



HAUSTFUNDUR JARÐFRÆÐAFÉLAGS ÍSLANDS 2005

MANNVIRKJA JARÐFRÆÐI

Ágrip erinda

Reykjavík 9. nóvember 2005

**Haustfundur Jarðfræðafélagsins:
Mannvirkjajarðfræði
Miðvikudagur 9.nóv í Öskju kl. 14:00 - 19:00**



14:00	14:05	Ráðstefnan sett	
14:05	14:30	Mannvirkjajarðfræði; jarðverkfræði, verkfræðileg jarðfræði - Yfirlit yfir fagsviðið.	Birgir Jónsson Háskóli Íslands, verkfræðideild
14:30	14:45	Grunnfransóknir tengdar mannvirkjajarðfræði	Matthias Loftsson Hönnun hf.
14:45	15:00	Jarðfræðilegt eftirlit við jarðgangagerð	Atli Karl Ingimarsson Hönnun hf.
15:00	15:15	Eiginleikar steinefna og prófanir	Borgeir S. Helgason Petromodel ehf.
15:15	15:30	Kaffi og veggspjöld	
15:30	15:45	Jarðfræði og neysluvaln	Snorri Páll Snorrason Almenna verkfræðistofan hf.
15:45	16:00	Nýting jarðhita til framleiðslu á raforku og heitu vatni	Erlíkur Bragason Orkuveita Reykjavíkur
16:00	16:15	Mat á umhverfisáhrifum	Haukur Einarsson Hönnun hf.
16:15	16:30	Grjótnám fyrir brimvarnir	Ómar Bjarki Smárason Jarðfræðistofan Stapi ehf.
16:30	16:45	Kaffi og veggspjöld	
16:45	17:00	Námur á Íslandi	Hersir Gíslason Vegagerðin
17:00	17:15	Verndun jarðminja	Ingvar Atli Sigurðsson Náttúrustofa Suðurlands
17:15	17:45	Pallborðsummræður	
17:45	19:00	Veggspjöld og léitar veitingar	

Mannvirkjajarðfræði - Verkfræðileg jarðfræði

Jarðverkfræði

Birgir Jónsson
Verkfræðideild Háskóla Íslands

Orðin *mannvirkjajarðfræði* og *verkfræðileg jarðfræði* eru stirð í notkun og verður því hér notað orðið *jarðverkfræði*, sem er mun þjálla og er hér látið samsvara ensku orðunum *engineering geology* og *geological engineering*. Þetta fag byggir mikil á vinnu sérfræðinga úr ýmsum greinum jarðvísinda ásamt tengingu yfir í verkfræði og fleiri fög. Hér er algjör undirstaða að hafa gott líkan af jarðlögunum, bæði lausum yfirborðslögum og föstu bergi ásamt brotalömun þess og ástandi grunnvatns. Þessu næst þarf að meta eiginleika þessara jarðlaga og jarðefna til mannvirkjagerðar og áhrif grunnvatnsins á þessa eiginleika. Af framansögðu er ljóst að þær greinar jarðfræðinnar sem mestu máli skipta í jarðverkfræði eru jarðlagrafraði og kvarterjarðfræði, ásamt vatnajarðfræði og jarðeðlisfræðilegri könnun. Frá verkfræðinni tengjast svo jarðtækni og grundun, og er þá komin samfelld brú fagbekkingar yfir þá faglegu gjá sem oft er milli jarðfræðinga og byggingarverkfræðinga. Nám í eiginlegri jarðverkfræði spannar nokkuð breitt svið og jarðverkfræðingurinn verður að hafa vit á því að leita oft til annarra sérfræðinga, þegar þörf er á dýpri þekkingu á ákveðnu sviði.

Kunnáttu í jarðverkfræði hefur lengi verið fyrir hendi og þau stóru mannvirki sem reist voru hjá fornum menningarþjóðum fyrir þúsundum ára sýna að það er jarðverkfræðin sem er hin klassíkska gamla jarðfræði, en ekki hin nýja "klassíkska" almenna jarðfræði nútímans, sem byrjaði sem tómstundagaman ríkrar millistéttar í Bretlandi fyrir 200 árum. Faðir nútímajarðfræðinnar er gjarnan talinn William Smith (f. 1769), sem byrjaði sem landmælingasérfræðingur, en þróaðist yfir í það sem nú kallast jarðverkfræðingur (engineering geologist). Hann gerðist ráðgjafi við gerð bátaskurða, vatnsöflun, strandrof, kolanámur o.fl. (Holmes 1965). William Smith er vissulega faðir jarðlagrafraðinnar og jarðfræðikortanna. Við gerð bátaskurða á Englandi raðaði hann einn síns liðs upp jarðlagasniði frá kolatímabili til kritartímabils, sem enn er í gildi. Þá sá hann fyrstur gildi einkennislaga og einkennissteingervinga (Birgir Jónsson 1992).

Það má segja að fyrst hafi jarðverkfræði verið beitt á Íslandi við gerð hella í finiglasá í sandsteini og móbergstúffi á Suðurlandi fljóttlega eftir landnám (Árni Hjartarson 1991). Fyrsta vinna í jarðverkfræði á síðari öldun hefur sennilega verið athuganir þeirra Guðmundar G. Bárðarsonar og Pálma Hannessonar við Efra Sog árið 1929. Líklegt er að vegna skýrslu þeirra (Pálmi Hannesson 1934), hafi verið talið jarðfræðilegra hentugra að virkja fyrst fallið í Ljósafossi (1937). Árin 1943-45 sá Pálmi Hannesson um jarðfræðiathuganir til undirbúnings Írafossvirkjunar. Var Sigurður Þórarinsson með honum 1945, þá nýkominn frá námi í Svíþjóð. Tómas Tryggvason varð svo jarðfræðilegur ráðunautur við gerð Írafossvirkjunar 1949-53 og sá um frekari undirbúningsrannsóknir við Efra Sog. Frá 1949-59 vann Sigurður Þórarinsson að undirbúningsrannsóknum fyrir Raforkumálastjóra í Laxá í Þingeyjarsýslu og Jökulsá á Fjöllum. Guðmundur Kjartansson vann geysimikið verk, að mestu fyrir Raforkumálastjóra á 5. og 6. áratugnum á vatnasviðum Hvítár og Þjórsár. Í kringum 1960 voru Þorleifur Einarsson og Tómas Tryggvason við jarðfræðivinnu fyrir Raforkumálastjóra vegna mögulegra virkjana við Búrfell, Efri Þjórsá og Efri Hvítá (Birgir Jónsson 1992)). Um 1960 náðist svo sá áfangi að Raforkumálastjóri réð fyrstu jarðfræðingana, Hauk Tómasson í

“virkjanajarðfræði” og Jón Jónsson í “jarðhitajarðfræði”. Þorleifur Einarsson var svo jarðfræðilegur ráðgjafi Vegagerðarinnar áratugum saman í fjölda margvíslegra verkefna.

Samskipti jarðfræðinga og verkfræðinga á Íslandi hafa yfirleitt verið góð. Þau byrjuðu á virkjanasviðinu og síðan fara verkfræðingar að leita til jarðfræðinga á öðrum sviðum, sem eru t.d.: Jarðgöng, vegir, brýr, flugvellir, hafnir, grjótnám, malarnám, háspennulínur, byggðaskipulag, einstakar byggingar, sorpurðun, iðnaðarsvæði, fiskeldisstöðvar, vatnsöflun (kalt, volgt, heitt, sjóðandi, ferskt eða salt), skriðuföll, snjóflóð og ýmis konar jarðvár, strandrof, árrof, umhverfismat, o.fl. o.fl. Mikilvægt er að jarðfræðingur komi snemma að þessum verkefnum, t.d. við byggðaskipulag er mikilvægt að jarðfræðingurinn geri brotalínu kort strax á svæðisskipulagsstigi og síðan nákvæmara kort á aðalskipulagsstigi. Þá hafa jarðverkfræðingar mikið unnið við eftirlit með framkvæmdum þar sem jarðlög, berg og laus jarðlög, koma mikið við sögu, t.d. við jarðgöng, stíflur, vegfyllingar, o.fl.

