

# Az MIT Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportjának tevékenysége a kezdetektől 1954-ig\*

ROBINSON, E. A.

8 Dorothy Lucey Drive, Newburyport, Massachusetts 01950, USA

A digitális jelfeldolgozás kezdeti időszaka az 1950-tól 1954-ig terjedő évekre tehető. Enders A. Robinson 1951-ben állt elő az ökonometrikus modell felhasználásával kidolgozott dekonvolúciós módszerrel, amelyet 32 szeizmikus csatornán ellenőrzött. Szakmai tanácsadói Norbert Wiener, George Wadsworth, Paul Samuelson és Robert Solow professzorok voltak. Munkájára alapozva az MIT (Massachusetts Institute of Technology) elnöki hivatala 1952-ben a Geológiai és Geofizikai Tanszéken belül létrehozta és szponzorálta a Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportot (Geophysical Analysis Group, GAG). A GAG szervezetét a digitális adatfeldolgozás kutatási területén dolgozó végzett hallgatók alkották. 1953-ban olajipari és geofizikai vállalatokból álló társulás vállalta magára a szponzorálást. A GAG eleinte az MIT Whirlwind számítógépét használta. A társulás megnövekedett számítási igényének kielégítése céljából 1953-ban a Raytheon iparvállalat számítógépes részlegének közreműködését vették igénybe. A Raytheon szakembereinek sorában kulcsszerepet játszott Richard Clippinger, Bernard Dimsdale és Joseph H. Levin, akik korábban ott voltak a világ első elektronikus digitális számítógépénél, az ENIAC-nál. Az ENIAC eredeti felépítésében nem használt memóriában tárolt programokat, mint a modern számítógépek, ehelyett a programozást az alkatrészek áthuzalozásával végezték minden új feladat teljesítéséhez. 1948-ban Clippinger feladata volt az ENIAC átalakítása a világ első tárolt programú számítógépévé. Az átalakításban Neumann János professzor tanácsadóként vett részt a Felsőfokú Tanulmányok Intézete részéről.

A Raytheon a GAG munkájához 1953-ban a brit Ferranti Mark 1-es számítógépet alkalmazta (ez kereskedelmi változata volt a Manchester Mark 1-es számítógépnek, amelyben Alan Turing játszott kulcsszerepet). Ezt a gépet a Torontói Egyetemen helyezték üzembe a Szent Lőrinc hajóút tervezésének támogatásához. A Raytheon bosszantották a számítógép gyakori leállásai, de ennek ellenére többszáz szeizmikus dekonvolúciót végeztek el az 1953 nyarán megtartott GAG-találkozóra. A társulás elégedett volt a geofizikai eredményekkel, kedvét szegte azonban a digitális technológia akkori állapotának megbízhatatlansága. Emiatt utasították a GAG-ot, hogy keressen analóg megoldásokat a dekonvolúció elvégzésére. A GAG viszont úgy találta, hogy az analóg módszerek mindegyike – de különösen az áramkörökkel megvalósított frekvenciaszűrés – elvégezhető digitális jelfeldolgozással. Tény, hogy a digitális eljárás nagyobb pontosságot szolgáltatott, mint az analóg módszer. Az 1954-es tavaszi GAG-találkozón a GAG indítványozta minden analóg eljárás elvetését, helyette a digitális jelfeldolgozás alkalmazását javasolta. A Raytheon jelen volt a találkozáson és felajánlotta a digitális jelfeldolgozáshoz szükséges minden építőelem rendelkezésre bocsátását vagy megépítését, a bemenettől a kimenetig terjedően. Az analóg–digitális átalakítás ekkor még nem volt alkalmazásban. Erre a lépésre az 1960-as évek elején került sor, és az alkalmazott geofizika azzal tűnt ki, hogy a tudományok sorában elsőként hajtotta végre a teljes digitális forradalmat. A digitális feldolgozás a Föld belsejének szeizmikus leképezéseit olyan bámulusok tökéletességével nyújtja, ami a Hubble-teleszkóp által készített csillagképekhez hasonló. (Egyébként a dekonvolúció elsőként a geofizikában alkalmazott digitális módszere tette lehetővé a Hubble-teleszkóp lencséinek digitális korrigálását.)

## Robinson, E. A.: The MIT Geophysical Analysis Group from inception to 1954

The beginning of digital signal processing took place in the years 1950 to 1954. Using an econometric model, E. A. Robinson in 1951 came up with the method of deconvolution, which he tested on 32 seismic traces. Norbert Wiener, George Wadsworth, Paul Samuelson, and Robert Solow were his advisors. On the basis of this work, the MIT president's office in

\* Az alábbi cikket eredetileg a *Geophysics* közölte 2005-ben: *Geophysics* 70(4), 2005 július–augusztus, 7JA–30JA, doi: 10.1190/1.2000287. Tudománytörténeti jelentősége miatt adjuk közre most magyarul is Kovács Béla fordításában. A *Magyar Geofizika* szerkesztőségének köszönetét fejezi ki a *Geophysics* szerkesztőségének a cikk magyarul történő közlésének engedélyezésért.

This paper was published first in English in the journal *Geophysics*, Vol. 70, No. 4, July–August 2005; pp. 7JA–30JA, doi: 10.1190/1.2000287. It is now published in Hungarian as well because of its importance in the history of geophysics. The editors of *Magyar Geofizika (Hungarian Geophysics)* thank very much the permission given by *Geophysics* for the publication of the Hungarian version translated by Béla Kovács.

1952 set up and sponsored the Geophysical Analysis Group (GAG) in the Department of Geology and Geophysics. GAG was made up of graduate students doing research in digital signal processing. In 1953, a consortium of oil and geophysical companies took over the sponsorship. At first, GAG used the MIT Whirlwind digital computer. In order to do the larger amount of computing required by the consortium, the Computer Service Section of Raytheon Manufacturing Company was enlisted in 1953. The Raytheon people who played key roles were Richard Clippinger, Bernard Dimsdale, and Joseph H. Levin, all of whom had worked on ENIAC, the world's first electronic digital computer. As originally built, ENIAC did not use programs stored in memory as does a modern computer; instead, the programming was done by rewiring the physical components for each new problem. In 1948, Clippinger was responsible for converting ENIAC into the world's first operational stored-program computer. ENIAC had 20 accumulators but no other random access memory (RAM). The programs were stored in the function tables, which acted as programmable read-only memory (PROM).

For GAG work in 1953, Raytheon used the British Ferranti Mark 1 computer (which was the commercial version of the Manchester Mark 1 computer, for which Alan Turing played a key role). This computer was installed at the University of Toronto to help in the design of the St. Lawrence Seaway. Raytheon was plagued by frequent breakdowns of the computer but still produced several hundred seismic deconvolutions for the summer GAG meeting in 1953. The consortium was pleased with the geophysical results but was disheartened by the unreliability of the current state of digital technology. As a result, GAG was directed to find analog ways to do deconvolution. Instead, GAG found that all of the analog methods, and in particular, electric frequency filtering, could be done by digital signal processing. In fact, the digital way provided greater accuracy than the analog way. At the spring meeting in 1954, GAG proposed that all analog processing be thrown out and replaced by digital signal processing. Raytheon was at the meeting and offered to obtain or build all the elements required for digital signal processing, from input to output. The conversion to digital was not done at the time. However, that step did happen in the early 1960s, and exploration geophysics has the distinction of being the first science to experience a total digital revolution. Digital processing today provides seismic images of the interior of the Earth so startling that they compare to images of the stars made by the Hubble telescope. (In fact, the digital method of deconvolution first developed in geophysics made possible the digital correction of the lens of the Hubble telescope.)

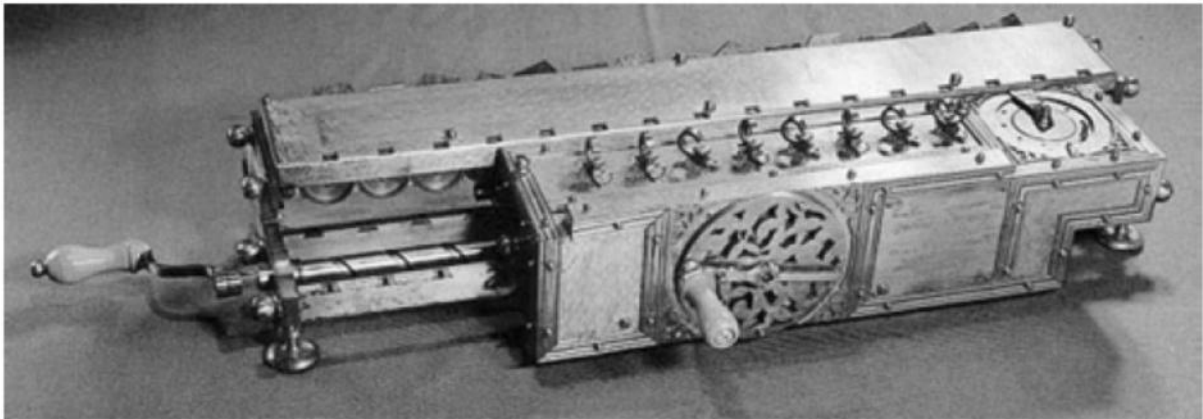
## Bevezetés

Ha az ember új munkahelyre kerül, nehezebbnek tűnik az érvényesülés, mint visszatéréskor. Amikor először tesszük meg az utat, feladatot teljesítünk. Úgy érezzük, hogy ilyenkor lassabban telik az idő, míg visszafelé a már ismert útvonalat járjuk be, és ekkor gyorsabbnak látszik az idő múlása. Idővel változnak az emberek, az érdekek, a körülmények és a prioritások. Ez a történet 50 évre nyúlik vissza, és visszanevez úgy tűnik, hogy gyorsan zajlott le és könnyű volt. A valóságban azonban sokáig tartott, és nem is volt olyan könnyű. Senki ne gondolja, hogy a dolgok 1950-ben nagyjából olyanok voltak, mint manapság. A számítógép akkor közelebb állt Pascal, Leibniz, de Colmar és Babbage gépeihez, mint egy mai számítógéphez. A számítógépek 1950 óta többet változtak, mint az 1950 előtti évszázadokban összesen. Gyermekkoromban volt egy elektroncsöves rádiónk, tekintélyes méretű készülék, 90 cm magas, 60 cm széles, 30 cm mély. Engem azonban a kristálydetektoros készülék bűvölt el, amely egy kicsi és könnyű rádióvevő volt. Kristálydetektorát a massachusettsi Amesburyben élő G. W. Pickard alkotta meg, aki 1906. november 20-án szabadalmaztatta a szilícium alkalmazását a detektorokban. Az elektronikában ma a szilícium helyettesíti az elektroncsöveket. Egy 30 grammos számítógépchip a csövek millióit vagy inkább milliárdjait, de lehet, hogy billióit helyettesíti, egy számítógépbe 50 évvel ezelőtt több tonnányi anyagot építettek be. Bizony sok minden másképpen volt akkor. A különbség mértéke nehezen érzékelhető. A fűszerüzletben nem voltak kódleolvasók. Ezek híján a kiszol-

gáló barna papírzacskóra írta fel és adta össze a tételek árait, vagy úgy adta össze a számokat, hogy le sem írta azokat. A középiskola az 1930-as években közelebb állt a száz év előtti iskolákhoz, mint a mai általános iskolákhoz. Az embereknek nem számítógépük, hanem ceruzájuk és tolluk volt. Persze a lúdtoll akkor már nem volt használatban, a fából készült tollszárakban fém tollhegy volt. A tollhegyet néhány szó leírása után tintába mártották, és jaj volt a gyerekeknek, ha pacát ejtett a papíron.

