

ORKUSTOFNUN
JARÐHITAEILD

**FORRITIÐ CIRCLE2
TIL TÚLKUNAR VIÐNÁMSMÆLINGA**

**Ásmundur Jakobsson
Gylfi Páll Hersir**

OS-JHD-7844

September 1978



ORKUSTOFNUN
JARÐHITAEILD

**FORRITIÐ CIRCLE2
TIL TÚLKUNAR VIÐNÁMSMÆLINGA**

Ásmundur Jakobsson
Gylfi Páll Hersir

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	2
2	STUTT TILRAUN TIL FRÆÐILEGRAR ÚTTEKTAR	4
3	GÖGN LESIN AF CIRCLE 2	9
4	LÝSING Á ÚTSKRIFT	12
	HEIMILDIR	15

VIÐAUKI:

ÚTSKRIFT Á VIÐNÁMSMÆLINGU	16
---------------------------	----

1 INNGANGUR

Þessari skýrslu er ætlað það hlutverk að vera leiðarvísir til túlkunar viðnámsmælinga með forritinu CIRCLE2. Hún fjallar um merkingu þeirra talna og tákna sem forritið les og merkingu útskriftar. Einnig er fjallað í örfáum orðum um fræðina að baki forritinu.

Nafngiftin CIRCLE2 stafar af því að til er annað viðnámsforrit, sem nefnist CIRCLE1. Bæði þessi forrit eru samin af Hans Kurt Johansen við Árósarháskóla. Hann hefur einnig ritað greinar um hinn fræðilega grundvöll forritanna. Um CIRCLE1 er fjallað í heimild 2 en um CIRCLE2 í heimild 3.

Þegar CIRCLE1 er notað til túlkunar viðnámsmælinga er setið við skerm. Á hann teiknar tölvan mælda ferilinn og módelið sem hún er mötuð á. Þessu módeli má svo breyta á alla vegu, þ.e. breyta má lagafjölda, þykkt eða viðnámi eða frysta ákveðnar stærðir. Einnig getur forritið leitað bestu lausnar með eða án frystingar ákveðinna parametra. Þetta forrit er u.þ.b. tvisvar sinnum stærra en CIRCLE2. Forritið CIRCLE2 tekur um 10 sek. að virna á CDC CYBER en 50 sek. á IBM 370/145.

Forritið CIRCLE2 tekur við ákveðnu byrjunarmódeli og leitar þeirrar lausnar sem best fellur að mældu gildunum. Nákvæm handtúlkun skiptir tiltölulega litlu máli ef undan er skilinn óverulegur mismunur í vinnslutíma völvunnar. Öllu máli skiptir að ákveða strax lagafjölda, því honum breytir hún ekki. Er því mikilvægt að ferillinn sem túlka á sé ákveðinn strax. Með því er átt við það, hvort eltast eigi við einhver þunn lög og annars konar óreglur sem fram kunna að koma. Einnig er mikilvægt að einungis sé gefið upp eitt viðnámsgildi í hverjum punkti, því annars fer "tölvuferillinn" í gegnum meðalgildið. Það getur oft gefið alranga mynd. Einnig segir forritið til um hvernig hin einstöku viðnáms- og þykktar-gildi móðelsins eru háð hvort öðru.

Í kafla 2 er fjallað um þá grundvallarhugmynd, sem forritið vinnur eftir. Útskrift forritsins er svo útskýrð í kafla 4 og er því æskilegt að þessir tveir kaflar séu lesnir samar. Kafli þrjú gerir grein fyrir því, hvernig gögnin eru lesin af forritinu.

Fræðileg undirstaða forritsins (heimild 3) kann að þykja alltyrfin við fyrstu sýn. Er því fólki ráðlagt að lesa heimildir 1 og 5, þar sem inversionsteoria er kynnt. Línulegri algebru eru gerð góð skil í heimild 4. Forritið kemur ekki að fullum notum fyrr en fræðilegur grundvöllur þess (s.s. hlutverk eiginvektora og eigingilda) er skilinn að fullu.

Þó að forritið verði, væntanlega til að byrja með, fyrst og fremst notað til túlkunar Schlumbergermælinga má nota það til ýmislegs annars. Það getur einnig túlkað elektrómagnetískar mælingar (t.d. MT, AMT, Slingram o.s.frv.), sem og þessar tvær tegundir rafleiðnimælinga saman (joint inversion). Sé það gert verður upplausnin mun betri.

2 Stutt tilraun til fræðilegrar úttektar

Vandamálið, sem forritið leysir, er að finna jarðlagamódel, sem túlkar best niðurstöður viðnámsmælinga. Þetta vandamál er leyst með því að finna það módel, sem gefur minnsta gildi á kvaðratsummunismun mældra gilda og útreiknaðra.

$$(1) \quad Q(\underline{x}) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \ln y_i - \ln \rho_{app}(\xi_i, \underline{x}) \right\}^2$$

þar sem:

$$\begin{aligned} \sigma &= \text{staðalfrávik} \\ y_i &= \text{mælt viðnámsgildi í pkt. } \xi_i = \left(\frac{AB}{2}\right)_i \\ x_j &= \ln p_j \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m \\ \underline{p} &= (\rho_1, d_1, \rho_2, d_2, \dots, \rho_N) \end{aligned}$$

Samkvæmt "trial and error" aðferðinni byrjum við með ákveðið jarðlagamódel, sem táknað er með vektornum \underline{x} . Þetta byrjunarmódel mötum við tölvuna á um leið og við gefum henni mæligildin \underline{y} .

Ef við Taylor-útvíkkum $\ln \rho_{app}$ um pkt \underline{x} , sem er í grennd við bestu lausnina og sleppum öllum liðum, sem eru af annarri en fyrstugráðu, fæst eftirfarandi:

$$(2) \quad Q(\underline{x} + \delta \underline{x}) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \ln y_i - \ln \rho_{app}(\xi_i, \underline{x}) - \sum_{j=1}^m \frac{\partial \ln \rho_i}{\partial x_j} \delta x_j \right\}^2$$

$$(3) \quad = \left\| \underline{b} - \underline{A} \delta \underline{x} \right\|^2$$

þar sem: $b_i = (\ln y_i - \ln \rho_{app}(\xi_i, \underline{x})) / \sigma$

$$A_{ij} = \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \ln \rho_{app}(\xi_i, \underline{x})}{\partial x_j}$$

ρ_{app} og hlutaafleiður þess m.t.t. (\underline{p}_i) eru nú fundnar samkvæmt "the linear filter method" (Johansen 1975). Minnstunin á Q (sbr. jöfnu 1) ákveður leiðréttingaþáttinn $\delta \underline{x}$.

Þá setjum við $\underline{x} + \delta\underline{x}$ inn í jöfnu 1 í stað \underline{x} . Þetta er síðan endurtekið þar til Q er hætt að minnka, þ.e.a.s. $\underline{x} = \underline{x}^0$.

