



Endurkastsmælingar fyrir Reykjavíkurhöfn,  
1993

**Karl Gunnarsson**

**Greinargerð KG-94-03**

## ENDURKASTSMÆLINGAR FYRIR REYKJAVÍKURHÖFN, 1993

### 1. INNGANGUR

Hér er sagt frá endurkastsmælingum sem gerðar voru fyrir Reykjavíkurhöfn, 6. september 1993. Tilfni þessara mælinga var það að Jarðeðlisfræðideild Orkustofnunar vann þá, ásamt Kjartani Thors frá Hafrannsóknastofnun, við setlagamælingar í Hvalfirði á vegum Spalar h.f. Í því verkefni var þróuð var aðferð til endurkastsmælinga (bergmálmælinga) með skráningu 24 rása, tiltölulega sterkum hljóðgjafa, en nokkuð góðri upplausn. Þessi aðferð er smækkuð útgáfa af mælingum sem notaðar eru við setlagarannsókir fyrir olíuleit, og tekur ein-rása mælingum fram þar sem jarðlög eru erfið til könnunar. Frekar er sagt frá ýmsum jarðsveifluaðferðum í sérstöku fylgiriti, og í hvaða tilvikum þær eiga við (greinargerð Orkustofnunar, KG-2/94).

Samband var haft við Jón Þorvaldsson verkfræðing hjá Reykjavíkurhöfn, og honum boðið að nýta sér tækifærið, ef nokkur svæði biðu könnunar, þar sem vitað væri um erfiðar aðstæður. Úr varð að velja þrjú svæði:

1. Við Norðurgarð í Reykjavíkurhöfn, vegna fyrirhugaðrar dýpkunar. Tvær samsíða mælinur með 10 m millibili.
2. Við Kleppsbakka í Sundahöfn, vegna fyrirhugaðrar dýpkunar. Ein lína, einkum til að kanna hvernig aðferðin reynist á svæðinu.
3. Kortlagning í Eiðsvík, vegna fyrirhugaðrar hafnaraðstöðu sunnan í Geldinganesi. Fimm línur.

Þar sem tilgangur verksins var fyrst og fremst að reyna nýja mæliaðferð, eru gögn einkum sýnd hér á frumformi, sem jarðsveiflusnið ásamt grófri túlkun. Það sem lesa má af sniðunum er fyrst og fremst setlagþykkt. Tímakvarða sniðanna má umreikna í dýptarkvarða samkvæmt stuðlum í texta. Varað skal við að lesa sjávardýpi af sniðunum, þar sem 0-stilling er hliðruð vegna sjávarfalla og tækjastillinga.

Svo sem fram kemur í niðurstöðum, reyndist þessi aðferð ekki nægjanlega öflug til að sjá alls staðar niður í gegnum setlög á þessum svæðum, og að líkindum veldur því rotnunargas í setinu. Þetta bendir til þess að almennt sé mjög erfitt að beita jarðsveiflumælingum (seismískum mælingum) á þessum svæðum, og það krefjist sérstakra tilrauna. Þá má geta þess að sú tækja-uppsetning sem notuð var er öflugust fyrir 20-150 m dýptarbil, en viðfangsefnin reyndust flest vera á minna dýpi en 20 m.

### 2. MÆLITÆKNI OG ÚRVINNSLA

#### 2.1 Helstu atriði um staðsetningar og viðmiðanir

Hnit eru gefin í rétthyrndu hnitakerfi Reykjavíkurborgar, (x,y), þar sem x er vaxandi til vesturs en y til norðurs, og einingar eru metrar. Raunveruleg nákvæmni staðsetninga er að líkindum oftast á bilinu 5-10 m. Á stuttum tímabilum gæti hún verið nokkuð verri vegna skyndilegra hliðrana í kerfinu. Þessi atvik eru þó að líkindum fá eða engin á mælinúnunum. Óvissa í bili milli nálægra mælipunkta á línu er mun minni, og eftir útjöfnun á skekkjum oftast minni en einn metri. Í frumgögnum fylgir tími staðsetningum (GMT) og er óvissa sekúnda eða minna.

Upplýsingar um strandlínu eru teknar af korti í kvarða 1:10.000 frá Skipulagi Ríkisins og Borgarskipulagi (1979; endurskoðað 1990), nema að kort í kvarða 1:5.000 er notað fyrir gömlu höfnina (Norðurgarð). Dýptartölur eru miðaðar við núllpunkt Sjómælinga Íslands (um 1,8 m undir viðmiðun Reykjavíkurborgar). Það skal þó haft í huga fram að sjávardýpi sem tekið er af endurkastssniðum er ekki nákvæmt.

Til staðsetninga var notað GPS-staðsetningatæki af gerðinni Trimble NavTrac. Tækið er með innbyggðri móttöku á mismunaleiðréttingu, sem felst í því að það tekur á móti upplýsingum frá viðmiðunarstöð, og þessar upplýsingar eru notaðar til að leiðrétta samstundis truflanir GPS-kerfisins. Viðmiðunarstöðin er starfrækt af Póst- og símamálstofnun, og er á Reykjanesi. Þessar leiðréttingar gera staðsetningarnar verulega nákvæmari en venjulegar GPS-mælingar.

Orkustofnun hefur ekki fyrr notað GPS-tæknina við nákvæmar endurkastsmælingar. Kanna þurfti því sérstaklega gæði þessarar aðferðar, og þróa úrvinnsluaðferðir. Aðferðin reyndist nothæf, en þó ekki eins hentug og Microfix-kerfið, sem annars hefur verið notað. Ekki var mögulegt að skjóta sjálfkrafa með föstu fjarlægðarbili, og var skotið "á tíma". Afstæð skekkja milli staðsetningapunkta, sem voru með um 5 m millibili, var löngum um 1-2 metrar. Þessi nákvæmni er sjálfsagt að hluta til að þakka útjöfnunarreikningum ("Kalmansíu") í móttöku-tækinu. Aftur á móti kom stundum fyrir að staðsetningin hliðraðist skyndilega um 5-10 m, og allt að nokkrum tugum metra. Þessi stökk virðast jafna sig, eða færast til baka, en þó er það allóljóst hvenær mæling er rétt eða hliðruð. vegna þessa verður að ætla að staðsetning sé að jafnaði óviss upp á 5 eða 10 m. Skekkja af þessari stærðargráðu kom í ljós í staðsetningamælingu við bryggjuhorn í gömlu höfninni, borið saman við hnit af korti í kvarða 1:5000.

## 2.2 Vinnsla staðsetningagagna

Eftirfarandi útlitun á tæknilegri framkvæmd staðsetningareikninga er næsta óljós og ekki nauðsynleg til skilnings á niðurstöðum. Hún er hér færð fremur sem minnislisti mælingamanns en upplýsingar fyrir verkkaupa.

Staðsetningagildi voru send með 5,3 s millibili frá GPS-tækinu, og skráð með PC-tölvu. Hver færsla er á forminu:

GPGLL,6409.061,N,02150.869,W,171807,A\*3D

Þar sem tölurnar gefa breidd og lengd í gráðum og mínútum ásamt tíma í klst., mín. og heilum sekúndum. Hin landfræðilegu hnit sem tækin skráðu eru miðuð við viðmiðunina "WGS 84", en í vinnslu voru þau umreiknuð í Hjörseyjar-viðmiðun (ákveðin hliðrun) og síðan í réttthyrnt hnitakerfi Reykjavíkurborgar með forritum Orkustofnunar (Gunnar Þorbergsson).

Staðsetningar voru útjafnaðar með hlaupandi meðaltali eftir mælingunum, og eykur það afstæða nákvæmni. Þessi aðferð réttlætist af því að hraði báts og bil milli aflestra voru mjög jöfn, og því má gera ráð fyrir hægum breytingum á fjarlægðarbilum. Tímanákvæmni var einnig aukin á hliðstæðan hátt með útjöfnun.

Í sömu tölvuskrá voru færðar dýptarmælingar (sjávardýpi) frá Furno hátíðni dýptarmæli með 2 s millibili, og því eru oftast eru 2 eða 3 dýptarfærslur milli tveggja staðsetninga-skráninga. Hver færsla gefur eingöngu dýpið (bæði faðmar, metrar og fet):

SDDBT,0029.2,f,0008.9,M,004.9,F

### a) Staðsetningar endurkastsmælinga:

Þrjú sett af upplýsingum voru færð í mælingu, og eru þau notuð til að reikna staðsetningu fyrir endurkastsmælingarnar. Þessi aðferð er heldur óhöndugleg og verður að teljast bráðabirgðalausn. Mæligögnin eru:

1. Fyrirnefnd staðsetningaskrá, tölvuskráð, sem gefur staðsetningu sem fall af tíma með rúmlega 5 s millibili.
2. Jafnframt þessu var önnur tölvuskrá færð með viðburðarnúmeri (sívaxandi númeraröð) og tíma fyrir hvert skot í endurkastmælingunni. Þessi runa kemur frá Microfix-tækinu sem virkar í þessari tækjauppsetningu einungis sem afhleypitæki (klukkupúls) fyrir seismíska tækið. Klukka Míkrófix-tækis var stillt saman við tímagildi í staðsetningaskrá upp á 1-2 s nákvæmni.
3. Í þriðja lagi var færð mælingabók, þar sem færð voru tengsl viðburðanúmers og skráarnúmers mælitækisins. Skráarnúmer (field record no.) er númer sem sett er sjálfkrafa á upptöku hvers skots. Þessi tvenns konar númer vaxa bæði um einn við hvert skot, nema ef skot hleypur ekki af. Þá eykst viðburðarnúmerið eingöngu.

Með þessum upplýsingum má með (3) tengja skráningarnúmer við viðburðarnúmer, sem tengist með (2) við tíma, og síðan má tengja þann tíma staðsetningu með (1). Niður- staðan er því staðsetning fyrir hvert skot í mælingunni, þ.e. hvert skráningarnúmer ("fldr").

Lokaáfangi felst í því að reikna cdp-númer. Fyrst er reiknuð uppsöfnuð lengd eftir línu í metr- um, og er núll-stilling er valin af handahófi nærri byrjun línu. Skráningarnúmer (fldr) hafa því fjarlægðargildi, og samkvæmt þeim eru cdp-númer reiknuð með því að deila í fjarlægðargildi endurkastspunkts með 1,6. Þannig flokkast endurkastssporin í cdp-hópa með 1,6 m millibili, og samsvarar það 6-földum gögnum. Þessir cdp-punktur eru síðan merktir og númeraðir á korti, og eru cdp-gildin gefin á sniðunum sem "fjarlægðarás".

#### b) Staðsetningar dýptarmælinga:

Staðsetning er brúuð á skrásetningar frá dýptarmæli, en eins og áður segir eru þær inn á milli staðsetningaskráninga í tölvuskránni. Þar sem ekki er nákvæmur tími á hverri mælingu, og óvissa allt að 2 s, er nákvæmnin bætt með jöfnun tímabila með hlaupandi meðaltali yfir ein 40 gildi. Svipuð jöfnun er einnig gerð á tímagildi staðsetningafærslna. Tímaskekkja ætti að vera óveruleg eftir þetta, og leiðir til þess að reikniskekkja við brúun á staðsetningagildunum er vel innan við einn metra. Úr þessum reikningum fæst runa dýptarmælinga með staðsetningum (og tíma).

### 2.3 Mæling á sjávardýpi

Sérstakar dýptarmælingar frá dýptarmæli voru skráðar sjálfvirkt í mælingu með 2 s millibili, eins og greint var frá í fyrri kafla um staðsetningar. Þetta samsvarar rúmlega 2 m millibili. Einungis frumvinnsla var gerð á þessum mælingum, svo sem þurfa þótti til samanburðar við jarðsveiflumælingar. Þessar mælingar voru ekki færðar inn á kort, enda var ekki um það beðið, og gert er ráð fyrir að slíkar upplýsingar liggi þegar fyrir.

Mælir er af Furno-gerð. Botnstykki mælis er 3 m aftan við staðsetningalofnet, 0,35 m undir sjávarmáli. Mælirinn les bergmál frá botni á sjálfvirkan hátt og breytir í dýpi samkvæmt kvörðun framleiðanda. Mæligildin eru skráð tölraent í tölvu, ásamt staðsetningum.

Dýptarmæling er leiðrétt svo hún gefi rétt dýpi miðað við viðmiðunarhæð Sjósmælinga Íslands (sem er 1.84 m undir viðmiðun kerfis Reykjavíkurborgar). Dýpi frá dýptarmæli er kvarðað og leiðrétt fyrir dýpi mælitækis, og síðan er sjávarfallahæð dregin frá, lesin af línuritum Sjósmælinganna. Eftirfarandi jafna lýsir leiðréttingunni:

$$D = D_m \cdot C + d_{mætir} - h_s(t) \quad ,$$

þar sem:

- D er leiðrétt dýpi,  
 $D_m$  er mælt dýpi, hrátt mæligildi úr skráningu,  
 C er kvörðunarstuðull (1,011) fundinn með lóðningu,  
 $d_{mælt}$  er dýpi botnstykkis dýptarmælis (0,35 m), og  
 $h_s(t)$  er breytileg sjávarhæð með tíma vegna sjávarfalla í Reykjavíkurhöfn.