Az MIT-be 1946-ban iratkoztam be. Egyik tanárunk felvette a kérdést az osztálynak: „Ez a Massachusettsi Technológiai Intézet. De mi a technológia?” Válasz nem érkezett. A tanár válaszolt: „Önök fognak technológiát kifejleszteni.” Minden hallgatónak döntenie kellett egy fő tantárgy mellett. Én a matematikát választottam. A matematikát választóknak sok-sok matematikai tanfolyamot kellett elvégezniük, így jól ismertük a matematikatanárokat és ők is minket. D. J. Struik geometriát és matematikatörténetet adott elő. Sok története volt. Beszélt nekünk Blaise Pascalról (1623–1662) és találmányáról, egy mechanikus számológépről. Pascal 19 éves korában, 1642-ben kezdett hozzá a kidolgozásához, és három évvel később már működő gépe volt. A gép tudása a meglehetősen nehezen végezhető összeadásra és a még nehezebben végrehajtható kivonásra korlátozódott.

A szorzás és az osztás képességével a gép nem rendelkezett. Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1769) a számítások mestere volt, de ő is megszerkesztette azt a lépcsős számológépet, amely szintén végzett összeadást és kivonást, de már tudott szorozni és osztani, a gyökvonást pedig lépcsőzetes



1. ábra. Leibniz lépcsős számolója (1674) – számolás új módon

összeadások sorozatával végezte el. Charles Xavier de Colmar (1785–1870) készítette el az első, gyakorlatban is bevált számológépet. Gépe a Leibniz által is alkalmazott lépcsős fogaskerék elvén alapult. Az első szabadalmat erre az eszközre 1820 novemberében jegyezték be. A gép módosultai még 1900 után is gyártásban voltak, és egészen az 1940-es évekig használták őket.

Charles Babbage (1791–1871) 1822-ben kezdett hozzá differenciagépének kidolgozásához. A gép matematikai táblázatok automatikus kiszámítására szolgált. A differenciagép még csak részben készült el, amikor Babbage hozzálátott egy még fejlettebb számológép, az analitikai gép elkészítéséhez. Ez univerzális számológép volt, amely a számítások bármely olyan sorozatát elvégezte, amelyet algoritmusmal le lehetett írni. Alkalmanként megkérdezték Babbagetől: „Ha rossz számokat táplál a gépbe, akkor is jó eredményeket kap?” Az analitikus gép nem a differenciagép koncepciójának logikus továbbfejlesztése volt, hanem egy alapvetően más elképzelés. Ebben már benne volt a modern elektronikus számítógép valamennyi fő alkotórészének és funkciójának megsejtése. Az analitikus gép működését lyukkártyák vezérelték. A kártyákat nem kellett egymás után, változatlan sorrendben betölteni, hanem a kártyasorozatokat szükség esetén újra felhasználhatók voltak (ez a programciklus megfelelője), vagy a számítás eredményétől függően feltételes vezérlésátadásra kerülhetett sor. Az analitikus gép sohasem készült el. Ada Byron Lovelace – a legnagyobb brit költő, Lord Byron lánya – tehetséges zenész, nyelvész és matematikus volt. Ő az alábbi szavakkal jellemezte az analitikus gépet: „Az analitikus gép algebrai mintákat sző éppúgy, mint ahogy a Jacquard-féle szövőgép virágokat és leveleket”.

## A differenciálanalizátor

Az elsőéves hallgatók fizikaórái a nagy kupola alatti tágas előadóteremben voltak. A szomszédos teremben tartották a differenciálanalizátort. Gyakran mentem el előtte, de a nehéz tölgyfaajtó mindig csukva volt. Egy alkalommal próbálkoztam az ajtóval, de be volt zárva. A gép jelenlétének tudata szinte megbabonázott. Akkoriban ez volt a legfejlettebb

és legismertebb analóg számítógép. A differenciálanalizátort Vannevar Bush kezdte építeni 1930-ban az MIT-nél. Később létrehozta annak tökéletesített változatait. A differenciálanalizátor numerikus integrálóberendezés volt. Egyszerűen kifejezve: a differenciálanalizátor az adott görbe alatti területet határozta meg. A bonyolult felépítésű analizátor ormótlan, nehézkes, nagy tömegű eszköz volt. Az MIT-nél elhelyezett utolsó változata 100 tonnát nyomott. Mechanikai építőelemein (integrátorok, nyomatóknövelők, hajtószíjak, tengelyek és fogaskerék-áttelemek) kívül tartalmazott 2000 elektroncsövet, több ezer relét, 150 motort és mintegy 320 km vezetékkel. Tengelymozgás szolgált a változók megjelenítésére, áttelemek szolgáltak a szorzás és osztás, differenciálművek pedig az összeadás és kivonás elvégzésére. Az integrálás műveletéhez a gép kör alakú forgó lemezen sugárirányban mozgó, éles karimájú forgó tárcsát alkalmazott. A sokszorozáshoz a differenciálanalizátor nyomatóknövelőt használt, amely úgy működött, mint a hajócsörlök. Minthogy az analizátor mechanikai mozgások és távolságok mérésén alapult, egy automatikus logarléc képzetét keltette.

De milyen feladatok megoldására használták a differenciálanalizátort? Ennek megvilágításához vissza kell mennünk az első világháborúhoz. Amikor a németek elsütötték a vonatra szerelt új ágyújukat, a lövedék csaknem kétszer messzebbre ment, mint ahogy számították. Ennek az volt az oka, hogy nem vették figyelembe a lövedék surlódásának a röppálya nagy magasságain bekövetkező jelentős csökkenését. Ettől kezdve vált fontossá pontos löelemtáblázatok kiszámítása. Marylandben, az Egyesült Államok hadianyag-ellátó részlegénél, az aberdeeni Proving Ground Ballisztikai Kutató Laboratóriumaiban (Ballistic Research Laboratories, BRL) ballisztikai röppályaszámításokat végeztek. Norbert Wiener professzor Aberdeenben még az első világháború idején működött közre a ballisztikai táblázatok számításában. Ezek a számítások a lehetséges harctéri viszonyok mindenre kiterjedő matematikai modellezésére irányultak, figyelembe véve a lövedék tömegét, alakját és indító töltetét. Az adatokból lőtáblázatokat állítottak össze, amelyeket a tüzérek felhasználtak a célzáshoz. Az 1930-as évek elején a Pennsylvániai Egyetem Villamos-

mérnöki Karának Moore Intézete kapcsolatot teremtett a BRL-el. 1934-ben a Moore Intézetben és a BRL-nél az MIT-vel és Vannevar Bushsal szoros együttműködésben megépítettek egy-egy differenciálanalizátort. A második világháború alatt ezt a két analizátort – az MIT gépével együtt – használták a lőtáblázatok számításához. A gépek tvékenységét a háború alatt teljesen lefoglalták a ballisztikai számítások. Ezenkívül többszáz fiatal nőt alkalmaztak ugyanerre a feladatra, elektromos meghajtású asztali számológépek felhasználásával. A ballisztika a számítástechnika központi kérdésévé vált, e területen az MIT a számítástechnikát szilárdan a kezében tartotta, köszönhetően Bush differenciálanalizátorának. Az MIT kulcsszerepét nem lehetett megkérdőjelezni.

## Az ENIAC

Vagy mégis megingatható volt az MIT pozíciója? A Moore Intézet mérnökei úgy gondolták, hogy igen. A háború alatt elhatározták, hogy megterveznek egy olyan számítógépet, amely képes gyorsabban végrehajtani a numerikus integrálást, mint a differenciálanalizátor. A tervezett gép elektronikus lesz, vagyis elektronikus numerikus integráló (ENI). Később valaki bővítette az elnevezést, hogy legyen még általánosabb, és ezért kiegészítették az „és számítógép” (and computer) szavakkal. A gép tehát az elektronikus numerikus integráló és számítógép (Electronic Numeric Integrator And Computer) nevet kapta. Ennek rövidítése az ENIAC. Amikor 1946-ban elkészült, a Moore Intézetből átszállították az Aberdeen Proving Groundba a BRL-hez. Aberdeenben Joseph H. Levin volt a számítógépes ágazat vezetője. Ebben a minőségében feladatkörébe tartozott a részleg differenciálanalizátora is. Helyettesítheti-e az ENIAC a differenciálanalizátort? Levin harcolt az igazáért. Megírta emlékezetes dolgozatát (Levin, 1948), amely a differenciálanalizátort a legmagasabb rangra emelte.

Az ENIAC digitális, de nem tárolt programú számítógép volt. A gépet az alkatrészek tömkelege alkotta. A jeleket a komponensek között vezetékeken továbbították, amelyeket kézzel dugaszoltak. Egy matematikai feladat megoldásához az ENIAC komponenseiből speciális célú számítógépet kellett összeállítani, főleg huzalozással.

Bernard Dimsdale a 2. világháborúban letöltött katonai szolgálata után Aberdeenben vállalt állást 1947 elején. Első munkanapján kiosztottak neki egy nemlineáris differenciálegyenletet és huzalozási rajzok kötegét, melynek vastagsága kitett vagy másfél araszt. Dimsdale-t úgy ismerték, mint aki állandóan számol. Dimsdale is harcolt a jó ügyért. Heteket töltött az ENIAC-on huzalcsatlakozások készítésével és kapcsolók százainak beállításával. Csatlakoztatott bemeneti és kimeneti terminálokat, hogy digitális gyűjtősíneket alakítson ki a numerikus adatok átvitele számára. Az egységeket úgy kellett beállítani, hogy felismerhető legyen, mikor vannak működésben és mely feladatcsoport végrehajtása van folyamatban. Útmutatások nem álltak rendelkezésre, így mindez komoly feladatot jelentett számára. Az áramellátás bekapcsolásakor az elektronszövek

sokasága ment tönkre. Az ENIAC nem rendelkezett tápfeszültség-szabályozó eszközzel. Szöveket kellett újra és újra cserélni. További heteket töltött az áthuzalozással. Nem volt egy öröm. Az ENIAC szeszélyes, nyugtalan gép volt. Dimsdale mindenkit, aki a gép körül volt, óvatosságra és kíméletes bánásmódra intett. Még idejében vette észre, hogy egy sor csatlakozás nincs beforrasztva, amely a komponensek összekötéséhez szükséges. A kimenet lyukkártya volt, és annak csicsergéséből meg tudta állapítani, hogyan mentek a dolgok. Úgy találta, hogy a gép csak a késő éjszakai órákban hatékony, amikor a környéken a villanyvilágítást kikapcsolják. Csak a Dimsdalehez hasonló maximalistáknak voltak esélyeik. Több nekifutás után végül sikerült üzembe helyezni a gépet. Ez valóságos csodának tűnt. A gép néhány perc alatt megadta a szükséges válaszokat a konkrét matematikai feladatra. A következő matematikai feladathoz egy teljesen új, nulláról induló összeállítást kellett kialakítani. Nyilvánvaló volt, hogy az ENIAC ebben a kivételében egy szent tehén.