Athugum nú líkinguna:

$$\begin{Bmatrix} 0 & \underline{A} \\ \underline{A}^T & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{Bmatrix} = \lambda \begin{Bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{Bmatrix}$$

sem leiðir af sér:

$$\begin{aligned} \underline{A} \underline{v} &= \lambda \underline{u} \\ \underline{A}^T \underline{u} &= \lambda \underline{v} \\ \underline{A}^T \underline{A} \underline{v} &= \lambda^2 \underline{v} \\ \underline{A} \underline{A}^T \underline{u} &= \lambda^2 \underline{u} \end{aligned}$$

Samkvæmt þessum jöfnum fáum við m eigingildi λ og samsvarandi eiginvektora $\underline{u}_1, \dots, \underline{u}_m$ og $\underline{v}_1, \dots, \underline{v}_m$ en lítum ekki á eiginvektorana $\underline{u}_{m+1}, \dots, \underline{u}_n$ sem ekki samsvara þessum sameiginlegu eigingildum. Síðan röðum við λ í hornalínufylkið $\underline{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$ og röðum súluvektorunum $\underline{u}_1, \dots, \underline{u}_m$ upp í sömu röð í fylkinu \underline{U} og $\underline{v}_1, \dots, \underline{v}_m$ í súlur í fylkinu \underline{V} .

$$\begin{aligned} \underline{A} \underline{V} &= \underline{U} \underline{\Lambda} \\ \underline{A}^T \underline{U} &= \underline{V} \underline{\Lambda} \end{aligned}$$

og

$$\underline{A} = \underline{U} \underline{\Lambda} \underline{V}^T$$

og síðan fæst

$$\delta\underline{x} = \underline{V} \underline{\Lambda}^{-1} \underline{U}^T \underline{b}$$

og þar með er fundin sú breyting, sem gera þarf á módelinu.

Eiginvektorarnir $\underline{v}_1, \dots, \underline{v}_m$ mynda orthogonal basa í módelrúminu, sem lýsir ($\ln \rho_1, \ln \rho_2, \dots, \ln \rho_N$) og eiginvektorarnir $\underline{u}_1, \dots, \underline{u}_m$ mynda orthogonal basa í m víðu undirrúmi gagnarúmsins, sem lýsir sýndarviðnámum í einstökum mælipunktum.

Þegar lágmark kvaðratsummunnar Q er fundið verður $\delta \underline{x} = 0$. Köllum módelið hér \underline{x}^0 , fræðilegu sýndarviðnámin \underline{b}^0 og kvaðratsummuna Q^0 .

Skilgreinum frávik frá \underline{x}^0

$$\underline{\epsilon} = \underline{x} - \underline{x}^0$$

og samsvarandi frávik í sýndarviðnámi

$$\underline{c} = \underline{b} - \underline{b}^0$$

þá gildir

$$\underline{c} = \underline{A} \underline{\epsilon}$$

$$\underline{U}^T \underline{c} = \underline{\Lambda} \underline{V}^T \underline{\epsilon}$$

sem þýðir að ofanvarp \underline{c} á hvern vektor \underline{u}_k er jafnt λ_k sinnum ofanvarp $\underline{\epsilon}$ á vektorinn \underline{v}_k . Ef t.d. $\underline{\epsilon}$ liggur út eftir eiginvektorinum \underline{v}_k liggur \underline{c} á eiginvektorinum \underline{u}_k .

Athugum kvaðratsummuna Q

$$Q = \left\| \underline{b} - \underline{A} \delta \underline{x} \right\|^2$$

$$\text{í } \underline{b}^0 \text{ er } \underline{A} \delta \underline{x} = 0 \quad \text{og} \quad Q = \underline{b}^T \cdot \underline{b} = \underline{b}^{0T} \cdot \underline{b}^0 + \underline{c}^T \cdot \underline{c} \\ = Q^0 + \delta Q$$

$$\text{þ.e.a.s.} \quad \delta Q = \underline{c}^T \cdot \underline{c}$$

Hver þáttur vektorsins \underline{c} táknar frávik sýndarviðnáms í ákveðnum mæli-
punkti frá "besta gildi".

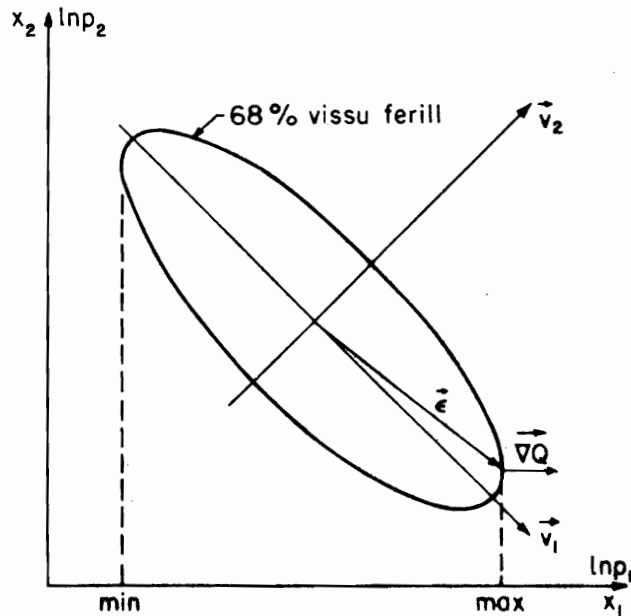
$$c_i = \frac{1}{\sigma} \left\{ \ln \rho_{\text{app}}(\xi_i, \underline{x}) - \ln \rho_{\text{app}}(\xi_i, \underline{x}^0) \right\}$$

Við gerum ráð fyrir því að mælingarnar hafi normaldreifingu. Meðal-
gildi c_i er 0 og vegna σ í nefnara verður staðalfrávik á c_i sama
sem 1,0. Ef gert er ráð fyrir að mæliskekkja í hverjum punkti sé óháð
mæliskekkjum í öðrum punktum eru því 68% líkur á að hin raunverulega
lagskipting sé ekki frábrugðnari þeirri er best fellur að mæligögnum
en svo að

$$\sum_{i=1}^n c_i^2 \leq 1$$

p.e.a.s. $\underline{c}^T \cdot \underline{c} \leq 1$

p.e.a.s. $\delta Q \leq 1$



Þá vaknar sú spurning innan hvaða rúmmyndar í módelrúminu þau módel liggja sem samsvara sýndarviðnámi innan hyperkúlunnar $\| \underline{c} \| \leq 1$.

Svarið er $\underline{\epsilon}^T \underline{V} \underline{\Lambda}^2 \underline{V}^T \underline{\epsilon} = \underline{c}^T \underline{c} \leq 1$

eða $\sum_{j=1}^m \lambda_j^2 (\underline{v}_j \cdot \underline{\epsilon})^2 \leq 1$

en þetta er líking hyperellipsoidu með ásum eftir eiginvektorum \underline{v}_j og lengd hálfásanna jöfn $1/\lambda_j$.

Ef við viljum vita innan hvaða marka 68% líkur eru á að einhver stærð móðelsins P_j liggi, eru fundin tvö hyperplön hornrétt á P_j ásinn, sem snerta hyperellipsoiduna sitt hvoru megin. Þessir tveir snertipunktar gefa þau módel sem geyma ofangreind mörk stærðarinnar P_j .

3 Gögn lesin af CIRCLE2

Eftirfarandi spjöld eru lesin:

Gerð Fjöldi

1 1 Fyrirsögn (allt að 72 stafir)
2 Mest ID, TYPE, R, MEAS, STDEV
250

ID = númer punktsins

TYPE = tegund mæligagna

= tveggja stafa tala MN

ef M = 0 táknar N

N 1 : viðnámsgögn

N 2 : magnetotellurik, modulus

N 3 : magnetotellurik, fasa gögn

Ef M er ekki 0 er hér um DFS gögn að ræða,
þá táknar M tíðni samkvæmt eftirfarandi skrá

M 1 : 222Hz

M 2 : 444Hz

M 3 : 888Hz

M 4 : 1777Hz

M 5 : 3555Hz

og N táknar uppstillingu mælispóla

N 1 : láréttar spólur, í fasa

N 2 : -"- -"- , úr fasa

N 3 : hornréttar spólur, í fasa

N 4 : -"- -"- , úr fasa

N 5 : lóðréttar spólur í sama fletti, í fasa

N 6 : -"- -"- -"- -"- , úr fasa

R = $AB/2$ í metrum fyrir viðnámsgögn,

= tíðni fyrir magnetotellurik,

= R fyrir DFS gögn

MEAS = sýndarviðnám í Ohm.m.,
= fasi í gráðum eða gagnspan (mutual coupling ratio)
í prósentum. Frá mælingum af gerð 1 á að draga
100 prósenteyningar áður en þau eru skráð.

