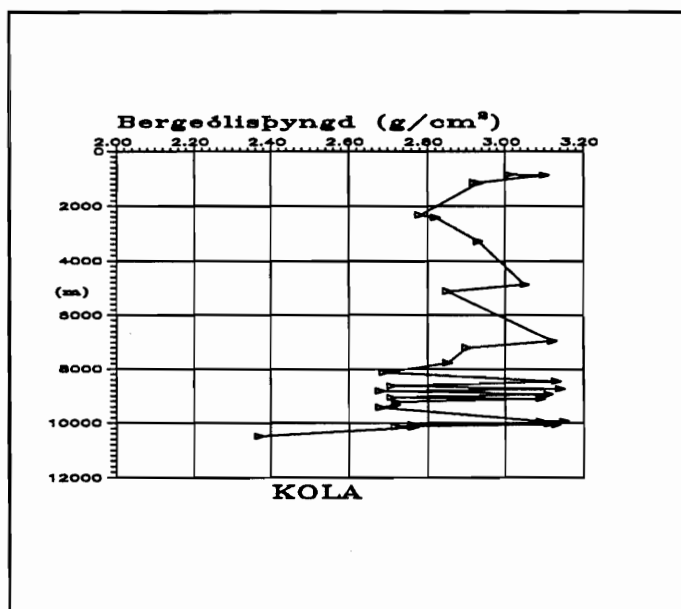
Í síðustu setningunni er því beinlínis haldið fram að aukinn poruhluti fylgi aukinni ummyndun, þó aukningin sé lítil.

Myndir 3 og 4 sýna annars vegar eðlisþyngd og hins vegar bergeðlisþyngd sem fall af dýpi. Þetta eru mælingar á sömu kjarnabútum og poruhlutamælingarnar í mynd 1. Af þessum myndum má ráða að spönnin í eðlisþyngd sé $2,6\text{-}3,1 \text{ g/cm}^3$, en spönnin í bergeðlisþyngd $2,7\text{-}3,1 \text{ g/cm}^3$. Það má því ætla að eðlisþyngdargildið sem teiknað er inn fyrir neðsta hluta holunnar á mynd 2 sé $2,6\text{-}2,7 \text{ g/cm}^3$. Hins vegar finnst mér erfitt að draga þá ályktun af myndum 3 og 4 að eðlisþyngd lækki með dýpi, eins og er svo augljóst af mynd 2. En hvað er ekki hægt að gera þegar menn hafa 46000 mælingar að moða úr.



Mynd 3.

Þegar bornar eru saman myndir 3 og 4 annars vegar og mynd 2 hins vegar sést það glögglega að það er ekki einfalt mál að gefa upp hvernig stærð eins og eðlisþyngd breytist með dýpi. Í borholumælingum höfum við stundum notað hlaupandi meðaltöl eða aðrar síur til þess að losna við eða a.m.k. minnka háttðnisveiflur. Reynslan af slíkri sýun segir mér að ferill eins og gefinn er upp fyrir eðlisþyngd á mynd 2 sýnir ekki bara mæligildin sem fengust fyrir mismunandi kjarnabúta, heldur hefur einhver mannlegur máttur túlkað mæligildin þannig að út kemur kassaferill. Þessi aðferð við framsetningu á mældum stærðum hefur bæði kosti og galla, og erfitt getur verið að meta hvort vegur meira kostirnir eða gallarnir. Þegar menn þröngva kassaferli upp á mældar stærðir koma alltaf upp álitamál, og menn fara að bera saman meðaltöl sem eru mismunandi vel ákvörðuð. Það eru því alltaf miklar líkur á því að menn plati sjálfan sig í svona



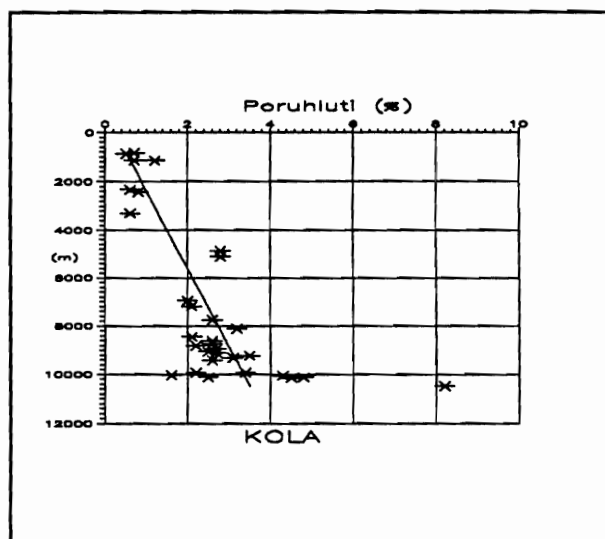
Mynd 4.

kassaleik, sem gengur út á að hvert jarðlag eigi að hafa eitt og aðeins eitt gildi á þeirri stærð sem verið er að skoða.