Levin az analóg differenciálanalizátort használta, Dimsdale pedig a digitális ENIAC-kal dolgozott. Ők voltak a nagyágyúk. Analóg vagy digitális, ez volt a kérdés. Richard F. Clippinger, az aberdeeni matematikai részleg vezetője lépett közbe. 1947-ben belekezdett az ENIAC tárolt programú géppé alakításához. Aberdeeni villamosmérnökökkel a gépet végleges fix konfigurációvá szereltette össze. Az átalakítás néhány hónapig tartott. Clippinger lényegében az eredeti gép alkatrészkészletét vette igénybe, és ezekből az alkatrészekből épített tárolt programú számítógépet. Neumann János évente négy napig az aberdeeni Proving Ground tanácsadója volt. Clippinger és Dimsdale találkoztak vele ezeken a napokon, és beavatták őt azokba a módosításokba, amelyeket az ENIAC-on végrehajtottak. Clippinger 1948 nyarára sikeresen alakította át az ENIAC-ot a világ első tárolt programú, programnyelven számítógépévé (Clippinger 1948). A programokat függvény táblázatokról táplálták a számítógépbe (a kapcsolóvezérlésű ellenállásmátrixok blokkjai eredetileg a bemenő adatok tárolására szolgáltak). Az új eljárás kiválóan működött, de egyesek vissza akartak térni az eredeti módszerhez. Azt állították, hogy az ENIAC legalább hat-szor gyorsabb volt a régi eljárás alkalmazásával. Dimsdale azonban besegített. Elismerlte, hogy ez igaz, de nincs jelentősége. A régi módszernél hónapokra volt szükség az ENIAC konfigurálására, majd néhány percre a számítások elvégzéséhez. Az új módszernél néhány napot igényel a kód megírása és néhány órát a számítások elvégzése. A gépet pedig nem kell többé minden egyes feladathoz áthuzalozni. Ehelyett az egyes feladatokhoz kódot lehet beírni az új programozási nyelven. Éveken át állították, hogy ezt a látványos előrelépést Neumann János tette meg. Neumannnak tanácsadói szerepe volt ebben a vívmányban. Az elgondolás eredetileg Clippingertől származott. Az IEEE Számítástechnikai Egyesülete a Számítástechnika Úttörője díjat adományozza annak, aki kimagasló eredményekkel gazdagította az elektronikus számítógépek területén alkalmazott koncepciókat és fejlesztéseket, amennyiben ezek nyilvánvalóan előmozdították a számítástechnika fejlődé-

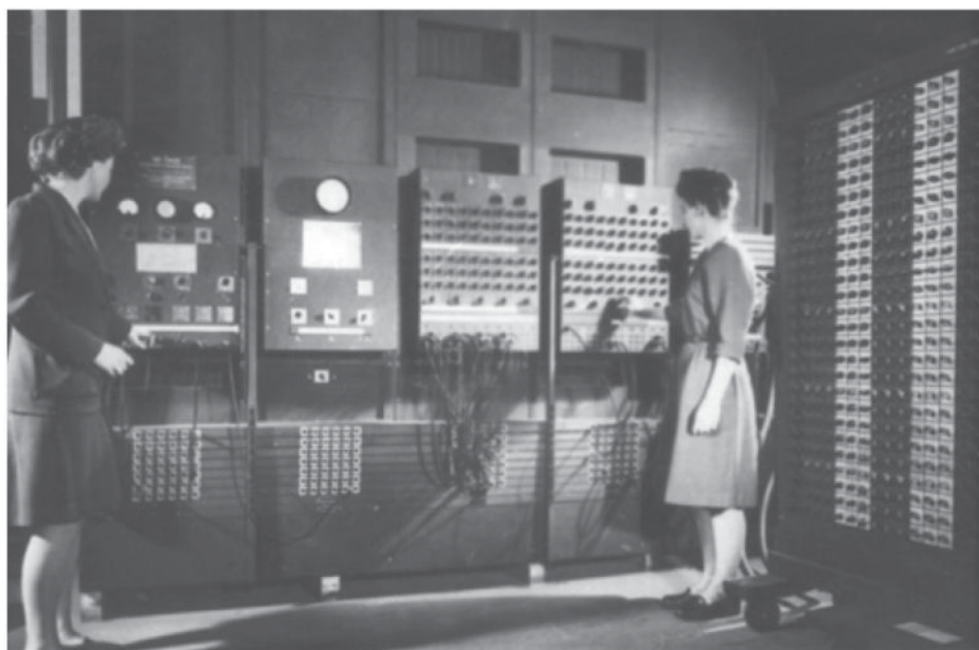


2. ábra. Aberdeen Proving Ground, 1949 augusztus. A szerző megüli a német V1-es rakétát, amely végül a műholdas kommunikációhoz vezetett

sét. A közreműködés eredményeinek 15 éve vagy annál régebben kell mutatkoznia. Clippinger 1996-ban nyerte el a Számítástechnika Úttörője díjat az ENIAC tárolt programú számítógéppé alakításában végzett munkájáért. A dokumentum végül tiszta helyzetet teremtett.

Az MIT hallgatói tanulmányaik első két évében kötelesek voltak részt venni tartalékos tiszti kiképzésben, hacsak nem voltak háborús veteránok. A második két képzési év választható volt, de én maradtam a hadtáp-tisztképző alakulatánál. A hadtáp gondoskodott a hadsereg lőfegyverrel, lőszerrel és járművekkel való ellátásáról és azok karbantar-

tásáról. Engem tartalékos tiszti-képző táborba 1949 nyarán a Marylandi Aberdeenbe rendelték a Proving Groundhoz. Egy szombati nap reggelén az érdeklődők számára csoportos ENIAC-túrát szerveztek. Ekkor találkoztam először Jim Stewarddal, aki az ENIAC-on dolgozott. Az ENIAC 30 részegységből állt, mindegyik részegység magassága 2,5 m, mélysége 90 cm volt, változó szélességük pedig 60 cm-től 180 cm-ig terjedt. Egymás mellé U alakban állítva, hosszúságuk mintegy 27 m-t tett ki a terem 3 oldala mentén. A gép 18 000 elektroncsövet, 70 000 ellenállást és 6000 kapcsolót tartalmazott, fogyasztása 140 kWatt volt. Az ENIAC-nak



3. ábra. Aberdeen Proving Ground: Az ENIAC, a tárolt programú számításokhoz vezető találmány

volt ciklusképző egysége, 20 akkumulátora, indítóegysége, gyors működésű szorzó, kombinált osztó és négyzetgyök-egysége, továbbá voltak függvénytáblázatai, valamint bemeneti és kimeneti egyégei. A függvénytáblázatok 3 panelel foglaltak helyet. Az adatokat és az utasításokat tárcsás kapcsolókkal lehetett bevinni, kézi úton. Ezek a kapcsolók választották ki a számjegyeket és az előjeleket egy független változó 104 értékének mindegyikéhez, amelyeket az egyes táblázatok tároltak. A függvénytáblázatokon kívül más módon is el lehetett látni információval (adatokkal és utasításokkal) a gépet. A szükséges számokat be lehetett vinni a kártyaolvasóba helyezett lyukkártyával vagy az állandók transzmitterén elhelyezett kapcsolók segítségével is. Jim Stewarddal 1962-ben találkoztam ismét, amikor ő az Amoco számítástechnikai laboratóriumának vezetője volt Tulsában.

Először matematikából szereztem oklevelet 1950 június 8-án, bachelor fokozattal. Ekkor kaptam tartalékos tiszti hadnagyi rendfokozatomat is. Önként jelentkeztem a hadseregbe tényleges szolgálatra, és az aberdeeni Proving Ground hadianyag-ellátási oktatási intézményéhez osztottak be. Úgy volt, hogy a tanfolyam kitölti a nyarat, és utána Koreába küldenek minket. Újra Aberdeenben, többet akartam megtudni az ENIAC-ról. Az ENIAC körüli dolgok természetesen titkosak voltak, de én megismerkedtem egy programozóval, aki egyike volt azoknak a matematikai végzettséggel rendelkező, nagyszerű fiatal nőknek, akiket

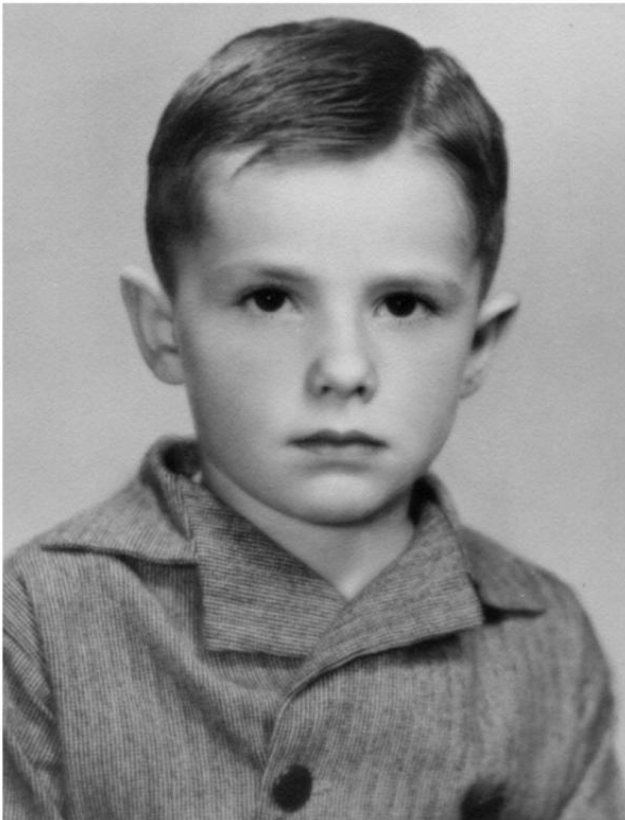
a hadsereg az ENIAC programozására szemelt ki. A számára hozzáférhető dokumentációk nem voltak titkosak, ezek régimódi, kormányzati kiadású kézikönyvek voltak, főleg kapcsolási rajzokat tartalmaztak. A dokumentumok eléggé riasztóak voltak. Tettem néhány hősies kísérletet megfejtésükre, de ő mindig sietett lebeszélni erről. Így első próbálkozásom a programozással nem végződött szerencsésen.

A modern számítógépek története az ENIAC-kal kezdődik. Tudományos feladatok megoldására egészen 1952-ig az ENIAC volt a legfontosabb számítógép a világon. Az ENIAC bejegyzett működési ideje 1946-tól 1955-ig terjedő élettartamában összesen 80 233 óra volt. A ballisztikán kívül az ENIAC-ot felhasználták még a tudományos tevékenység más területein is, beleértve az atomenergiái számításokat, időjárás-előrejelzést, szélcsatornás tervezéseket, a kozmikus sugárzás tanulmányozását, gyújtási folyamatok vizsgálatát és pszeudovéletlen-szám generálását. Az ENIAC arról híres, hogy több számítást végzett, mint amennyit létrehozása előtt az egész emberiség összesen. Ebbe bele kell érteni azokat az összeadásokat és kivonásokat is, amelyeket az iskolás gyerekek végeztek el a történelem folyamán. Én is közéjük tartoztam.

#### Az MIT-nél 1950 ősztől 1951 tavaszáig

Amikor 1950 szeptemberében végeztem a hadtápiscolán, nem Koreába küldtek, hanem a massachusettsi Watertown Arsenal gyorsan bevethető tartalékos egységéhez osztottak be. Ezt a tartalékos egységet a hadsereg 24 órás előzetes értesítéssel mozgósíthatta és bárhová rendelhette.