Hér að framan var minnst á gjá sem getur verið í samskiptum á milli jarðfræðinga og verkfræðinga. Í flestum löndum eru allt of lítil samskipti milli jarðfræðideilda og verkfræðideilda innan háskóla eða milli skóla (bæði nemendur og kennarar) og er svo líka hér á landi. Þýskur jarðverkfræðingur, K.W. John (1974), með langa starfsreynslu í Evrópu bar, á sínum efri árum, saman jarðfræðinga og verkfræðinga á nokkuð yktan hátt fyrir 30 árum. Hans lýsing var einhvern vegin svona:

Verkfræðingurinn treystir í blindni á viðurkenndar aðferðir og kenningar af því þær eru “réttar”. Hann er ósjálfbjarga án talna, leggur algjöra áherslu á aðalatriði, vill t.d. einfalda flókið jarðlagasnið. Þá segir John að verkfræðingar leggi ofurkapp á að klára hvert verkefni sem fyrt svo hann geti byrjað á því næsta.

Jarðfræðingurinn er í eðli sínu tortrygginn á kenningar, notar frekar lýsingarorð en tölur, og notar mikið af sjaldgæfum fagorðum, þ.e. nafnasúpu sem verkfræðingar þekkja ekki. Þá leggur jarðfræðingurinn áherslu á smáatriði og undantekningar (sem er svo skemmtilegt), jafnvel þannig að aðalatriðin sjást síður eða jafnvel týnast. Verkefnið hjá jarðfræðingnum verður því svo skemmtilegt, að það stækkar sifelt og dregst á langinn og loks fer honum að þykja svo vænt um það að hann veigrar sér við að skilja við það, þ.e. að klára það.

Ef einhver sannleiksvottur er í ofangreindum samanburði, þá eru þetta annað hvort mjög mismunandi hópar fólks, eða uppeldið í hinum mismunandi háskóladeildun er svona ólíkt.

Eitt sem eflaust tengist ofangreindri lýsingu hins þýska jarðverkfræðings, er að jarðfræðingum hættir til að skrifa jarðfræðiskýrslur, um einhverjar framkvæmdir sem eru í bígerð, eins og þeir væru að skrifa fyrir aðra jarðfræðinga, en ekki fyrir mannvirkjahönnuðina, þ.e. verkfræðingana, sem þá jafnvel fara á mis við einhver “vel falin” aðalatriði í skýrslu sem er full af skemmtilegum smáatriðum. Jarðverkfræðingar reka sig fljótt á að þeir þurfa að skrifa skýrslur af ákveðinni gerð fyrir hönnuðina, þar sem aðalatriðin eru skipulega rakin. Hitt er svo alveg ágætt að skrifa annan texta um sama efni fyrir jarðfræðinga og hafa þar aðrar áherslur sem eru frekar á áhugasviði þeirra.

Þessar tvær stéttir líta nokkuð mismunandi augum á jarðlögin á vætanlegu framkvæmdasvæði. Verkfræðingurinn lítur á jarðlögin sem “jarðefni með ákveðna eiginleika”. Jarðverkfræðingurinn sér hins vegar fyrir sér “jarðlög með ákveðna fortíð” og síðan sem “jarðefni með ákveðna eiginleika”. Tæknilegir eiginleikar eru ekki aðeins metnir fyrir jarðlögin sem slík, heldur einnig fyrir lagamótin, stærri brotfleti í jarðlagastaflanum (höggunarsprungur og misgengi), og minni brotfleti, svo sem stuðlasprungur og aðrar smáar misfellur (joints) í jarðlögunum.

Jarðverkfræðingar eru flestir ef ekki allir í Jarðfræðafélagi Íslands, en 1978 var stofnað sérstakt félag; Mannvirkjajarðfræðafélag Íslands til að taka m.a. þátt í alþjóðasamvinnu í faginu og auka samvinnu við Verkfræðingafélagið, sérstaklega byggingarverkfræðideild þess félags. Voru og eru oft haldnir sameiginlegir fundir allra ofangreindra félaga, auk Tæknifræðingafélagsins og stundum Verkfræðideilda Háskóla Íslands. Nafni Mannvirkjajarðfræðafélagsins var breytt á níunda áratugnum yfir í þjálla nafn; Jarðtæknifélag Íslands. Það er meðlimur í þremur alþjóðasamtökum á sviði jarðverkfræði: 1) IAEG: International Association of Engineering Geology and the Environment (tilvísun til umhverfisins var bætt við nafnið fyrir nokkrum árum). 2) ISRM: International Society of Rock Mechanics. 3) ISSMGE: International Society of Soil Mechanics and Ground Engineering (áður and Foundation Engineering). Þá er hér starfandi Jarðgangafélag Íslands (stofnað 1974), sem er meðlimur í ITA: International Tunnelling Association.

Hlutverk jarðverkfræðinga í umhverfismálum er mikið og ábyrgð þeirra sérstaklega mikil á þessu sviði t.d. við mat á umhverfisáhrifum. Ástæða þessa er sú að á fyrstu undirbúningsstigum verkefna er jarðverkfræðingurinn sá séfræðingur af náttúrufræðisviði sem er í hvað mestri samvinnu við hönnuði og væntanlega ábyrgðaraðila og eigendur verkefnisins sem er í undirbúningi. Það er á þessum fyrstu stigum verkefnisins sem auðveldast er að koma auga á mismunandi útfærslur á verkefninu með mismunandi umhverfisáhrif. Mesti kostur við verkefni á þessum fyrstu undirbúningsstigum er að þá kosta breytingar nær ekkert og ákvörðunaraðilar hafa ekki rígfest sig í einhverja ákveðna leið sem farin skal, hvað sem tautar eða raular. Þarna er því mikil ábyrgð á jarðverkfræðingnum og þurfa þeir að taka virkan þátt í þeirri hópvinnu sem leitast við að finna "bestu lausn" fyrir viðkomandi verkefni eins snemma á undirbúningstímanum og mögulegt er.

Niðurstöður:

Það hefur fjölgæð í faginu hér á landi. Mikið af vel menntuðu ungu fólki, sem hefur sótt mentun sína bæði austur og vestur um haf, vinnur hér á mörgum vinnustöðum, þ.á.m. öllum stærri verkfræðistofunum. Samvinna við verkfræðinga er með ágætum. Mikið af verkefnum virðast vera framundan, ekki hvað síst á sviði umhverfismála og umhverfismats. Það er bjart framundan fyrir jarðverkfræðinga.

Heimildir:

- Árni Hjartarson, 1991. *Man made Caves in Old Iceland*, R
Jarðgangaráðstefna í Reykjavík á vegum International Tunnelling Soc, Jarðgangafélags Íslands og Jarðtæknifélags Íslands.
Birgir Jónsson, 1992. *Virkjanjarðfræði*. Í *Íslenskar jarðfræðirannsóknir, saga, ástand og horfur, Vísindafélag Íslands, Ráðstefnurit III*, Ritstj. Páll Imsland (Reykjavík 1992). Bls 267-280.
Holmes A., 1965. *Principles of Physical Geology*. 2. útg. Bls 152. Nelson, London, 1288 bls.
John, K.W., 1974. *Geologists and civil engineerings in the design of rock foundations of dams*. Proceedings, 2nd Int. Congress IAEG, São Paulo, Brazil, 2.Th. VI-PC-3.1-3.9
Pálmi Hannesson, 1934. *Nokkrar jarðfræðilegar athugasemdir um svæðið milli Þingvallavatns og Úlfþjótsvatns*. Tímarit VFÍ, 23. bls. 13-17.

Grunnrannsóknir tengdar mannvirkjagerð

Matthías Loftsson

Hönnun hf, Grensásvegi 1, 108 Reykjavík

Þó grunnathuganir í mannvirkjajarðfræði skarist um margt við almennar jarðfræðiathuganir eru áhersluatriði ekki þau sömu. Ólíkt almennri jarðfræðikortlagningu, þar sem einblínt er á gerð, uppruna og myndun jarðlaga, eða í bergfræði þar sem efnasamsetning eða kristalbygging er aðalathugunarefnið, leggur mannvirkjajarðfræðingur í rannsóknum sínum á jarðlögum áherslu á notgildi jarðefnis til mannvirkjagerðar, grundunarskilyrði og/eða hegðun þess þegar mannvirki er byggt.

Í Evrópustaðlinum Eurocode EC 7, sem tók gildi hér á landi í júlí 2002, er gert ráð fyrir því að fyrir öll stærri mannvirki fari fram mannvirkjajarðfræðiathuganir á viðkomandi byggingarsvæði og gerð grein fyrir niðurstöðum rannsókna í skýrslu um jarðfræði byggingarsvæðis eða “Ground Investigation Report”. Þessi skýrsla er síðan grundvöllur fyrir jarðtækniskýrslu eða “Geotechnical Design Report” þar sem jarðtæknihönnuður gerir grein fyrir þeim efnisstuðlum sem notaðir eru fyrir hönnun mannvirkis.