Nú ætla ég ekki að gera því skóna að niðurstöður Rússana um það að poruhluti aukist með dýpi og að eðlisþyngd lækki með dýpi séu í vafa. Hins vegar er það hollt að gera sér grein fyrir að mæligögnin gefa alls ekki svona fallega mynd eins og dregin er upp á mynd 2, og það er oftast til bóta að láta það koma fram í framsetningunni hvaða skekkjumörk eru fyrir hendi. Til þess að undirstrika þetta skulum við teikna bestu línu gegnum mæligildin sem notuð eru á myndum 1 og 3. Þessi gröf eru sýnd á myndum 5 og 6.

Það kemur vel fram á þessum myndum að miðað við línulega breytingu með dýpi eru þessi 32 mæligildi sem notuð eru í myndunum í samræmi við að poruhlutinn aukist með dýpi, en að eðlisþyngdin lækki eftir því sem neðar kemur í holu. Dreifingin í eðlisþyngdargildunum er hins vegar svo veruleg að niðurstaðan frá mynd 6 hlýtur að vera með rúm skekkjumörk.

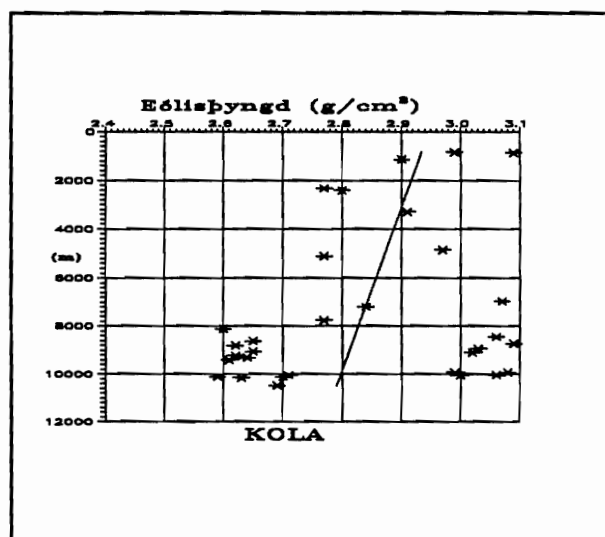
Rétt er að geta þess að fylnin með dýpi er ekki háð því hvers konar ferill er aðlagður að mæligildum á myndum 5 og 6. Ég hef prufað 15 tegundir ferla og í öllum tilvikum er niðurstaðan sú að poruhluti aukist með dýpi og að eðlisþyngd lækki með dýpi.



Mynd 5.

Þá er röðin komin að lekt. Þó það líti út fyrir að lektarmælingar hafi verið gerðar á þessum 46000 kjarnabútum sem vísað er til um poruhluta og eðlisþyngd, er umfjöllunin um lekt mjög takmörkuð í bókinni. Tafla 2.6 í bókinni gefur upp 17 lektargildi ásamt dýpt og virkum poruhluta. Lektin er gefin upp sem: $K_p \times 10^3 (\mu\text{m}^2)$. Mér sýnist að þessi eining sé 10^{-15} m^2 eða um það bil millidarcy. Fyrst skoðum við lekt sem fall af dýpi á mynd 7. Í stórum dráttum sýnir myndin að lektin er lítil, en lektin er mun hærri í neðri hluta holunnar heldur en í efri hlutanum. Hér má því segja að lektin aukist með dýpi á sama hátt og við sáum með poruhlutann. Hæsta lektargildið er á 8759 m dýpi í bergi sem heitir *Biotite-plagioclase gneiss*. Það eru fyrir hendi fleiri lektarmælingar úr sams konar bergi, en ekki eins háar.

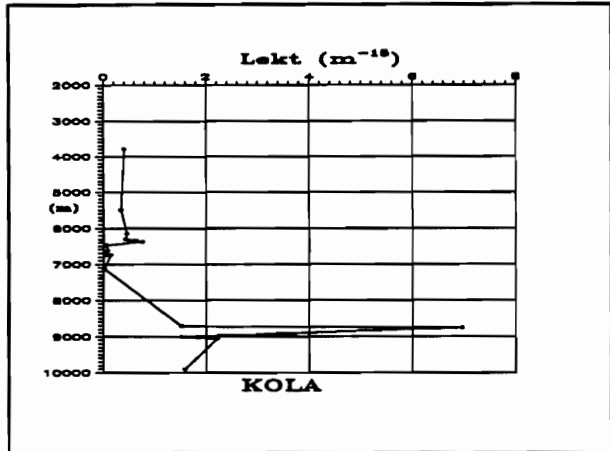
Athyglisverðasta niðurstaðan um lektarmælingarnar er það að lektin mælist hærri á 8-10 km dýpi heldur en nálægt yfirborði. Hvort menn vilja tengja þetta við einhverjar tektónískar aðstæður (meiri



Mynd 6.

prungumyndun), eða setja þetta í samband við aukinn poruhluta vegna aukinnar ummyndunar er opin spurning. Rétt er að hafa í huga lýsingu Rússana, sem vitnað var til hér að framan, um það hvernig lögun poranna breyttist með dýpi.