Visszatérve Massachusettsbe ellátogattam az MIT matematikai tanszékére. A tanszék vezetője, W. T. Martin professzor megörült nekem, és felfogadott negyedéves tanársegédi és negyedéves kutatói segédmunkatársi állásra. Így elkezdhettem egyetemi továbbképzésemet. Tanársegédként számítási eljárásokat tanítottam egy évfolyamnak. A matematikai tanszék egyik pompás irodáján osztoztam Chester H. Gordonnal, aki az „Összenomthatatlan áramlásban fellépő alagútfalhatás a vékony szárnymetszetek nem egyenletes kétdimenziós mozgására” című PhD-disszertációján dolgozott. Ha kérdezték tőle, hogyan halad a munkával, azt válaszolta: „A dolgokhoz idő kell”. Kutatói segédmunkatársként George Wadsworth és Norbert Wiener professzorok beosztottjaként az idősoros módszerek szeizmikus kutatáshoz való alkalmazásán dolgoztam. Wadsworth professzor szakterülete az időjárás-előrejelzés volt, ez irányú érdeklődése visszanyúlik a 2. világháború idején kifejtett sikeres tevékenységére. Wadsworth professzor 1933-ban védte meg disszertációját a parciális differenciálegyenletek rendszereinek és az algebrai pfannianok geometriájának tárgykörében, később azonban érdeklődése a matematikai statisztika szakterülete felé irányult. (Johann Friedrich Pfaff 1786-ban doktorált Göttingenben. Annak idején Carl Friedrich Gauss és August Möbius disszertációjának tanácsadója volt.) Szinte legendaként ismert, hogyan került kapcsolatba Wadsworth a geofizikával. Az 1940-es évek végén Wadsworth a közös gépkocsi-



4. ábra. A kisiskolás Enders Robinson, 1935. május 31. A számolás ekkor még a régi módon zajlott

használatban partnere volt többek között Patrick M. Hurley geológia professzornak is. Ők mindannyian Lexingtonban laktak, és naponta jártak be az MIT-be. Több alkalommal együtt utaztak Robert R. Schrockkal, aki szintén a geológia tanára volt, és első kézből értesült arról a széles körben kibontakozó eszmecszeréről, amely az oktatás és a tudományos kutatás általános kérdéseiről szólt. Egy alkalommal Wadsworth és Hurley között szóba került a matematika alkalmazása a geológiában. Ahogy mondják, Wadsworth kissé felbosszantotta Hurleyt, szemére vetve, hogy szerinte nem elég az a matematika, amelyet a geológiában felhasználnak. Wadsworthnak nagy gyakorlata volt az időjárás idősoradatainak vizsgálatában, amelyeket úgy jellemezett, hogy „növekednek és csökkennek”. Hurley megjegyezte, hogy a szeizmikus nyomvonalak szintén növekednek és csökkennek, és a geofizikusoknak ugyancsak oda kell figyelniük, hogy kihámozzák a reflexiókat a felvételekből. Egyik közös gépkocsit használva Wadsworth kitért a Hurley irodájánál, aki előhúzott egy *Geophysics* számot, amelyben hullámvonalas szeizmikus felvételek képei voltak. „Hadd vigyem magammal” mondta Wadsworth – „eljuttatom Joe Bryannak, hogy nézze meg”. Bryan nemrég doktorált a Harvardon statisztikai méréselméletből, és Wadsworthal együtt időjárás-előrejelzésen dolgoztak a US légierői számára. Megkeresték a Magnolia olajvállalatot, amely nyolc szeizmikus felvételt bocsátott rendelkezésükre. Amikor ezeket megmutatták nekem, Bryan megkönynyebbült sóhajjal nyújtotta át nekem a nyolc felvételt. Wadsworth professzor azt mondta, hogy keressem meg a reflexiókat matematikai úton, és javasolta a parciális differenciálegyenletek alkalmazását. Összes ismeretem a geofizikai kutatásról az „Arany ott van, ahol megkeresed” című filmből származott, amelyet még gyerekként láttam. Néhány bányabeli jelenettől eltekintve többre nem emlékeztem a filmből, kivéve azt, hogy a főszerepet a csodaszép színésznő, Olivia de Havilland játszotta. Utána még évekig foglalkoztatott az „Arany ott van, ahol megkeresed” metafora. Az arany, amely felé törekszik az ember, csalóka cél. Most először mentem a geológiai könyvtárba, ahol minden, geológiára vonatkozó könyv és folyóirat, rengeteg térkép és rajz állt rendelkezésre. Megtaláltam a *Geophysicset*, és elmerülten tanulmányoztam a folyóirat régebbi számait. Az *Alkalmazott Geofizikában* (Jakosky 1950) olvastam: „A reflexiók szeizmogram értékelésében a legfontosabb feladat a reflexiók felismerése a felvételen”.

Norbert Wiener professzor a szeizmikus kutatást is figyelemmel kísérte. Érdeklődésének homlokterében állt az elmélet gyakorlati alkalmazása. A matematika tanszéken senki sem akart vele ebédelni, mivel „megállás nélkül csak beszélt és beszélt”. Én ezzel nem törődtem, figyeltem. A tavaszi szemesztereken Wiener professzor rendszerint Mexikóba távozott, és engem helytakarékossági megfontolásból az irodájába költöztettek. Egyedül voltam Wiener könyveivel és emlékeztetőivel. Bár a matematika tanszéken voltam, a mesterfokozatot először a közgazdasági tanszéken kívántam megszerezni Paul A. Samuelson és Robert Solow professzorok irányítása alatt. Később mindketten

Nobel-díjasok lettek. Mialatt Samuelson a tavaszi szemeszteren felsőfokú továbbképző tanfolyamot tartott a gazdasági analízis tárgyköréből, én matematikai modellt dolgoztam ki a gazdasági innovációk Schumpeter-elméletéhez. Egyenletekké alakítottam át Schumpeter verbális elemzését. Wiener munkásságáról szerzett ismereteimet a klasszikus idősor-analízissel együtt alkalmaztam. A feladat a gazdaság idősoraiban rejtőző innovációk megtalálása volt. A kritikus pontot annak felismerése jelentette, hogy egy innováció első megjelenése – legyen az például egy új műszaki megoldás – nem jelezhető előre. Ily módon első megjelenésekor minden innováció meghatározott és mérhető jóslási hibát hoz létre. Ezen az alapon a gazdasági innovációk időzítése megállapítható a gazdasági idősorokból az alábbiak szerint. Az adott idősorhoz ki kell számítani a jóslás operátorát. Ezután az jóslás operátorának alkalmazásával meg kell kapni a jóslott értékeket. Az analízis tárgyát azonban nem a jóslott értékek képezik. Helyettük a jóslási hibákra van szükség. Ezek a jóslási hibák képviselik az óhajtott gazdasági innovációkat. Működhet-e ugyanez az idősoros módszer a geofizikai kutatásban? Tervem az volt, hogy a digitalizált szeizmikus nyomvonalakat gazdasági idősorokként kezelem. Ezután végrehajtom a jóslási hiba szűrését. A modern terminológiában ezt az eljárást dekonvolúciónak nevezik. A jóslási hibásor a dekonvolált idősor.

### Az MIT-nél 1951 nyarán és őszén

Korábban Wadsworth az asztali számítógépek használatához értő jelentős létszámú személyzettel rendelkezett. Az eredeti állományból azonban csak Virginia Woodward maradt meg. Wadsworth professzor 1951 nyarán megkönyörült rajtam, és megengedte, hogy néhány hétig igénybe vegyem Virginia szaktudását. Ekkoriban tényleges szolgálatban voltam a hadseregnél, a légvédelmi tűzérségnél a 2. világháború alatt használt lövegkönyveken dolgoztam. A háborúban alkalmazott nagy kaliberű ágyúk mindegyikének volt lövegkönyve, amelybe feljegyezték a löveg minden egyes tüzelését a hozzá tartozó megjegyzésekkel együtt. Három kijelölt személy kíséretében – mindhárman 2. világháborús veteránok voltak – a nappali órákat a Watertown Arsenal föld alatti helyiségeiben töltöttem, ahol a feljegyzéseket tartották. Ezeknek az ütegeknek a tűzvezetése képezte azt a kutatási területet, amelyre Wiener munkája az előrejelzéshez kapcsolódóan irányult. Én most ennek az ellenkezőjével foglalkoztam, nevezetesen a szeizmikus analízishez alkalmazott jóslási hiba elméletével. Miután este a Watertownnál végeztem, még egyenruhában az öreg 1910-es villamossal (trolival) átmentem az MIT-be, ahol megkezdtem a munkát. Így mindkét munkahelyen úgymond sötétben dolgoztam. Éjszaka összeállítottam az elvégzendő számításokat, és Ginnynek hagytam őket reggeli átvételre. Ő megbízhatóan teljesítette feladatát amíg én az Arsenalnál voltam, és az eredményeket otthagya nekem aznap éjszakai átvételre. Ginny néhány napig dolgozott a Marchant asztali számológépen normálegyenletek felállításán és meg-

oldásán. Ezt követően rendelkezéseimre álltak számításai, a jóslási hibák. Egy éjszaka grafikusán ábrázoltam az jóslási hibákat (a dekonvolválnt nyomvonalakat). A reflexiók mint markáns hüvelykujjak magasodtak ki. A dekonvolúció működött! 1951 augusztusa volt.

Részt vettem a Wadsworth professzornál tartott megbeszélésen, és néhány héten keresztül találkozhattam is vele. A dekonvolúciós eredmények ellenére a szeizmikus analízisről ő átirányított az időjárás-előrejelzéshez. Hurley professzor azonban el volt ragadtatva, miután bemutatták neki az eredményeket. 1951-ben, az őszi szemeszteren abba kellett hagynom a szeizmikus kutatást, s ehelyett meteorológiai mérési feladaton dolgoztam, amely a széntüzelés által okozott londoni levegőszennyezés jellemzőinek meghatározására irányult, ugyanis a kiugró mértékű szennyezések egészségkárosodáshoz vezettek, akár még halált is okozhattak. Ma tiszta a londoni levegő, mivel szén helyett az Északi-tenger földgázát használják fel. A nagy északi-tengeri olaj- és földgáz-feltárásokat részben a dekonvolúció tette lehetővé.

Hurley professzor 1951 őszen bemutatatta nekem Howard Briscoe geofizikus hallgatót. Briscoe terepi ember volt, a sátrazás és a síelés megszállottja. Értett a Whirlwind kódolásához is. Beszélt nekem a Whirlwindről. A háború végén az MIT azt tervezte, hogy a világ számítástechnikai központjaként megőrizze vezető pozícióját. A differenciálanalizátor köré az analóg gépek teljes, új választékának kiépítését irányozták elő. Az elképzelés azonban meglepően gyorsan meghiúsult. De mi volt ennek az oka? Az ENIAC és a belőle származó digitális számítógépek sokasága: az EDVAC, ORDIVAC, UNIVAC, a Felsőfokú Tanulmányok Intézeté-

nek JOHNIAC gépe, a MANIAC, ILLIAC, SILLIAC, EDSAC, Manchester Mark I., és a Whirlwind, amely éppen az MIT-nél tűnik fel. Ennek azonban története van. A kormányzat a differenciálanalizátorra gondolva 1943-ban megbízást adott az MIT-nek egy repülésgyakorló szimulátor építésére. Jay W. Forrester volt a projekt igazgatója, helyettese pedig Robert Everett, aki később a MITRE céget alapította. Egy valós idejű szimulátornál lényeges a működési sebesség. A tervezett analóg szimulátor kézenfekvően a Whirlwind (szélvihar) nevet kapta. Kiderült azonban, hogy egy analóg szimulátor túl lassú ahhoz, hogy kiszámítsa a pilóta cselekedeteire adott válaszokat. Forrester végső elkéseregésében 1945 novemberében elment, hogy megnézze az ENIAC-ot. Ennek eredményeként lett a Whirlwindből digitális számítógép.

Feleltető fizikatanárom 1946–47-ben George E. Valley professzor volt. Az előadásokon rengeteg volt a hallgató, a feleltető osztályokban viszont kevesen voltak. Jól emlékszem, hogy Valley professzor bonyolult fizikai problémák megoldására igyekezett megtanítani minket, amelyeket házi feladatként adott fel. Tény az, hogy az MIT döntően problémamegoldásra tanított. Volt néhány előadás a világegyetem szépségeiről. Ezekre a Harvardra kellett menni. Az MIT sugárzási laboratóriumában – a 20-as épületben – Valley professzor fejlesztette ki azt az irányított radart, amely stratégiai szerepet játszott a 2. világháborúban. Ő a háború után a radartechnikát felhasználva az USA légvédelmén dolgozott. A Whirlwindnél 1950-ben tett látogatása alkalmával ébredt rá, hogy a megoldás a számítógépek és a kommunikáció összeházasításában rejlik. Ez az elgondolás volt a csíra, amely Internetté nőtte ki magát. Az US légi-



5. ábra. Az MIT Barta-épülete: „És szélvihart aratnak”

erő átvette a Whirlwind finanszírozását, és a gép 1951-re teljesen működőképesé vált. A Whirlwind prototípusa és próbapadja volt a SAGE néven ismert új rendszernek, amely majd a légitámadások elleni számítógépes elektronikus védelmet fogja nyújtani. Az MIT kampusza mögötti Barta-épület volt a Whirlwind projekt otthona. Az épület telefonos kapcsolat kötötte össze a radarállomásokkal. A számítógép mintegy 230 m<sup>2</sup> területet foglalt el a második szinten. Az MIT digitális számítógép-laboratóriuma, a programozó és karbantartó személyzet irodáival együtt az első szinten kapott helyet. A Whirlwind egycímű számítógép volt. A gép 4500 elektroncsövet és 14 800 diódát tartalmazott. Mivel a rövid szavak segítettek elő a valós idejű működést, a Whirlwind 16 bites szó szerkezetet használt a tudományos számítások felszereltségéhez tartozó hosszabb formátumok helyett. Kezdetben a gyors működésű tár (RAM) 1024 szavas elektrosztatikus memória volt. Néhány éven belül az elektrosztatikus memóriát megnövelt kapacitású, mágnesgyűrűs tároló váltotta fel.