Í skýrslu um jarðfræði byggingarsvæðis fellur í hlut mannvirkjajarðfræðings að greina þá þætti í jarðfræði svæðis sem máli skiptir fyrir viðkomandi mannvirki og matreiða upplýsingarnar þannig að verkfræðingur skilji. Jarðfræðingum er gjarnt að lýsa eiginleikum jarðlaga með orðum en verkfræðingur vill fá tölur.

Rannsóknir og rannsóknaraðferðir eru mismunandi eftir gerð, stærð og mikilvægi mannvirkis. Sömu áherslur gilda ekki fyrir vatnsaflsvirkjun, hafnargerð eða einstakar byggingar. Grunnrannsóknir felast m.a. í að

- Kortleggja og lýsa jarðfræði svæðis, svo sem jarðlagaskipan, þykkt og gerð jarðlaga, sprungum, grunnvatnsstöðu og fleira er máli skiptir fyrir viðkomandi mannvirki. Þetta er sammerkt með almennum jarðfræðiathugunum.
- Leggja til frekari rannsóknir á svæði og rannsóknaraðferðir í samræmi við gerð mannvirkis. Gryfjukönnun, til að kanna gerð jarðlaga og dýpi á fast og jarðvatn, er oftast nóg fyrir einstakar bygginga, en umfangsmeiri rannsóknir, svo sem höggboranir og/eða kjarnaboranir, þarf fyrir mörg stærri mannvirki þar sem dýpra er á fast og lýsa þarf berggrunni (jarðgöng, stíflugrunnur, háar byggingar þar sem álag er mikið á berggrunn). Þar sem til greina kemur að grunda á þykkum setlögum geta SPT-boranir veitt mikilvægar upplýsingar (hafnargerð, landfylling).
- Greina og lýsa eiginleikum jarðefna og bergs sem nýta má til mannvirkjagerðar, svo sem námuleit, sýnataka, prófanir. Áætla magn nýtanlegra jarðefna, svo sem efna til stíflugerðar, vegagerðar, steypugerðar o.fl.

- Draga ályktanir af niðurstöðum rannsókna og leggja til efnisstuðla fyrir verkfræðihönnun. Meta stæðni og styrkingarþörf, svo sem stæðni vegskeringa í skurðveggjum, styrkingarþörf í jarðgöngum. Þá fellur það oft í hlut mannvirkjajarðfræðinga að fylgja framkvæmdum eftir og kortleggja, lýsa og meta hæfi jarðmyndana á meðan á mannvirkjagerð stendur.

Eftirfarandi eru fáein dæmi um grunnrannsóknir í mannvirkjajarðfræði:

- **Búðarhálsvirkjun, fyrirhuguð vatnsaflsvirkjun.**
Mannvirkjajarðfræðirannsóknir voru mjög umfangsmiklar á fyrirhuguðu virkjunarsvæði. Eins og oft er fyrir vatnsaflsvirkjun er mikil jarðvinna fyrirhuguð. Á er stífluð með jarðstíflu og vatni veitt um skurði og jarðgöng. Auk almennrar kortlagningar á jarðfræði svæðisins, þykkt og gerð lausra jarðlaga á mannvirkjastæðum og sprungum varð að gera grein fyrir lekt berglaga, finna jarðefnanámur fyrir stífluefni, steypuefni og efni til vegagerðar o.fl. Meta varð stæðni og styrkingarþörf bergskeringa í skurðum og í jarðgöngum.
- **Norðlingaholt í Reykjavík, fyrirhugað íbúðahverfi.**
Hverfið liggar á þekktu sprungubelti sem liggur frá Kleifarvatni að Úlfarsfelli. Sprungur á svæðinu eru taldar “virkar” í þeim skilningi að þær hafi hreyfst eftir að ísöld lauk. Mannvirkjarannsókn fólst í að kortleggja þykkt og gerð lausra jarðefna, sprungur og grunnvatn.
- **Votihvammur, Egilsstöðum, fyrirhuguð íbúðablokk.**
Á svæðinu eru þykk setlög og spurning hönnuðar var hvort óhætt væri að grunda blokkina á þéttu siltlagi á 2-3ja metra dýpi. Mannvirkjajarðfræðirannsókn fólst í að grafa gryfju á svæðinu og ná í “óhreyft” sýni af þessu jarðlagi til að prófa í rannsóknarstofu, finna sigstuðla og hvort efnið væri “yfirþjappað”
- **Norðurbakkinn, Reykjavík, fyrirhuguð stækken hafnargarðs.**
Á svæðinu eru þykk setlög ofan á klöpp og spurning hönnuðar var hversu langt þyrfti að reka niður stálþil og hvaða efnisstuðla þyrfti að nota við útreikninga á þilrekstri og í stæðnireikninga. Mannvirkjajarðfræðirannsókn fólst í að bora SPT-holur á svæðinu til að kanna þykkt setлага, finna móttöðu og skriðhorn efnis og ná í “óhreyft” sýni af setlögum til að prófa í rannsóknarstofu.

Jarðfræðilegt eftirlit við jarðgangagerð

Atli Karl Ingimarsson

Hönnun hf, Grensásvegi 1, 108 Reykjavík

Tvær megináðferðir eru algengastar við flesta jarðgangagerð, annars vegar sú aðferð að bora og sprengja bergið (D&B), oft kölluð hefðbundin aðferð, og hins vegar er heilborun bergsins (TBM). Sú síðarnefnda hafði ekki verið prófuð á Íslandi áður en framkvæmdir við Kárahnjúkavirkjun hófust en hún gengur út á að risastór rafknúin vél snýr hægt og þrýstir hrинглага borhöfði að bergstafninum þannig að borskerar áfastir höfðinu merja bergið í sundur. Bergið brotnar yfirleitt upp í flögur og massinn er gjarnan fluttur út með færibandí eða lestarvögnum. Útkoman verður hrинглага jarðgangaþversnið, jafnstórt borhöfði vélarinnar, a.m.k. í “góðu” bergi.

Hin hefðbundna aðferð felur í sér ferli nokkurra verkþátta sem sifellt eru endurteknir. Byrjað er á að bora holur í bergstafninn í gangastefnu, dæmigert með um 0,5 – 1,2 m millibili. Síðan eru holurnar hlaðnar með sprengiefni, sprengt, loftræst og laus bergmassinn keyrður út á tippsvæði. Þá er hálflaust berg hreinsað úr þekju og veggjum ganganna (skrotun) og eftir háþrystiþvott (með vatni og/eða lofti) er eftirstandandi salvi tilbúinn fyrir kortlagningu og bergstyrkingar. Að því loknu endurtekur ferlið sig.

Í grunninn er umfang eftirlits með jarðgangagerð háð skilgreiningu mannvirkisins, t.d. stærð þess, mikilvægi og tilgangi, erfiðleikastigi og alvarleikastigi verði tjón eða skaði undir eða eftir byggingu. Við báðar jarðgangaaðferðirnar er almennt jarðfræðilegt hlutverk eftirlitsaðila þó fyrst og fremst að kortlegga jarðfræði ganganna og í ljósi hennar, stæðni stafnsins og vatnsaðstæðna, ákvarða hæfilegar bergstyrkingar og ráðstafanir fyrir áframhaldandi gröst og jarðgöngin sem heild.

Við jarðfræðikortlagninguna er t.d. bergerð, tektóník, jarðlagahalli, innrennsli vatns, ummyndun (þá oftast tengt sprungum og tektóník), stæðni, samlæsing og spennuástand bergsins ákvarðað. Ef um yfirbrot er að ræða, er metið hvort það megi rekja til jarðfræðilegra ástæðna eða eingöngu til slakra vinnubragða verktaka. Sjaldan er farið út í nána greiningu bergerða, jarðfræðilegt heiti basalts skiptir t.d. ekki öllu máli varðandi gangagröftinn en það gera hins vegar tæknilegir eiginleikar bergsins eins og t.d. stuðlun þess, stæðni og styrkleiki. Yfirleitt er þó aðgreint milli helstu basalttegunda og flokkun eins og þóleiít/ólivínbasalt/dílabasalt er algeng. Leiðarlög (til að mynda dílabasalt) skipta töluberðu máli við tengingar við aðrar kortlagningar, t.d. borkjarna og aðrar forrannsóknir, og basaltlög henta almennt mun betur til tenginga en t.d. setlög, móberg eða kargi. Sýni eru oft tekin við kortlagninguna, t.d. fyrir styrkprófanir (point load test) og athugun á þenjanlegum leirsteindum. Stundum eru boraðar könnunarholur fram fyrir gangastafn, gjarnan upp og til hliðar við stefnu ganganna. Þetta er aðallega gert þar sem hætta er á of miklu innrennsli vatns en einnig þar sem stæðnivandamál eru fyrirsjánleg. M.a. í neðansjávargöngum er slík könnunarborun gjarnan hluti af fyrirskrifuðu endurtekningarferli gangagraftarins.

