



Jarðeðlisfræði-aðferðir við könnun
grunnsævis og hafna.

Kynning frá jarðeðlisfræðideild
Orkustofnunar (JEL)

Karl Gunnarsson

Greinargerð KG-94-02



JARÐEÐLISFRÆÐI-AÐFERÐIR VIÐ KÖNNUN GRUNNSÆVIS OG HAFNA

KYNNING FRÁ JARÐEÐLISFRÆÐIDEILD ORKUSTOFNUNAR (JEL)

JEL hefur um skeið stundað margs konar jarðsveiflumælingar (seismískar mælingar). Þar á meðal eru endurkastsmælingar (seismic reflection) á sjó og landi til könnunar á möguleikum á olíu, og bylgjubrotsmælingar (seismic refraction) til könnunar á jarðskorpunni. Við höfum einnig gert mælingar "í minni kvarða" í jarðtæknilegum tilgangi, og ber þar hæst könnun jarðgangaleiðar í Hvalfirði, árin 1991 og 1993. Þar var bæði bylgjubrots- og endurkasts-mælingum var beitt. Þessi verkefni voru leyst í samvinnu við Hafrannsóknastofnun.

Á grundvelli reynslunnar úr Hvalfirði, og einnig af tilraunakönnun á svæði Reykjavíkurhafnar 1993, viljum við koma á framfæri álíti okkar á því hvaða seismískar aðferðir koma helst til greina við að kanna jarðög á grunnsævi og í höfnum. Þessar aðferðir miðast einkum við að kanna setlög, þykkt þeirra og gerð, en sumar aðferðir veita einnig upplýsingar um gerð berggrunnsins eða klapparinnar undir.

1. LÝSING Á AÐFERÐUM

Jarðsveiflumælingum má skipta í endurkastsmælingar og bylgjubrotsmælingar, þar sem mismunandi útbreiðsluleiðir eru notaðar til að fá upplýsingar um gerð þess efnis sem bylgjurnar fara um. Á 1. mynd er sýnt dæmi um útbreiðslu bylgna í einföldu tveggja laga líkani, þekjulagi úr lausum jarðögum yfir berggrunni með hærri hljóðhraða. Komutími bylgna sem berast til baka til yfirborðs á hverjum stað á mælilínunni er sýnt á línuriti.