A kezdeti 20 000 összedadás/s összedási idő később 50 000 összedadás/s-ra (0,05 ms/összedadás) nőtt. A tápegységeket az épület alagsorában helyezték el, a mennyezetet a rendszer hűtése céljából légkondicionálóval fedték be. Az épület energiaellátása 150 kW volt. J. H. Laning és N. Zierler 1953-ban a Whirlwinden valósította meg az első algebrai fordító rendszert, amely indexes változókat, függvényelhívásokat és kifejezésfordítást alkalmazott. Ez volt az első, minden korszerű tulajdonsággal rendelkező felismerhető fordító, mégsem vitték át soha egyetlen más számítógéphez sem. Az IBM figyelt fel a Whirlwind fordítóra a későbbi FORTRAN fejlesztéséhez. A Whirlwind valós idejű számítógépként egy kommunikációs hálózat központi magjánál volt elhelyezve.

A Whirlwind megelőzte az összes többi számítógépet, amelyek az ENIAC-ból nőttek ki. A tárolt programú ENIAC volt az a találmány, amely megteremtette a számítástechnikát mint a számítás és a programozás egyesítését. A Whirlwind pedig az a találmány volt, amely megteremtette a kibernetikát mint a kommunikáció és a számítástechnika egyesítését.

Az MIT visszaszerezte vezető szerepét, amely azonban most a kommunikáció és a számítástechnika terén érvényesült. A Whirlwind projekt kontinentális méretű légvédelmi rendszerré fejlődött, amely költségeit és méretét tekintve felülmúlta a Manhattan-tervet. A rendszer a Semi-Automatic Ground Environment (félautomatikus földi környezet) nevet kapta. Az IBM építette meg a számítógépet, a Burroughs fejlesztette ki a kommunikációt, a Western Electric alakította ki az irányítóközpont beton épületeit, és az MIT (majd 1958 után az MIT által megszervezett nonprofit cég, a MITRE) végezte a rendszerösszeállítást. Amikorra a rendszer 1963-ban hadrendbe állt, a 23 irányítóközpontot és 3 harcálláspontot nagy távolságú telefonvonalak kötötték össze, és több mint 100 együttműködő légvédelmi egység állt rádiókapcsolatban egymással. A SAGE éltető ereje a Whirlwind II. (AN/FSQ-7) számítógépóriás volt. Az irányítóközpontok mindegyike két

Whirlwind II. számítógéppel volt ellátva: az egyik gép élesben működött, a másik készletkénti üzemmódban, a megbízhatóság növelése céljából. A SAGE a rendszerintegrálást korábban elképzelhetetlen mértékben követelte meg. A Whirlwind II. az addig megírt legnagyobb, 500 000 kódsoros számítógépprogramot futtatta. A SAGE digitalizált radaradatokat, vezetékes és föld-levegő összeköttetést létesítő nagy távolságú adatátvitelt alkalmazott, továbbá jellemzői közé tartozott az interaktív kijelzőterminálok tömeges használata. A program automatizálta az adatok áramlását, feldolgozását, megjelenítését, és vezérlőinformációval látta el a fegyverrendszereket. A kommunikáció Burroughstól származó eszközei tették lehetővé, hogy a központok mindegyike kapcsolatot létesíthessen az összes többi központtal, megteremtve ezzel az első nagy kiterjedésű számítógépes hálózatot. A SAGE az 1950-es években köteles volt gondoskodni több mint 10 000 programozó kiképzéséről, akik közül sokan később az Advanced Research Projects Agency-nél (ARPA) (felső szintű kutatási projektek ügynöksége) dolgoztak. A SAGE úttörője volt annak a technológiának, amelyet ma az internetes adatkezelés támogatására használnak fel; példa erre a modem, az egér fényceruza formájában, a többfeladatos működés, tömbfeldolgozás, számítógépes oktatás és az interaktív számítógépes grafika. Amikor ezt a technikát átvitték az ARPA-hoz, eredményként létrejött az ARPANET. Az Internet az ARPANET-ből nőtt ki. Az utolsó Whirlwind számítógépeket 1983-ban állították le, ezzel a Whirlwind rekordot állított fel a számítógépek működési élettartamának tekintetében. Tágabb értelemben a Whirlwind sohasem áll le; technológiája működteti az Internetet. Ahogy Hóseás (8:7) mondja: „Mert szelet vetnek és vihart aratnak”.

A Whirlwind első lépés volt a máig teljesületlen vízió megvalósulása felé, amelyet Wiener professzor vázolt fel „Kibernetika avagy szabályozás és kommunikáció az állatvilágban és a gépben” (Wiener 1948) című könyvében. A könyv a 3. fejezetben „Idősorok, információ és kommunikáció” cím alatt tartalmazza azt a matematikát, amelyet Howard Briscoe-val együtt kezdtünk programozni a Whirlwinden 1951-ben, az őszi szemeszter idején. Akkor én 21 éves voltam, Briscoe 19 vagy 20. A digitális számítógép-laboratóriumban kevesen voltak sokkal idősebbek. Professzort soha nem láttam belépni oda. Közben Hurley professzor égett a vágytól, hogy kiaknázza a dekonvolúcióval elért eredményeket. Elkészítettem egy dokumentumot, amelynek kivonatában ez olvasható: „Az MIT-nél 1951 nyarán elvégzett vizsgálatnak az volt a célja, hogy választ kapjunk az idősorokként kezelt szeizmikus felvételek viselkedésére vonatkozó néhány konkrét kérdésére. Az adatokat 8 szeizmikus felvétel szolgáltatta, mindegyikük egyetlen lövéstől származott, és 4 nyomvonalat tartalmazott, amelyeket 4 geofonkimenet állított elő. A geofonok vonal mentén voltak elhelyezve, a robbantópont ennek középpontjában volt. Az adatokat a Magnolia Petroleum Co. bocsátotta rendelkezésünkre. Válaszra várt a következő kérdés: meghatározható-e a felvételen előforduló mélyreflexiók helyei tisztán statisztikai úton, a rendszer dinamikájában ezeken

a helyeken jelentkező változás megfigyelésével. A kérdésre kísérletként adott válasz – kizárólag a fent említett felvételek vizsgálata alapján – így hangzik: az adatokhoz lineáris operátorokat kellett szerkeszteni. Ezután az operátorok felhasználásával meg kellett jósolni azt az időtartamot, amely alatt a reflexió bekövetkezett. A jóslási hibák mindig határozott növekedést mutattak ebben az időtartamban, míg az ezt követő időintervallumban közelítően előző értékeket vették fel. Néhány felvételen kimaradtak azok a mélyreflexiók, amelyek a legtöbb szeizmogramon előfordultak, de ennek ellenére ezekben az esetekben a jóslás hibái ugyanolyan felugrást mutattak. Ez a megoldás a kijelölési feladat új megközelítését vezeti be arra az esetre, amikor a rendszerbe mély rétegből származó reflexió következtében többletenergia kerül. A mellékelt diagram mutatja a jóslási hibákat a reflexió előtt, a reflexió alatt, közvetlenül a reflexió után és egy új reflexió kezdetén.”

Hurley professzor 1951. november 1-én az általam összeállított dokumentumot elküldte a dallasi Magnolia Petroleum Company-nak. A Magnolia volt a Socony Vacuum Oil Company termelőágazata, később Mobil Oil-nak nevezték. D. H. Clewel, a terepi kutatások laboratóriumának igazgatóhelyettese november 29-én válaszolt Hurley professzor levelére. A válaszban ez állt: „November 1-i levelét köröztettük a laboratóriumokban, és az ön által bemutatott eredmények határozott érdeklődést váltottak ki. A küldött diagram egyetlen nyomvonala kiváló jel/zaj viszonyt mutat, a görbék sorozata pedig, amely a hagyományos reflexiós terítés geofonjeleiből származik, nagyon ígéretesnek tűnik. Nincs igazán jó véleményünk a mechanikus műveletekről, amelyek szükségesek a geofonjelek jóslásához és a jóslott és mért jelek közötti különbség kijelzéséhez. Hacsak nem lehet ennek gyors elvégzését gépesíteni, a módszer aligha alkalmazható az iparszerűen végzett kutatásokhoz. Feltételezhető-e, hogy van esély a műveletek gépesítésére a gyors alkalmazáshoz?” Én tudtam a választ Clewell kérdésére. Digitális számítógépen gépesíthetők a műveletek a gyors alkalmazáshoz. Kitűztem a feladatokat. Első feladatomban volt a dekonvolúció működőképessé tétele a Whirlwind felhasználásával megteremtett munkavégzési bázison. Ennek teljesülése esetén második feladatomban annak bemutatása volt, hogy a dekonvolúció a szeizmikus felvételek készletén is működik. Ha ez sikerült, harmadik feladatomban geofizikai modellt kell készítenem a dekonvolúció igazolására.

### A GAG 1951 telén és 1952 tavaszán

Hurley professzornak 1951 őszen sikerült elérnie 13000 \$-os emelést az MIT elnöki hivatalánál a kibővített szeizmikus projekt első fázisához szükséges költségek fedezésére. Én 1952 januárjában megkaptam a közgazdasági mesterfokozatot, majd ezt követően áthelyeztek a Geológiai és Geofizikai Tanszékre tudományos munkatársi kinevezéssel. A GAG hivatalosan 1952 februárjában alakult meg. Stephen Simpson és Briscoe is csatlakozott a GAG-hoz. Simpson végzett geofizikus-hallgató volt, alapidromáját

fizikából kapta a Yale egyetemen. Briscoe-val együtt változatlanul a Whirlwind-kódokon dolgoztunk. Sajnos Briscoe-nak nyári táborba kellett mennie az ROTC-hez, mielőtt a dekonvolúció kódját befejeztük volna. Azt én fejeztem be, de a kód nem működött. Dühöngve ellenőriztem le az egészet. Ebben az időben még mindent 8-as számrendszerben írtunk, gépi nyelven. A kézzel megírt programot átadtuk két gépirónak, ők begépelték a programot papírszalagra bináris alakban. Ezután következett a papírszalagok összehasonlítása. Ha a szalagok egyeztek, feltételezhető volt, hogy a gépelés hibátlan. A szalag a számítógép kezelőjére maradt, aki gondoskodott a futtatásáról, amikor idő jutott rá, a katonai igények és a karbantartás szünetében. Az elektroncsöves számítógépek karbantartása naponta mintegy 8 órát vett igénybe jó napokon. A gép jó állapotában ez egyetlen futtatást eredményezett. Kérésre a gépkezelő kinyomtatta a tartalmat (8-as számrendszerben), amikor programhiba lépett fel. Mivel ezeket a tárkiírásokat nagyon nehezen lehetett értelmezni, jobbnak találtam, hogy maga a program írjon ki menet közben numerikus jelzőket, amelyek hozzávetőlegesen mutatják azt a helyet, ahol a program törést szenvedett. Végül két hét után találtam meg az okot, amely miatt a dekonvolúciós program nem működött. A sikertelenséget egy apró folt okozta, amely magán a kódlapon volt. Ezt a foltot mindkét gépiró tévesen vesszőnek nézte, és így egy oda nem tartozó vesszőt ütöttek be a papírszalagra. A javítás után a dekonvolúciós kód hibátlanul működött. 1952. július 4-én elmondtam testvéremnek ezeket a bonyadalmakat, mire ő megjegyezte: „Számítógépek sohasem fognak működni”. Testvérem balsejtelmei ellenére a program működött, és egyre több szeizmikus nyomvonalat dekonvolvált. Ez éppen jól jött az augusztusi találkozóra.