## 2.4 Framkvæmd endurkastsmælinganna

Notaður var mælingabáturinn Bláskel, undir stjórn Kjartans Thors. Mælingamenn voru Einar Kjartansson og Karl Gunnarsson, Orkustofnun. Mælingarnar voru skráðar á 24-rása jarðsveifluskráningartæki ES-2401 frá fyrirtækinu EG&G Geometrics. Format gagna er SEG-2. Hlerunarstrengurinn er 24 nema (P-44 hýdrófónar) bylgjubrots-strengur frá "Mark Products". Hann var lagaður að endurkastsmælingum með því að hengja við hann flot-tóg svo nemarnir voru á 1 m dýpi, og með 3,33 m millibili.

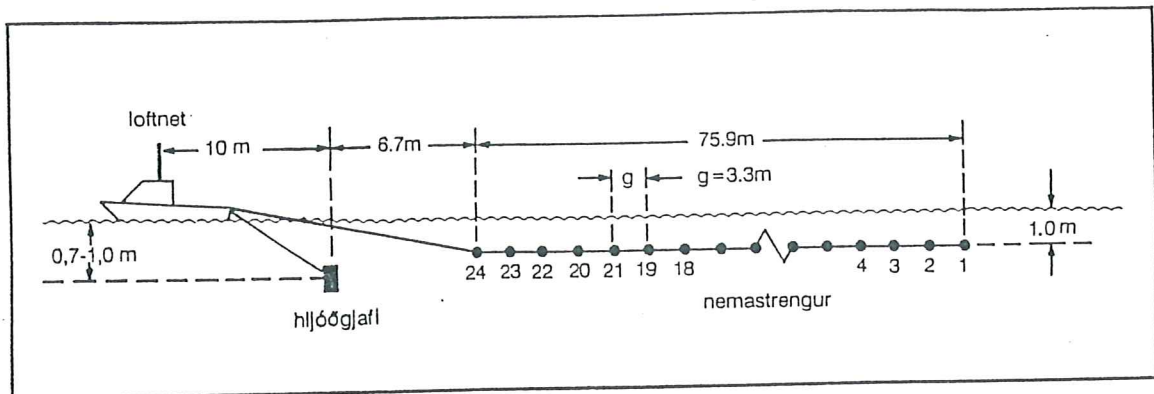
Hljóðgjafi var loftbyss, sem gefur frá sér skarpan hvell þegar háþrýstilofti er hleypt út í sjóinn. Hún var af gerðinni Bolt 600B, 10 rúmtomma að stærð, og dregin á 0,8 m dýpi. Byssan vann við 120 bara þrýsting og fékk háþrýstiloft frá 50 l kút sem hlaðinn var á siglingu með kafaraloftpressu.

Hljóðmerkið hefur mest afl á sviðinu 100-1000 Hz, en er verulegt upp í 2000 Hz. Bólupúls fylgir um 45 ms á eftir fyrsta púlsi, en það er aukasmellur sem fylgir þeim fyrsta vegna útþenslu og samdráttar loftbólunnar í vatninu.

Búnaðinum er komið fyrir í skipinu eins og sýnt er í 1. mynd. Loftbyssan er dregin næst skipinu, en þar á eftir er strengurinn, rúmlega 82 m langur. Fremsti neminn er 6,6 m frá loftbyssunni. Siglingarhraði er um 1 m/s (um 2 hnútar). Skotið var á um 5,3 s fresti, og reynt að stilla hraðan svo að skotbil væri nærri 6.7 m. Það reynist þó heldur minna, en fullt tillit er tekið til þessa í vinnslunni þegar flokkað var í cdp-hópa. Úpptöku fyrir hvert skot var hleypt af með sérstökum nema 40 cm frá byssunni. Fyrir hverja af 24 rásum eru skráð 1024 gildi með 0,2 ms (millisekúndur) bili, þ.e. hljóðmerkin eru tekin upp í 205 ms.

Tafla 1. Helstu stærðir í margrásamælingunni.

Hljóðgjafi	Air gun, Bolt 600B 10 cu.in., 120 bars
Fjarlægð frá staðsetninga-loftneti til hljóðgjafa	10 m
Mælitæki	EG&G Geometrics ES-2401 24 rásir
Nemastrengur	Mark products, 24 rásir P-44 hýdrófónar
Nemabil	3.3 m
Nemadýpi	1 m
Næsti nemi	6.7 m
Háhleypin sía	25 Hz
Bil milli skotpunkta	ca. 5-7 m
Margfeldi stakks	ca. 6-falt



Mynd 1. Fyrirkomulag mælitækja við endurkastsmælingarnar.

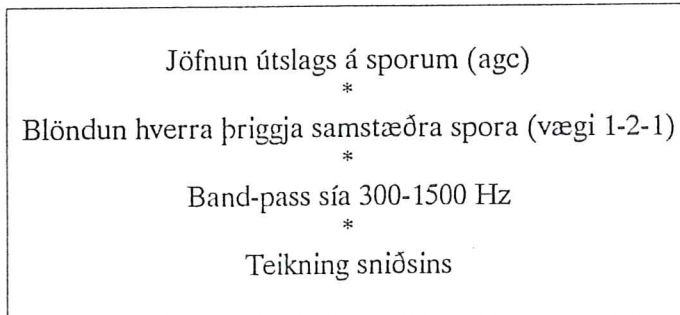
## 2.5 Tölvuvinnsla endurkastsmælinga

Tölvuvinnsla þessara mælinga er sambærileg við þær aðferðir sem notaðar eru í olíuleitar-tækni. Helsta atriðið í henni er að leggja saman eða "stakka" skráningar margra geisla sem kastast frá sama stað í jaðlögnum, en með mismunandi að- og fráfallshorni.

Tafla 2. Vinnslulína margrásá-endurkastsmælinga á undan stökkun.

Breyta formati úr SEG-2 í SEG-Y
*
Setja geómetríu í hausa SEG-Y formattsins
*
Flokka í CDP-hópa (1.6 m bil á milli CDP-punkta)
*
Færa hrágögn á SEG-Y formati á segulband til varðveislu
*
"Deconvolution" prófuð en reyndist ekki til bóta
*
Könnun á hljóðhraða í setlögum með stökkun með föstum hraða
*
"Normal move-out" leiðrétting (háð hljóðhraða í setlögum)
*
Útslag jafnað á sporum með tímaglugga
*
Skorið framan af sporum í CDP-hópum eftir fjarlægð
*
Mismunandi vægi á spor í CDP-hópum eftir fjarlægð
*
Kannað í völdum CDP-hópum hvort hraði sé réttur
*
Stökkun; um 6-föld

**Tafla 3.** Vinnslulína margrása-endurkastsmælinga á eftir stökkun.



Töflur 2 og 3 sýna vinnslurunu fyrir og eftir stökkun. Hver hópur skráðra spora, cdp-hópur, er leiðréttur fyrir áhrifum geómetríu (með tilliti til hljóðhraða), og lagður saman til að mynda eitt spor. Niðurstaðan er því hliðstæð við venjulega "lóðréttu" bermálsmælingu, en tölvuvinnslan á að stuðla að því að styrkja merkið og deyfja ýmsar truflanir. Í þessari rannsókn kom í ljós að viðfangsefnið liggja mjög grunnt, og að hljóðhraðinn er nær því sá sami niður í gegn um vatnslag og setlög. Af þessum sökum nýtast eiginleikar aðferðarinnar ekki að fullnustu, þar sem t.d. margfalt bergmál innan vatnslagsins dofna ekki við stökkun "veginna" spora.

Upplýsingar um reikninga á cdp-númerum eru í kaflanum um staðsetningar. Vegna nokkurrar óreglu í fjarlægðarbilum milli skota (skotið var á föstum tímamun en ekki fjarlægðarmun), voru cdp-staðsetningar reiknaðar með 1,6 m bili eftir línu, og því getur fjöldi spora í hverjum cdp-hóp verið eilítið mismunandi.

Hraðagreiningar voru einkum gerðar með prufustökkum með föstum hraðagildum, og með því að skoða sýnishorn af cdp-hópum, þar sem fjórum samliggjandi var slegið saman úr þeim.

Skerpingar-"decon" var ekki notaður og virtist ekki hjálpa til, og óþarfi var að reyna að deyfja bólupúlsinn með deconvolution. Blöndun hverra þriggja samstæðra rása með vægi 1-2-1 er til þess að sía út suð í rúmvídd. Þar sem endurköst voru yfirleitt ekki dýpri en á 20-30 ms dýpi, mest 50 ms, er hér ekki sýnt dýpra á sniðinu en þurfa þykir.

### 3. ÁHRIF GASS Í SETLÖGUM Á JARÐSVEIFLUMÆLINGAR

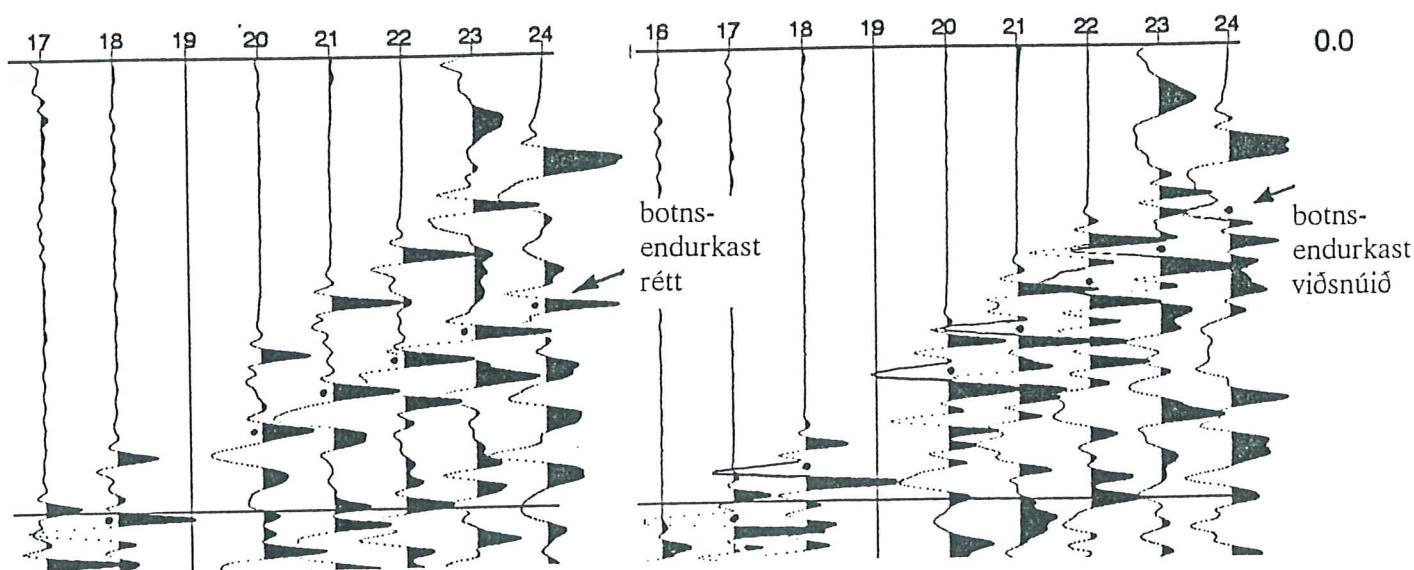
Í ljós kemur að aðstæður eru slæmar fyrir mæliaðferðina víða á svæðinu, bæði í gömlu höfninni og í Eiðsvík, vegna einkennilegra jarðlaga. Líklegast er að setlögin á botninum innihaldi gas, sem hindrar að jarðsveiflan (hljóðmerkið) berist niður. Þetta á reyndar ekki að koma á óvart, því Kjartan Thors hefur fyrr orðið var við slík fyrirbæri á þessum og öðrum svæðum. Þessi mælisvæði voru reyndar að hluta til tekin nú fyrir einmitt vegna þessara vandkvæða. Að líkindum stafar gasið af rotnun á lífrænum leifum í botnleðjunni. Áhrif gassins má sjá af eftirfarandi einkennum í mælingum okkar:

- Mjög sterkt endurkast fæst frá sjávarbotni eða af lagamótum grunnt undir botni (þó allt að 3 m undir botni). Endurkast þetta er með öfugri skautun (pólariteti) miðað við venjulegt endurkast, og sýnir að um neikvæðan endurkasts-stuðul er að ræða. Af þessu má draga þá ályktun að hljóðhraðinn sé mun lægri í laginu undir. Þetta er einnig stutt því, að ekki er að sjá brotna bylgju (head wave) úr setlaginu, sem útilokar að sterkt endurkast sé vegna verulega aukins hljóðhraða. Því má ætla að hljóðhraði í setinu, eða e.t.v. þunnum lögum innan þess, sé minni en vatnshraðinn 1500 m/s, og líklegast er að það stafi af rotnunargasi.
- Á slíkum gas-svæðum er endurkast frá berggrunni afar veikt og oftast ósýnilegt, sem sýnir að lítil orka kemst niður um setlagið. Það gæti stafað af því að megnið af orkunni endur-

kastist frá sjávarbotni, en þó einkum vegna deyfingar bylgjunnar í gasmettuðum jarðlögum.