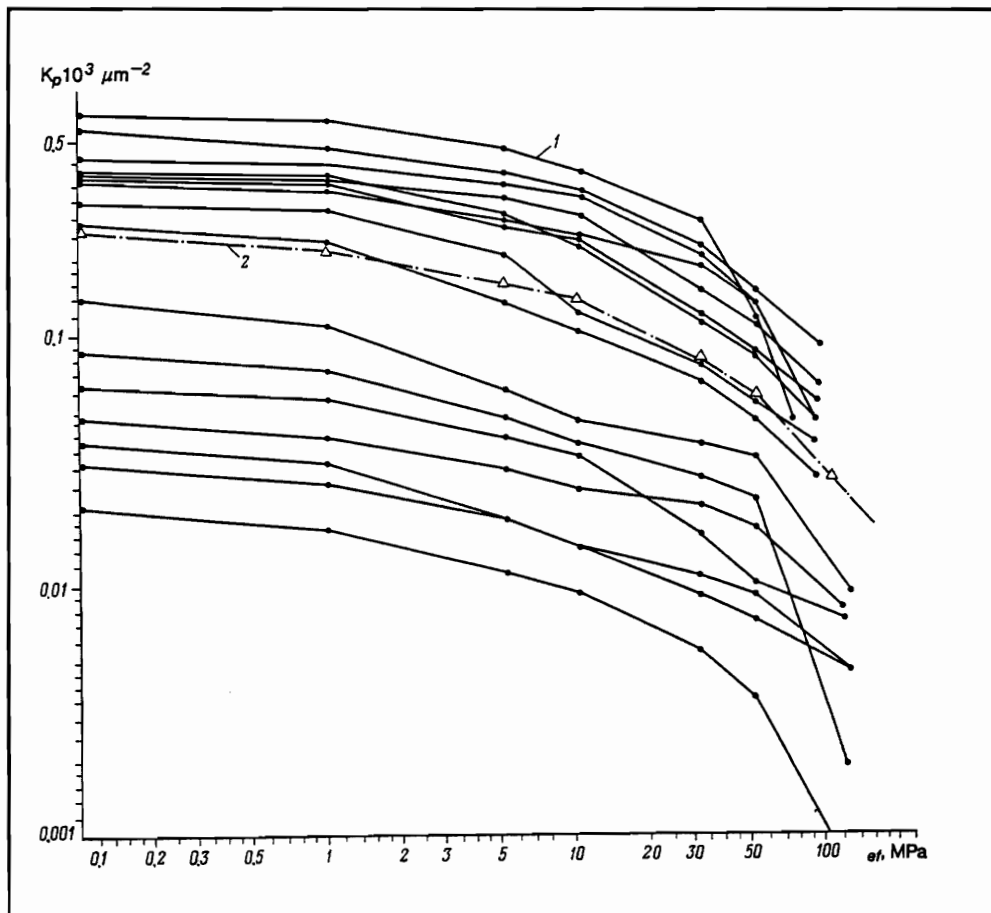
Lektargildin sem notuð eru í mynd 7 eru mæld við eina loftþyngd, svo hluti af lektinni eru sprungur sem myndast þegar þrýstingi er létt af kjarnanum. Lektin hefur verið mæld við mismunandi þrýsting eins og sýnt er á mynd 8.



Mynd 7.

Breytingarnar á lekt sem fall af þrýstingi eru í öllum tilvikum samskonar, þ.e. gerð ferlanna er sú sama. Þess vegna skiptir það ekki máli fyrir hlutfallslega breytingu með dýpi hvaða mæligildi eru notuð í mynd 7. Hins vegar skiptir það auðvitað máli ef menn ætla að meta raunverulega lekt á vissu dýpi að leiðrétt sé fyrir þrýstiáhrifum.