### A nyári találkozó 1952-ben

Az MIT ipari kapcsolattartó részlege 1952. augusztus 6-án rendezte azt a találkozót, amely a „Szeizmogramok Általánosított Harmonikus Analízisének Konferenciája” nevet viselte. Minden addig elért eredmény bemutatásra került. A alábbi két beszámolót vitaták meg: „Szeizmikus felvételek autokorrelációs és keresztkorrelációs elemzésének eredményei” és „Ismertető a lineáris operátorok szeizmológiai alkalmazásáról”. A résztvevők a következők voltak: L. Y. Faust (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), R. B. Bowman és W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson (Carter), R. M. Bradley (Cities Service), W. E. N. Doty és J. M. Crawford (Continental), T. J. O'Donnell és W. C. Dean (Gulf), D. H. Gardner (Humble), Dr. W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety (Phillips), R. Vajk (Standard Oil Company, New Jersey), D. Silverman (Stanolind), W. Evans (Sun), H. J. Jones és D. B. Dubbert (Texas Instruments Company), E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz és F. B. Coker (United Geophysical) és R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, Norman A. Haskell és E. A. Robinson (MIT). A meghívott vendégek a jelentősebb geofizikai és a Shell kivételével a jelentősebb olajipari

vállalatok vezető geofizikusai voltak. A kellemes és sikeres találkozón kiváló és hírneves geofizikusok vettek részt, tele ötletekkel és lelkesedéssel. Ezek a geofizikusok a tudósok különleges fajtájához tartoztak, árasztották magukból a feladatvállalásra való ösztönzés légkörét, amely az MIT-t is általánosan jellemezte. Emlékszem a felvetésre, amely arra vonatkozott, hogy a szeizmikában alkalmazható-e a radar-technikában használt vezérelt jel. A válasz nemleges volt, a Conoco azonban alapvetően másképp gondolta. A „Conoco Geophysics: Az első száz év” című kiadványának (1975. november) „John Crawford és Bill Doty a VIBROSEIS fel-találói” fejezetében olvasható: „W. E. N. (Bill) Doty 1952. augusztus 6-án részt vett a Massachusetts Technológiai Intézet által rendezett »Szeizmogramok harmonikus analízise« elnevezésű szimpóziumon. Bill azzal a szilárd meggyőződéssel jött el a találkozóról, hogy az ott ismertetett információelméleti technika előnyösen alkalmazható a szeizmikus kutatáshoz. Visszatérve Ponca Citybe azonnal kifejtette álláspontját John Crawfordnak. John egyetértett Bill-lel, és ketten együtt nekiláttak, hogy előteremtsék azokat a gyakorlatban is felhasználható eszközöket, amelyekkel a keresztkorrelációt alkalmazni lehet a szeizmikus jelekhez. Az első áttörést augusztus 18-án a Johntól származó javaslat hozta, ez volt a »sweep« jel, amely átvitele alatt folyamatosan, egy irányban változtatja frekvenciáját, így a kívánt, nem ismétlődő, hosszú időtartamú jelet szolgáltatja. A kibocsátott és beérkező jelek keresztkorrelációja nyújtja a szeizmikus rendszer alapvető kellékét, vagyis a kibocsátás és a vétel közötti terjedési időt.”

A találkozó második felének témaköre a lineáris operátorok (a dekonvolúció megnevezésére még a régi terminológiát használták) szeizmológiai alkalmazása volt. Nagy volt az érdeklődés, és a vállalatok egyhangúan úgy vélekedtek, hogy ezt a kutatást szponzorálni kellene az MIT-nél. A GAG-ra vonatkozó további tervek 1952 őszén készültek el, az MIT részéről Hurley professzor, az olajipari és geofizikai vállalatok részéről pedig Daniel Silverman (Stanolind) irányításával. A két előterjesztést az 1952. augusztusi találkozón vitatták meg, majd sokszorosították és szétküldték a vállalatoknak mint 1. és 2. számú MIT-GAG-jelentést. Pártfogók megszerzése ügyében Hurley professzor járt el. 1952. október 9-én találkoztam vele irodájában. Elővette azokat a feljegyzéseket, amelyek nemrégiben készültek a texasi Dallasban tett látogatása alkalmával, ahol a Magnolia Petroleum Companyval és a Geophysical Service Inc.-nal tárgyalt. Elmondta, hogy Dallasban azzal a véleménnyel találkozott, miszerint a GAG-nak alapos részletességgel meg kellene vizsgálnia egy felvételt. A paraméterek kölcsönös viszonyának tanulmányozására lenne szükség az optimális paraméterértékek meghatározása céljából. Ezenfelül vizsgálni kellene a robbantólyuk változóinak (töltetnagyság, a fúrólyuk és a robbantás helyi jellemzői) hatását. A Floridából származó felvételek szintén vitára adtak alkalmat. A kérdés az volt, hogy a szellem- és többszörös reflexiók ezeken a felvételeken valóságos fizikai jelenségek, vagy a nagyon keskeny sávú szűrőrendszerek alkalmazásának tulajdoníthatók. Mérlegelés tárgyát képezte még, hogy ér-

demes-e összehasonlítani a Floridában és a Perzsa-öbölben készült felvételek hibaeloszlási görbéit. Tárgyaltak a Magnolia Petroleum Company akusztikussebesség-szelvényezőjéről is. Ez az eszköz meghatározta a közetrétegsebességeket a fúrólyuk teljes hosszában. Hurley professzor megemlítette, hogy a Magnolia a reflexiókat összefüggésbe hozza a sebesség- és sűrűségváltozással.

## A Raytheon 1952 őszén

1952 őszén nyilvánvalóvá vált, hogy a GAG-nak a szeizmikus adatfeldolgozáshoz szüksége lesz valamennyi gépidőre a Whirlwinden. Heti 5 órát kértem, de csak heti 1 órát engedélyeztek. A GAG gyakorlatilag még ennyi időt sem kapott. Ennek az volt az oka, hogy még folyt a Whirlwind hardveres tökéletesítése, így a gép sokszor napokig nem működött. Ekkoriban csak a Whirlwind memóriájának karbantartási ideje 4 óra, a memóriahibák közötti átlagos idő pedig 2 óra volt. Más megoldás után néztünk, és megtaláltuk a Raytheon-t. A massachusettsi Walthomban működő Raytheon Manufacturing Company nemrég hozta létre számítógépes szolgáltató részlegét. A részleg vezetője Richard F. Clippinger volt. Munkatársai a barátai voltak, Bernard Dimsdale és Joseph H. Levin. Mielőtt belépett a Raytheonhoz, Clippinger felelős vezető volt az ENIAC, EDVAC és ORDVAC számítógépeknél Aberdeenben; Dimsdale a numerikus analízis felelőse volt szintén Aberdeenben, Levin pedig az USA Szabványügyi Hivatalának SEAC számítógépénél volt felelős vezető. Ötven év után már elmondhatom, hogy Clippinger volt a környörte-len hajcsár, Dimsdale az igazi maximalista és Levin a kedves, szeretetet sugárzó ember. Mindhárman kiváló matematikusok voltak, élvezet és megtiszteltetés volt velük dolgozni. A GAG és a Raytheon első találkozására 1952. október 17-én került sor. A GAG főleg többszörös dekonvolúciót végzett. Több csatorna esetén a normál egyenlet megoldásához mátrixinvertálást kellett alkalmazni, mivel ebben az időben a Levinson-rekurzió csak az egyszörös esetre volt ismert. A Whirlwind kis regiszterkapacitása (16 bit) megnehezítette a pontos mátrixinvertálást még kétszeres pontosságú aritmetika mellett is. Hacsak nem voltak „jól fészültek” az adatok, a számítások túlcsoordulás okozhattak, és az invertálás meghíúsulhatott. A GAG első-sorban abban volt érdekelt, hogy a Raytheon végezze a mátrixok képzését és invertálását, amit „fél esetnek” neveztek. A Raytheon nagyobb szóhosszúságú számítógépet használna, amely könnyíthetne a túlcsoordulás problémáján. A GAG úgy gondolta, hogy a Whirlwind hatékonyan tudná kezelni a fennmaradó számításokat (a jóslási hibák kiszámítását). A Raytheon késznek mutatkozott a munka nagyobb részének elvégzésére, és a GAG beleegyezett, hogy a Raytheon költségvetést nyújtson be két esetre, egyet a „fél eset”, egy másikat pedig a „teljes eset” számításaira. Úgy látszott, hogy a Raytheon törekvései találkoznak a mi kutatási célkitűzéseinkkel. A kutatás a szeizmogramanalízis dekonvolúciós módszerének igazolását vagy elvetését célozta. Ha a módszer eredményesnek bizonyul,

úgy a Raytheon lehet abban a helyzetben, hogy dekonvolúciós szolgáltatásokat nyújtson, mivel szaktudását egyenesen az olajipar számára tudja hasznosítani. Ezenkívül a Raytheon jártas abban a feladatkörben, amely különleges célú számítástechnikai eszközök kialakítására irányul.

A Raytheon 1952. október 28-án benyújtott egy költségvetést. Ebben az állt, hogy 1000 teljes eset (mindegyik két nyomvonalas) ára 12 400 \$ lenne, vagy esetenként 12,40 \$. Ezek az árak annyira alacsonyok voltak, hogy egy hónappal később (1952. november 25-én) az MIT átutalt 1000 \$-t a Raytheonnak a szükséges kódolási vizsgálatok megkezdéséhez. A megrendelésben ez olvasható: „Számítási szolgáltatások, amelyek kódolási vizsgálatokra és szeizmogram-elemző program előzetes kódjára terjednek ki. A folyamatábrát és az előzetes kódot legkésőbb 1953. jan. 1-én kell átadni. A végösszeg nem haladhatja meg az 1000 \$-t. Az eladó a Raytheon Manufacturing Company. T. R. Porter műszaki kereskedelmi igazgató.” A Raytheon 1952. december 23-án átadta a folyamatábrát és az előzetes kódot. Még birtokomban vannak ezek az iratok, amelyeket Clippinger kézzel írt, és 1952. december 17, 18, 19-i dátumozással, továbbá RFC névjellel látott el.

Valójában a Raytheon túllépte az 1000 \$-os árat, miután biztosítékai voltak, hogy szerződést köthet röviddel a szponzoráló olajvállalatokkal megtartott tervtárgyalás után. A Raytheon viszont biztosított minket, hogy a kód megfelelően működni fog, amint készek leszünk az adatok átadására, várhatóan 1953. február első hetében. A lebonyolítás módjára vonatkozó megállapodás szerint az „esetek” továbbítása a Raytheon számára kis adagokban történik, és a Raytheon az egyes esetek feldolgozására mintegy két hetet fordít. Ez fontos szempont volt. A kutatómunkában egy módszer tesztelésére szolgáló próbákat a korábbi próbák tapasztalatainak ismeretében kell megtervezni. Ha a próbák sorozata esetén mindet egyszerre kell megtervezni, az egyes próbák eredményeit találgatva, elkerülhetetlen lesz az eredménytelenség és a felesleges kiadás.