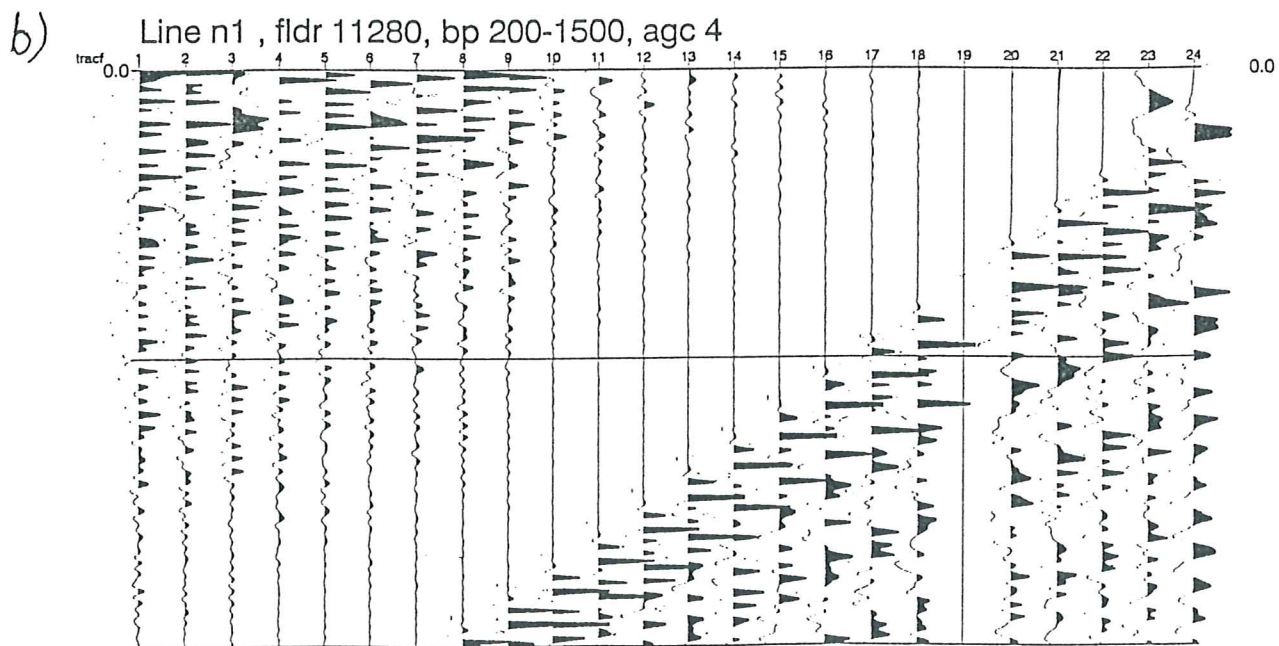
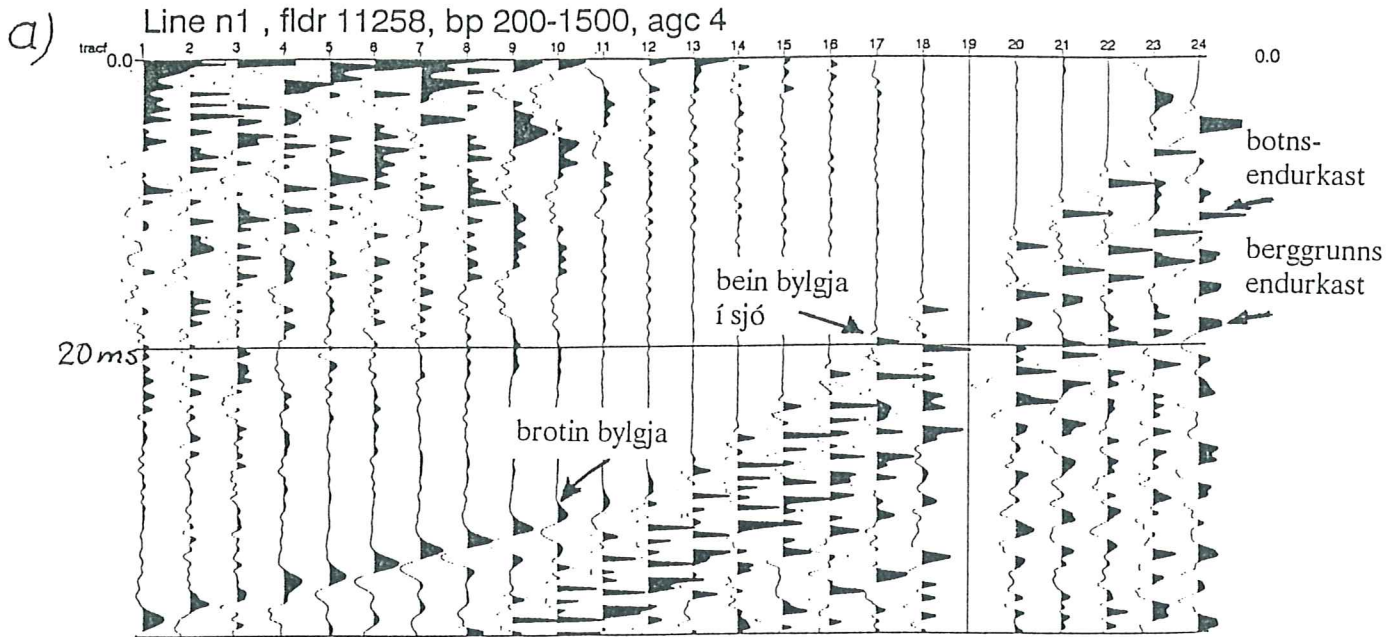
- Brotin bylgja frá berggrunni sést ekki heldur þar sem endurkastið vantar. Þó er áberandi að stundum kemur hún skyndilega fram á endilöngum strengnum, og virðist þá nægja að hljóðgjafinn sé yfir "glugga" í setlögnum þar sem gas er minna og hljóðbylgjan sleppur niður.

Hér verða tekin til dæmi um gögn sem eru spillt af gasi. Á mynd 3a er sveiflurit með skráningu á einu góðu skoti í Reykjavíkurhöfn þar sem upplýsingar fást um berggrunn, og ekki er veruleg truflun af gasi. Auk þess að sjá má beina bylgju í vatnslaginu, endurkast frá botni þess (þ.e. frá sjávarbotni), og tvöfalt endurkast innan vatnslagsins, má einnig greina brotna bylgju frá berggrunni, og vott af berggrunnsendurkasti. Til samanburðar er annað skot er sýnt á mynd 3b, þar sem hvorki má sjá brotna bylgju né endurkast frá berggrunni. Stækkaðir bútar úr þessum skráningum eru sýndir á 2. mynd. Nákvæm skoðun á þessum myndum sýnir að endurkastið frá sjávarbotni er með öfugu pólariteti í fldr:11242. Þetta er óvenjulegt fyrirbæri, og táknar að endurkastsstuðull sé neikvæður, sem aftur hlýtur að tákna að hljóðhraði sé lægri í setlögnum undir botninum en í vatninu. Einnig sést að botninn er sterkur endurkastsflötur. Líklegasta skýringin á þessu er að setið innihaldi gas sem lækkar hljóðbylgjuhraða, en ekki er nauðsynlegt að gasið sé í miklu magni til að svo verði.



Mynd 2. Smáatriði úr sveifluritum á mynd 3. Sjá má neikvætt útslag, hvítan topp, í upphafi hafsbotsendurkasts til hægri (fldr:11280). Það táknar neikvæðan endurvarpsstuðul, líklega vegna þess að hljóðhraði sé lægri í setlögnum en í sjónum vegna gass.





Mynd 3. Sveifflurit með skráningum á tveimur "skotum" úr Reykjavíkurhöfn. a) fldr:11258 sýnir stað þar sem sem orka kemst niður í jörðina. Brotin bylgja og endurkast frá berggrunni eru sjáanleg. b) fldr:11280 sýnir enga bylgjur frá berggrunni vegna dempunar af gasi.

#### 4. EIÐSVÍK

Skýrsla liggur fyrir frá Kjartans Thors o.fl. (1993) um einrásu mælingar ("búmmar") í víkinni árið 1992. Helstu drættir í jarðlagagerð á svæðinu eru þannig, að undir Eiðsvík er dalur í berggrunn, hálfylltur setlögum. Þau þykkna eftir því sem utar dregur. Samkvæmt texta skýrslunnar er berggrunnur á allt að 80 m dýpi í sundinu milli Geldingarness og Viðeyjar, en kortið (2.mynd í skýrslu þeirra) sýnir þar 45 m dýpi. Setlögin skiptast í tvo hluta með endurkastsfleti, líklegu mislægi, sem er á 18-25 m dýpi. Neðra lagið er samfelld utan við víkurmynnið, en slitróttara inni á víkinni. Efra lagið breiðist yfir alla víkina. Berggrunnur stendur upp úr á ströndinni; móberg er í Gufunesi, en grágrýtishraun í Geldinganesi og líklega er móbergið grunnt þar undir. Því er líklegast að móbergið myndi berggrunn undir víkinni.

Á kortum í fyrrnefndri skýrslu er sýndur víðáttumikill flekkur, þar sem ekki sést niður í gegn um setlögin. Þetta er talið stafa af gasi í setlögnum. Niðurstöður mælinga okkar, sem hér eru kynntar, eru mjög á sama veg. Ljóst er að tækjabúnaður okkar til endurkastmælinga nær ekki að sjá niður í gegnum þessi erfiðu setlög. Eins og áður sést í klöpp innst og syðst í víkinni. Þar utan og norðan, nær alveg að stönd Geldingarness er fullkomlega ógegnsæ "gashella" í setlögnum. Jaðar þessa svæðis er skýr, og þar er eins og sé skyndilega skorið á dýpri endurköst. Á 4. mynd eru mörk þessa gassvæðis sýnd, bæði samkvæmt niðurstöðum Hafrannsóknarstofnunar og úr mælingum okkar, og ber þeim mjög þokkalega saman. Gaslagið virðist ekki koma alveg upp í hafsbótinn, heldur er áberandi sem endurkast með viðsnúinni skautun, víðast hvar á 2-3 m dýpi undir sjávarbotni.

Á þeim köflum þar sem endurköst fást frá klöpp, má út frá gleiðhornsendurkasti mæla meðalhraða hljóðsins í setlögnum. Hann virðist vera einungis lítilega hærrí en hraðinn í vatni, eða um 1560 m/s. Þess má geta að dýptarmat í skýrslu Hafrannsóknarstofnunar er miðað við að hljóðhraði vatns gildi fyrir setlögin, um um 1500 m/s eða rétt tæplega það. Þessi hærrí hraði leiðir til þess að auka má setlagabykkt um 5%, sem reyndar er óverulegt undir þessum kringumstæðum.

Á kortinu (4. mynd) eru sýndar þær 5 línur sem mældar voru, og eru cdp-staðir númeraðir. Sama cdp-runu er merkt á sniðin á 5. mynd. Einnig er fært inn á kortið dýpi á berggrunn og setlagabykkt á þeim línubútum þar sem slíkt greinist. Til samræmis við niðurstöður Kjartans Thors og féлага er gert ráð fyrir vatnshraða í setlögum við útreikning á þykkt. Samanburður á dýpi á berggrunn úr þessari mælingu og korti Hafró sýnir samræmi upp á metra. Endurskasts-sniðin og túlkun þeirra eru sýnd á myndum 5a)-5e).

Þó ekkert öruggt endurkast sjáist á línu E2, er rétt að geta þess að mjög daufur "skuggi" kemur fram á suðurenda línunnar. Hugsanlega má þar sjá í berggrunn sem er á um 35 m dýpi á syðri enda línunnar, og dýpki til norðurs í 45 m við cdp-nr. 170. Þetta er mjög óljóst, en með framhengingu á korti Kjartans o.fl. virðast þessi gildi geta verið nærri lagi.

Nokkrar upplýsingar má lesa úr brotnu bylgjunni frá berggrunni, en einungis í gegnsæu "gluggunum" í setinu. Þar má meta hljóðhraða í berggrunni, þó ekki verði það nákvæmt með þessari tækjauppsetningu. Mælingarnar eru ekki "viðsnúnar", en sýndarhraði hefur verið leiðréttur með því að meta halla á klöppinni. Það kemur nokkuð á óvart að hraðinn virðist vera töluvert hár, því eins og fyrr segir mætti ætla að móberg sé undir. Innst á línu E1 er hraðinn um 4900 m/s, en fer á öðrum línunum niður undir 4000 m/s, og jafnvel niður í 3500 m/s á köflum. Þess er að gæta að áhrifa megineldstöðvar gætir á þessu svæði. T.d. gæti verið töluvert af basaltinnskotum í móberginu, þó jarðfræðikortlagning á landi bendi ekki til að svo sé á þessum slóðum (samkvæmt Helga Torfasyni).