STDEV = prósent óvissa fyrir viðnámsgögn og MT
absolut óvissa í gráðum fyrir MT fasa
absolut óvissa í prósenteyningum fyrir DFS gögn.
Ef skráð er 0,0 er notað 3,5% eða 1 prósenteyning.

- 3 1 -1 Til að tákna að mælipunktum sé lokið.
- 4 1 ERROR < 0 mæligögnin eru notuð til að finna jarðlagamódel
= 0 jarðlagamódelið sem lesið er inn er notað til
að reikna út fræðileg gögn.
> 0 eins og = 0 en reiknuð er út líkleg mæliskekkja
og bætt við gögnin
mæliskekkjan = fræðilegt gildi handahófstala
ERROR STDEV/100,0

5 1 ICNTRL,INDEX

ICNTRL = notað til að ákveða hvað á að framkvæma

ICNTRL: 1-10 11-20 21-29 35 30-39 45 40-90 90

ítrekanir	x	x	x	x	x	x	x	x
log eigingildi								
+ hálfásar		x	x	x	x			x
mörk á ρ +d						x	x	
mörk á dýpi					x	x	x	
maxoptimum				x		x		
öll eigingildi	x	x	x	x	x	x	x	x

INDEX = hámarksfjöldi ítrekana

6 1 LAY = fjöldi laga

- 7 Lay viðnám, kódi, þykkt, kódi
 kódi = V ef stærðin má breytast
 = * ef stærðin má ekki breytast
- 8 1 M = fjöldi mælipunkta sem CIRCLE2 á að sleppa
- 9 0 til 2 (ISKIP (I), I=1, M) = númer þeirra mælipunkta sem
 á að sleppa
- 10 1 M = fjöldi týpa sem á að sleppa
- 11 0 til 6 (INFO (I), I=1, M) = týpur sem á að sleppa.

Þar með er upptalningu gagna lokið.

Skrifað hefur verið forritið SKÝRR til að skrá gögnin á diskling á þann hátt að IBM tölva geti lesið þau. Jafnframt eru skráð öll POWER og DOS stýrispjöld þannig að ekki þarf að fara með neitt annað en disklinginn til SKÝRR til að fá unnið úr gögnunum með CIRCLE2.

Mæligögnin má hvort heldur sem er slá beint inn eða sækja á skrá sem er á því formi sem notað er við innlestur gagna í forritinu VIÐNÁM, þ.e.a.s. "DIRECT ACCESS" skrá með 3 real*4 breytum í línu AB/2, viðnám og staðalfrávik. Ef gögnin eru sótt í skrá er hægt að ákveða hvort allar 3 stærðirnar eru sóttar eða hvort aðeins er sótt fyrsta eða fyrstu tvær stærðirnar í hverri línu og afgangurinn sleginn inn.

Jarðlagamódelið verður alltaf að slá beint inn á eftir samsvarandi gögnum. Tækifæri gefst til villuleiðréttinga og til listunar á gögnum í heild áður en þau eru skráð á IBM disklinginn.

4 LÝSING Á ÚTSKRIFT

Til að skýra út útskrift forritsins verður farið lauslega í gegnum eina slíka. Hún ásamt mælingunni sjálfri fylgir með í viðauka. Vegna tæknilegra örðugleika létum við nægja að hafa $(AB/2)_{\max} = 1000$ m. Sem byrjunarmódel höfðum við handreiknaða túlkun mælingarinnar. Útskriftin fram að fyrstu iterasjóninni er útskýrð í kafla 3. Taflan gerir að mestu leiti grein fyrir sér sjálf, ef undan eru skildir dálkarnir CORR. og ST. DEV. sem koma bæði á eftir RHO. og THICKN. dálkunum. Í CORR. dálkana er skráð sú breyting er verður á viðkomandi viðnáms- og þykktar-gildum áður en næsta iterasjón hefst. ST. DEV. dálkarnir gefa staðal-frávik viðkomandi gildis sé öðrum gildum haldið föstum, ellegar þau eru gefnar stærðir. Undir töflunni er skráð meðalkvaðrat (MEANSQUARE), það er Q deilt með fjölda mælinga. Þar sem $Q = Q(\underline{x})$, (sjá jöfnu (1) í kafla 2) $\underline{x} = \ln p$ og $p = (d_1, \rho_1, d_2, \rho_2)$

Augljóst er að CORR. dálkurinn stefnir nær núlli eftir hverja iterasjón nema um jafngildislag (equivalence) sé að ræða (sjá síðar). Sömu sögu er að segja um meðalkvaðratið. Það minnkar sífellt og er það hættir að minnka skráir tölvan lokaniðurstöðuna. Meðalgildið er því mat tölvunnar á því hve lengi hún eigi að iterera. Framan við lokaniðurstöðuna skráir tölvan þau mæligildi, sem svara til lokaniðurstöðunnar.

Ef öll mæligildin væru fullkomlega rétt, þ.e. alls engin óvissa væri til staðar, þá hefðum við einkvæma svörun milli mæliferils og jarðlagamódelis. Svona er þessu að sjálfsögðu aldrei farið og ákveðin óvissa í mælipunktum svarar til ákveðinnar óvissu í módelinu, þ.e.a.s. mismunandi túlkunarferlar rúmast innan óvissumarka mælda ferilsins. Séu þykkt og viðnám ákveðins lags háð hvort öðru er talað um jafngildislag (equivalence layer). Það getur verið með tvennum hætti, þ.e. annað hvort $d_n/\rho_n = \text{konstant}$, ellegar $d_n \cdot \rho_n = \text{konstant}$. Þessara laga sem og túlkunar forritsins á þeim og annarri óvissu er getið síðar.

Þá er komið að eigingildum og eiginvektorum sem skilgreina hyperellipsoiduna sem 68% líkur eru á að geymi rétta módelið. "LOGARITHMIC EIGENVALUES" eru eigingildin $\lambda_1, \dots, \lambda_7$ úr fylkinu Λ (sjá kafla 2) "ESTIMATED LOGARITHMIC SEMIAXES" eru $1/\lambda_1, \dots, 1/\lambda_7$ og ákvarða lengd skammása gróflega en þar sem við vinnum með Taylor-nálgun verður að endurreikna þessar lengdir og fáum við þá "ACTUAL SEMIAXES OF 68 PERCENT CONFIDENCE ELLIPSOID" sem eru mislangir í jákvæða og neikvæða stefnu.

Athugið að eigingildum er raðað upp eftir stærð.