Mér finnst formið á ferlunum á mynd 8 athyglisvert, og þá vaknar sú spurning hvort þessi hegðun er einkennandi fyrir kristallað berg, eða hvort þetta eru áhrif sem koma fram á kjörnum sem teknir eru úr holu og verða þannig fyrir þrýstiáhrifum (þrýstingurinn í porunum sprengir upp bergið þegar ytri þrýstingur á kjarnann minnkar). Þetta er atriði sem þarf að skoða fyrir íslenskt berg. Ef það kemur í ljós að formið á ferlunum í



Mynd 8.

Mynd 8 gildir almennt, þýðir það að ekki þarf að mæla lekt á kjarnabútum nema við einn þrýsting. Formið á ferlinum sem sýnir samband á milli lekt og þrýstings yrði síðan notað til þess að reikna lekt við hvaða þrýsting sem er.

Næst skoðum við samband á milli lekt og poruhluta. Í því tilviki er lektin teiknuð upp á móti virkum poruhluta á mynd 9. Samkvæmt skilgeiningu eiga porurnar í virkum poruhluta að vera samtengdar, þannig að ef samband er á milli þessara þátti ætti frekar að vera samband lektar við virkan poruhluta en við heildar poruhluta.

Á mynd 9 kemur fram að tölfræðilega er samband á milli þessara stærða, þannig að lektin eykst með hærri virkum poruhluta. Hins vegar eru veruleg frávik frá bestu línu sem teiknuð er inn á mynd 9.

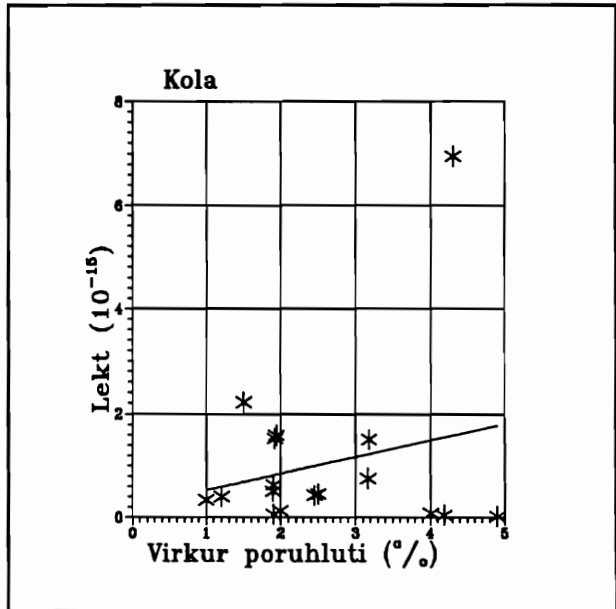
Að síðustu skulum við skoða samband á milli virks poruhluta og heildar poruhluta. Samband þessara stærða er sýnt á mynd 10.

Sambandið á milli poruhluta og virks poruhluta er betra en kemur fram á öðrum myndum í þessari greinargerð. Besta lína sem teiknuð er inn á myndina hefur jöfnuna: $y = 0.89x + 1.29$. Það þýðir að fyrir þessi 32 sýni er að meðaltali 1.29% munur á heildar poruhluta og virkum poruhluta. Hallatalan er nálægt einum og skeifing punkta út fyrir línuna er óveruleg.

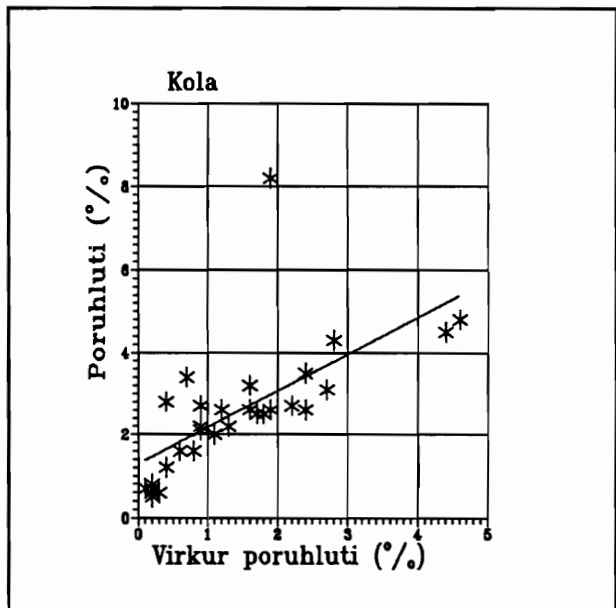
Þil samanburðar má skoða poruhlutamuninn (þ.e. munurinn á heildar poruhluta og virkum poruhluta) fyrir íslenskt berg, sem teiknaður var á sama hátt í Greinargerð VS-92/02.

	$\Delta\phi$ (%)
Basalt hraun	1.70
Basalt bólstrar	10.37
Þróberg, set o.fl.	1.65
Þært berg	4.39
Kola	1.29

Poruhlutamunurinn fyrir bergið á Kola Mynd 10.