## 5. NORÐURGARÐUR

Í gömlu Reykjavíkurhöfn voru mældar tvær samsíða línur með um 10 m millibili inn með Norðurgarði og bryggjunni inn af honum (sjá kort á 6. mynd). Lengri línan (N1) nær frá hafnarmynninu innanverðu og inn í skotið. Báðar línurnar voru sigldar í sömu stefnu.

Staðsetningar eru þokkalegar og líklega nákvæmar upp á 5 m. Hér er stuðst við mat á fjarlægð frá bryggjum, og GPS mælingu við bryggju. Staðsetningarnar voru bornar saman við hnit af korti Reykjavíkurborgar í kvarða 1:5000. Um 7 m hliðrunarstökk í staðsetningu kom fram í ytri hluta línu N2, en það var leiðrétt með áætlaðri hliðrun.

### 5.1 Endurkastsmæling

Í ljós kemur að aðstæður eru slæmar fyrir mæliaðferðina á þessu svæði, vegna gasinnihalds setlaga, sem hindrar að hljóðorkan berist niður. Þetta á reyndar ekki að koma á óvart, því Kjartan Thors hefur fyrr orðið var við slík fyrirbæri í höfninni. Að líkindum stafar gasið af rotnun á lífrænum leifum í botnleðjunni.

Sjá má í berggrunn á tveimur köflum á línu N1 (sjá snið á 7. mynd, ásamt korti). Annar er út við hafnarmynnið (cdp 45-145), þar sem setþykktin eykst inn eftir frá 3.0 í 5.5 m (þetta samsvarar því að dýpi á berggrunn aukist frá 9.7 m upp í 11.2 m, en gera má ráð fyrir 0.5 m óvissu). Hinn búturinn er innst í í króknum (innan við cdp 355), þar sem setþykkt er sáralítill, mest 1-2 m. Breyta má millisekúndum á sniði í dýpi með því að margfalda með 0,75. Lína N2 sýnir mjög svipaðar niðurstöður. Setið er mjög þunnt innst, en fer að þykkna utan við cdp 225, sem er um 100 m utan við botninn.

### 5.2 Dýptarupplýsingar úr brotinni bylgju

Brotin bylgja frá berggrunni (klöpp) sést á nokkurn vegin sömu línubútum og þar sem endurkastið kemur fram. Bylgjan er þannig drepin niður á sama hátt af gasinnihaldi setlaganna. Þetta kemur m.a. fram á þann hátt, að bylgjan birtist skyndilega á nær endilöngum kaplinum þegar hljóðgjafinn fer inn á "glugga" í setlögunum þar sem gas er minna og hljóðbylgjan sleppur niður. Þetta bendir til þess að meiri líkur séu á að sjá þannig bylgju ef skotstaður er á gasfríu svæði, og mætti notfæra sér það við rannsóknir við slíkar kringumstæður (sjá k. 7).

Reiknað var dýpi á berggrunn út frá þessari bylgju, þannig að gert er ráð fyrir að setlögin hafi sama hljóðhraða og sjórinn, 1485 m/s (þ.e. 1,485 m/ms). Gera verður ráð fyrir óvissu af stærðargráðu +/- 1 m. Hljóðhraði í berggrunni mældist á bilinu 3600-3900 m/s, og ætla má að um grágrýtishraunlög sé að ræða.

**Lína N1:** Annar búturinn nær frá hafnarmynninu og um 50 m inn fyrir vita á enda Norðurgarðs, en þar er siglingalínan um 40 m frá garðinum. (Bylgjan sést í skrá m fldr:11244-11260; samsv. cdp 71-150. Hafa verður í huga að stengurinn nær svo 80 m aftur eftir línunni, og mælingin gefur útjafnað gildi fyrir það bil). Setlagþykkt er um 3 m í hafnarmynninu og eykst í um 6 m innar, í góðu samræmi við endurkastsmælinguna.

Hinn búturinn er innst eða norðvestast á línunni, fldr:11321-11325 (samsv. cdp 373-387). Þessi skot gefa upplýsingar um setþykkt á kafla sem nær 30-100 m út frá innsta krók við bryggjuna. Þar virðast setþykktin vera á bilinu frá um 2 m og þynnast inn eftir í svo til ekki neitt. Þessi þykkt er svo lítil og svipuð upplausn aðferðarinnar, að segja má að niðurstaðan sé sú að að setlög eru þunn eða engin.

**Lína N2:** Línan náði ekki eins langt til suðausturs og N1, og á henni sést ekki ytri glugginn. Innri glugginn sést (fldr:11377-11380), sem er hliðstæður við innri bít á línu N1, og setþykkt er þar álíka mikil, 1-2 m, og þynnast inn eftir.

## 6. KLEPPSBAKKI

Ein lína var tekin inn með Kleppsbakka, 510 m löng (sjá kort á 8. mynd). Í siglingu var áætlað að hún lægi 10-20 m utan við skipin sem lágu við bakkann. Samkvæmt GPS-staðsetningum liggur hún 25-30 m frá bakkanum. Hliðrunarstökk upp á um 7 m kemur fram í staðsetningum í miðri línu, og var það leiðrétt með áætlaðri hliðrun. Þó hlýtur maður að ætla óvissuna vera af þeirri stærðargráðu.

Þessi endurkastsgögn eru góð, og ótrufluð af gasi. Á sniðinu (mynd 9) virðast koma fram tvær setlagasyrpur ofan á berggrunni. Neðri syrpan er takmörkuð við um 150 m breiða dæld í berggrunninn, og liggur hún utan við enda viðlegubakkans. Áberandi endurkastsflötur skilur að þessa syrpu og efri setlögin. Þessi flötur er svo til í beinu framhaldi af því sem virðist vera berggrunnsendurkast innar á sniðinu. Líklega er hér um rofflöt og mislægi að ræða. Efri setlögin liggja svo ofan á þessum fleti og þynnast inn með bakkanum. Hugsanlega er þunnt skæni af neðri syrpu til staðar á kafla fyrir miðjum bakkanum.

Vinnsla endurkastsmælinganna sýnir að hljóðhraðinn í setunum ofan við flötinn er um 1500 m/s, en að meðaltali um 1800 m/s undir fletinum. Það er eðlilegt að túlka neðra lagið sem harðnað ísaldarset, en efra lagið sem línara nútímaset. samkvæmt þessum mældu hljóðhröðum má reikna þykktir. Umreikna má setþykkt úr millisekúndum í metra með stuðlinum 0,75 fyrir efra setlagið, samsvarandi hljóðhraða 1,5 m/ms, en 0,9 fyrir það neðra, samsvarandi 1,8 m/ms. Í miðri dældinni á ytri hluta sniðsins skiptist setlagastaflinn í 9 m (12 ms) efra lag, og allt að 25 m (22 ms) þykkt neðra lag; alls er þykktin um 31 m. Með bakkanum er berggrunnur tiltölulega grunnur, og einungis efra setlagið er til staðar. Utarlega er það 5-7 m (7-9 ms) þykkt, en innar virðist grynna á berggrunn, og er setið mjög þunnt þar.

Hvergi bólar á brotinni bylgju frá berggrunni í jarðsveifluskráningunni. Það er nokkuð ein-kennilegt, því ætla mátti að slík bylgja ætti a.m.k. að sjást innst þar sem grunnt virðist á berggrunn. Það er varasamt að fullyrða nokkuð út frá þessu fyrirbæri, en sú spurning hlýtur að vakna hvort öruggt sé að það sterka endurkast sem við teljum vera frá berggrunni sé í raun gegnheil klöpp. Til greina kemur að einungis þunnt hraunlag sé til staðar, eða að um harðara setlag sé að ræða.

## 7. TILLÖGUR UM AÐFERÐIR VIÐ FREKARI RANNSÓKNIR

Á grundvelli reynslu okkar af þessum mælingum viljum við koma hér á framfæri álitum okkar á því hvaða jarðsveifluaðferðir væru bestar við að kanna jarðlög á hafnarsvæðinu. Oftast er mikið fengið með því að gera bæði endurkasts- og bylgjubrotsmælingar. Þessar mismunandi aðferðir sýna á mismunandi hátt eiginleika jarðlaganna, og stuðla að betri skilningi. Að sjálf-sögðu getur ein rannsóknaraðferð iðulega veitt allar þær upplýsingar sem óskað er eftir, og er það að sjálf-sögðu hagkvæmara, en ekki er alltaf ljóst fyrir fram hvað á best við í hverju tilfelli.

Eins og komið hefur fram reyndist ekki mögulegt að kortleggja sum af þeim svæðum sem rannsóknin beindist fyrst og fremst að, en því valda gasfyllt setlög sem drepa niður jarðsveiflurnar. Þetta gildir um hið stóra svæði í Eiðsvík, og einnig töluverðan flekk með Norðurgarði. Vafasamt er að nokkur endurkastaðferð dugi við þessar kringumstæður. Mögulegt væri að auka styrk og bylgjulengd merkis, en hætt er við að upplausn yrði óhæfilega gróf. Nokkur von er til þess að **bylgjubrotsmælingar** með botnstreng gætu gefið betri niðurstöður.

Hér fylgja tillögur um aðferðir við mælingar á þessum þremur svæðum. Gert er ráð fyrir því að tilgangurinn verði fyrst og fremst að meta dýpi á klöpp, en þar að auki séu upplýsingar um gerð setlaga æskilegar. Vísað er til viðauka með útskýringar á einstökum mælingaaðferðum

### **Norðurgarður, Reykjavíkurhöfn:**

Í ljós kom í mælingunum í haust, að þar sem tiltölulega gaslausir blettir koma fyrir og bylgjan kemst niður, virðist hún í mörgum tilvikum vera nægjanlega orkumikil til að berast um klöppinna undir, og skila sér sem brotinni bylgju upp í gegn um gaslögin.

Vegna þessara aðstæðna sýnist okkur vænlegast til árangurs að nota bylgjubrotsmælingar, þannig að nemastrengur yrði lagður á botninn, og sprengiefni notað sem hljóðgjafi. Með þessu móti má fá meiri orku og lægri tíðni, og því betri möguleika á því að koma orku um jarðlögin. Líklega verður að nota nokkuð stórar hleðslur, upp í nokkur kílógrömm. Á þessu stigi er ekki hægt að skera úr um hvort koma megi hljóðmerki niður um gas-setið, eða hvort takmarka yrði sprengistaði við gaslausu "gluggana" í setlögnum. Í þessari aðferð nægir að sprengja með tiltölulega löngum fjarlægðarbílum, jafnvel 200 m, og væri því hugsanlegt að komast af með fáeina sprengistaði á mælinú. Úr þessum mælingum kæmi kortlagning á tímatöf bylgjunnar upp í gegn um setlögin, sem breyta má í þykkt ef hljóðhraði setlaganna er þekktur. Þar sem upplýsingar um setlagahraðann takmarkast við nágrenni skotpunkta, væri æskilegt að fá kvörðun á þykkt setlaga með borunum á völdum stöðum, og yki það öryggi.

Skipta mætti verkefni af þessu tagi í 3 þætti:

1. Kanna fyrst hvort bylgjubrotsmæling með hlustunarstreng á botni og sprengiefni sér niður um gas-setlögin.
2. Ef í ljós kemur að erfiðleikarnir eru enn fyrir hendi, mætti kanna svæðið með endurkasts-mælingu, og staðsetja gaslausu blettina.
3. Loks yrðu gerðar umfangsmeiri bylgjubrotsmælingar, og ef þörf krefur, mætti hanna þær þannig, að gaslausu blettirnir yrðu notaðir sem sprengistaðir. Nota ætti 115 m langar lagnir, 24 nema, með 5 m bil á milli nema.

Hafa ber í huga að hér er miðað við að um nokkuð umfangsmikið verkefni sé að ræða, sem tæki yfir verulegt svæði. Einföld bylgjubrotsmæling gæti reynst nægjanleg ef viðfangsefnið er takmarkað. Ekki verður hér fullt um að óreyndu, hvort slíkar mælingar muni takast fullkomlega.

**Eiðsvík:**

Sams konar aðferðir ætti að nota í Eiðsvík og lýst er hér að ofan fyrir svæðið við Norðurgarð, enda er vandamálið svipað. Þó er gassvæðið stærra og því erfiðara viðfangs. Lagt er til að nota lengri botnstreng, 230 m langan með 24 nemum og 10 m bilum á milli nema.

**Kleppsbakki í Sundahöfn:**

Ljóst er af niðurstöðum mælinganna, að endurkastsaðferðin dugar vel á þessu svæði. Þar sem tilgangurinn með frekari rannsókn verður fá nákvæmar upplýsingar um setþykkt á mjög þröngu beltí með bakkanum, verður þó mælt með bylgjubrotsmælingu með botnstreng. Þannig mæling mundi einnig gefa auknar upplýsingar um eiginleika berggrunns, en eins og fram kom hér á undan sást ekki brotin bylgja frá berggrunninum. Nota ætti 115 m langar lagnir, 24 nema, með 5 m bil á milli nema. Þrjár þannig lagnir í röð nægja í eina línu með bakkanum. Hjóðgjafi yrði sprengiefni, hvellhettur eða mjög smáar hleðslur, og skotið yrði með 25 m millibili eftir línunni.