Az olajipari és geofizikai vállalatok 1953 februárjában társulást hoztak létre, és a GAG-ot ők szponzorálták. A szponzoráló vállalatok egy vagy két képviselőjének részvételével Tanácsadó Bizottságot hoztak létre. A képviselők részben geofizikai módszerkutatásban, részben geofizikai munkálatokban vettek részt. A GAG és a Tanácsadó Bizottság között évente két találkozó megtartását irányoztuk elő, a téli találkozóra a Délnyugaton, a nyárirra az MIT-nél kerülhetett sor. Közreműködéssel négy ilyen találkozót tartottunk: Dallasban 1953. január 30-án, az MIT-nél 1953. augusztus 12–13-án, Tulsában 1954. március 29–30-án és újra az MIT-nél, 1954. szeptember 14-én. Egy-egy találkozó befejezése után többé-kevésbé egyedül kellett ellátnom a GAG irányítását a következő találkozóig. Ez azt eredményezte, hogy az összes hallgató megtanulta a számítógépek használatát. Első feladataim egyike volt Stephen Simpson oktatása a számítógép programozására. Eleinte kissé vonakodott, majd hirtelen megszállta a számítógépmánia, így később az MIT egyik legkiválóbb programozója és a számítógépek legfőbb szószólója lett.

## Az additív modell és az analóg feldolgozás

A reflexiós szeizmika a visszaverődés elvét használja fel. A dinamit felrobbantása forrásimpulzust bocsát ki, amely lefelé terjed a föld belsejében, ahol a felszín alatti rétegekről visszaverődik. A felszínen elhelyezett szeizmométerek felfogják a visszavert impulzusokat. Abban az időben az impulzusok teljes úthosszának (a forrástól a visszaverő rétegekig és onnan vissza a szeizmométerekig) megtételéhez szükséges időtartam megfigyelésének eszköze a szeizmométer-kimenetek mozgó fotografikus papírszalagon történő regisztrálása volt. A papíron minden egyes nyomvonal a hozzá tartozó szeizmométer lövésre adott válaszáat rögzítette. A forrástól származó energián kívül a szeizmométer felfog nem a forrástól származó energiát is. Ez az energia tartalmazhat például szélzajt és autópálya-forgalom által okozott zajt. Az ilyen külső eredetű energia azonban általában alacsony szintre korlátozódik. Többnyire annyira kicsiny, hogy nincs jelentősége a szeizmikus nyomvonalon. Így gyakorlatilag a teljes energia a robbantásnak tulajdonítható.

Ideális esetben a nyomvonal egyedül a reflexiós impulzusok sorozatát tartalmazza. A kívánt reflexiókon kívül azonban a szeizmométerek felvesznek egy sor más energiát is, amelyek nem kívánatosak. Ezek közé tartoznak olyan zavaró tényezők, mint a műszer saját folyamatai, direkt hullámok, felületi hullámok, refraktált hullámok, diffrakciós hullámok, transzverzális hullámok, hosszan tartó rétegrezgések, szellemreflexiók, többszörös reflexiók és reverberációk. Abban az időben a nemkívánatos energiának ezt az összetett megjelenési formáját interferenciának vagy zajnak nevezték. A szeizmikus nyomvonalra alkalmazott modell volt az additív modell. Ebben a modellben a nyomvonal a jel és a zaj összege; itt a jel a reflexiós impulzusok sorozata, a zaj pedig az interferencia. A jel volt kívánatos, és a zaj volt zavarkeltő. Jó felvételek alacsony zajszint (interferencia) mellett készültek. Ilyenkor a kiértékelők felismerhették a jelet (a reflexiók sorozatát) a nyomvonalakon. Magas zajszint esetén rossz felvételek készültek. Ekkor a kiértékelők számára gondot okozott a jel (a reflexiók sorozata) észlelése a nyomvonalon. A problémát az interferencia zűrzavarában elrejtett valóságos reflexiók felismerése jelentette. Más szavakkal, a probléma a jelnek (reflexióknak) a zajtól (interferenciától) való elválasztása volt. Sajnos néhány, geológiai tekintetben ígéretes kutatási terület olyan felvételeket szolgáltatott, amelyeken jó, ha néhány reflexiót lehetett vizuálisan észlelni. Azokat a szeizmogramokat, amelyeket csak nagyfokú bizonytalansággal, vagy egyáltalán nem lehetett értelmezni, értéktelen (vagy interferenciás) felvételeknek nevezték.

A feladat tehát a jel és a zaj szétválasztása volt. Ennek megoldására akkoriban a frekvenciaszűrés alkalmazásával törekedtek. Minden hullámformának van frekvenciaspektruma. A spektrum két összetevőből áll, az amplitúdó- és a fázisspektrumból. A fázisspektrumot a legtöbb elemzésben nem használták fel. Példaként vegyük azt az esetet, amelyben a zaj amplitúdóspektrumának csúcsa 18 Hz-nél,

jelspektrumának csúcsa pedig 26 Hz-nél van. A 26 Hz középfrekvenciájú szűrő átengedi a jel domináns frekvenciáit és elnyomja a domináns zajfrekvenciákat. Így a sávszűrő kimenete gondoskodik a hasznos jel megőrzéséről és a zaj eltüntetéséről. Az ily módon történő frekvenciaszűrést elektromos analóg szűrők alkalmazásával valósították meg. A jel kiemelésére más módszereket is felhasználtak. Ezek közül a keverés volt a legfontosabb. Keverésnek hívták azt a műveletet, amely két vagy több szomszédos csatorna összegzésével képez egyetlen kimenő csatornát. Egy csatornát önmagában zérus keverésnek, két csatorna összegét kétcsatornás keverésnek neveztek, a szűkítő függvényvel súlyozott keverés neve pedig fokozatos keverés volt. A szűrést és a keverést eredetileg a terepen, a szeizmikus hullámok rögzítésével egyidejűleg végezték el. Az 1950-es évek elején néhány olajvállalat rendelkezett sokcsatornás felvívó- és lejátszóberendezéssel a rossz minőségű felvételeket szolgáltató területeken dolgozó szeizmikus csoportok megsegítésére. Ez az alkalmazás a szeizmikus energiát széles frekvenciasávban rögzítette. Ezután a felvételek elemzés céljából a laboratóriumba kerültek, ahol kedvezőbbek voltak a feltételek kísérletezésre, mint a terepen. A zaj elnyomására és a jel kiemelésére a széles sávú felvételeket különböző analóg szűrőkön bocsátották át, ezek lehetnek felüláteresztő, aluláteresztő és sávszűrők. Ez a megoldás jelentette az analóg feldolgozás bevezetését a szeizmikus kutatásba.

### A téli találkozó 1953-ban

A GAG és a Tanácsadó Bizottság téli találkozója 1953. január 30-án került sor Dallasban. A találkozó előestéjén Hurley professzorral vacsoráztam. Ő azt mondta, hogy az olajvállalatok elsősorban az olaj megtalálásában érdekeltek. Munkájuk mintegy 95 százalékában a meglévő technikákat alkalmazzák. Florida azonban kivételnek számít. A jövőt tekintve a fejlődés iránt elkötelezett vállalatok tudatában vannak annak, hogy nagyobb hatékonyságú módszerekre lenne szükség. Ez indokolja az érdekeltségüket a GAG-ban. A kőolaj felhasználása, a készletek kiaknázása és feltárása exponenciálisan növekszik. Az olajvállalatok tevékenységét a pénzforrások, de főleg a képzett munkaerő hiánya nehezíti. Egy felkészült paleontológus nagyobb mértékben járulhat hozzá a termelés növeléséhez, mint egy képzett elméleti fizikus. A pénzhiány követeli meg azt is, hogy a képzett munkaerő kevesebb tudást igénylő munkákat végezzen, például egy geológusnak személyére szabott szűk feladatköröket kell kijelölni. Számos ígéretes módszert sohasem próbáltak ki, ilyen volt például a nyomelemek meghatározása spektroszkóp alkalmazásával. Sok esetben a paleontológiát egyáltalán nem használják ki a szakemberek hiánya miatt. Különösen érvényes ez a mikropaleontológiára, amelynek alkalmazására és a besorolások elvégzésére minden területen szükség van. Texas térségében a geológusok és geofizikusok többsége a helyi főiskolákból kerül ki, és csak alapidplomával rendelkezik. Doktori fokozatok ritkán fordulnak elő; a Magnolia

kutatói állományában hárman rendelkeznek PhD-fokozattal, és a vállalatok között ez a legtöbb. Így a geológusok és a geofizikusok elméleti ismeretei korlátozottak. Az új PhD-fokozattal rendelkezőket nagyon megbecsülik, bár bizonyos gyakorlati képzésben még részesülniük kell. Ezeket mondta el a beszélgetés során, majd áttért az áfonya analógiára. Felidézte az áfonyaszüretéről szóló mondatot, feltehetően a kőolajra vonatkoztatva. Ennek az a lényege, hogy a legkényelmesebb szüretelő, aki megmarad egy bokornál, több gyümölcsöt gyűjt be, mint a fűrgén mozgó, bokorról bokorra szaladó. Azok a vállalatok, mint például a Gulf és a Magnolia, amelyek több figyelmet fordítottak a kutatásra, nem tárnak fel kőolajat olyan ütemben, mint mások, akik ragaszkodnak a hagyományos módszerekhez. Azzal fejezte be, hogy egy új fúrás helyének kiválasztása ésszerű döntésnek számít, mivel sok a reményteljes terület. Sok fúrást kell lemélyíteni csupán a geológia alapján a szeizmikus csoportok hiánya miatt. Üledékes medencékben számítani lehet kőolajra, és ez nem kivételes dolog. Ilyen térségben a kőolajat adó próbafúrás esélye 1 a 18-hoz; geológiai és geofizikai támogatással nagyobb az esély.

A találkozó mindjárt másnap reggel kezdődött. Bemondtuk a taxisofőrnek a címet: Magnoliaház, Akard and Commerce Streets. A sofőr elmondta nekünk, hogy tegnap volt egy New-York-i pasasa, aki azzal hengegett, hogy New Yorkban milyen gyorsan készülnek el csodálatos új épületek. Mivel a sofőr bevaló texasi volt, a Magnoliaház mellett hajtott el a New-York-ival, aki megkérdezte, mi ez a csodás épület? Különb, mint bármelyik, ami nekünk New-Yorkban van. A taxisofőr ezt válaszolta: „nem is tudom, ez a múlt héten még nem volt itt”. Talán azért emlékszem erre a történetre, mivel Dallas nagy hatással volt rám. Texas varázslatos volt.

A Tanácsadó Bizottság által 1953. január 30-án megtartott dallasi találkozón a Bizottság elnöke Daniel Silverman volt, aki ezt a pozíciót a GAG működésének teljes ideje alatt megtartotta. A találkozó résztvevői a következők voltak: L. Y. Faust (Amerada Petroleum Co.), H. F. Dunlap (Atlantic Refining Co.), N. A. Riley (California Research Corporation), R. R. Thomson (Carter Oil Co.), Richard Bradley (Cities Service Oil Co.), J. M. Crawford (Continental Oil Co.), L. F. Peters (Gulf Research and Development Co.), P. E. Haggerty (Texas Instruments Co.), W. Jacques Yost (Magnolia Petroleum Co.), R. G. Piety (Phillips Petroleum Co.), D. Silverman (Stanolind Oil and Gas Co.), A. C. Winterhalter (Sun Oil Co.), B. D. Lee (The Texas Company), P. M. Hurley és E. A. Robinson (MIT). Nem volt ott a találkozón O. H. Gardner (Humble Oil and Refining Co.), C. A. Swartz (United Geophysical Co.), és Henry Salvatori (Western Geophysical Co.). Megállapodtak az egynapos rendezvény napirendjében. Ennek két témaköre volt: a predikciós elmélet kutatásának műszaki kérdései és az MIT-nél futó programhoz kapcsolódó adminisztratív feladatok. Hurley professzor ismertette az addig elért eredményeket azzal a szándékkal, hogy azokból kiindulva felvázolja a közeljövőben folytatható kutatómun-

ka különböző irányait. Az eredmények azt mutatták, hogy a dekonvolúció (a jóslási hiba szűrése) detektálta a szemmel látható reflexiókat, továbbá kimutatott néhány vizuálisan nem észlelhető reflexiót is. A szűrési művelet végrehajtására azonban viszonylag jó felvételeken került sor. A feladat tehát a dekonvolúció nehezebben értelmezhető felvételeken való tesztelése volt.