Algengustu bergstyrkingarnar á Íslandi eru bergboltar og sprautusteypa en einnig eru stundum sett vírnet, sprautusteypubogar, stálborðar, stálbogar (aðallega fyrir TBM), eða jafnvel steypuskjöldur. Auk þess eru oft boraðar drenholur og/eða grautað, þ.e. sementsefju dælt um borholur inn í bergið, aðallega til að þéttu gegn innrennsli vatns

en einnig ef stæðni bergsins er of léleg. Oft er greint á milli vinnustyrkinga og varanlegra styrkinga, þar sem þeim fyr nefndu eru ætlað að tryggja öryggi og stöðugleika ganganna meðan á framkvæmdinni stendur en þeim síðar nefndu er ætlað það hlutverk á líftíma mannvirkisins. Raunin er samt yfirleitt sú að vinnustyrkingar nýtast einnig sem varanlegar styrkingar.

Til aðstoðar við ákvörðun á styrkingum er yfirleitt notast við ákveðin hjálpar gögn. Fyrst ber að nefna fræðileg reiknilíkön sem annars vegar eru svokölluð "statísk" líkön og hins vegar töluleg greiningalíkön. Slík reiknilíkön eru þó aðallega notuð á hönnunarstigi mannvirkisins og með þeim er unnt að leggja grófar línum varðandi styrkingaþörf m.v. heildaraðstæður. Við ákvörðun styrkinga í jarðgöngunum sjálfum er hins vegar oftast notast við ákveðin flokkunarkerfi sem taka mið af staðbundnum aðstæðum. Þeim jarðfræðilegu aðstæðum sem búast má við er þá skipt í nokra gæðaflokka, gjarnan 4-6 talsins, þar sem "mjög gott" berg þarf minnstar styrkingar en "mjög lélegt" berg þarf mestar. Hverjum flokki er þannig gefið ákveðin viðmið í bæði tegund og umfangi styrkinga. Ennfremur er yfirleitt notast við ákveðin töluleg kerfi til að greina á milli berggæða og hér á landi hefur hið norska Q-kerfi mikið verið notað til þess en það byggir á eftirfarandi þáttum:

1. RQD - Heilleikastuðull bergsins, þ.e. hve sprungið bergið er.
2. J_n - Fjöldi meginprungustefna.
3. J_r - Lögun og áferð veikustu sprunguflata.
4. J_a - Gerð og fylling veikustu sprungufyllinga.
5. J_w - Jarðvatnsástand bergsins.
6. SRF - Spennuástand bergsins.

Þessum þáttum eru gefnar einkunnir í tölum eftir þýðingu þeirra fyrir stæðni bergsins samkvæmt ákveðnum reglum og hið svonefnda Q-gildi (berggæði) reiknast samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Samkvæmt kerfinu fær versta mögulega berg einkunnina $Q = 0,001$ en besta hugsanlega berg $Q = 1000$ en út frá þessum gildum, ásamt stærð og formi jarðganganna, má áætla tegund og umfang hæfilegra bergstyrkinga. Þetta norska berggæðamatskerfi hefur verið aðlagð íslenskri jarðfræði en það hefur þó sína anmarka og ber alls ekki að nota eitt og sér, heldur einungis til viðmiðunar. Þrátt fyrir allt er það yfirleitt reynsla eftirlitsjarðfræðingsins sem vegur þyngst við ákvörðun á bergstyrkingum og hvort þörf sé á sérstökum aðgerðum fyrir áframhaldandi gröft á hverjum stað fyrir sig.

Eiginleikar steinefna og prófanir

Þorgeir S. Helgason

Petromodeli ehf., Síðumúla 1, 105 Reykjavík

Í erindinu verður fjallað stuttlega um steinefni, en skilgreining á steinefni gæti verið: Byggingarefni sem unnið er úr seti eða bergi.

Jarðefni, og steinefnin sem unnin eru úr þeim, möl, sandur og mulningur, eru mest notuðu byggingarefnin og næst mest notuðu náttúrulegu efnin á jörðinni, aðeins vatnið er eftirsóttara. Steinefnaiðnaðurinn er gríðarlega umfangsmikill og kemur við sögu í allri mannvirkjagerð og í víðasta skilningi falla undir hann bæði framleiðslufyrirtæki og fyrirtæki í tengdum þjónustuþjónaði. Í Evrópu einni eru tugir þúsunda fyrirtækja og stofnana sem falla undir þessa skilgreiningu og þar eru framleiddir milljarðar tonna af steinefnum og virðisaukandi byggingarefnum fyrir um 450 milljón íbúa á Evrópska efnahagssvæðinu. Augljóst er að framleiðsla allra þessara steinefna hefur umtalsverð áhrif á umhverfið og er mikilvægt að draga úr þeim eins og kostur með hámarksnýtingu hráefnisins og endurvinnslu efna.

Augljóslega þurfa kaupendur og notendur steinefnanna að fá upplýsingar um gæði þeirra, þ.e.a.s. gerð og eiginleika sem sóst er eftir. Spyrja mætti hverjir þessir eiginleikar eru og hverja þeirra er nauðsynlegt og nægjanlegt að mæla út frá efnis- eða jarðefnisfræðilegu sjónarmiði? Raunveruleiki iðnaðarins snýst hins vegar síður um fræðilegu sjónarmiðin og frekar um hin lagalegu, en hinn 1. júní 2004 tóku gildi ákvæði sem byggjast á tilskipun Evrópusambandsins, sem lögleidd hefur verið á Íslandi, um framleiðslu byggingarvöru¹. Þessi ákvæði skylda framleiðendur steinefna til að fylgja samevrópskum stöðlum um framleiðsluna og mælingu eða prófun á gæðum steinefnisins og setja þær kvaðir á framleiðendur að þeir fylgi ákveðnu framleiðslueftirlitskerfi og gefi út vörulýsingu þar sem koma fram eiginleikar efnisins með meiru og að þeir prófi efnin reglulega. Ef umræddum ákvæðum er fylgt, sem er skylda eins og áður segir, þá má og eiga framleiðendur að merkja fylgiskjöl með hinu vel þekkta samræmismerki CE. Gefnar hafa verið út leiðbeiningar um notkun framleiðslustaðlanna og prófunarstaðlanna á Íslandi².

Hvaða efniseiginleika eða aðrar upplýsingar um gerð á þá að gefa upp eða þurfa að liggja fyrir skv. framleiðslustöðlunum? Tökum dæmi um framleiðslu steinefnis í steinsteypu skv. ÍST EN 12620:2002, Fylliefni/steinefni í steinsteypu (e. Aggregates for concrete; f. Granulats pour bétons; þ. Gesteinskörnungen für Beton). Misjafnt er eftir notkun hvaða eiginleika þarf að tiltaka, en ef miðað er við steypuframleiðslu til húsagerðar þá þarf að tiltaka þessa eiginleika eða mæla hið minnsta: Kornastærðardreifing, lögur, kornarúmþyngd, mettivatn, magn og gerð finefna, niðurbrotsviðnám, bergbrigðadreifing, frostþol, alkalívirkni.

Til að takast á við þessar prófanir á efniseiginleikum hafa verið þróaðar ýmsar prófunaraðferðir og prófunartæki í gegnum tíðina³. Svo dæmi sé tekið, þá hefur stærð, lögur og bergsamsetning verið prófuð fram að þessu með handvirkum eða vélrænum aðferðum, aðferðum sem eru barn síns tíma og eru seinlegar í framkvæmd og veldur því

að sumir þessara eiginleika eru mældir sjaldnar en mikilvægi þeirra segir til um. Því er það sjálfsgagt að leita leiða til að þróa tæki sem leysa hinum eldri aðferðir af hólmi, tækja sem bjóða upp á sjálfvirka mælingu og fjölbreyttari niðurstöður heldur en gömlu aðferðirnar, í einni og sömu lotunni. Hér kemur til hjálpar hin mikla framþróun sem hefur verið í ljósafeindatækni og í stærð- og tölfraðilegum úrvinnsluaðferðum og skyldum greinum.