**RITSKRÁ**

Kjartan Thors, Guðrún Helgadóttir og Jón Jónsson: *Dýpi á klöpp og jarðlagaskipan í Eiðsvík*. Skýrsla um mælingar gerðar fyrir Reykjavíkurhöfn í júní 1992. Hafrannsóknarstofnun, mars 1993.

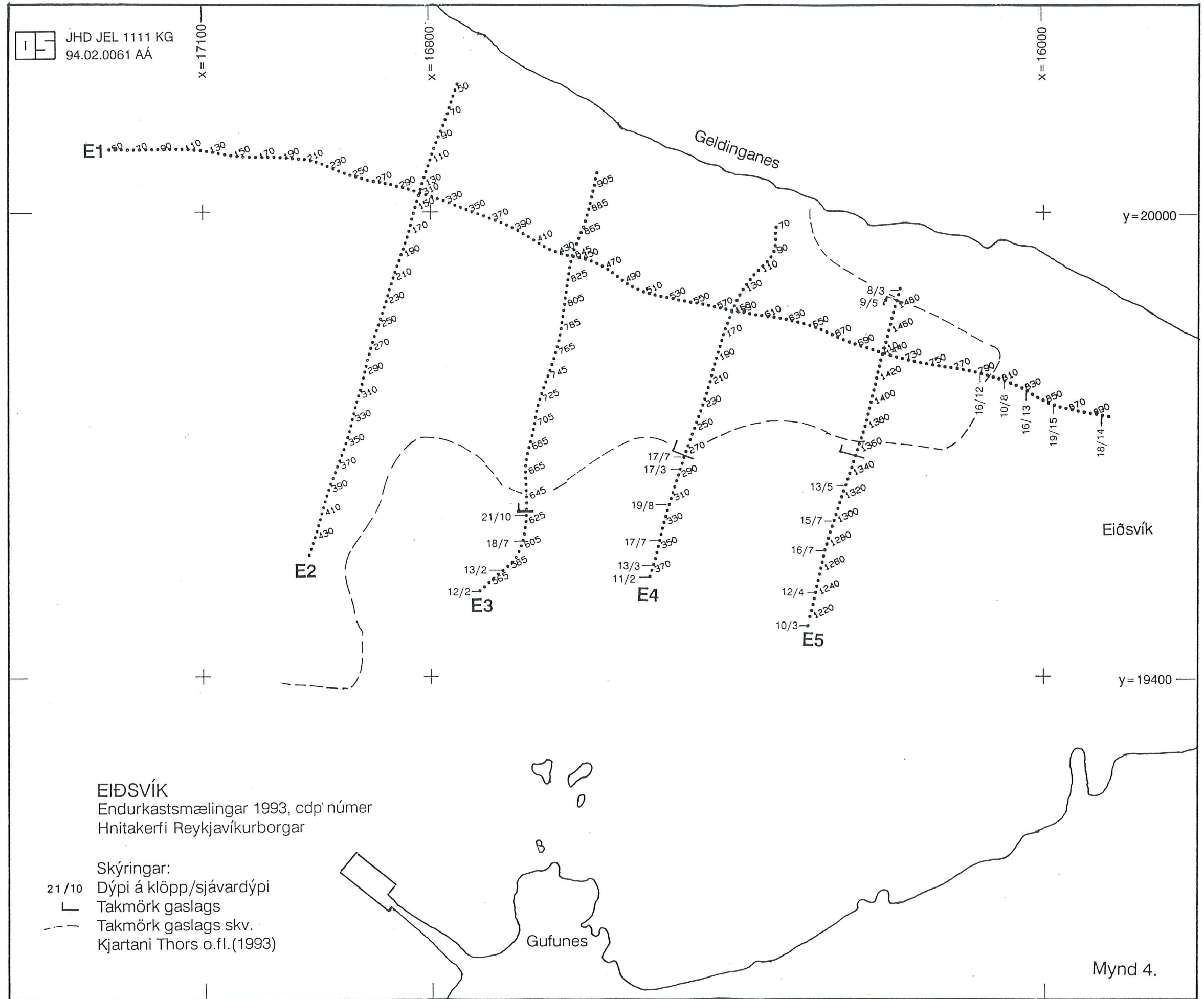
*Athugun á grjótnámsmöguleikum við Eiðsvík*. Stuðull, janúar 1992.

Kjartan Thors: *Rúmmál grófra setlaga á Kollafljarðarsvæði*. Hafrannsóknarstofnun, nr. 2/83, desember 1983.

Kjartan Thors: *Seismískar bergmálmælingar á hafnarsvæði Reykjavíkur vorið 1981*. Hafrannsóknarstofnunin, nóvember 1981. (630.6 Haf)

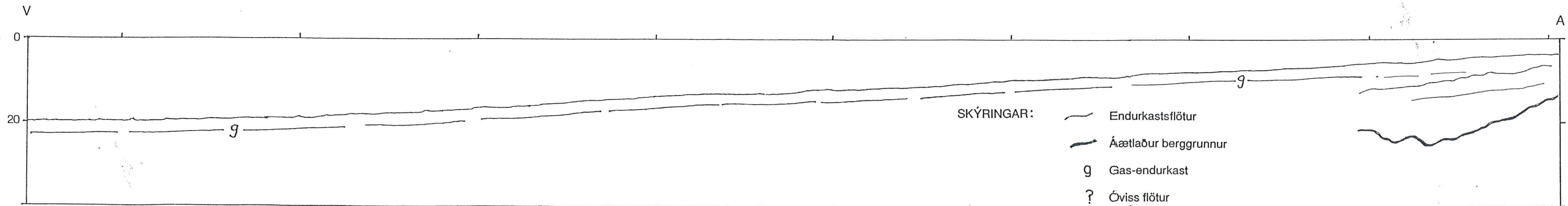
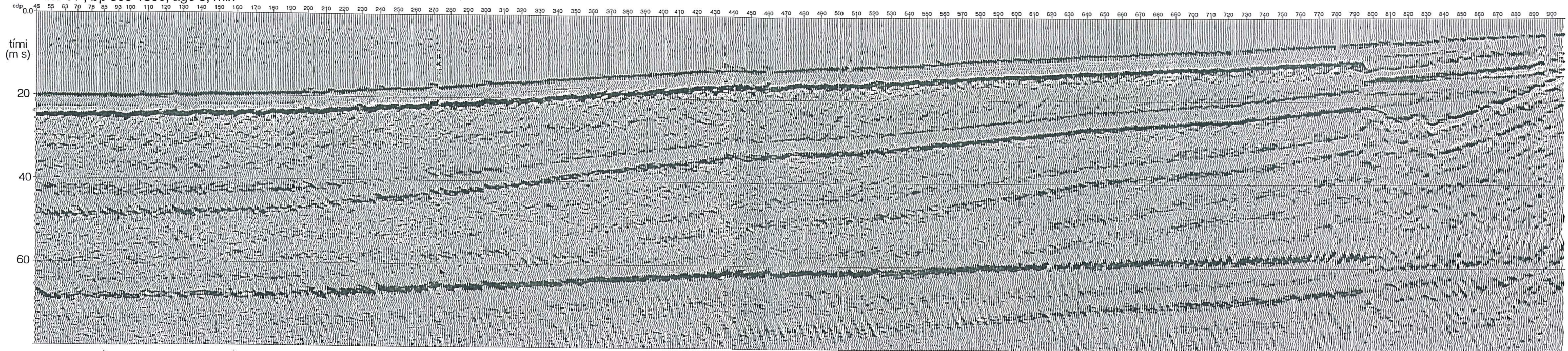


JHD JEL 1111 KG  
94.02.0061 AÁ



Mynd 4.

Line e1 , bp 300-1500, agc 5, mix

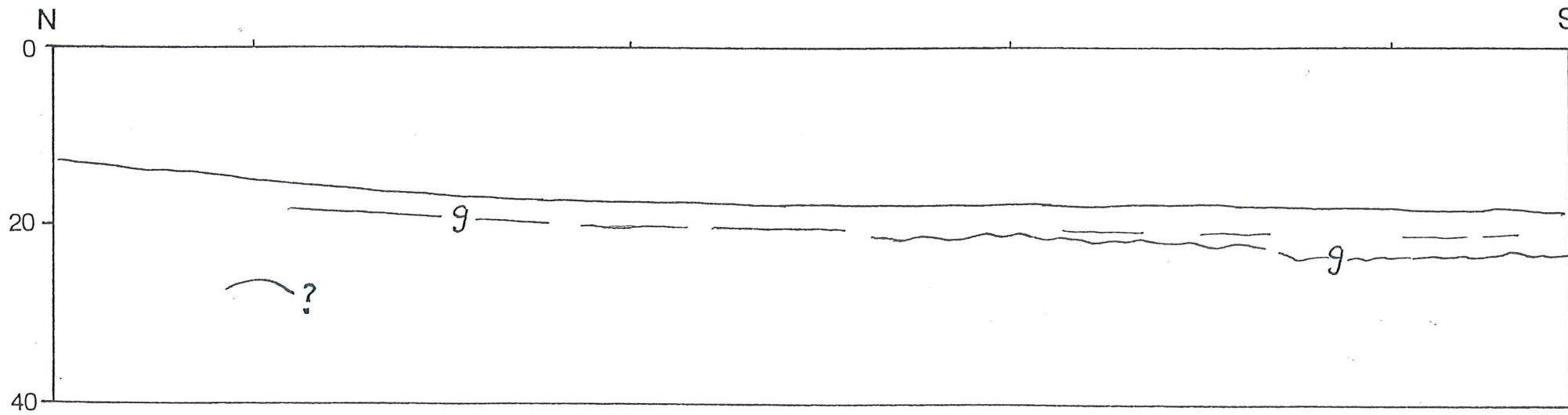
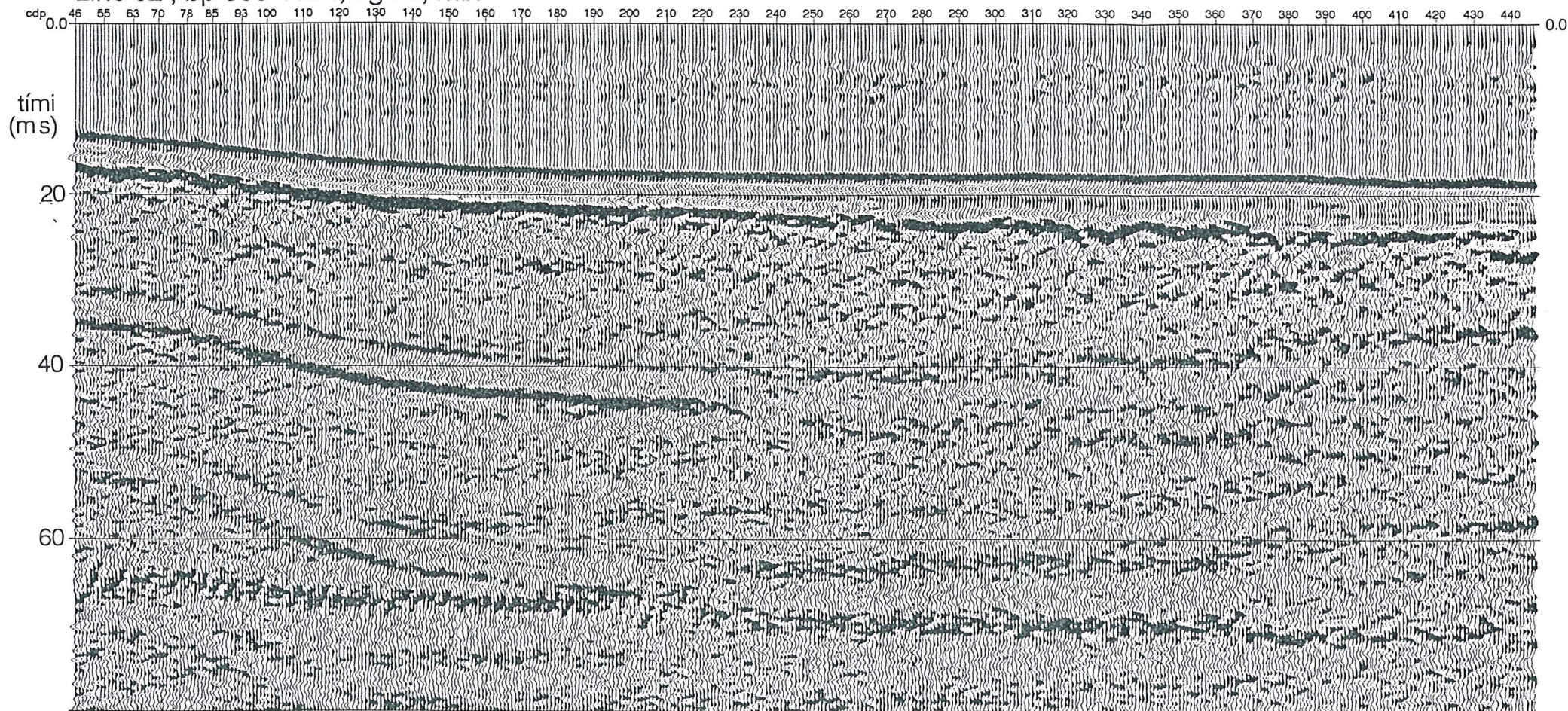