"PARAMETER EIGENVECTORS" eru eiginvektorar v_1, \dots, v_7 sem samsvara eigingildum $\lambda_1, \dots, \lambda_7$. Athugið að vektorarnir eru normaliseraðir þannig að lengd hvers um sig er 1. Til að fá raunverulega lengd þarf að margfalda með "ACTUAL SEMIAXIS". Eiginvektorarnir eru hornréttir á hvorn annan. Lítum nú á lengsta eiginvektorinn v_7 sem skilgreinir stærstu óvissustefnuna í lausnarrúminu. Tveir þættir v_7 eru langstærstir, þ.e.a.s. ofanvörp hans á RHO3 og D3. Til þess að gera okkur mynd af því sem er að gerast skulum við athuga vektorinn $(0, 0, 0, 0, 0.689, -0.715, 0)$, sem liggur í RHO3, D3 fletinum. Við flytjum upphafið í bestu lausnina (ρ_3^0, d_3^0) og margföldum vektorinn með lengd sinni og fáum að meðan

$$\frac{(\ln \rho_3 - \ln \rho_3^0)}{(\ln d_3 - \ln d_3^0)} = \frac{0.689}{-0.715}$$

$$\text{og } \ln \rho_3^0 - 0.51 * 0.689 < \ln \rho_3 < \ln \rho_3^0 + 0.65 * 0.689$$

$$\text{og } \ln d_3^0 + 0.51 * 0.715 > \ln d_3 > \ln d_3^0 - 0.65 * 0.715$$

Þá er lausnin innan hyperellipsoidunnar

$$\ln \rho_3 - \ln \rho_3^0 = -0.964 \cdot (\ln d_3 - \ln d_3^0)$$

$$\rho_3 \cdot d_3^{+0.964} = \rho_3^0 \cdot (d_3^0)^{+0.964}$$

þ.e.a.s. ef $\rho_3 \cdot d_3 = \text{constant}$, er innan vissra marka hægt að breyta ρ_3 og d_3 án þess að mælingarnar breytist marktækt. Ef ofanvörp eiginvektorsins á RHO3 og D3 hafa bæði sama formerki breytist formerki veldisvísis d_3 þannig að ρ_3/d_3 verður konstant. Ef við nú lítum á aðra eiginvektora og höfum í huga að þættir þeirra verða að margfaldast með ACTUAL SEMIAXIS sjáum við að öll ofanvörp á RHO3 D3 flöt hornrétt á v_7 eru miklu minni og ef við breytum ρ_3 og d_3 þannig að $\rho_3/d_3 = \text{constant}$ breytast mælingarnar mjög fljótt þannig að marktækt sé.

Lag sem hegðar sér þannig er kallað jafngildislag.

Ef við athugum v_6 kemur í ljós að ofanvörpin á RHO2 og D2 eru langstærst. Hér er því augljóslega um jafngildi $\rho_2/d_2 = \text{constant}$ að ræða en stærðin á ACTUAL SEMIAXIS gefur til kynna að það sé mun minna. Aðrir ásar

hyperellipsoidunnar eru svo stuttir að samsvarandi óvissa í módelinu er hverfandi.

Á undan niðurstöðum úr lokaíterásjóninni er prentuð tafla yfir þau fræðilegu sýndarviðnám sem lokamódelið framkallar, en þau gefa minnstu fánalegu kvaðratsummu á mismun mældra sýndarviðnáma og reiknaðra (með þeim lagfjölda, sem ákveðinn var í upphafi). Er að sjálfsögðu fróðlegt að bera töfluna saman við frungögnin til að sjá hversu vel þau falla að bestu fræðilegu gildunum.

Næsti hluti útskriftarinnar fjallar um stærstu og minnstu gildi sem stærðir módelsins, þ.e. viðnám, þykkt laga og dýpt á yfirborð þeirra, geta tekið innan 68% vissumarkanna. Til þess eru notuð eigingildi og eiginvektorar. Fundin eru minnstu og stærstu gildi hvernar stærðar og reiknað út hvaða gildi á hinum stærðunum er líklegast að samsvari þeim. Jafnframt er reiknað út hvaða sýndarviðnám fylgja þessum módelum. Athugið hér sérstaklega jafngildin $d_3 - \rho_3$ og hins vegar $d_2 - \rho_2$. Þau koma greinilega fram og er það fyrrnefnda mun stærra en það síðarnefnda eins og áður sagði. Athyglisvert er að dýpið niður á lag fjögur getur legið á milli 86 m og 130 m, sem hlýtur að teljast nokkuð stórt bil.

Á síðustu síðu útskriftar er birt tafla yfir "DATA EIGENVECTORS". Þeim er raðað upp í súlur á sama hátt og "PARAMETER EIGENVECTORS", þ.e.a.s. eftir minnkandi gildi á "LOGARITMIC EIGENVALUES". Ef við færum módelið eftir einhverjum "PARAMETER EIGENVECTOR" flytjast fræðilegu mæligildin eftir samsvarandi "DATA EIGENVECTOR" þannig að ef við til dæmis færum það út á enda á $\underline{v}_k / \lambda_k$ (kta "PARAMETER EIGENVECTOR") þá má reikna breytinguna í logaríthma íta sýndarviðnáms með því að margfalda íta þátt u_k (kta "DATA EIGENVECTOR") með staðalfrávikinu σ .

HEIMILDIR

Jackson, D.D. 1972

Interpretation of inaccurate, insufficient and inconsistent data.
Geophys. J.R. Astr. Soc. 28, 97-109.

Johansen, H.K. 1975

An interactive computer/graphic-display-terminal system for
interpretation of resistivity soundings.
Geophys. Prosp. 23, 449-458.

Johansen, H.K. 1977

A Man/Computer Interpretation System for Resistivity soundings
over a Horizontally Stratified Earth.
Geophysical Prospecting 25, 667-691.

Lanczos, C. 1961.

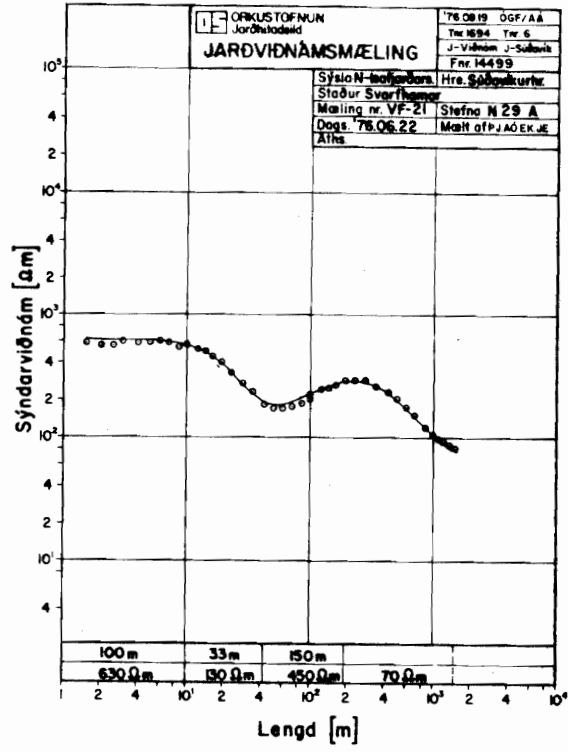
Linear differential operators,
D. van Nostrand Company Ltd. 1961

Sørensen, Kurt

Inversion-teori
Fyrirlestrar við Jarðeðlisfræðideild Árósháskóla

VIÐAUKI

Útskrift á viðnámsmælingu



SVARTHAMAR ALFATIRDI VF-21

NUMBER OF DATA POINTS 36
NUMBER OF LAYERS 4
NUMBER OF VARIABLE PARAMETERS 7

PROGRAM CONTROL PARAMETER 45

DEFINITION OF THE COLUMNS IN THE FOLLOWING OUTPUT

<ID> IDENTIFICATOR OF THE DATA

<TYPE> TWO-DIGET NUMBER **<MN>**.