Nú eru komin tæki á markaðinn sem mæla stærð og lögun malar og mulnings með sjálfvirkum hætti með tölvusjón í tvívídd⁴ og unnið er að lokaþróun tækis sem mælir stærð og lögun í þrívídd og um leið bergsamsetningu sýnisins⁵. Sem dæmi, þá skilar síðastnefnda tækið, Petroscope, sem er í þróun hér á landi í samstarfi við erlenda aðila, þessum niðurstöðum um malar- eða mulningskorn á stærðarbilinu 2-32 mm: Langás, miðás og skammás; rúmmál; sigtastærð og kornastærðadreifing; kýlni; kleyfni og flengd; formflokkur og formflokkadreifing; lögunarstuðull og kleyfnistuðull; ávali og ávaladreifing. Til viðbótar er svo unnið að þróun einingar til að greina bergræningu steinefnisins, þ.e.a.s. valinna bergræningu til að byrja með, en þegar fram líða stundir verður vonandi hægt að útvíkka þessa greiningu og taka tillit til jarðfræðilegra aðstæðna á hverjum notkunarstað.

Sem stendur eru mælingar eða prófanir á steinefnum oftast gerðar án þess að sýnin séu mikið undirbúin; algengasta meðhöndlunin felst í sigtun og aðgreiningu kornastærða. Efnagreiningar eru gerðar í takmörkuðu umfangi, og eru þá ekki síst til að greina efni utan á steinefninu eða í póruvökvanum sem umlykur steinefnamolana. Greining í stækkun í rafeindasmásjá, en þó enn frekar í bergræðismásjá, er beitt í vissum tilvikum; þar má einkum benda á mikilvægar rannsóknir og prófanir vegna alkalívirkni steinefnis í steinsteypu⁶.

Steinefni eru mikilvæg byggingarefni og þörf að jarðfræðingar og aðrir raunvísinda- og tæknimenn sérmennti sig og takist á við viðfangsefni á þessu sviði en þau eru fjölmörg og áhugaverð, eins og t.d. hönnun og ráðgjöf vegna mannvirkjagerðar, framleiðsla steinefna, prófanir og rannsóknir á steinefnum, og þróun nýrra tækja og aðferða við prófanir.

¹ a) Tilskipun ráðsins frá 21. desember 1988 um samræmingu á lögum og stjórnsýslufyrirmælum aðildarríkjanna um byggingarvörur (89/106/EBE). b) Reglugerð, nr. 431 um viðskipti með byggingarvörur.

² Sjá ítarlega umfjöllun um þetta efni í, Steinefni til mannvirkjagerðar - leiðbeiningar varðandi samhæfða Evrópustaðla og CE-merkingar, eftir Eddu Lilju Sveinsdóttur og Pétur Pétursson, útgefandi Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins; nálgast má skýrsluna á vefnum, <http://www.rabygg.is/d/vegt/frettir.asp?d=14300>.

³ Þróun slíksra aðferða og tækja lúta aftur sérstökum reglum og stöðulum! Sjá einkum: a) ÍST EN ISO 10012:2003, Measurement management systems - requirements for measurement processes and measuring equipment. b) EN ISO/IEC 17025:2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

⁴ Dæmi, Haver-CPA frá Haver & Boecker í Þýskalandi.

⁵ Petroscope frá Petromodeli ehf.

⁶ Nýleg dæmi og tilvísanir í rannsóknir af þessu tagi: a) Alkalívirkni á Íslandi - nýjar prófunaraðferðir; erindi eftir Børge Johannes Wigum og Maríu Dís Ásgeirs dóttur á Steinsteypudegi 2005, útgefandi Hönnun hf. og Steinsteypufélag Íslands. b) Ummynundir í steinefni til mannvirkjagerðar; grein eftir Þorbjörgu Hólmgeirs dóttur í tímaritinu Tæknivísir, frá 2005.

Jarðfræði og neysluvatn

Snorri P Snorrason

Almennu verkfræðistofunni hf.

Skipta má neysluvatnsnámi á Íslandi í þrjá flokka og endurspeglar þeir í grófum dráttum jarðfræði Íslands.

Fyrstan má telja tertíera basaltstaflann. Þar fæst vatn sjaldan úr berggrunninum nema þar sem yngri sprunguhreyfingar hafa rifið berggrunninn. Neysluvatnsnám er því að stórum hluta bundið við lek laus jarðlög. Framhlaup, skriður, áreyrar og jökulárset leika þar stærst hlutverk en jökulurð skálarjökla er þó einnig nýtt sem vatnsból. Vatnsmagn í vatnsbólum er oft mjög háð úrkomusveiflum og gerlamengunar getur orðið vart ef jarðlög eru þunn og síunarvegalengd neysluvatnsins er stutt.

Í annan stað má nefna móbergs og grágrýtissvæðin í og við virku gosbeltin. Þar nýta menn sér lekan berggrunn og vatnsbólin eru oftast lindir og borholur. Neysluvatnsgæði eru e.t.v. jöfnust á þessum svæðum.

Í þriðja lagi má nefna nútímahraunin og sprungureinar gosbeltana. Þau eru í flestum tilvikum vatnsgæf og vel fallin til vatnsnáms, en stundum er óþægilega langt niður til grunnvatns. Vatn fæst fyrst og fremst úr borholum á þessum svæðum en einnig úr opnum gjáum. Stærstu þéttbýlissvæðin á Íslandi nýta misgengi og gjár til vatnstöku.

Mikil lekt hrauna, grágrýtis og gjánna gera vatnsvinnslu auðvelda en gera vatnsból viðkvæm fyrir mengun, að frátalinni gerlamengun. Stór grunnvatnssvæði eru nú gölluð vegna mengunar, og má þar nefna svæðið við Keflavíkurflugvöll vegna leysiefnamengunar og þjórsárhraunið vegna jármengunar úr mýrum.

Mat á umhverfisáhrifum

Haukur Einarsson

Hönnun hf, Grensásvegi 1, 108 Reykjavík

Mat á umhverfisáhrifum

Lög um mat á umhverfisáhrifum voru fyrst sett árið 1993. Lögin hafa tvisvar sinnum síðan þá tekið breytingum, fyrst árið 2000 og nú síðast í október 2005. Með mati á umhverfisáhrifum eru áhrif framkvæmdar metin á kerfisbundinn hátt áður en tekin er ákvörðun um hvort leyfa skuli framkvæmd. Lögin tryggja aðkomu almennings að ferlinu til að koma að athugasemdum og ábendingum auk þess sem framkvæmdin og hugsanleg umhverfisáhrif hennar eru kynnt. Í ferlinu er lögð áhersla á að draga eins og kostur er úr neikvæðum umhverfisáhrifum framkvæmdar. Það má gera með því að finna lausnir sem draga úr og/eða bæta fyrir hugsanleg umhverfisáhrif.

Hlutverk ráðgjafa og Skipulagsstofnunar við mat á umhverfisáhrifum er í meginatriðum tvenns konar eftir því hvort um er að ræða framkvæmd sem fellur undir 1. eða 2. viðauka laga um mat á umhverfisáhrifum. Ef um er að ræða framkvæmd sem fellur undir 2. viðauka laganna þarf að leggja fram gögn um leið og framkvæmdin er tilkynnt til Skipulagsstofnunar. Gögnin þurfa að uppfylla kröfur sem settar eru í reglugerð. Skipulagsstofnun tekur því næst ákvörðun um hvort framkvæmdin sé matsskyld eða ekki. Ef um matsskylda framkvæmd er að ræða eða ef framkvæmd fellur undir 1. viðauka laga um mat á umhverfisáhrifum þarf að meta umhverfisáhrif framkvæmdarinnar samkvæmt þeim viðmiðum sem sett eru í lögum. Fyrst er unnin tillaga að matsáætlun sem er nokkurs konar verklýsing á því hvernig ætlunin er að hafa efnistök í frummatsskýrslu. Á þessu stigi fær almenningur fyrst möguleika á að koma á framfæri ábendingum og athugasemnum. Skipulagsstofnun tekur því næst ákvörðun um hvort fallist sé á tillöguna eða hvort henni sé synjað. Ef fallist er á tillögu að matsáætlun er næsta skref að ráðast í gerð frummatsskýrslu, sem skal vera í samræmi við matsáætlun. Í frummatsskýrslu þarf að lýsa fyrirhugaðri framkvæmd og er mikilvægt að eftifarandi þættir komi skýrt fram:

- Grunnástand
- Umhverfisáhrif
- Mótvægisáðgerðir
- Umhverfisvöktun
-

Út frá þeim upplýsingum sem fram koma í frummatsskýrslunni er loks gerð grein fyrir niðurstöðum mats á umhverfisáhrifum. Þegar hér er komið er framkvæmdin tilkynnt til Skipulagsstofnunar um leið og frummatsskýrslan er lögð fram. Jafnframt hefst athugun Skipulagsstofnunar sem skiptist í athugun frummatsskýrslu og athugun matsskýrslu.