JHD JEL 9000 KG  
94.02.0066 AÁ

### Mynd 5b. Lína E2

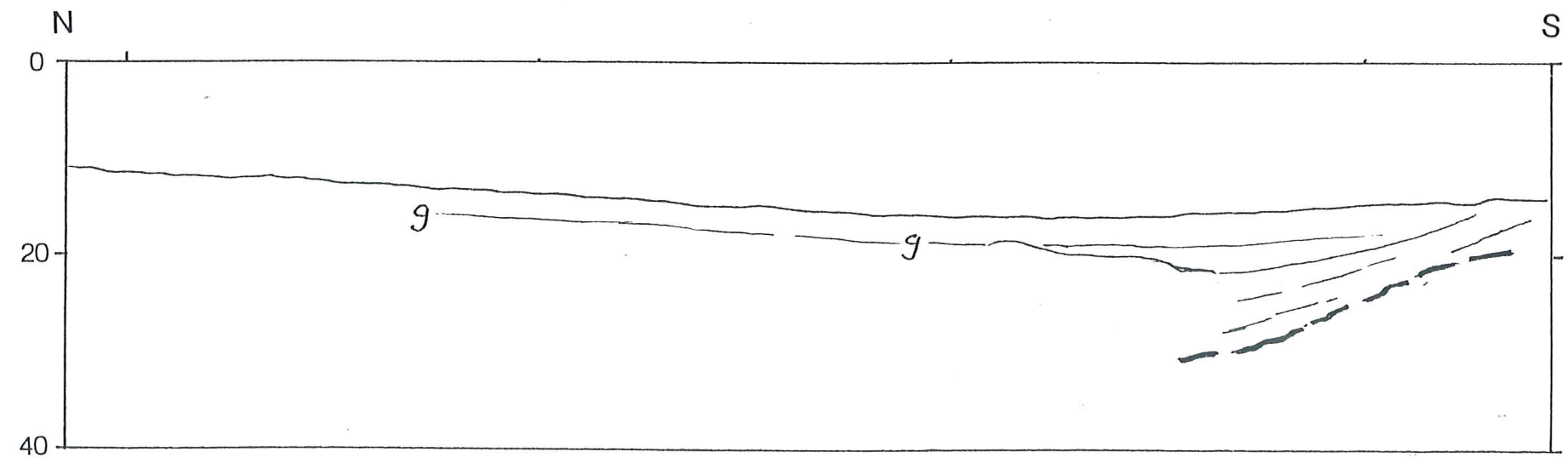
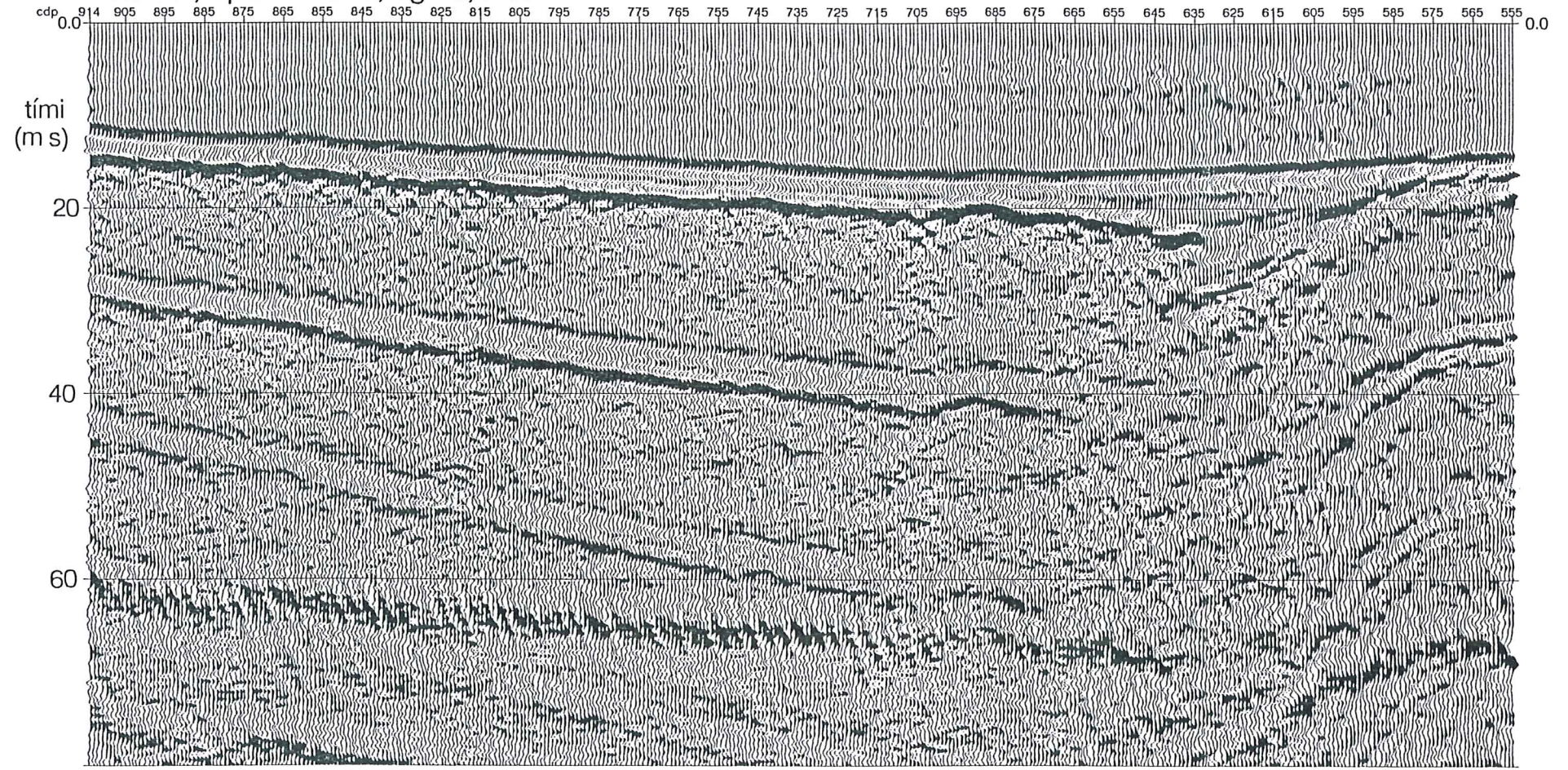
Line e2 , bp 300-1500, agc 5, mix



JHD JEL 9000 KG  
94.02.0067 AÁ

### Mynd 5c. Lína E3

Line e3 , bp 300-1500, agc 5, mix

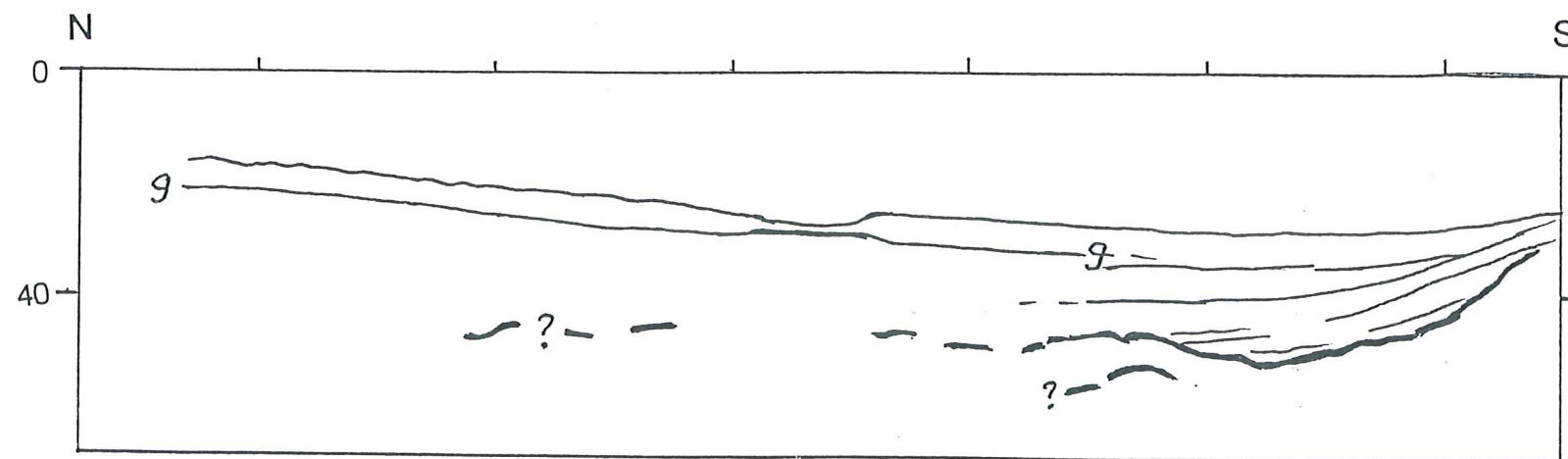
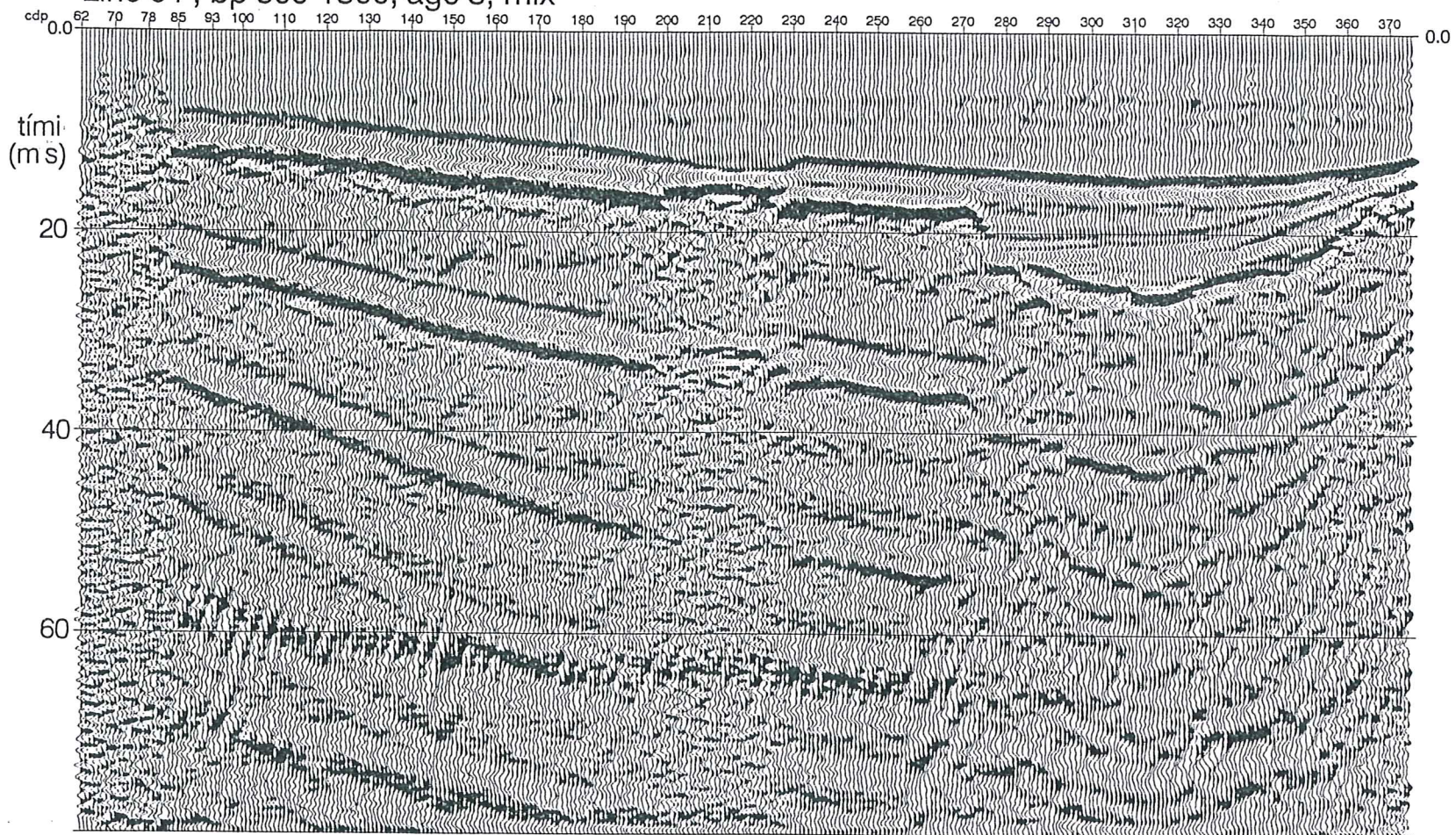