Mynd 9.



Mynd 10.

virðist vera mjög sambærilegur við það sem kemur fram á íslensku basalti og móbergi, þ.e. að munurinn er rúmlega eitt prósent. Það sem greinir þó á milli er að mæligildin á íslenska berginu eru um tíu sinnum hærra en mæligildin á Kola skaga. Hlutfallslega er því ekki mikill munur á poruhlutunum í basalti og móbergi, en það er hlutfallslega mikill munur á virkum poruhluta og heildar poruhluta í berginu á Kola. Að því leitinu er bergið á Kola líkara basalt bólstrum, þar sem heildar poruhluti er að jafnaði um tvisvar sinnum hærra en virkur poruhluti.

3. HLJÓÐHRAÐI OG SKYLDAR BYLGJUR

P-bylgjuhraði var mældur á yfir 30.000 sýnum og s-bylgjuhraði á rúmlega 1000 sýnum. Auk þess voru gerðar mælingar í holunni sjálfri með ýmsum mælitækjum. Megin niðurstöðurnar af þessum athugunum koma fram á mynd 2, og verður því farið fljótt yfir sögu hér.

Menn halda því fram að það sé góð samsvörun á milli mæligilda í borholumælingunum og gilda sem fengin eru með mælingum á kjarnabútum undir þrýstingi (150-200 MPa). Hins vegar fá menn ekki þá niðurstöðu að hljóðhraðinn í samleitu bergi aukist með dýpi (gradient model). Lægri bylgjuhraði er á dýptarbilinu 4500-6835 m, og er það kallað *a reverse seismogeological section* í bókinni.

4. VIÐNÁM

Viðnám í kjarnabútum og viðnám í holu var mælt. Því er haldið fram að *Variations of R* (mælt á kjarnabút) *and R_L* (mælt í holu) *are similar*, án þess að farið sé nánar út í þá sálma. Á það er þó minnst að í háviðnámshluta holu geti munurinn á mæligildum verið 10-100 faldur.

Mesta umfjöllunin um viðnám er um það hvernig viðnám (leiðni) breytist með hita. Nokkrar myndir eru sýndar þar sem $\ln C$ er teiknað á móti $1/T$ (abs. hiti). Menn eru þar að skoða sambandið:

$$C_t = C_0 \cdot e^{\frac{-E_0}{kT}}$$

Hér er C_t og C_0 leiðnin við hitann t og hitann 0 og k er fasti. E_0 er kallað *activation energy of electrical conductivity* og kemur fram sem hallatala á myndum sem teiknaðar eru eins og greint er frá hér að ofan.

Almennt séð er umfjöllunin um viðnám í kjarna framlag til fræðilegrar umræðu um viðnám í bergi. Mín niðurstaða af umfjöllunni er sú að upplýsingarnar sem fást við að mæla viðnám á kjarnabútum séu takmarkaðar.

5. SEGULEIGINLEIKAR

Magn af ferromagnetískum steindum, uppbygging steindanna og samspil þeirra við paramagnetiskar járnsteindir eru þau atriði sem koma fram við athuganir á seguleiginleikum bergs.

Í holunni á Kola var mælt segulsvið H og *magnetic susceptibility* κ . Á kjarnanum var mælt *magnetic susceptibility* og hvernig það er stefnuháð (anisotropy), gildi og stefna á *residual magnetization*, hlutfall Koenigsberger, *saturation magnetization*, *residual saturation magnetization*, *demagnetizing field for the residual saturation magnetization*, og parameter N_r .

Þar sem við vitum ekki til að seguleiginleikar bergsins hafi áhrif á forðafraðilega eiginleika þess, verður ekki fjallað um þessi atriði hér.

6. GEISLAVIRKNI

Í holunni var gamma geislun bergsins mæld, bæði heildargeislun (vanalegt gamma log) og með orkugreiningu (spectral log). Á kjarnanum var orkuróf gamma geislunar mæld á ýmsan hátt og úranium og thorium ákvarðað með espigreiningu (neutron activation analysis).

Geislavirkni bergs er fyrst og fremst notuð til þess að greina á milli jarðlaga, en kjameðlisfæðilegir eiginleikar bergsins eru mér vitanlega ekki beinlínis tengdir forðafraðilegum eiginleikum þess. Umfjöllun Rússana er fyrst og fremst um kjameðlisfræðilega eiginleika bergs, t.d. gefa þeir upp þversnið á ísogi termiskra nifteinda sem fall af magni járn í bergi.

Ekki verður fjallað frekar um þessi atriði hér.