Athugun Skipulagsstofnunar felst í því að kanna hvort skýrslan uppfylli kröfur sem settar eru í lögum og hvort hún sé í samræmi við matsáætlun. Á þessu stigi er framkvæmdin og niðurstöður frummatsskýrslu kynntar almenningi og leitað álits umsagnaraðila. Umsagnir og ábendingar sem berast Skipulagsstofnun eru síðan sendar framkvæmdaraðila sem gerir grein fyrir þeim og afstöðu sinni til þeirra í matsskýrslu.

Með athugun Skipulagsstofnunar á matsskýrslu er athugað hvort skýrslan uppfylli skilyrði laga um mat á umhverfisáhrifum og reglugerða setra samkvæmt þeim og að umhverfisáhrifum sé lýst á fullnægjandi hátt.

Athugun Skipulagsstofnunar lýkur með álti stofnunarinnar um mat á umhverfisáhrifum framkvæmdarinnar.

Mat á umhverfisáhrifum Bjarnarflagsvirkjunar og Bjarnarflagslinu 1

Orkuvinnsla í Bjarnarflagi nær aftur til ársins 1963 þegar borun rannsóknarhola hófst. Árið 1969 var núverandi 3 MW_e raforkuver í Bjarnarflagi tekið í notkun. Áætlanir um byggingu nýrrar virkjunar í Bjarnarflagi hafa verið lengi uppi. Árið 2003 var loks lögð fram til Skipulagsstofnunar skýrsla um mat á umhverfisáhrifum 90 MW_e Bjarnarflagsvirkjunar og Bjarnarflagslinu 1 í Skútustaðahreppi.

Bjarnarflag er jarðfræðilega mjög virkt svæði sem hreyfðist mikið í Kröflueldum 1975-1984. Svo mikil var virknin að flestar borholur í Bjarnarflagi skemmdust og ein þeirra gaus gjalli. Þetta er eina þekkta dæmið í heiminum um eldgos upp um borholu. Vegna þessarar miklu virkni voru þrír kostir settir fram við mat á umhverfisáhrifum Bjarnarflagsvirkjunar. Tveir þeirra miðuðu að því að vera með virkjunina utan virka sprungubeltisins og einn innan þess. Í skýrslunni var lögð áhersla á að takmarka umfang framkvæmdanna sem mest og minnka með því neikvæð umhverfisáhrif. Til að mynda var í stað þess að bora á mörgum svæðum gert ráð fyrir tveimur stórum borsvæðum þar sem bora á allt að 17 nýjar holur með svokallaðri stefnuborun. Þá er ráðgert að setja upp nýja gerð hljóðdeyfa, leggja vegi yfir slóða sem fyrir eru og móta byggingar í samræmi við landslag.

Ýmsar mótvægisgerðir voru einnig lagðar til í tengslum við Bjarnarflagslinu 1. Til að mynda var gert ráð fyrir að leggja jarðstreng þann hluta leiðarinnar þar sem ekki er lína fyrir. Þar sem línan liggur samsíða Kröflulínu 1 var ráðgert að láta möstur standast á. Þá á að taka niður Reykjahlíðarlínu, ekki leggja nýjar vegslóðir og ganga frá sárum með viðeigandi hætti. Við samanburð framangreindra virkjunarkosta kom kostur A, þ.e. að staðsetja virkjunina austan virka sprungubeltisins áberandi best út. Niðurstaða framkvæmdaraðila var því sú að samkvæmt kosti A og línuleið Aa væru umhverfisáhrif Bjarnarflagsvirkjunar og Bjarnarflagslinu 1 tiltölulega lítil.

Grjótnám fyrir brimvarnir

Ómar Bjarki Smárason

Stapi ehf – Jarðfræðistofa, Ármúli 19, 108 Reykjavík.

Grjótnám fyrir brimvarnir hér á landi hófst líklega í Öskjuhlíð og Skólavörðuholti vegna framkvæmda við Reykjavíkurhöfn, sem stóðu frá árinu 1913 til 1917. Þá var fyllt upp í fjöruna, smíðuð hafskipabryggja og hafnargarðar hlaðnir. Einn garður var hlaðinn út í Örfirisey og tveir á móti hvor öðrum milli eyjarinnar og Batterisins. Á milli garðanna var 100 m breið innsigling. Til að auðvelda framkvæmdina var byggð 12 km löng járnbraut í hálfhring um bæinn sem flutti efni úr Öskjuhlíð og Skólavörðuholti. (Borgarskjalasafn Reykjavíkur www4.rvk.is/borgarskjalasafn.nsf/pages/hofnin/html). Garðarnir standa enn.

Óvist er hvaða rannsóknir hafa farið fram á grjótnámunum í Öskjuhlíð og Skólavörðuholti fyrir þessar framkvæmdir við Reykjavíkurhöfn, en líklegt er að danskir jarðfræðingar og verkfræðingar hafi gert sér grein fyrir að úr grágrýtisklöppunum mætti fá ágætis grjót, enda hafði Alþingishúsið verið byggt úr tilhöggnu grágrýti á árunum 1880-1881. Grjótnámsrannsóknir hófust hér á landi vegna framkvæmda við hafnirnar í Grindavík (Jón Eiríksson og Björn Jóhann Björnsson, 1974) og Þorlákshöfn (Haukur Tómasson o.fl. 1974). Ennfremur gerði Björn A. Harðarson (1979) rannsóknir á íslensku basalti með tilliti til notkunar í grjótvarnir. Í framhaldi af þessu hafa rannsóknir á grjótnámum orðið fastur liður í undirbúningi brimvarnargarða vegna hafnarframkvæmda og vegagerðar. Sá er þetta ritar kom fyrst að þessum rannsóknum vegna byggingar brimvarnargarðs á Norðurfirði á Ströndum árið 1984 og hefur síðan tengst yfir 100 verkefnum við grjótnám í brimvarnir hér á landi, í Noregi, á Indlandi, Suður Afríku og Óman.

Fram til ársins 1970 virðist sem stærsta grjótið sem notað var í brimvarnir hafi verið um 6 tonn að þyngd og af viðtölum við marga erlenda verkfræðinga hefur komið í ljós að margin þeirra hafa talið að það sé sú hámarksstærð sem hægt er að vinna úr granítklöppum. Þetta hefur leitt til þess að í stað grjóts eru gjarnan notaðar steyptar einingar þar sem hægt væri að fá nægilegt magn af stóru grjóti í nálægum nánum. Stærð þess grjóts sem hægt er að nýta ræðst hins vegar af þeim tækjum sem til staðar eru til verksins á hverjum tíma og fram undir árið 1970 voru gröfurnar sem notaðar voru Brøyt X-2 og bílarnir tveggja öxla vörubilar með 6 tonna burðargetu. Með stærri og öflugri tækjum hefur hins vegar verið hægt að staekka það grjót sem nýtt er í brimvarnir og með því móti er hægt að glíma við stærri öldu og byggja brimvarnir út á meira dýpi. Í nokkrum nýlegum verkefnum hafa verið byggðir brimvarnargarðar þar sem stærsti grjótflokkurinn 20 – 35 tonn hefur verið yfir 5% af heildarefnismagni garðsins. Rannsóknir á grjótnámunum, sem einkum felast í sprungumælingum á borkjörnum, hafa þannig gefið til kynna að unnt væri að ná viðhlítandi magni í viðkomandi grjótflokka. Þetta hefur síðan gengið eftir við framkvæmd verksins. (Smárason, 2000, Sigurðarson o.fl. 2003 og Sigurðarson o.fl. 2005).

Í töflu 1 er sýnt yfirlit yfir nokkur verkefni sem unnið hefur verið við á síðari árum á Íslandi, Noregi, Indlandi og Suður Afríku. Sýnd er áætluð stærðardreifing grjóts yfir ákveðnum viðmiðunarmörkum sem hlutfall af heildarvinnslu efnis úr námunum.

Sirevág: 630,000 m³ bermugarður var byggður úr anorthosít gabbrói í Sirevág, SV-Noregi frá janúar 2000 til júlí 2001. Stærsti grjótflokkurinn var 20 – 30 tonn og 5,6% af heildarrúmmáli brimvarnargarðsins. Líklega mætti auka nýtingu námu á grjóti yfir 20 tonnum í yfir 10% með því að nýta grjótið upp í 50 tonn.