JHD JEL 9000 KG  
94.02.0068 AÁ

### Mynd 5d. Lína E4

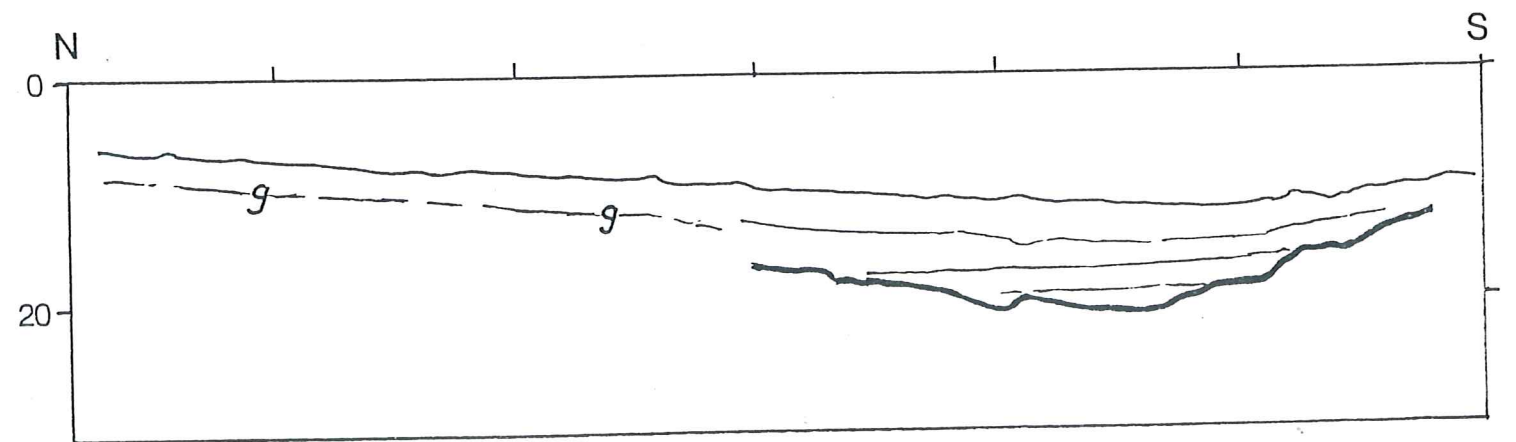
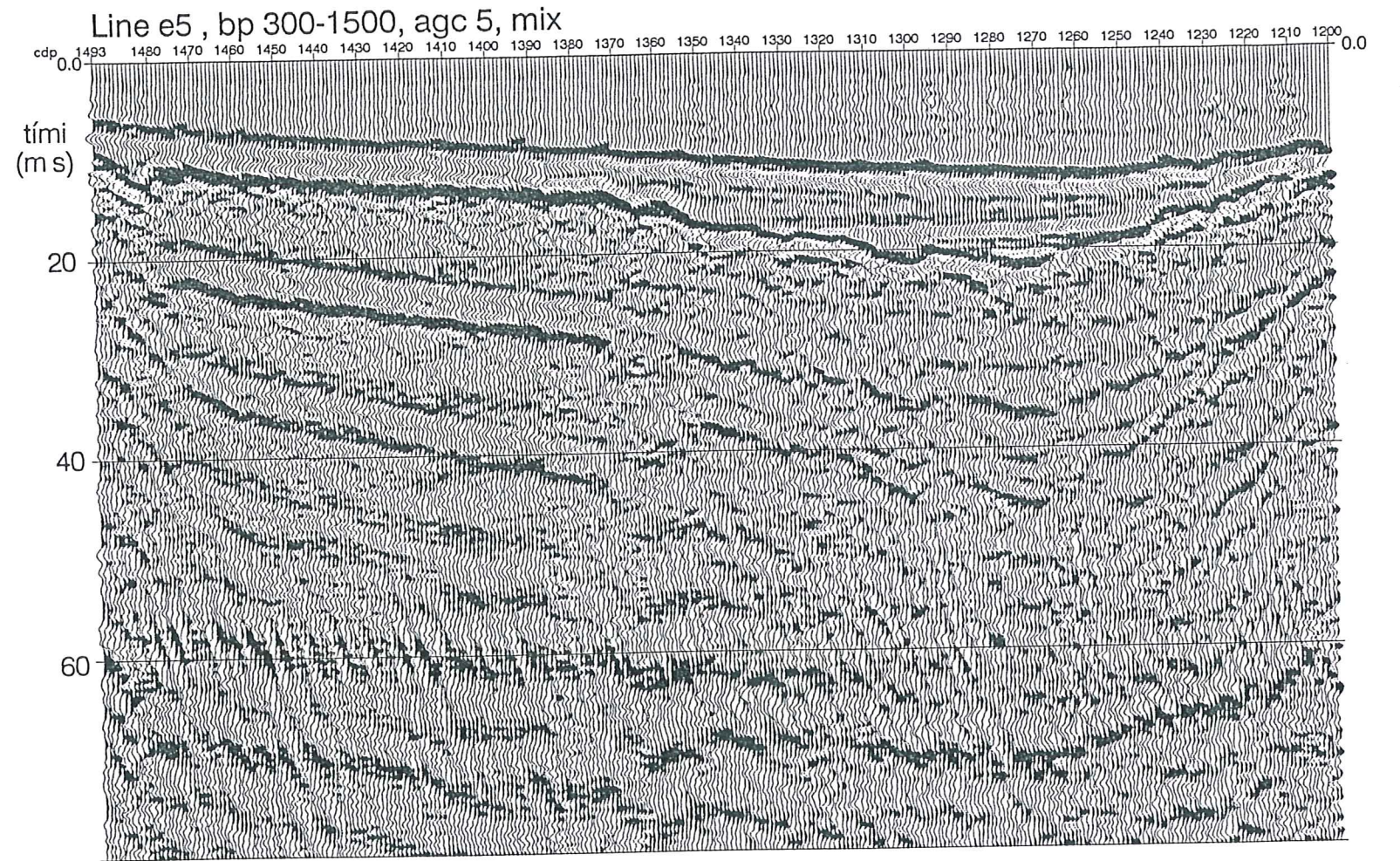
Line e4 , bp 300-1500, agc 5, mix