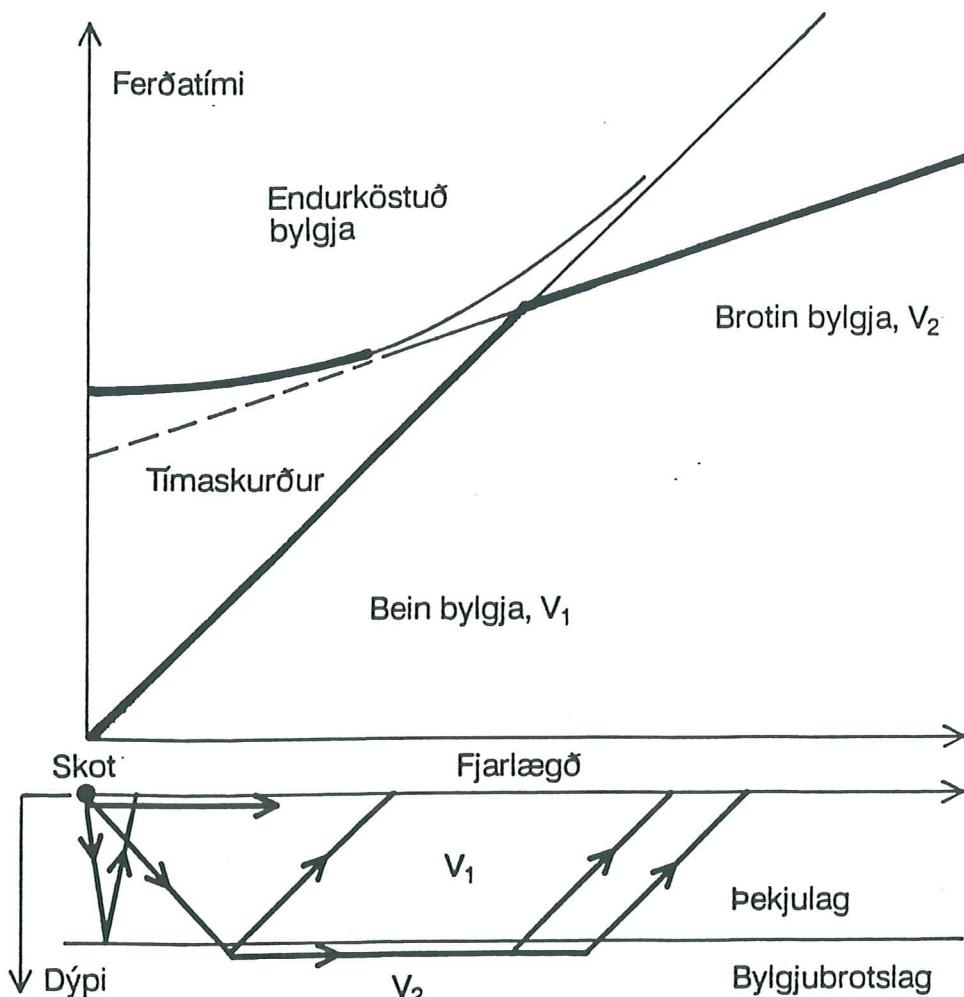
1.1 Bylgjubrotsmælingar

Við bylgjubrotsmælingar er notaður tímaferill beinu bylgjunnar í efra laginu og brotnu bylgjunnar frá neðra laginu. Út frá halla þessara ferla má reikna hljóðhraðann í efninu, en dýpið er í hlutfalli við tímagildið í skurðpunktí línú brotnu bylgjunnar við tímaássinn.

Iðulega er jarðlagagerð flóknari en hið einfalda snið á 1. mynd. Á 2. mynd er sýnt tilfelli fyrir líkan með breytilega þykkt á þekjulagi og breytilegan hljóðhraða í bylgjubrotslagi. Þar eru teiknaðar fartímkúrfur brotinnar bylgju frá skotpunktum til beggja handa, og er þannig mæling kölluð viðsnún. Pannig upplýsingar eru nauðsynlegar til að túlka slíkt tilfelli rétt. Við miðum uppsetningu mælinga okkar við að slík tilfelli geti verið til staðar, gætum þess að mæla viðsnúna bylgjubrotsprófíla, og höfum marga sprengipunkta fyrir hverja nemalögn. Við úrvinnslu notum við oftast svokallaða GRM-aðferð (Generalized Reciprocal Method), sem er nú ein viðurkenndasta aðferðin til að túlka þess konar gögn.

Aðferðir við bylgjubrotsmælingar á Orkustofnun

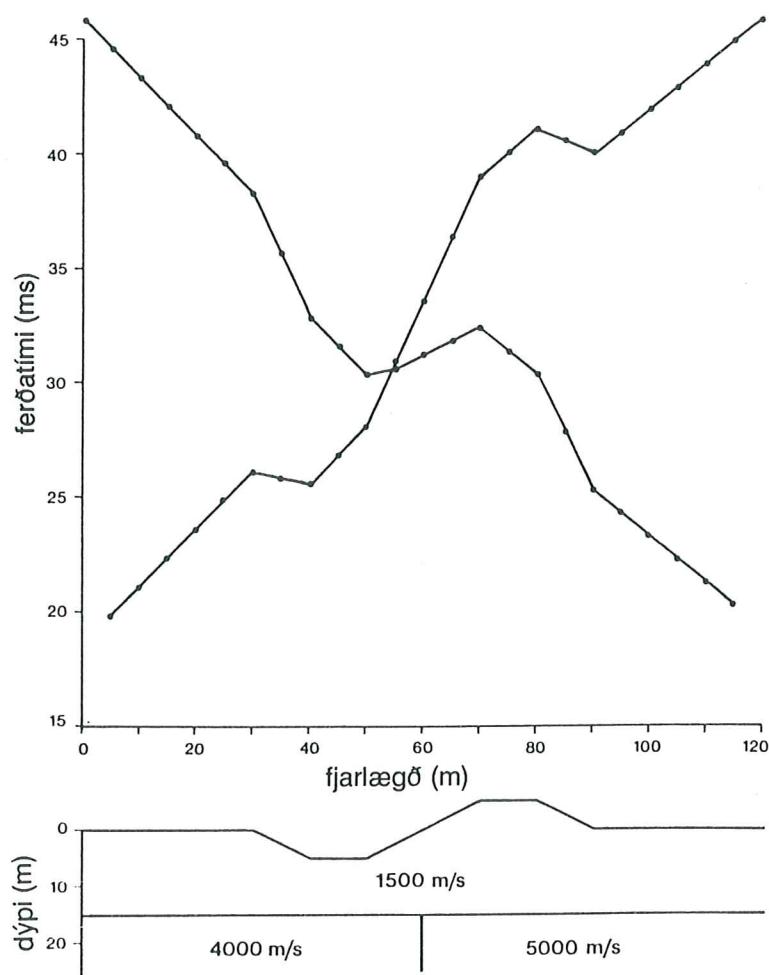
- 1) **Botnstrengur** er lagður á sjávarbotn, með 24 nemum (hydófónum) á 5 eða 10 m bili, þ.e.a.s. 115 eða 230 m langur. Sprengdar eru litlar hleðslur nærrí botni með 25-50 m millibili eftir strengnum og út af endum. Með þessu móti má fá eins góðar niðurstöður og bylgjubrotsaðferðin leyfir. Fá má tiltölulega nákvæmt dýptarsniðið af yfirborði klappar (bylgjubrotslagsins), og einnig hljóðhraða í klöppinni sem fall af staðsetningu eftir línú. Þetta síðarnefnda er sérlega mikilvægt ef kanna á eiginleika bergsins undir setlögunum. Greina má ef hljóðhraði eykst verulega með dýpi í setlögum, en annars kemur setlagið fram sem einsleitt