Tafla 1. Vinnsluspárfyrir nokkrar námur í nýlegum verkefnum á Íslandi, Sirevág og Hammerfest í Noregi, Karwar á Indlandi og Port Elizabeth í Suður Afriku. Hámarksnýting námannna minnkar nokkuð við smækkun stærstu steina úr 50 tonnum í 30 tonn.

Verkefni	>0.1t %	>0.5 t %	>1.0 t %	>2.0 t %	>5.0 t %	>10 t %	>20 t %	>50 t %
Sirevág	75	60	51	42	30	23	17	10
Hammerfest	60	42	33	25	16	11	6	4
Karwar	47	32	25	20	15	8	4	1
Port Elizabeth	58	44	35	27	16	10	4	1
Hornafjördur	74	58	47	34	26	21	15	7
Breidárlón	68	50	43	36	27	20	12	5
Vopnafjördur	73	60	52	44	31	23	17	10
Húsavík	55	40	33	26	20	15	10	3

Hammerfest: Um 2,3 milljónir rúmmetrar af föstu bergi voru sprengdar á eynni Melkøya, norður af Hammerfest í Norður Noregi á 9 mánaða tímobili frá júlí 2002 fram í apríl 2003. Um 670,000 m³ af efni var grjót yfir 1 tonni. Stærsti grjótflokkurinn var 20 – 35 tonn. Magnið í þessum flokki var yfir 50,000 m³, eða um 2,5% af þeim 1.500.000 m³ bergs sem ætlaður var til námuvinnslunnar. Úrvinnsla sprungumælinga á klöppinni gefur til kynna að ná mætti um 5% í grjótflokk yfir 20 tonnum með því að leyfa 50 tonna hámarksþyngd steina.

Karwar: Brimvarnargarðar, sem eru um 5,25 km að lengd og samtals um 4 milljónir rúmmetra að stærð voru byggðir fyrir Indverska sjóherinn við Karwar á Indlandi frá því síðla árs 1999 og fram í ársbyrjun 2004. Bergið var unnið í námu í Aligadde Hill og samanstóð af dóleríti, graníti og gneis. Stærsti grjótflokkurinn sem var 10 – 20 tonn var um 2,5% af heildarefnismagni gardanna. Úrvinnsla sprungumælinga á borkjörnum úr námunni bendir hins vegar til að náman hefði gefið um 8% yfir 10 tonnum og 4% yfir 20 tonnum.

Port Elizabeth: Um 3,4 milljón rúmmetrar af grjóti og 25.000 dolosar, sem hver vó 30 tonn, voru notaðir í brimvarnir við höfnina fyrir Coega verkefnið, austan við Port Elizabeth í Suður Afriku. Til að ná þessu magni þurfti að vinna um 5,5 milljónir rúmmetra af sprengdu efni, eða um 3,8 milljónir rúmmetra af föstu bergi, miðað við þanstuðul 1,45 frá föstu bergi í sprengt efni í garði. Stærsti grjótflokkurinn var 3 – 6 tonn, en vinnsluspá námunnar gaf til kynna að ná mætti um 4% yfir 20 tonnum, 10% yfir 10 tonnum og 35% yfir 1 tonni.

Nú er horft til þess að í framtíðinni verði hægt að vinna grjótflokk upp í 50 – 60 tonn. Með því má líklega auka nýtingu grjóts úr nánum og hugsanlega minnka kostnað vegna steyptra eininga. Þetta er hins vegar erfitt í framkvæmd, nema þar sem grjótfutningarár frá námu á byggingarstað fara fram eftir sérstökum námuvegum. Til að meðhöndla grjót af þessari stærð má búast við að nota þurfi grófur sem eru um 180 tonn að þyngd.

HEIMILDIR

- Jón Eiríksson og Björn J. Björnsson, 1974: *Geological Investigations in Grindavík SW-Iceland*. Orkustofnun, OS-JHD7408, 11 bls.
Haukur Tómasson, Oddur Sigurðsson, Björn J. Björnsson & Svanur Pálsson, 1974: *Þorlákshöfn. Geological Report*. Orkustofnun, OS-ROD7405, 28 bls.
Björn A. Harðarson, 1979: *Rannsóknir á íslensku basalti með tilliti til notkunar í grjótvarnir*. Háskóli Íslands, 4. árs verkefni Jarðfræðiskor. Smárasón, O.B., Sigurðarson, S., and Viggósson, G., 2000: *Quarry yield prediction as a tool in breakwater design*. Keynote lectures NGM-2000. Finnish Geotechnical Society.
Sigurðarson, S., Jacobsen, A., Smarason, O.B., Bjørdal, S., Viggósson, G., Urrang, C., and Tørum, A., 2003: *Sirevág Berm Breakwater, design, construction and experience after design storm*. Proceedings of Coastal Structures and Breakwater Conference, Ed. N.W.H: Allshop, Institution of Civil Engineers, London.
Sigurðarson, S., Loftsson, A., Lothe, A.E., Bjertness, E. and Smárasón, O.B., 2005: *Berm Breakwater Protection for the Hammerfest LNG Plant in Norway – Design and Construction*. Coastal Structures and Breakwaters, 2005, Institution of Civil Engineers, London.

Námur á Íslandi

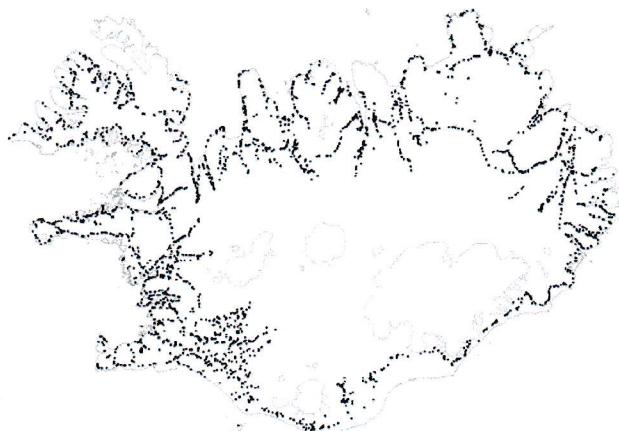
Hersir Gíslason og Hafdís Eygló Jónsdóttir

Vegagerðin, Borgartúni 7, 105 Reykjavík

Á Íslandi er áætlað að yfir 90% steinefna séu unnin úr lausum jarðlögum en á síðustu árum hefur vinnsla á bergi verið að aukast jafnt og þétt. Þetta er mjög ólíkt því sem gerist t.d. á hinum norðurlöndunum þar sem hlutfall lausra jarðlaga til steinefnanotkunar er á bilinu 50-65%. Ekki eru til nákvæmar tölur um árlega steinefnanotkun hér á landi en gert er ráð fyrir að hún geti verið um 8-10 milljónir m³ og þar af fara 4,5-6 milljónir m³ til vegagerðar. Í þessum tölu er ekki tekið tillit til steinefnanotkunar vegna stórframkvæmda eins og nú eiga sér stað á Austurlandi en þar er gert ráð fyrir að notað verði yfir 13 milljónir m³ af eingöngu vegna Kárahnjúkavirkjunar. Steinefnanotkun á hvern íbúa landsins er því að jafnaði yfir 30 m³ sem er mun meira en á hinum norðurlöndunum þar sem hún er einungis um 5-10 m³ á íbúa.

Frá því í byrjun 9. áratugarins hefur Vegagerðin haldið gagngrunn um námur. Upphaflega var gagnagrunnurinn aðallega byggður upp sem gagnabanki fyrir rannsóknaniðurstöður en almennar upplýsingar um námur voru mjög takmarkaðar. Ekki var farið að skrá nákvæma staðsetningu eða almenna lýsingu á nánum fyrr en árið 1997 en þá var hafist við fara yfir og flokka skráningar í gagnagrunnинum. Síðan þá hefur verið lokið við að skrá flestar námur á landinu en þó er enn eftir að skrá námur sem eru við hálendisvegi. Námuskrá Vegagerðarinnar er eini heildstæði gagnagrunnur um námur á landinu og inniheldur hann rétt rúmlega 3000 námur. Þar er að finna upplýsingar um námur Vegagerðarinnar ásamt nánum annarra s.s. verktaka, sveitarfélaga o.fl.

Gagnagrunnurinn hefur nýst Vegagerðinni og sveitarfélögum vel við skipulagsvinnu og t.d. við skráningu á frágangi náma. Í framtíðinni mun notkunin beinast að skráningu á hæfi efnis í nánum til hinna ýmsu nota og verður gagnagrunnurinn beintengdur öðrum gagnagrunni þar sem skráðar eru rannsóknaniðurstöður á steinefnum.