<MN>=1 SIGNIFIES VES DATA

<MN>=2 ~~-#~~ MODULUS DATA , MAGNETOTELLURICS

<MN>=3 ~~-#~~ PHASE DATA , ~~-#~~

WHEN M IS NOT ZERO, THE DATA IS OF DFS TYPE

WHERE M SIGNIFIES FREQUENCY

ACCORDING TO THE FOLLOWING TABLE

M=1 F=222HZ

M=2 F=444HZ

M=3 F=888HZ

M=4 F=1777HZ

M=5 F=3555HZ

AND N IDENTIFIES THE CONFIGURATION AS FOLLOWS

N=1 HORIZONTAL LOOPS, IN-PHASE

N=2 ~~-#~~ , OUT-OF-PHASE

N=3 PERPENDICULAR LOOPS, IN-PHASE

N=4 ~~-#~~ , OUT-OF-PHASE

N=5 VERTICAL COPLANAR LOOPS, IN-PHASE

N=6 ~~-#~~ , OUT-OF-PHASE

<R> CONTAINS AB/2 IN METERS FOR VES DATA,

FREQUENCY FOR MAGNETOTELLURIC DATA AND R FOR DFS DATA

<MEAS> CONTAINS EITHER THE APPARENT RESISTIVITY IN OHM.M

THE PHASE IN DEGREES OR THE MUTUAL COUPLING RATIO

IN PERCENTAGE UNITS (P.U.), WITH

A BIAS OF 100 P.U. SUBTRACTED FROM TYPE 1 MEASUREMENTS.

<ST.DEV> CONTAINS THE RELATIVE ERROR IN PERCENT

FOR THE VES AND MT-MODULUS MEASUREMENTS

AND THE ABSOLUTE ERROR IN DEGREES AND IN P.U. FOR

THE MT-PHASE DATA AND THE DFS-DATA, RESPECTIVELY.

DEFAULT VALUES ARE 3.5 PERCENT AND 1.0 P.U., RESPECTIVELY.

THE FOLLOWING MEASUREMENTS ARE INCLUDED

ID	TYPE	R	MEAS	ST.DEV
1	1	1.5	586.0	3.5
2	1	2.0	553.0	3.5
3	1	2.5	552.0	3.5
4	1	3.0	598.0	3.5
5	1	4.0	583.0	3.5
6	1	5.0	590.0	3.5
7	1	6.0	605.0	3.5
8	1	7.0	583.0	3.5
9	1	8.5	542.0	3.5
10	1	10.0	557.0	3.5
11	1	12.0	510.0	3.5
12	1	14.0	493.0	3.5
13	1	16.0	446.0	3.5
14	1	19.0	407.0	3.5
15	1	23.0	334.0	3.5
16	1	28.0	269.0	3.5
17	1	34.0	232.0	3.5
18	1	42.0	187.0	3.5
19	1	50.0	174.0	3.5
20	1	60.0	171.0	3.5
21	1	70.0	179.0	3.5
22	1	85.0	190.0	3.5
23	1	100.0	212.0	3.5
24	1	120.0	244.0	3.5
25	1	140.0	252.0	3.5
26	1	160.0	265.0	3.5
27	1	190.0	290.0	3.5
28	1	230.0	292.0	3.5
29	1	280.0	292.0	3.5
30	1	340.0	260.0	3.5
31	1	420.0	236.0	3.5
32	1	500.0	210.0	3.5
33	1	600.0	177.0	3.5
34	1	700.0	153.0	3.5
35	1	850.0	121.0	3.5
36	1	1000.0	107.0	3.5

ITERATION NUMBER 1							
LAYER	RHO	CJRR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	630.00	-42.129	6.018	10.00	1.199	0.148	10.00
2	130.00	-18.649	1.979	33.00	1.094	0.331	43.00
3	450.00	112.901	6.780	150.00	-35.923	2.635	193.00
4	0.70D 02	7.818	2.000				
=====							
MEANSQUARE=		0.2337D 02					

ITERATION NUMBER 2							
LAYER	RHO	CJRR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.87	-0.525	5.474	11.20	0.147	0.161	11.20
2	111.35	5.249	1.652	34.09	-0.915	0.732	45.29
3	562.90	108.433	9.417	114.08	-19.698	2.147	159.37
4	0.73D 02	0.853	2.083				
=====							
MEANSQUARE=		0.1845D 02					

ITERATION NUMBER 3

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.35	-0.193	5.447	11.35	0.024	0.163	11.35
2	106.10	-0.486	1.550	33.18	0.658	0.662	44.52
3	671.33	89.442	11.478	94.38	-11.563	1.753	139.90
4	0.790 02	0.380	2.029				

MEANSQUARE= 0.17910 02

ITERATION NUMBER 4

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	537.15	-0.015	5.442	11.37	-0.007	0.160	11.37
2	105.62	0.471	1.515	33.84	0.714	0.655	45.21
3	760.78	74.929	13.211	82.72	-7.829	1.531	127.92
4	0.790 02	0.278	2.013				

MEANSQUARE= 0.17760 02

ITERATION NUMBER 5

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.14	0.027	5.443	11.36	-0.011	0.163	11.36
2	106.09	0.499	1.502	34.55	0.574	0.553	45.91
3	835.70	64.377	14.669	74.89	-5.532	1.385	120.80
4	0.790 02	0.185	2.005				

MEANSQUARE= 0.17700 02

ITERATION NUMBER 6

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.16	0.030	5.445	11.35	-0.009	0.163	11.35
2	106.59	0.394	1.495	35.12	0.437	0.552	45.43
3	930.08	56.123	15.917	69.26	-4.251	1.282	115.73
4	0.800 02	0.127	2.000				

MEANSQUARE= 0.17670 02

ITERATION NUMBER 7

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.19	0.025	5.447	11.34	-0.007	0.163	11.34
2	106.98	0.298	1.490	35.56	0.335	0.565	46.90
3	956.20	49.512	17.001	65.00	-3.332	1.203	111.91
4	0.800 02	0.091	1.997				

MEANSQUARE= 0.17660 02

ITERATION NUMBER 8

LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.22	0.020	5.448	11.34	-0.006	0.163	11.34
2	107.28	0.227	1.487	35.90	0.262	0.569	47.23
3	1005.72	44.167	17.953	61.67	-2.691	1.142	108.90
4	0.800 02	0.068	1.994				

MEANSQUARE= 0.17640 02

THEORETICAL DATA

1	1	1.50	587.024517919	0.03
2	1	2.00	586.733569170	0.03
3	1	2.50	586.258442341	0.03
4	1	3.00	585.557173914	0.03
5	1	4.00	583.335966549	0.03
6	1	5.00	579.813533273	0.03
7	1	6.00	574.802046459	0.03
8	1	7.00	568.175303384	0.03
9	1	8.50	555.270771269	0.03
10	1	10.00	538.909780172	0.03
11	1	12.00	512.497211370	0.03
12	1	14.00	482.329822568	0.03
13	1	16.00	449.925303371	0.03
14	1	19.00	400.734591378	0.03
15	1	23.00	339.949977957	0.03
16	1	28.00	277.978125730	0.03
17	1	34.00	226.023675836	0.03
18	1	42.00	187.916824672	0.03
19	1	50.00	172.701125894	0.03
20	1	60.00	170.660111069	0.03
21	1	70.00	178.038447008	0.03
22	1	85.00	195.390429148	0.03
23	1	100.00	214.037914109	0.03
24	1	120.00	236.601347642	0.03
25	1	140.00	254.919809250	0.03
26	1	160.00	268.831576058	0.03
27	1	190.00	282.385865412	0.03
28	1	230.00	289.347538013	0.03
29	1	280.00	285.381296520	0.03
30	1	340.00	269.437212430	0.03
31	1	420.00	239.997539182	0.03
32	1	500.00	209.424413527	0.03
33	1	600.00	175.959332634	0.03
34	1	700.00	149.763564190	0.03
35	1	850.00	122.871501004	0.03
36	1	1000.00	106.863092599	0.03