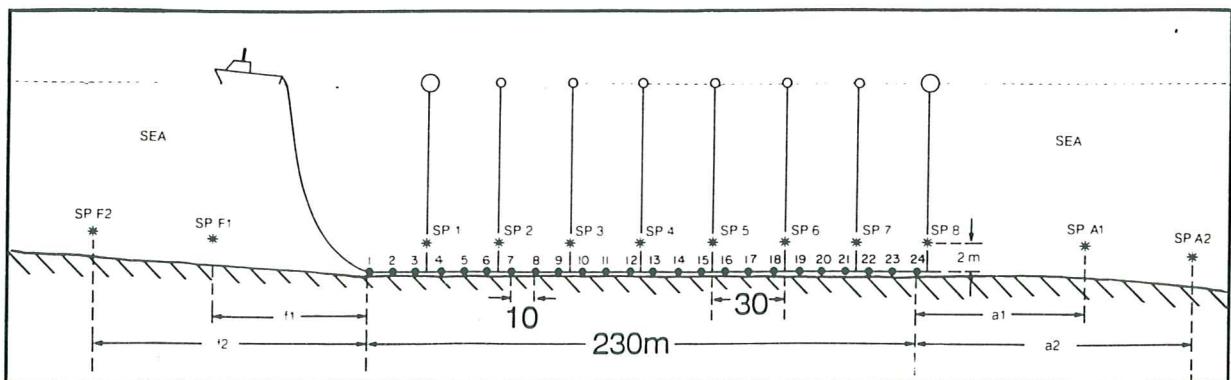
1. mynd. Tveggja laga snið sem sýnir einkennandi geisla fyrir beina, brotna og endurkastaða jarðsveiflubyrgju. Ofar er fartímagraf fyrir mismunandi bylgjur, þar sem breiðar línlur sýna hvaða bylgjur eru annars vegar notaðar við bylgjubrotsmælingar (bein og brotin), og hins vegar við endurkastsmælingar.

lag í túlkun. Úrvinnsla er ávalt gerð með GRM-aðferð.

2) **Flotstrengur** er dreginn nærrí yfirborði á eftir skipi, og hljóðgjafi er við skipið. Hljóðgjafinn getur ýmist verið sprengihleðslur eða loftbyssa. Þessi uppsetning er nokkuð hliðstæð við fyrirkomulag margrása endurkastsmælinga (sjá 4. mynd), nema strengurinn er hafður lengri. Ekki er að vænta sömu nákvæmni og upplausn með þessu fyrirkomulagi, eins og með botnstrengsmælingum. Því veldur m.a. ónákvæmni í staðsetningum, fjarlægð frá botni, en einkum að erfitt er að koma við réttari dreifingu skotstaða til að fá vel viðsnúna mælingu. Síðasta atriðið má þó leysa með því að skjóta mjög þétt með loftbyssu, líkt og í endurkastsmælingum. Mælingar af þessu tagi myndu henta best til að gera yfirlitskort af tiltölulega stórum svæðum, þar sem rými er til siglinga.



2. mynd. Jarðlagasnið með breytilegri þykkt þekju, og breytilegum hraða í bylgjubrotslagi. Línuritið að ofan sýnir fartímaferla frá skotstöðum til beggja enda (viðsnúnar kúrfur), og hve óreglulegir þeir verða við slíkar kringumstæður.