1. mynd. Allar námur á Íslandi sem skráðar eru í gangagrunn Vegagerðarinnar

Verndun jarðminja

Ingvar Atli Sigurðsson

Náttúrustofa Suðurlands, Strandvegur 50, 900 Vestmannaeyjar

Náttúruvernd er yfirleitt frekar tengd verndun lífvera og líffræðilegs fjölbreytileika en verndun jarðminja. Það má leiða líkur að því að skilningur líffræðinga á verndarþörf hafi verið meiri heldur en skilningur jarðfræðinga þar sem líffræðingar hafa frekar valið að starfa í náttúruverndargeiranum á meðan jarðfræðingar starfa frekar á svíðum sem snúa beint að nýtingu náttúruauðlinda. Verndun getur því í mörgum tilfellum virst ganga gegn atvinnuhagsmunum jarðfræðinga. Námur og aðrar opnur gefa líka mikilvægar upplýsingar um uppybyggingu og innri gerð jarðmyndana sem erfitt er að nálgast með öðrum hætti. Eins hefur verndun jarðminja ekki átt jafn greiða leið inn í löggjöfina og það var t.d. ekki fyrr en árið 1999 (lög 44/1999) sem sett var inn ákvæði um sérstaka vernd ákveðinna landslagsgerða. Þessu ákvæði var síðar breytt þannig að í stað „landslagsgerð“ var sett „jarðmyndana og vistkerfa“ (lög 140/2001).

Verndun jarðminja er engu að síður jafn mikilvæg og verndun lífríkisins þar sem eyðilegging jarðminja er oftast endanleg. Jarðminjar er sjaldnast hægt að endurheimta á meðan hægt er að graða upp svæði og fjölga lífverum svo framarlega sem þeim hafi ekki verið útrýmt. Almennt er nú viðurkennt að ekki sé æskilegt að minnka líffræðilegan fjölbreytileika og því er mikilvægt að gera sér grein fyrir að án fjölbreyttra jarðmyndana yrði enginn líffræðilegur fjölbreytileiki.

Af rúmlega 550 svæðum á heimsminjaskrá (WHA) eru aðeins tæplega 40 þar vegna jarðminja, flest vegna eldvirkni, steingervinga, jöklra eða kerlenda (kalksteinsmyndana). Á Íslandi er ekki hægt að segja að verndun jarðminja hafi setið á hakanum en áherslan var á að vernda einstakar jarðminjar vegna fegurðar eða fræðilegs gildis frekar en að vernda ákveðnar heildir. Segja má að verndun jarðminja hafi mikið til stjórnast af dugnaði, áhuga og þekkingu þeirra einstaklinga sem sátu í Náttúrverndaráði hverju sinni en ekki kerfisbundinni vinnu byggðri á ákveðnum viðurkenndum verndarviðmiðum og gildum. Í dag eru 34 jarðminjar sérstaklega friðlýstar sem náttúrvætti (Tafla 1). Til viðbótar má nefna friðlöndin Gullfoss og Surtsey, fólkvanginn Rauðhóla auk þess sem fjöldinn allur af merkum jarðminjum er innan annarra friðlýstra svæða þó þær séu ekki aðalástæða friðlysingarinnar. Loks eru allar dropsteinsmyndanir í hellum landsins friðlýstar sem náttúrvætti.

Til að tryggja markvissa vernd þurfa að vera til staðar upplýsingar um allar jarðminjar og verndargildi þeirra. Þetta er hægt að taka saman á kerfisbundinn hátt fyrir allt landið eða, eins og hér er oftast raunin, á sértækan hátt fyrir afmörkuð svæði. Þá eru svæði fyrst kortlögð og verndargildi jarðminja metið þegar áætlað er að fara út í framkvæmdir sem munu valda röskun á svæðinu. Þessi sértæka aðferð hefur þann galla að það getur verið erfitt að meta verndargildi jarðminja þegar lítill samanburður er við önnur svæði og jarðminjar sömu gerðar. Oft er í raun búið að taka ákvörðun um framkvæmd áður en verndargildið hefur verið metið. Ef svo kemur í ljós að verðmætar jarðminjar eru á svæðinu þýðir það annað hvort kostnaðarsamar breytingar á framkvæmd eða að jarðminjunum er fórnæð. Því er æskilegra að meta verndargildi jarðminja kerfisbundið en til þess þarf að byrja á því að kortleggja, flokka og skrá allar jarðminjar á landinu. Þetta tekur tíma og er kostnaðarsamt. Það má hins vegar

reikna með því að ef slíkt mat lægi fyrir þá mætti að mestu leyti koma í veg fyrir alvarleg átök þar sem tekist er á um verndun eða nýtingu. Í tengslum við náttúruverndaráætlun 2004-2008 voru sett fram drög að ítarlegri flokkun jarðminja á Íslandi og verndarstöðu þeirra (Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002) en lítið framhald hefur verið á þeirri vinnu.

Mikilvægt er að auka skilning almennings á gildi jarðminja og mikilvægi á verndun þeirra. Þetta er best gert með því að auka fræðslu og er eðlilegast að sú fræðsla fari meðal annars fram á friðlýstu svæðunum. Þar má helst nefna þjóðgarðana fjóra og þau friðlönd sem hafa starfandi landverði yfir sumartímann. Þó bæklingar og fræðsluskilti séu gagnleg jafnast ekkert á við lifandi fræðslu á staðnum og því er áriðandi að jarðminjar séu áberandi í þeirri umhverfistíulkun sem boðið er upp á.

1. TAFLA. NÁTTÚRUVAETTI, FRÍÐLÝSTAR JARÐMINJAR Á ÍSLANDI.

Tegund jarðminja:	Fjöldi svæða:	Nafn:
Gígar og eldfjöll	7	Lakagígar, Eldborg í Hnappadal, Eldborg í Geitahlíð, Eldborg í Bláfjöllum, Grábrók, Bárðarlaug, Askja
Fossar	4	Fjallfoss og aðrir fossar í Dynjandi, Dettifoss, Selfoss og Hafragilsfoss, Skógfoss, Hraunfossar og Barnafoss
Jökulrákaðar klappir	5	Laugarás, Valhúsahæð, Víghólar, Hamarinn, Borgir
Gervigígar	2	Álfavær, Skútustaðagigar
Setlög með steingervingum	3	Surtarbrandsgil, Háubakkar, Fossvogsbakkar
Hraunhellar	2	Jörundur, Árnahellir
Stuðlaberg	2	Dverghamrar, Kirkjugólf
Jarðhitasvæði	1	Hveravellir
Jökulker	1	Háalda
Hraundrýli	1	Tröllabörn
Hverastrýtur á hafsbotni	1	Hverastrýturnar í Eyjafirði
Geislasteinar	1	Teigarhorn
Gömul kalsítnáma	1	Helgustaðanáma
Stakur steinn, áningastaður	1	Steðji (Staupasteinn), Díma í Lóni
Lind með fljótandi eyjum	1	Kattarauga við Kornsá
Klettaborg, landamerki	1	Díma í Lóni

Tilvísanir:

Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002. Verndun jarðminja á Íslandi. Tillögur vegna náttúruverndaráætlunar 2002. NÍ 02019.

Prediction of stiffness of unbound granular materials based on the CBR value

S. Erlingsson & B. Magnusdottir

Faculty of Engineering, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

The unbound granular materials (UGM), base and subbase layers, play an essential role in the overall structural performance of thin pavement structures. They show complex stress dependent elasto-plastic behaviour under external loading. Therefore the UGM are commonly tested using the Repeated Load Triaxial (RLT) testing method to estimate the stiffness of the material by applying haversine loading pulses. The RLT testing method represents the actual stress situation quite adequately and gives satisfactorily estimates of the stiffness characteristics of UGM. However a RLT test is an elaborated test and rather expansive. A much simpler test that has been used for a long time in structural design of flexible pavements is the CBR (California Bearing Ratio) test. The CBR test is a simple and cheap test where the load-deformation curve is acquired while a plunger is penetrated into the material at a constant rate. In the literature one can find a number of relationships for UGM where the CBR value is used to predict the stiffness. To investigate if a connection between the two tests exists, twenty materials have been tested with both methods and the test results compared. The materials come from "steinefnabanki BUSL" are of varying quality but all were fairly well graded and have been used as a base course materials. The results indicate that a simple power law can be used to predict the stiffness if the CBR-value is known.