7. VARMAFRÆÐILEGIR EIGINLEIKAR

Á kjarnanum voru mældar þrjár varmafræðilegar stærðir: varmaleiðni λ (W/m K), thermal diffusivity K (m^2/s) og varmarýmd C (J/kg K). Þar sem allar þessar stærðir eru notaðar í forðafraðilegum reikningum, finnst mér rétt að tíunda hér þær niðurstöður sem upp eru gefnar í bókinni.

Mynd 11 sýnir varmaleiðnina í efri hluta holunnar. Gildin liggja á bilinu 2-4 W/m K, og ekki er auðvelt að sjá mynstur í dreifingunni, a.m.k. ekki í þessari framsetningu. Mynd 12 sýnir töflu 2.14 úr bókinni. Í þessari töflu gefa Rússarnir upp marktæk gildi á varmastuðlunum fyrir ýmsar bergtegundir í þeim hluta holu sem sýndur er á mynd 11.

Í töflunni á mynd 12 finnst mér nokkur atriði athyglisverð. Í fyrsta lagi er spönnin fyrir K (thermal diffusivity) lítil, og uppgefin meðalgildi eru mjög áþekkt fyrir allar berggerðir. Undantekning frá þessu eru einstök gildi mæld í andersít porfyriri og í schist. Í öðru lagi er

rétt að benda á að miðjugildin á varmaleiðninni eru líka mjög áþekkt fyrir allar berggerðir. Ef frá er skilið gildi á andersite porphyrite og schist eru miðjugildin á bilinu 2,7-3,2 W/m K.

Í þriðja lagi finnst mér athyglisvert að varmaleiðnimælingar hafa einungis verið gerðar á 246 sýnum (samkvæmt töflunni) á meðan menn mældu 46.000 sýni til ákvörðunar á poruhluta og eðlisþyngd og hljóðhraðamælingar voru gerðar á yfir 30.000 sýnum.

Rússarnir telja til fjögur atriði sem athuga þarf við athuganir á varmaflæði í jörðinni. Þau eru:

- Hitastigull γ
- Varmaleiðni λ
- Varmaflæði nálægt yfirborði q
- Dreifing á geislavirkum efnum A

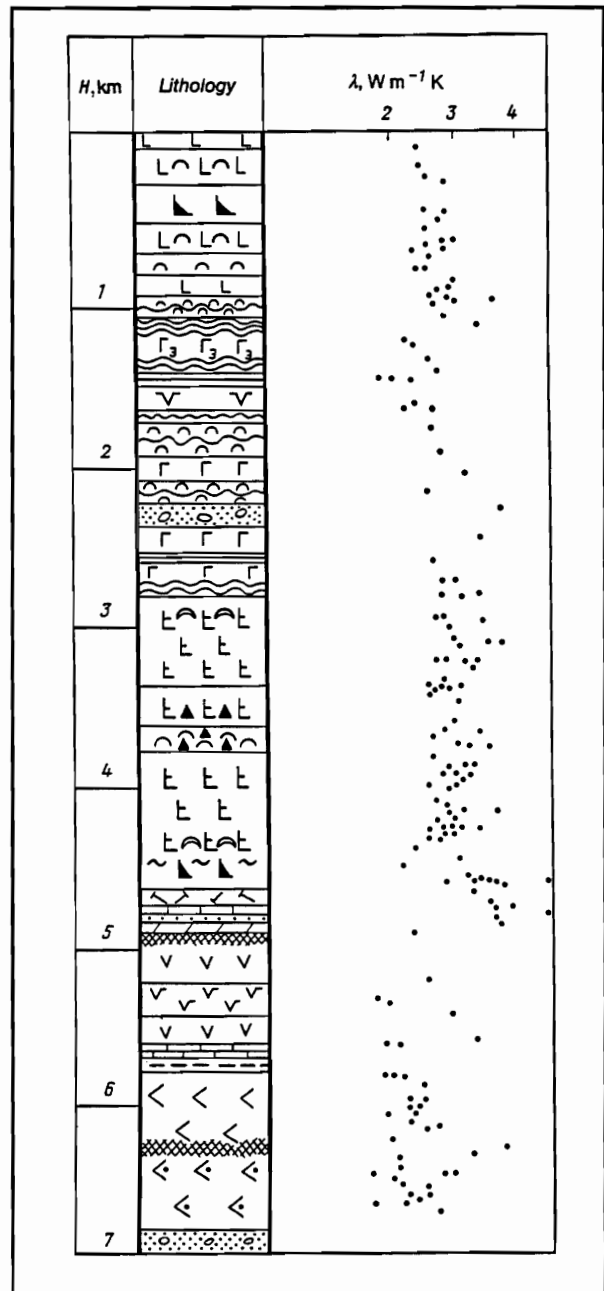
Varmaflæðið er svo reiknað sem margfeldi af hitastigli og varmaleiðni ($q = \gamma \lambda$)