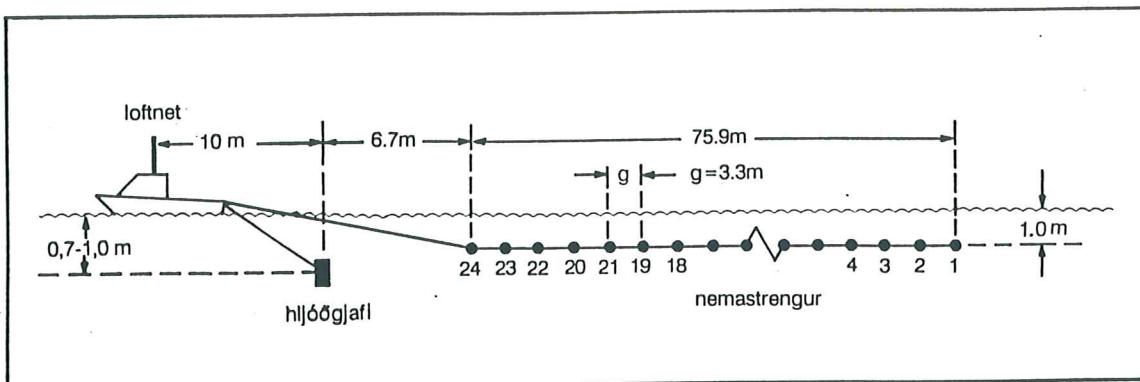
3. mynd. Tækjabúnaður Orkustofnunar til að gera bylgjubrotsmælingar með botnstrengslögn. Nemarnir 24 eru merktir með svörtum punktum, og sprengistaðir eru merktir með "SP". Þessi útbúnaður hefur verið notaður á allt að 40 m dýpi.

1.2 Endurkastsmælingar

Í endurkastsmælingum er skráð endurkast eða bergmál hljóðbylgjunnar frá lagamótum í jarðlögunum undir hverjum stað. Slíkar mælingar eru gerðar með jöfnu og þéttu millibili eftir línu. Með því að teikna skjálfaritsferlana hlið við hlið fæst jarðsveiflusnið þar sem endurkastsfletir eða lagamót koma fram líkt og í jarðlagasniði. Oft er einungis einn nemi nærri hljóðgjafa, og segja má að einungis einn geisli sem berst niður og endurkastast upp sé skráður. Þess konar mælingar kallast **einrásu endurkastsmælingar**.

Í **margrásu** mælingum eru notaðir margir nemar, sem raðað er á nokkurt fjarlægðabil út frá hljóðgjafa. Öll uppsetningin er svo færð með jöfnu millibili eftir línum. Í þess konar uppsetningu er lengri hluti endurkastsferilsins kannaður (sjá 1. mynd), og þar með eru einnig gleiðir endurkastsgeislar skráðir. Með tölvuvinnslu eru flokkaðir saman vendir af geislum sem endurkastast frá sama stað í jarðlögunum, og þannig myndast hópar sveiflurita eða "rása" fyrir hvern stað á mælilínunni. Á þessum skráningum eru gerðar ákveðnar leiðréttningar, og síðan eru rásirnar sameinaðar eða "stakkaðar" í eitt sveiflurit. Síðan er myndað snið úr þessum niðurstöðum á sama hátt og úr einrásu mælingum.

Á Orkustofnun hefur verið útbúinn mælibúnaður til að gera margrásamælingar, sem hæfa fyrir setlagajykkt á bilinu ca. 20-200 m (sjá 3. mynd). Skráð er merki frá 24 nemum og hljóðgjafi er "loftbyssa", sem knúin er þrýstilofti. Framkvæmd og vinnsla mælinganna er mjög hliðstæð við þá tækni sem notuð er í olíuleitariðnaðinum, en í smærri kvarða. Þessi tækni er tiltölulega tímafrek, sérstaklega vegna tölvuvinnslu gagnanna, og því er verðið um þrefalt hærra en fyrir einrásamælingar.