JHD JEL 9000 KG  
94.02.0069 AÁ

### Mynd 5e. Lína E5



# NORÐURGARÐUR

Endurkastsmælingar 1993, cdp.númer  
Hnitakerfi Reykjavíkurborgar

x = 22600

x = 22500

x = 22200

y = 19100

y = 19000



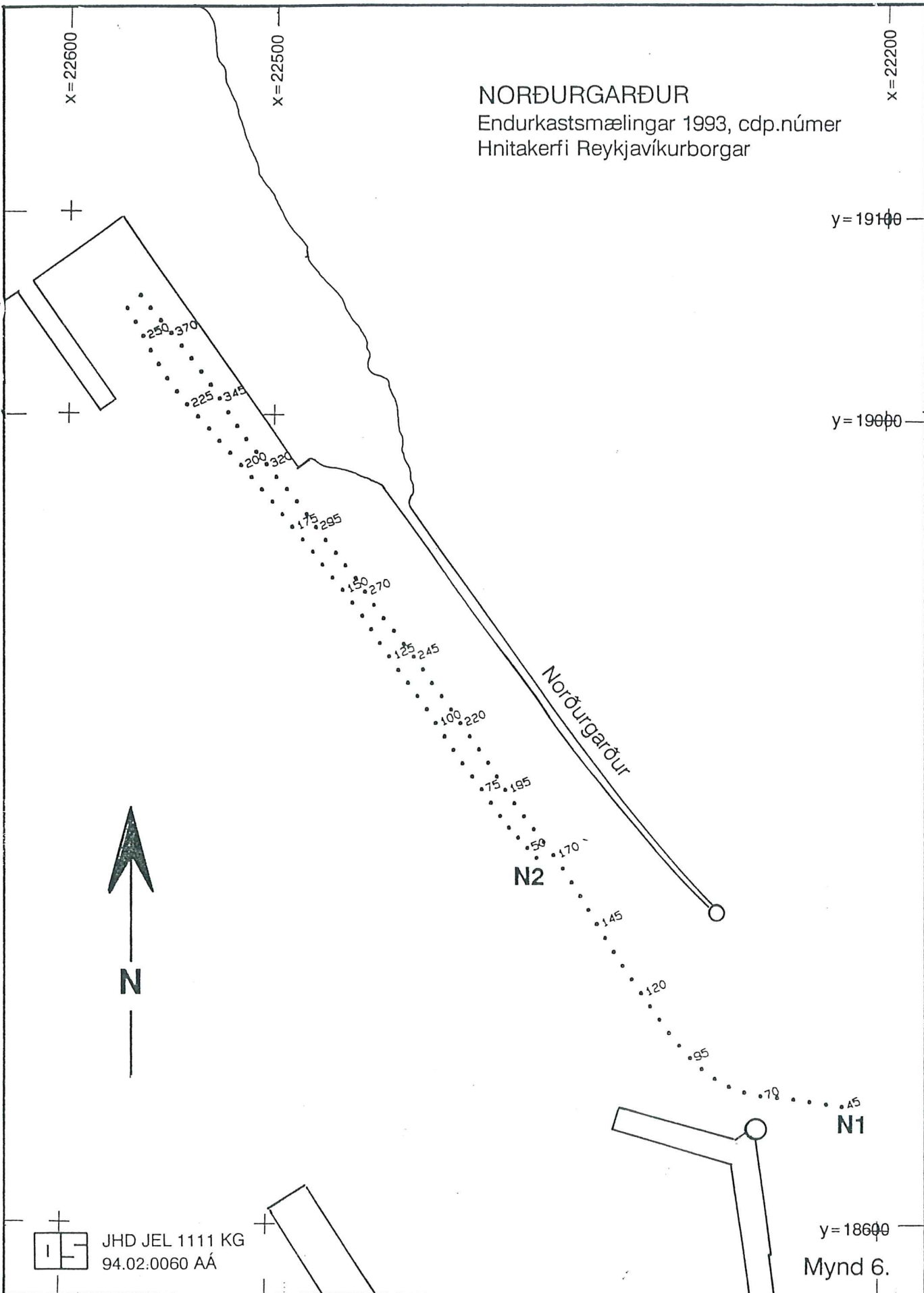
JHD JEL 1111 KG  
94.02.0060 AÁ

N2

N1

y = 18600

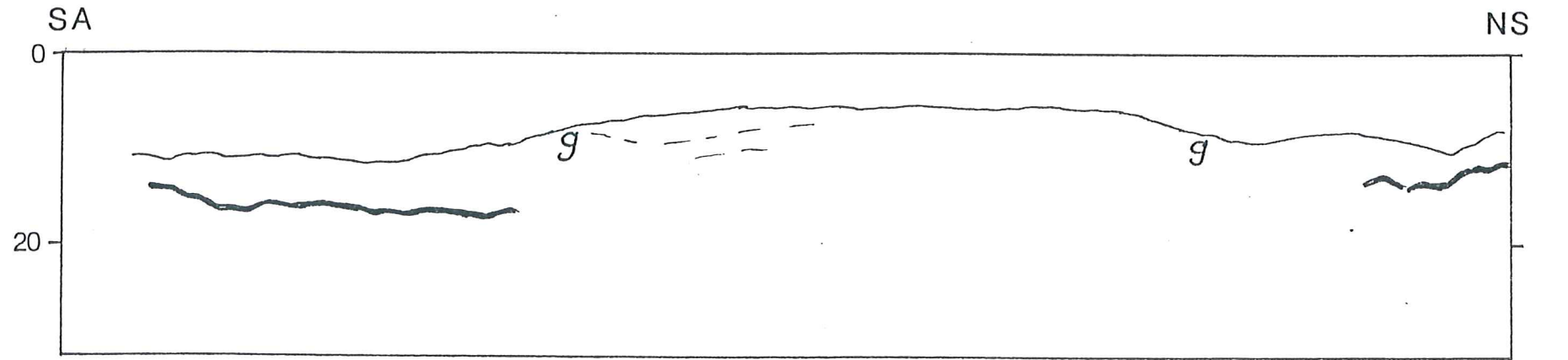
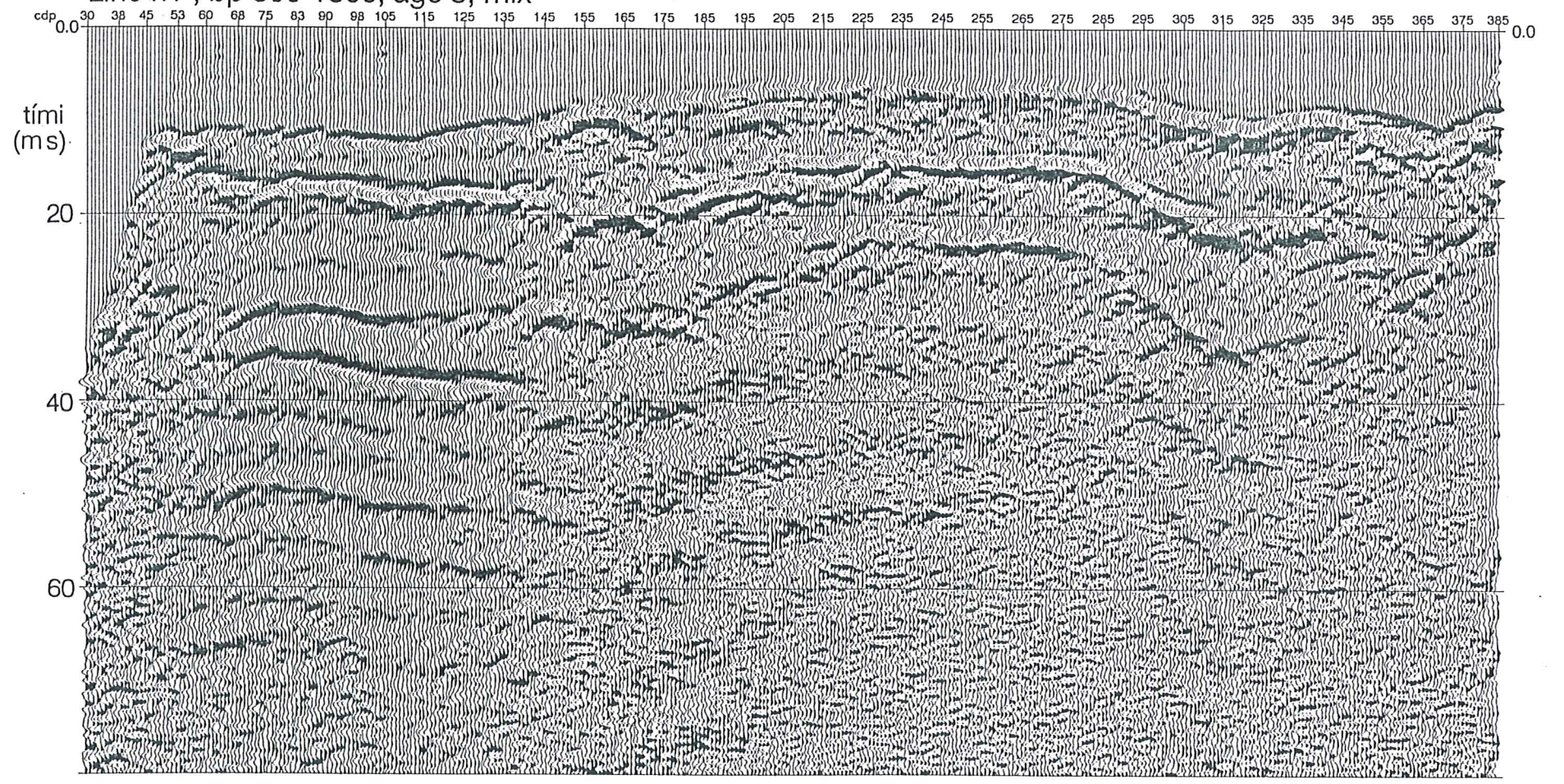
Mynd 6.



JHD JEL 9000 KG  
94.02.0070 AÁ

Mynd 7a. Lína N1

Line n1 , bp 300-1500, agc 5, mix

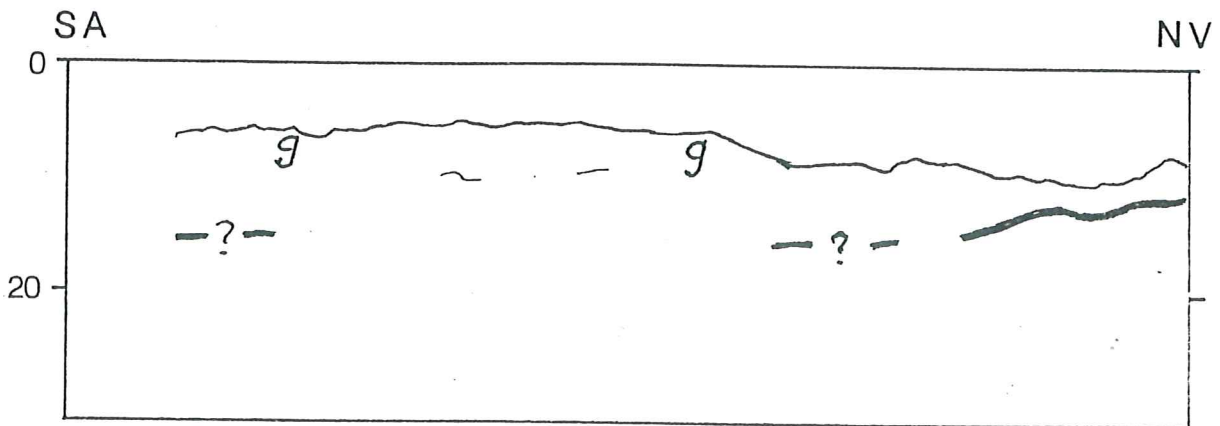
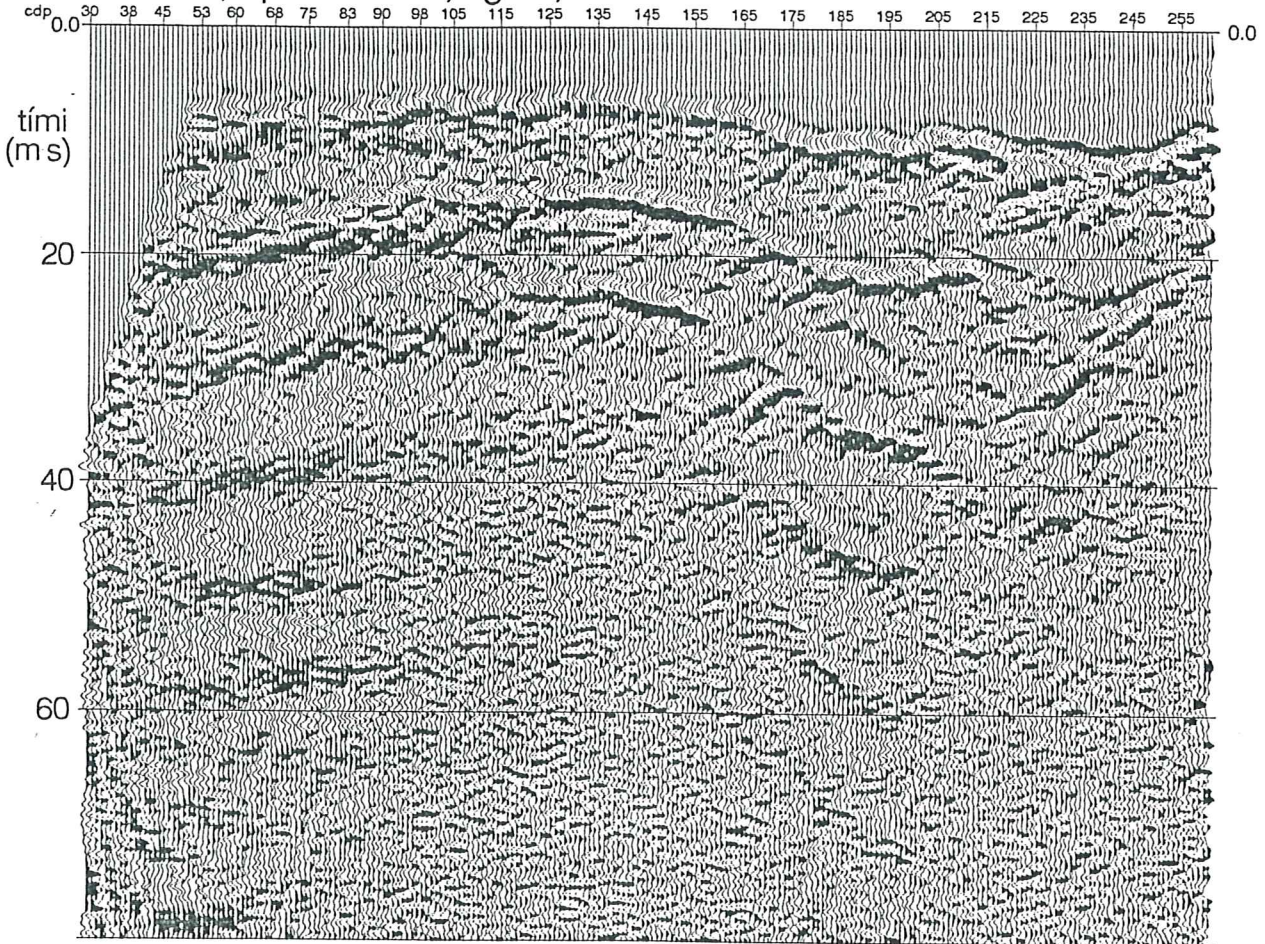




JHD JEL 9000 KG  
94.02.0071 AÁ

### Mynd 7b. Lína N2

Line n2 , bp 300-1500, agc 5, mix



JHD JEL 1111 KG  
94.02.0064 AA

# KLEPPSBAKKI

Endurkastsmælingar 1993, cdp.númer  
Hnitakerfi Reykjavíkurborgar

KB1

5

8

120

145

170

195

220

245

270

295

320

345

y = 18600

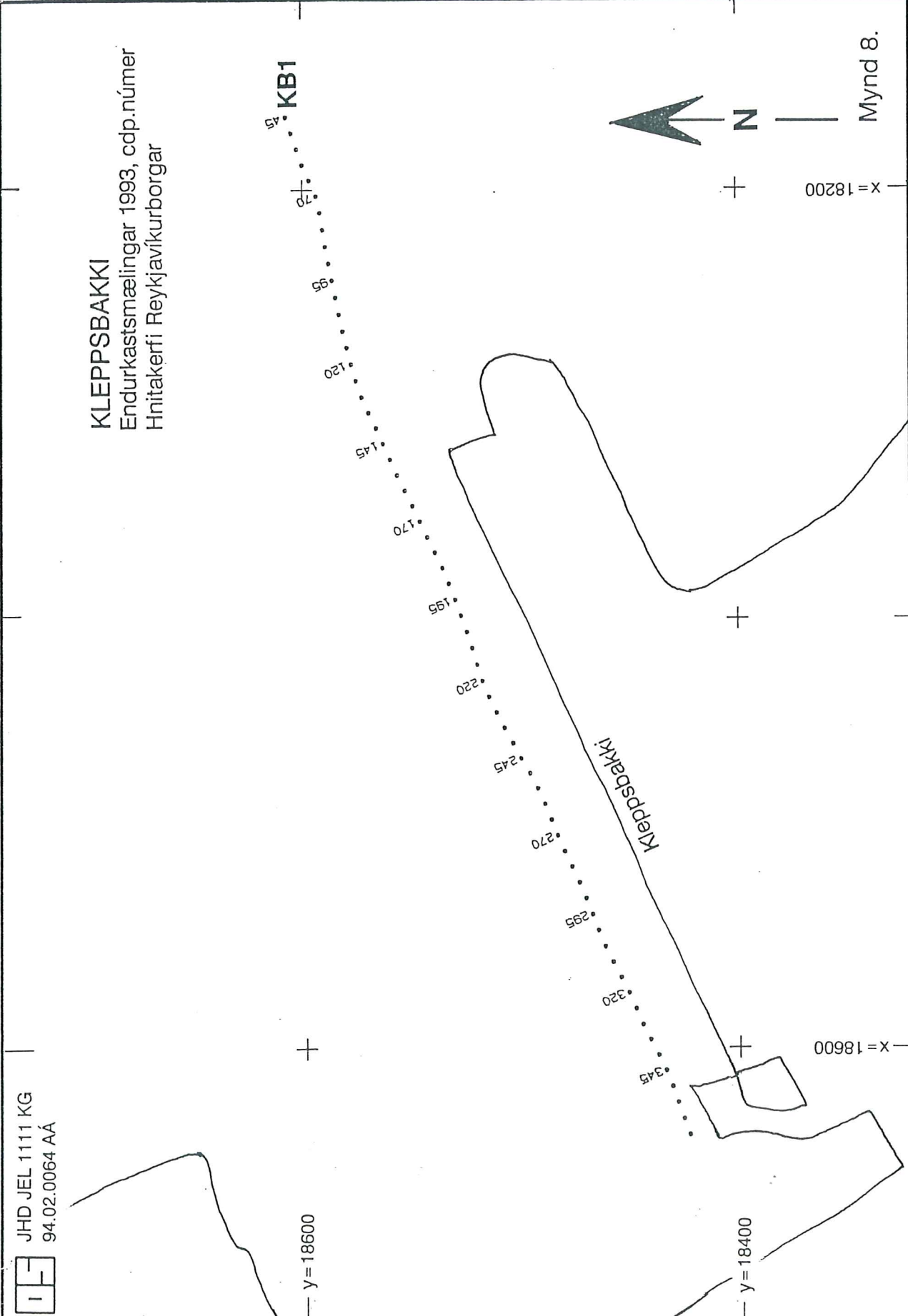
y = 18400

x = 18600

x = 18200



Mynd 8.





JEL 9000 KG  
.0072 AÁ

# Mynd 9 Lína KB1

bp 300-1500, agc 5, mix