-1,.,,

ITERATION NUMBER	1						
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	587.24	-0.000	5.449	11.33	0.0	0.160	11.33
2	107.51	-0.000	1.484	36.15	-0.000	0.571	47.49
3	1049.88	-0.000	18.800	58.98	0.000	1.092	106.47
4	0.300 02	-0.000	1.993				

MEANSQUARE= 0.0

LOGARITHMIC EIGENVALUES

1	2	3	4	5	6	7
0.120 03	0.910 02	0.830 02	0.540 02	0.180 02	0.630 01	0.270 00

ESTIMATED LOGARITHMIC SEMIAXES

0.830-02	0.110-01	0.120-01	0.190-01	0.560-01	0.160 00	0.370 01
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

PARAMETER EIGENVECTORS

	1	2	3	4	5	6	7
RH01	-0.824	0.388	-0.209	0.354	-0.018	0.023	0.001
D1	-0.440	-0.080	0.100	-0.859	0.103	-0.206	-0.008
RH02	-0.313	-0.589	0.380	0.091	-0.177	0.509	0.035
D2	0.160	0.430	-0.322	-0.337	0.021	0.748	0.116
RH03	-0.051	-0.407	-0.501	0.052	0.315	-0.063	0.689
D3	-0.034	-0.353	-0.526	0.008	0.281	0.090	-0.715
RH04	0.003	-0.147	-0.414	-0.113	-0.883	-0.123	0.014

ACTUAL SEMIAXES OF 68 PERCENT CONFIDENCE ELLIPSOID

IN POSITIVE DIRECTION OF EIGENVECTOR

0.830-02	0.110-01	0.120-01	0.190-01	0.570-01	0.140 00	0.650 00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

IN NEGATIVE DIRECTION OF EIGENVECTOR

0.830-02	0.110-01	0.120-01	0.190-01	0.550-01	0.170 00	0.510 00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

EXTREME PARAMETER SETS

THE TAD MODELS EXTREMIZING RHO1 ARE
MAX MIN

RHJ1	593.88	580.53
D1	11.14	11.56
DEPTH1	11.14	11.56

RHJ2	110.27	103.61
D2	37.30	34.59
DEPTH2	48.44	46.15

RHJ3	1062.06	1045.52
D3	58.21	59.29
DEPTH3	106.65	105.44

RHJ4	0.800 02	0.800 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	593.7	587.0	580.3
2	1	2.0	593.3	586.7	580.1
3	1	2.5	592.8	586.3	579.6
4	1	3.0	592.1	585.6	579.0
5	1	4.0	589.8	583.3	575.9
6	1	5.0	586.0	579.8	573.6
7	1	6.0	580.8	574.8	568.8
8	1	7.0	573.8	568.2	562.6
9	1	8.5	560.3	555.3	550.3
10	1	10.0	543.2	538.9	534.8
11	1	12.0	515.7	512.5	509.5
12	1	14.0	484.4	482.3	480.5
13	1	16.0	451.1	449.9	449.1
14	1	19.0	400.7	400.7	401.1
15	1	23.0	339.1	339.9	341.2
16	1	28.0	276.8	278.0	279.4
17	1	34.0	225.2	226.0	227.0
18	1	42.0	187.7	187.9	188.0
19	1	50.0	172.9	172.7	172.3
20	1	60.0	171.1	170.7	170.1
21	1	70.0	178.4	178.0	177.6
22	1	85.0	195.6	195.4	195.3
23	1	100.0	214.0	214.0	214.2
24	1	120.0	236.5	236.5	237.0
25	1	140.0	254.8	254.9	255.3
26	1	160.0	268.7	268.8	269.3
27	1	190.0	282.2	282.4	282.8
28	1	230.0	289.2	289.3	289.6
29	1	280.0	285.3	285.4	285.5
30	1	340.0	269.4	269.4	269.4
31	1	420.0	240.0	240.0	239.9
32	1	500.0	209.5	209.4	209.3
33	1	600.0	176.0	176.0	175.8
34	1	700.0	149.8	149.8	149.7
35	1	850.0	122.9	122.9	122.9
36	1	1000.0	106.8	106.9	107.0

THE TWO MODELS EXTREMIZING D1 ARE
MAX MIN

RHJ1	583.76	590.49
D1	11.79	10.95
DEPTH1	11.79	10.95

RHJ2	97.61	116.14
D2	32.13	39.86
DEPTH2	43.92	50.81

RHJ3	1023.25	1116.53
D3	60.62	55.23
DEPTH3	104.53	106.04

RHJ4	0.81D 02	0.79D 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	583.6	587.0	590.3
2	1	2.0	583.3	586.7	589.9
3	1	2.5	582.9	586.3	589.4
4	1	3.0	582.2	585.5	588.7
5	1	4.0	580.2	583.3	586.3
6	1	5.0	577.0	579.8	582.5
7	1	6.0	572.4	574.8	577.1
8	1	7.0	566.3	568.2	570.0
9	1	8.5	554.3	555.3	556.2
10	1	10.0	539.0	538.9	539.9
11	1	12.0	514.1	512.5	511.2
12	1	14.0	485.3	482.3	479.9
13	1	16.0	454.1	449.9	446.6
14	1	19.0	405.9	400.7	396.7
15	1	23.0	345.2	339.9	335.0
16	1	28.0	282.1	278.0	275.3
17	1	34.0	228.1	226.0	225.3
18	1	42.0	187.7	187.9	189.2
19	1	50.0	171.5	172.7	174.8
20	1	60.0	169.4	170.7	172.7
21	1	70.0	177.3	178.0	179.5
22	1	85.0	195.6	195.4	195.9
23	1	100.0	215.0	214.0	213.9
24	1	120.0	238.0	236.6	235.9
25	1	140.0	256.4	254.9	254.1
26	1	160.0	270.3	268.8	268.0
27	1	190.0	283.6	282.4	281.7
28	1	230.0	290.3	289.3	288.9
29	1	280.0	285.9	285.4	285.2
30	1	340.0	269.5	269.4	269.5
31	1	420.0	239.7	240.0	240.3
32	1	500.0	209.0	209.4	209.8
33	1	600.0	175.6	176.0	175.3
34	1	700.0	149.6	149.8	150.0
35	1	850.0	123.0	122.9	122.9
36	1	1000.0	107.2	106.9	106.7

THE TWO MODELS EXTREMIZING R-102 ARE
 MAX MIN

RH01	589.13	584.91
D1	11.00	11.74
DEPTH1	11.00	11.74

RH12	117.49	96.64
D2	40.69	31.61
DEPTH2	51.69	43.36

RH13	1163.93	1003.03
D3	52.99	61.78
DEPTH3	104.67	105.14

RH14	0.79D 02	0.81D 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	DPT	MIN
1	1	1.5	588.9	587.0	584.7
2	1	2.0	588.6	586.7	584.4
3	1	2.5	588.1	586.3	584.0
4	1	3.0	587.3	585.6	583.4
5	1	4.0	585.0	583.3	581.3
6	1	5.0	581.3	579.8	573.0
7	1	6.0	576.0	574.8	573.3
8	1	7.0	569.0	568.2	567.1
9	1	8.5	555.5	555.3	555.0
10	1	10.0	538.5	538.9	539.5
11	1	12.0	511.2	512.5	514.3
12	1	14.0	480.3	482.3	485.1
13	1	16.0	447.4	449.9	453.5
14	1	19.0	398.1	400.7	404.9
15	1	23.0	337.9	339.9	343.9
16	1	28.0	277.3	278.0	280.6
17	1	34.0	227.2	226.0	226.6
18	1	42.0	190.7	187.9	186.6
19	1	50.0	175.8	172.7	170.8
20	1	60.0	173.3	170.7	169.1
21	1	70.0	179.7	178.0	177.3
22	1	85.0	195.7	195.4	195.9
23	1	100.0	213.4	214.0	215.4
24	1	120.0	235.4	236.6	238.4
25	1	140.0	253.5	254.9	256.8
26	1	160.0	267.5	268.8	270.7
27	1	190.0	281.2	282.4	284.0
28	1	230.0	288.6	289.3	290.5
29	1	280.0	285.1	285.4	286.0
30	1	340.0	269.6	269.4	269.5
31	1	420.0	240.5	240.0	239.6
32	1	500.0	210.1	209.4	208.9
33	1	600.0	176.5	176.0	175.5
34	1	700.0	150.2	149.8	149.5
35	1	850.0	123.0	122.9	123.0
36	1	1000.0	106.7	106.9	107.4