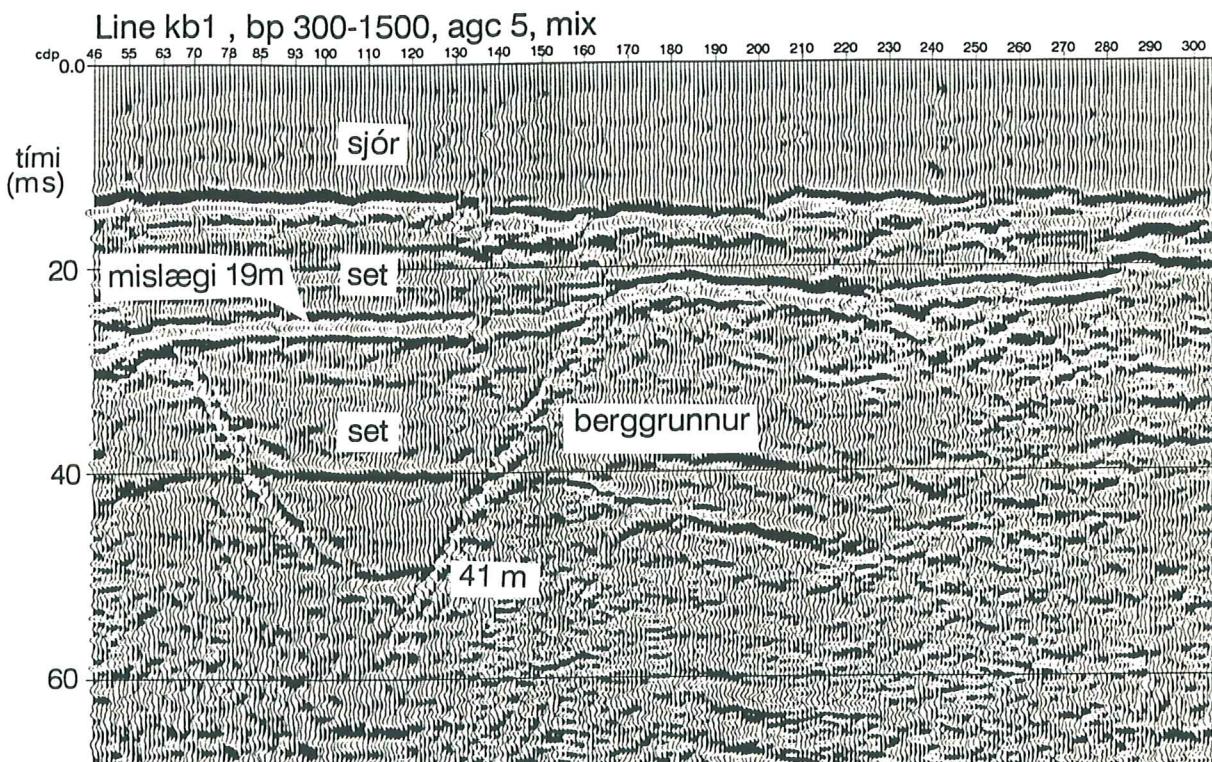
3. mynd. Tækjauppsetning fyrir margrása endurkastsmælingar sem er heppileg til að kanna setlög 20-150 m þykk, líkt og notuð var við rannsókn Hvalfjarðar.

2. ÚTFÆRSLA MÆLINGA VIÐ KÖNNUN HAFNA

- 1) Þar sem set eru þunn, segjum minna en 20 m, er best að nota þær útfærslur á endurkastsmælingum sem gefa mikla upplausn, og iðulega er nægjanlegt að nota einrásu mælingabúnað. Af þessu tagi eru boomer-mælingar sem Kjartan Thors á Hafrannsóknarstofnun hefur stundað. Þær eru tiltölulega fljótgerðar og ódýrar, og krefjast ekki mikillar úrvinnslu.
- 2) Margrása endurkastsmælingar mætti nota við könnun þykkari setlaga, og þar sem jarðlagagerð gerir rannsókn erfíða. Einnig gæti verið til bóta að mæla nokkrar línum á svæðum sem kortlögð eru með boomer, í þeim tilgangi að afla upplýsinga um hljóðhraða í setum, og til að skera úr um hvort klöpp sjáist örugglega. Ekki er að vænta meiri upplausnar í hraðagreiningu en 5-10 m þykk lög.

3) Bylgjubrotsmælingar með botnstreng ætti að gera þar sem fá þarf nákvæmar staðbundnar upplýsingar um setþykkt og dýpi á klöpp; svo og um gerð klappar. Einnig koma þessar mælingar sterklega til greina sem viðbót við endurkastsmælingar, bæði til að staðfesta túlkun endurkastsflata og til að að gefa upplýsingar um hljóðhraða.