Rússarnir gefa upp fimm dýptarbil þar sem varmaflæðið hefur verið ákvarðað. Gildin eru eftirfarandi:

Dýpi (m)	q_{av} (W/m ² K)
0-1000	26 ± 2
1000-2800	36 ± 2
2800-4300	49 ± 1
4300-4900	67 ± 7
5000-	48-56

Hér er það áhugaverð spurning hvort tala eigi um viðsnúnið varmaflæði! Rússarnir segja að lág varmaflæðigildi nálægt yfirborði (0-1000 m) megi skýra með atriðum eins og *filtration, recent glaciation and denudation*. Mér er ekki fyllilega ljóst hvað sú fullyrðing þýðir.

Hins vegar tek ég eftir því að á svipuðu dýptarbili og varmaflæðið fer að minnka verða



Mynd 11.

breytingar á öðrum mældum stærðum eins og eðlisþyngd, poruhluta, p-bylgjuhraða og s-bylgjuhraða eins og fram kemur á mynd 2.

Allmikil umræða er í bókinni um varmamyndun í berginu af völdum geislavirkra efna. Í reynd gengur sú athugun út á að mæla magn af geislavirkum efnum (K, U og Th) í berginu. Síðan reikna menn út varmamyndunina á rúmmálseiningu. Í stórum dráttum er spönnin í varmamyndun 0,4-2,1 W/m³, og meðalgildi fyrir holuna alla er trúlega nálægt 1 W/m³. Þessi gildi eru síðan snurfusuð til og kynnt sem kassaferill eins og sjá má á mynd 13.

Framsetning Rússana er athyglisverð að því leitinu að þeir fá ekki að varmamyndunin minnki með dýpi, eins og áður hefur verið gert ráð fyrir og sýnt er til samanburðar á mynd 13.

Varmamyndunin í berginu þarna á Kola gefur varmaflæði til yfirborðs $q = 23-26 \text{ W/m}^2$ og að því gefnu að meðal varmaflæðið í holunni sé 49 W/m^2 kemur út að um það bil helmingur varmaflæðisins kemur úr sjálfu berginu, en hinn helmingurinn úr möttli.

8. UMRÆÐA

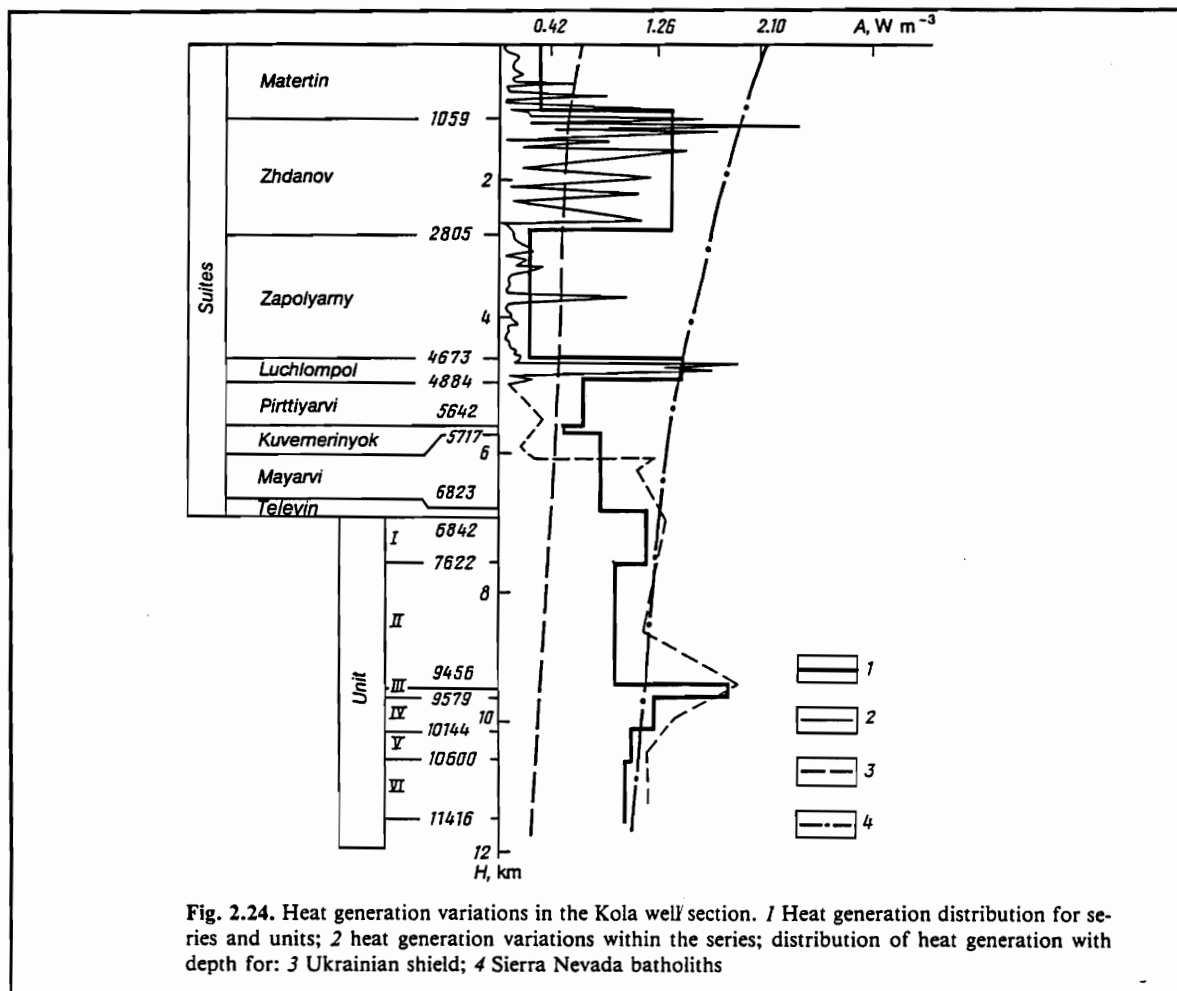
Borunin á Kolaskaga og rannsóknir gerðar í tengslum við þá borun er eitt umfangsmesta verk í jarðvísindum, sem gert hefur verið. Gögnin sem liggja fyrir eru æfintýraleg, og væri skemmtilegt að hafa aðgang að þeim á tölvutæku formi. Þau atriði sem eru tíunduð í þessari greinargerð eru einkum atriði sem mér fannst áhugaverð til samanburðar við íslenska forðafraeðistuðla. Í samantekt finnst mér eftirfarandi atriði standa uppúr:

- * Poruhluti er hærri í neðri hluta holunnar heldur en í efri hluta holunnar.
- * Lekt er hærri í neðri hluta holunnar heldur en í efri hluta holunnar.
- * Lektarmælingar á kjarnabútum sýnir reglulegar breytingar með auknum þrýstingi á sýnið.
- * Eðlisþyngd lækkar frekar en hitt með dýpi.

Table 2.14. Variation ranges and mean values of thermal properties and density for main rock groups of the Pechenga sequence

Rock	$\delta g \text{ cm}^{-3}$		$K \times 10^6, \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$		$C, \text{ J kg}^{-1} \text{ K}$		$\lambda \text{ W m}^{-1} \text{ K}$			Number of samples
	Variation range	Average	Variation range	Average	Variation range	Average	Min.	Max.	Medium	
Gabbroids	2.86–3.12 2.80–3.27	3.00 3.04	0.88–1.43	1.09	630–880	800	2.22	3.01	2.70	14
Metagabbro-diabase	2.92–3.13	3.03	0.83–1.43	1.07	630–1700	840	2.22	3.18	2.70	45
Amphibolite	2.85–3.13	2.92	0.98–1.24	1.09	670–1090	840	2.42	3.68	3.00	58
Serpentine ultra-basic rocks	2.84–3.10	2.93	0.84–1.18	1.03	670–920	800	1.38	3.14	2.29	24
	2.80–3.07	2.92	1.01–1.41	1.15	670–920	840	2.05	3.89	2.97	15
Tuff	2.69–3.05	2.78	1.52	—	840	—	1.84	3.60	2.55	7
Andesite porphyrite	2.96–3.01	2.99	1.62	—	920	—	2.55	2.93	2.74	6
Schist	2.72–2.91	2.84	1.03–1.77	1.32	750–1000	920	3.26	4.27	3.50	9
Sedimentary and tuffitic-sedimentary rocks	2.72–3.17	2.83	—	—	—	—	3.0	5.23	3.88	6
							2.66	3.91	3.22	14
							2.13	3.93	3.00	48

Mynd 12.



Mynd 13.

- * Lekt eykst með auknum virkum poruhluta, en dreifingin er mikil.
- * Meðal poruhlutamismunur á bergi á Kola er um 1%, sem er sambærilegt við íslenskt basalt.
- * Varmaleiðni bergs á Kola er að mestu leiti á bilinu 2,7-3,0 W/m K.
- * Um helmingur af varmaflæði til yfirborðs á Kola er ætlað úr möttli, en hinn helmingur varmaflæðisins kemur frá varmamyndun geislavirkra efna í berginu.