THE TWO MODELS EXTREMIZING D2 ARE
 MAX MIN

R4J1	588.83	585.12
D1	11.04	11.71
DEPTH1	11.04	11.71

R4J2	116.61	97.14
D2	41.14	31.40
DEPTH2	52.18	43.11

R4J3	1354.34	915.85
D3	45.43	67.68
DEPTH3	97.61	110.78

R4J4	0.79D 02	0.81D 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	588.6	587.0	584.9
2	1	2.0	588.3	586.7	584.7
3	1	2.5	587.8	586.3	584.2
4	1	3.0	587.1	585.6	583.6
5	1	4.0	584.7	583.3	581.5
6	1	5.0	581.0	579.8	578.2
7	1	6.0	575.8	574.8	573.5
8	1	7.0	568.9	568.2	567.2
9	1	8.5	555.5	555.3	555.0
10	1	10.0	538.6	538.9	539.5
11	1	12.0	511.4	512.5	514.1
12	1	14.0	480.7	482.3	484.9
13	1	16.0	447.9	449.9	453.2
14	1	19.0	398.5	400.7	404.5
15	1	23.0	338.3	339.9	343.5
16	1	28.0	277.5	278.0	280.3
17	1	34.0	227.1	226.0	226.5
18	1	42.0	190.2	187.9	186.7
19	1	50.0	175.0	172.7	171.1
20	1	60.0	172.3	170.7	169.4
21	1	70.0	178.6	178.0	177.6
22	1	85.0	194.5	195.4	196.1
23	1	100.0	212.2	214.0	215.4
24	1	120.0	234.2	236.6	238.3
25	1	140.0	252.4	254.9	256.6
26	1	160.0	266.4	268.8	270.3
27	1	190.0	280.3	282.4	283.6
28	1	230.0	287.8	289.3	290.0
29	1	280.0	284.5	285.4	285.5
30	1	340.0	269.3	269.4	269.1
31	1	420.0	240.4	240.0	239.3
32	1	500.0	210.2	209.4	208.7
33	1	600.0	176.7	176.0	175.4
34	1	700.0	150.4	149.8	149.6
35	1	850.0	123.1	122.9	123.2
36	1	1000.0	106.8	106.9	107.5

THE TWO MODELS EXTREMIZING RHO3 ARE
MAX MIN

RHO1	587.39	587.13
D1	11.28	11.37
DEPTH1	11.28	11.37

RHO2	109.63	105.91
D2	38.86	34.18
DEPTH2	50.14	45.55

RHO3	1644.48	738.94
D3	37.08	84.76
DEPTH3	87.23	130.30

RHO4	0.80D 02	0.79D 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	587.2	587.0	586.9
2	1	2.0	586.9	586.7	586.6
3	1	2.5	586.4	586.3	586.2
4	1	3.0	585.7	585.6	585.5
5	1	4.0	583.5	583.3	583.2
6	1	5.0	579.9	579.8	579.7
7	1	6.0	574.9	574.8	574.8
8	1	7.0	568.2	568.2	568.2
9	1	8.5	555.2	555.3	555.3
10	1	10.0	538.8	538.9	539.0
11	1	12.0	512.3	512.5	512.6
12	1	14.0	482.1	482.3	482.5
13	1	16.0	449.6	449.9	450.1
14	1	19.0	400.5	400.7	400.9
15	1	23.0	339.8	339.9	340.0
16	1	28.0	277.9	278.0	277.8
17	1	34.0	226.0	226.0	225.6
18	1	42.0	187.8	187.9	187.4
19	1	50.0	172.1	172.7	172.1
20	1	60.0	169.5	170.7	169.9
21	1	70.0	176.2	178.0	177.1
22	1	85.0	193.0	195.4	194.0
23	1	100.0	211.3	214.0	212.1
24	1	120.0	233.7	236.6	233.9
25	1	140.0	252.0	254.9	251.6
26	1	160.0	266.0	268.8	265.2
27	1	190.0	279.7	282.4	278.5
28	1	230.0	287.0	289.3	285.8
29	1	280.0	283.5	285.4	282.5
30	1	340.0	268.2	269.4	267.5
31	1	420.0	239.4	240.0	239.1
32	1	500.0	209.3	209.4	209.4
33	1	600.0	176.3	176.0	176.5
34	1	700.0	150.3	149.8	150.5
35	1	850.0	123.5	122.9	123.6
36	1	1000.0	107.5	106.9	107.4

THE TWO MODELS EXTREMIZING D3 ARE
 MAX MIN

RHD1	587.11	587.40
D1	11.37	11.28
DEPTH1	11.37	11.28

RHD2	105.90	109.60
D2	34.22	38.81
DEPTH2	45.59	50.09

RHD3	740.32	1642.13
D3	84.91	37.03
DEPTH3	130.50	87.12

RHD4	0.79D 02	0.81D 02
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	586.9	587.0	587.2
2	1	2.0	586.6	586.7	586.9
3	1	2.5	586.1	586.3	586.4
4	1	3.0	585.4	585.6	585.7
5	1	4.0	583.2	583.3	583.5
6	1	5.0	579.7	579.8	579.9
7	1	6.0	574.7	574.8	574.9
8	1	7.0	568.1	568.2	568.2
9	1	8.5	555.3	555.3	555.2
10	1	10.0	539.0	538.9	538.8
11	1	12.0	512.6	512.5	512.3
12	1	14.0	482.5	482.3	482.1
13	1	16.0	450.1	449.9	449.6
14	1	19.0	400.9	400.7	400.4
15	1	23.0	340.0	339.9	339.7
16	1	28.0	277.8	278.0	277.9
17	1	34.0	225.7	226.0	226.0
18	1	42.0	187.4	187.9	187.8
19	1	50.0	172.1	172.7	172.1
20	1	60.0	169.9	170.7	169.5
21	1	70.0	177.1	178.0	176.3
22	1	85.0	194.0	195.4	193.0
23	1	100.0	212.0	214.0	211.3
24	1	120.0	233.9	236.6	233.7
25	1	140.0	251.7	254.9	252.0
26	1	160.0	265.3	268.8	266.0
27	1	190.0	278.7	282.4	279.7
28	1	230.0	286.0	289.3	286.9
29	1	280.0	282.8	285.4	283.3
30	1	340.0	267.8	269.4	267.9
31	1	420.0	239.5	240.0	239.1
32	1	500.0	209.7	209.4	209.1
33	1	600.0	176.7	176.0	176.1
34	1	700.0	150.6	149.8	150.2
35	1	850.0	123.5	122.9	123.6
36	1	1000.0	107.2	106.9	107.7