Einnig má gera bylgjubrotsmælingar með fljótandi nemastreng, og er það mun fljótlegri aðferð. Ekki er að vænta sömu nákvæmni við staðsetningar, né sömu smáatriðaupplausn í túlkun, eins og fæst með botnstreng. Einkum er erfiðara að fá uppýsingar um hljóðhraðalíkan setlaganna. Einnig takmarkar lengd strengsins það dýptarbil sem kanna má. Þess konar mælingar myndu henta við grófa og ódýra kortlagningu á stærri svæðum.



4. mynd. Dæmi um jarðsveiflusnið úr margrásamælingum með loftbyssu sem merkisgjafa, úr Sundahöfn. Undir efra setlagi, sem mælist með hljóðhraða 1500 m/s sést setfyllt dæld með hljóðhraða 1800 m/s.

3. VANDAMÁL VARÐANDI GAS Í SETLÖGUM

Gas er ekki óalgengt í lífrænum setlögum, og stafar af rotnum. Tiltölulega lítið gas hefur mikil áhrif til að lækka hljóðhraða og auka dempun jarðsveiflubylgjanna. Reynslan í Hvalfirði og í Reykjavíkurhöfn sýnir að gas gerir setlög "ógegnsæ" í endurkastsmælingum, og á það við hljóðmerkisgjafa svo sem sem boomer (hátt tíðnisvið) og einnig litla loftbyssu (meðalhá tíðni). Hugsanlega myndu sterkari merkisgjafar með lengri bylgjulengd sjá í gegn, en hætt er við að bylgjulengd verði óhæfilega löng miðað við þær stærðir sem um er að ræða, og upplausn og tímanákvæmni því óviðunandi. Af þessum sökum er erfitt að benda á aðra betri útfærslu á endurkastsmælingum.

Möguleg lausn felst að líkindum í bylgjubrotsmælingum með botnstreng. Eitt er það, að við þær má nota allstórar hleðslur af sprengiefni, og fá þannig fram sterkt merki. Annað sem hjálpar til, er að brotnu bylgjuna má skrá yfir tiltölulega langar vegalengdir, og því má velja

sprengistað þar sem best hentar. Þannig mætti hugsanlega láta bylgjuna berast undir gasmettaða flekki, og yrði þá dempunin takmörkuð við ferð bylgjunnar upp í gegn um þekjulagið.

Takmarkaðar upplýsingar myndu fást um hljóðhraða í setlögum við þannig mælingar, og er það einkum bagalegt þar sem vænta mætti óvenjulega lágra hraðagilda vegna gasinnihaldsins. Boranir á völdum stöðum myndu þá vera til mikillar hjálpar við kvörðun á dýptarsniðunum.

4. JARÐEÐLISFRÆÐILEGAR AÐFERÐIR Á JEL - YFIRLIT

Hér fylgir upptalning á helstu jarðeðlisfræðiaðferðum sem JEL hefur yfir að ráða. Ekki er hægt að gefa upp ákvæðið verð fyrir þessar aðferðir, og eru það háð aðstæðum og magni í hverju tilviki. Þó er reynt að gefa gróft mat á hlutfallslegum kostnaði aðferðanna.

a) **Jarðsveiflumælingar:**

1. Endurkastsmæling í sjó með 24 rásum og loftbyssu. Þessi aðferð er 3-4 sinnum dýrari en einrásamælingar, og vegna töluverðs startkostnaðar er hún ekki hentug fyrir lítil verkefni.
2. Bylgjubrotsmæling í sjó með botnstreng. Í stórum verkum er þessi aðferð margfalt dýrari á lengdareiningu en endurkastsmæling. Í litlum verkefnum við land er hún hagkvæm og tiltölulega fljótgerð.
3. Bylgjubrotsmæling í sjó með flotstreng. Tiltölulega ódýr fyrir víðáttumikla könnun, en ekki hentug fyrir lítil verkefni á sömu forsendum og í 1).
4. Bylgjubrotsmæling á landi er mun ódýrari en í sjó.

b) **Aðrar aðferðir** sem henta við jarðtæknilega könnun:

- Segulmælingar á sjó eða landi. Þær koma til greina til að kanna gerð bergrunns úr basalti, einkum til að finna bergganga og önnur innskot, brot og stalla. Í mörgum tilfellum má nota segulmælingar til að reikna dýpi á segulmagnaðan berggrunn með allt að 10% nákvæmni.
- Pyngdarmælingar eru sjaldan nothæfar við vinnu í svo smáum kvarða sem jarðtæknirannsóknir, og verða þá að vera ákaflega vandaðar.
- Viðnámsmælingar. Þessar mælingar verða ekki gerðar í sjó, en koma t.d. að gagni við grunnvatnsleit.