THE TAD MODELS EXTREMIZING RHO4 ARE
MAX MIN

RHO1 586.78 587.36
 D1 11.42 11.29
DEPTH1 11.42 11.29

RHO2 104.46 109.20
 D2 34.80 37.12
DEPTH2 46.22 48.41

RHO3 1118.33 1017.15
 D3 53.60 62.94
DEPTH3 99.82 111.35

RHO4 0.84D 02 0.76D 02

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	1.5	586.6	587.0	587.1
2	1	2.0	586.3	586.7	586.8
3	1	2.5	585.8	586.3	586.4
4	1	3.0	585.1	585.6	585.7
5	1	4.0	582.9	583.3	583.4
6	1	5.0	579.5	579.8	579.9
7	1	6.0	574.5	574.8	574.9
8	1	7.0	568.0	568.2	568.2
9	1	8.5	555.3	555.3	555.2
10	1	10.0	539.1	538.9	538.8
11	1	12.0	512.9	512.5	512.3
12	1	14.0	482.9	482.3	482.1
13	1	16.0	450.6	449.9	449.7
14	1	19.0	401.5	400.7	400.5
15	1	23.0	340.6	339.9	339.9
16	1	28.0	278.3	278.0	278.1
17	1	34.0	225.8	226.0	226.3
18	1	42.0	187.4	187.9	188.2
19	1	50.0	172.3	172.7	172.8
20	1	60.0	170.6	170.7	170.5
21	1	70.0	178.4	178.0	177.5
22	1	85.0	196.2	195.4	194.5
23	1	100.0	215.2	214.0	212.9
24	1	120.0	237.8	236.5	235.5
25	1	140.0	255.9	254.9	254.1
26	1	160.0	269.5	268.8	268.3
27	1	190.0	282.5	282.4	282.5
28	1	230.0	288.7	289.3	290.2
29	1	280.0	284.0	285.4	287.1
30	1	340.0	267.5	269.4	271.7
31	1	420.0	238.0	240.0	242.4
32	1	500.0	207.9	209.4	211.4
33	1	600.0	175.4	176.0	177.0
34	1	700.0	150.2	149.8	149.7
35	1	850.0	124.7	122.9	121.4
36	1	1000.0	109.7	106.9	104.4

THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTH1 ARE
MAX MIN

RHJ1	583.76	590.49
D1	11.79	10.95
DEPTH1	11.79	10.95

RHJ2	97.61	116.14
D2	32.13	39.86
DEPTH2	43.92	50.81

RHJ3	1023.25	1116.53
D3	60.62	55.23
DEPTH3	104.53	106.04

RHJ4	0.810 02	0.790 02
------	----------	----------

THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTH2 ARE
MAX MIN

RHJ1	588.64	585.28
D1	11.06	11.70
DEPTH1	11.06	11.70

RHJ2	116.43	97.26
D2	41.13	31.40
DEPTH2	52.18	43.10

RHJ3	1369.49	908.39
D3	44.93	68.23
DEPTH3	97.11	111.33

RHJ4	0.790 02	0.810 02
------	----------	----------

THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTH3 ARE
 MAX MIN

```

-----
      RHJ1      587.40      587.04
        D1       11.31       11.35
    DEPTH1       11.31       11.35
    
```

```

-----
      RHJ2      107.52      107.64
        D2       34.91       37.91
    DEPTH2       46.22       49.26
    
```

```

-----
      RHJ3      745.21      1629.71
        D3       84.42       37.28
    DEPTH3       130.64      86.54
    
```

```

-----
      RHJ4      0.79D 02      0.81D 02
    
```

THE FULL SET OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

LOGARITHMIC EIGENVALUES

```

      1          2          3          4          5          6          7
0.12D 03    0.91D 02    0.83D 02    0.54D 02    0.18D 02    0.63D 01    0.27D 00
    
```

ESTIMATED LOGARITHMIC SEMIAXES

```

0.83D-02    0.11D-01    0.12D-01    0.19D-01    0.56D-01    0.16D 00    0.37D 01
    
```

PARAMETER EIGENVECTORS

```

      1          2          3          4          5          6          7
RHJ1    -0.824    0.388   -0.209    0.354   -0.018    0.023    0.001
  D1     -0.440   -0.080    0.100   -0.859    0.103   -0.206   -0.008
RHJ2     -0.313   -0.589    0.380    0.091   -0.177    0.509    0.035
  D2      0.160    0.430   -0.322   -0.337    0.021    0.748    0.116
RHJ3     -0.051   -0.407   -0.501    0.052    0.315   -0.063    0.689
  D3     -0.034   -0.353   -0.526    0.008    0.281    0.090   -0.715
RHJ4      0.003   -0.147   -0.414   -0.113   -0.883   -0.123    0.014
    
```

DATA EIGENVECTORS

-0.20	0.12	-0.07	0.19	-0.03	0.11	0.05
-0.20	0.12	-0.07	0.19	-0.03	0.10	0.06
-0.20	0.12	-0.07	0.19	-0.03	0.10	0.06
-0.20	0.12	-0.07	0.18	-0.03	0.10	0.05
-0.20	0.12	-0.07	0.18	-0.03	0.09	0.05
-0.20	0.12	-0.07	0.17	-0.02	0.08	0.04
-0.20	0.12	-0.07	0.16	-0.02	0.07	0.03
-0.20	0.12	-0.07	0.14	-0.02	0.05	0.02
-0.21	0.11	-0.06	0.12	-0.01	0.02	-0.01
-0.22	0.11	-0.06	0.08	0.00	-0.02	-0.03
-0.23	0.10	-0.05	0.03	0.01	-0.08	-0.07
-0.24	0.09	-0.04	-0.03	0.03	-0.14	-0.11
-0.25	0.07	-0.03	-0.10	0.04	-0.19	-0.13
-0.26	0.05	-0.01	-0.19	0.06	-0.24	-0.15
-0.27	0.02	0.01	-0.29	0.07	-0.25	-0.11
-0.27	-0.03	0.05	-0.37	0.07	-0.16	-0.00
-0.25	-0.09	0.08	-0.38	0.03	0.05	0.15
-0.21	-0.15	0.12	-0.29	-0.04	0.32	0.25
-0.17	-0.20	0.14	-0.15	-0.11	0.43	0.14
-0.13	-0.23	0.15	0.00	-0.15	0.35	-0.12
-0.11	-0.25	0.15	0.09	-0.16	0.19	-0.33
-0.10	-0.26	0.13	0.15	-0.15	-0.04	-0.39
-0.09	-0.26	0.12	0.17	-0.12	-0.15	-0.27
-0.09	-0.26	0.09	0.17	-0.08	-0.22	-0.05
-0.08	-0.26	0.07	0.16	-0.03	-0.22	0.13
-0.08	-0.25	0.04	0.15	0.01	-0.20	0.23
-0.07	-0.25	-0.00	0.14	0.06	-0.16	0.29
-0.06	-0.24	-0.06	0.11	0.13	-0.10	0.27
-0.05	-0.22	-0.12	0.08	0.20	-0.04	0.20
-0.04	-0.21	-0.19	0.05	0.26	0.03	0.09
-0.02	-0.19	-0.27	0.01	0.28	0.09	-0.05
-0.00	-0.16	-0.33	-0.03	0.25	0.13	-0.15
0.01	-0.14	-0.38	-0.07	0.14	0.12	-0.21
0.02	-0.11	-0.40	-0.09	-0.04	0.08	-0.19
0.02	-0.08	-0.39	-0.11	-0.36	-0.03	-0.02
0.02	-0.06	-0.35	-0.11	-0.67	-0.16	0.24

45

4

0.587D 03, VAR 0.113D 02, VAR

0.108D 03, VAR 0.362D 02, VAR

0.105D 04, VAR 0.590D 02, VAR

0.798D 02, VAR

0

0