A legnagyobb prioritású vizsgálati mód kijelölésére vonatkozólag két elképzelés született. Az egyik szerint a jóslási hibák görbéit (dekonvolvált nyomvonalak) össze kell hasonlítani a szeizmogramok értelmezésének más módszereivel. A másik elképzelés szerint a vizsgált területről nyert érdemleges geológiai, geofizikai és melyfúrési adatokat fel kell használni a jóslási hibák görbéinek kiértékelésében. Míg eleinte úgy látszott, hogy a többség az első megközelítést részesíti előnyben, később abban állapodtak meg, hogy az adatok álljanak rendelkezésre olyan formában, amely lehetővé teszi az utóbbi megközelítés követését, ha ez a csoportok bármelyike számára kívánatosnak látszik. Végül megegyeztek, hogy az MIT-projekthez biztosítják mindazokat a fontos adatokat, amelyek a vizsgált szeizmogramokat szolgáltató területre vonatkoznak. Abban is megállapodás született, hogy a vizsgálatok kezdetben meglehetősen egyszerű geológiai szelvényről kapott szeizmogramokon alapuljanak. A megállapodás 2. pontja szerint az első néhány vizsgált szeizmogramnak reprodukálható felvételekből kell származnia abból a célból, hogy legalább három különböző szűrésű és/vagy keverésű garnitúra álljon rendelkezésre ugyanabból az eredeti adatkészletről. Részleteiben a következőkre volt szükség: i) 12 csatornás kiindulási felvétel a 20–120 Hz-es frekvenciasávban, amely tökéletes visszajátszás ezen a sávon belül; ii) ugyanez a felvétel keskeny sávú alacsony frekvenciás szűrőn történő átbocsátás után; iii) mint az előző, de magasabb frekvenciás szűrővel; és iv) a legjobb szűrés és/vagy keverés, amelynek elérésére az adatokat szolgáltató csoport képes volt.

Elfogadták, hogy a kezdeti teszteléshez kijelölt területeknek tartalmazniuk kell legalább öt robbantópontot egy szelvényen, amelyen a felvétel minősége nem változik meg észrevehetően az egymást követő lövések során. Ezután készítenek néhány szeizmogramot egyetlen robbantólukból, változó mélységgel és töltetnagysággal. Mindezeket a követelményeket összegezték. A Texas Company, a Continental és a Magnolia megígérte, hogy törekedni fog a kívánt szeizmogramok és azokkal együtt az elérhető geológiai adatok megszerzésére a vállalatvezetésük hozzájárulásával kijelölt szelvényen, és a megszerzett anyagot eljuttatja az MIT-hez Hurley professzor részére. Ebből a három garnitúrából legalább egynek a vizsgálatáról az MIT részletes jelentést állít össze 1953 júniusára. A fenti anyagokon kívül a csoport más típusú összeállításokat is fontolóra vett. Elhatározták, hogy a szponzorok közül néhányan bonyolultabb anyagokat is szolgáltathatnak. A Stanolind, Atlantic és Cities Service vállalta, hogy törekedni fog további vizsgálatok céljára engedélyezett felvételek megszerzésére. Más vállalatok is tanulmányozni fogják adatállományait, és

kapcsolatba lépnek Hurley professzorral, ha megfelelő felvételeik lesznek. Bemutattam azt a számítási sémát, amelynek alkalmazását az MIT tervezte, beleértve a Raytheon feladatát képező „operátoros” megoldásokat és a jóslási hiba Whirlwiden futó feldolgozását is. A GAG eleinte szeizmogramonként tíz eset munkába vételét tervezte. Mivel a becslött teljesítőképesség havi 60 eset volt, ez havonta hat szeizmogram analízisére volt elegendő.

A végrehajtásra váró feladat eléggé világos volt. Először is a GAG a Raytheonral együtt kifejlesztett egy digitális feldolgozórendszert, amely alkalmas az esetek nagy tömegének kezelésére, majd a rendszert felhasználja a reflexiók kimutatására az átadott felvételeken. A célkitűzést tekintve teljes volt az egyetértés, és a Tanácsadó Bizottság minden tagja egy nyelven beszélt. A GAG célja az volt, hogy igazolja a dekonvolúció mint szeizmikus feldolgozási művelet alkalmasságát. Az eredményeket a GAG soron következő jelentéseiben kellett közzétenni, a szeizmológiához alkalmazott digitális jelfeldolgozás elméleti tárgyalásával együtt. A Bizottság egyetértésével találkozott, hogy a Raytheon végezze a számításokat és a GAG-re maradjanak a kísérleti munkafolyamatok részletei. A GAG-projekt költségvetését illetően nem merült fel a változtatás igénye. A Tanácsadó Bizottság négy hónapot adott a GAG-nak a feladata teljesítésére. A munkáról szóló jelentést a GAG 1953. június elejére készíti el. A jelentést valamennyi részt vevő vállalat megkapja tanulmányozás céljából. A Texas Companytól B. D. Lee 1953. február 3-án ezt írja Hurley professzornak: „igyekezünk még ma elkészíteni az ön által kért felvételeket, és azonnal továbbítjuk azokat, mielőtt kikerültek az előhívóból”. A következő napon 18 szeizmogramot küldött (amelyeket 12.1-től 12.18-ig terjedő számozással láttunk el), ezek mindegyike két csatornát tartalmazott. Még egy további szeizmikus felvételt is küldött (ez a 12.0 számot kapta).

## A GAG 1953 telén

1953 februárjában tudományos segédmunkatársként Mark Smith és William Walsh lépett be a GAG állományába. Barbara Halpern titkárnői, Irene Calnan pedig műszaki aszisztensként beosztásba került. Simpson PhD-disszertációjának befejezésén dolgozott, így csak korlátozottan állt rendelkezésre. Elkezdtem Smith és Walsh betanítását számítógép-programozásra. A Raytheonra és rám maradt a szeizmikus adatfeldolgozás. A GAG új helyiségekbe költözött a 20-as épületben, amely egy faépítmény volt, a háború alatt itt fejlesztette az MIT Sugárzási Laboratóriuma a radart. Ablakaink egy sivár udvarra néztek, ahol néhány leszerelt radarberendezést láthattunk. Az egyik iroda ajtaja használhatatlan volt. Még egy jó csavarhúzó sem találtunk. Mark Smith (később a Texas Instruments elnökhelyettese) aztán mégis helyretette az ajtót. Így emlékezett: „A GAG-nál pusztán kézzel intéztük a dolgokat”.

Brit tudósok mindjárt a 2. világháború kezdetén kifejlesztették a mikrohullámú radart az ellenséges repülőket felderítéséhez. Ők azonban nem voltak képesek hibátlanul,

illetve nagy tömegben előállítani a magnetroncsövet, amely a radar működésének alapvető eszköze. Az MIT Sugárzási Laboratóriumának ösztönzésére találkozóra került sor vezető brit tudósok és a Raytheon között. A Raytheon nemcsak a gyártási folyamat egyszerűsítésére állt elő radikális változtatásokkal, hanem a radar működésének tökéletesítésére is voltak elképzelései. Ennek hatására az angolok a Sugárzási Laboratórium közvetítésével a „kis” Raytheon egy szerény szerződéshez juttatták, amely a magnetronok szállítására vonatkozott. Ugyanakkor a Western Electric nevű „óriás” tekintélyes szerződéshez jutott. A háború végéig a Raytheon állította elő a magnetronok teljes mennyiségének 85%-át, messze maga mögött hagyva a Western Electricet, RCA-t, GE-t és más nagyvállalatokat. A háború alatt a Raytheon kifejlesztette azt a SG hajóradart, amely a tengeren fölényben volt a repülőgépekre telepített radarokkal szemben. A Raytheon fedezte fel 1945-ben a mikrohullámú sütést, és 1947-ben a Raytheon mutatta be a világ első mikrohullámú sütőjét. A Raytheon a haditengerészeti kutatások minisztériuma részére megépítette a Hurricane számítógépet, és 1948-ban elsőként foglalkozott repülő célpont elérésére képes lövedék-távírányító rendszer kifejlesztésével. Az első sorozatban gyártott tranzisztort, a CK 703-as túérintkezős típust a Raytheon bocsátotta ki 1947-ben, majd ezt követte a közfogyasztás számára forgalmazott első tranzisztor, a CK 722-es germánium rétegtranzisztor. A Texas Instruments 1954-ben hozta ki a sorozatban gyártott első tranzisztoros rádiót. Válaszként a Raytheon a következő évben saját verziójával, a 8TP-4 típusú tranzisztoros rádióval jelent meg. A tranzisztorok teljes mértékben forradalmasították a számítógépeket és az elektronikus technológiát.

A GAG 1953. február 2-án találkozott a Raytheon képviselőivel. Néhány nap múlva a Raytheon megküldte munkáinak számláit, amelyek a programozásra, kiolvasásra, számításokra, operátor-együtthatók szolgáltatására, és a GAG által rendelkezésükre bocsátott szeizmikus felvételekhez tartozó jóslási hibagörbék (dekonvolvált nyomvonalak) végső ábrázolására vonatkozó tételeket tartalmazták. A programozás és az analízis ára 2800 \$, egy fél eset számításának (havi 50 fél eset számítását feltételezve) ára 5,7 \$, egy teljes eseté (havi 200 teljes eset számítását feltételezve) pedig 15,00 \$ volt. A számítások mindegyikét a jóslási távolság két értékének alkalmazásával kellett elvégezni. Mivel azonban havi 250 eset számításának elvégzésére nem volt lehetőség, a Raytheonon február 3-án sikerült egyességre jutni, mely szerint a GAG 2800 \$-t fizet a programozásért és az analízisért, továbbá megrendeli 320 teljes eset számítását 16,50 \$-os egységáron azzal a feltétellel, hogy a fél esetek számítása arányosítható. Ilyenformán a szerződés összegszerűen 8080 \$-t tett ki, ami a 2800 \$-os és az 5280 \$-os tételekből adódott. A szerződés tartalmazta a rugalmas kezelés kitételét, ez lehetőséget teremtett a menet közbeni változtatásokra. A kitétel a Raytheon kívánsága volt azon az alapon, hogy nem tett még szert kellő jártasságra a számításoknak ebben a típusában. A 320 eset havi 60 esettel számolva mintegy 5 hónapnyi munkát

jelentett, ez kitölthette a februártól júniusig terjedő időszakot.

A Raytheon úgy döntött, hogy a GAG számításaihoz a Torontói Egyetem számítógépét alkalmazza. A torontói gép neve FERUT (FERranti at University of Toronto) volt. A Raytheon alapos vizsgálódás után választotta ki a projekthez ezt a gépet, az általános célú számításokhoz rendelkezésre álló néhány ipari kategóriájú elektronikus digitális számítógép közül. A FERUT bináris számrendszerben működött. A gép két azonos méretű blokkból állt, ezek befoglaló méretei: 490 cm hosszúság, 240 cm magasság, 120 cm mélység és a kezelőpult. Energiafogyasztás: 27 kW. A gép 4000 elektroncsövet és 15 000 ellenállást tartalmazott. Szorzási ideje 2,2 ms volt (vagyis 450 szorzás/s) összeadási ideje pedig 1,2 ms (vagyis 833 összeadás/s). A bemenet perforált telexszalag volt, a kiolvasás fotoelektromos úton történt, max. 200 karakter/s-os beviteli sebességgel. A kimenet is perforált telexszalag volt 10 karakter/s-os nyomtatási sebességgel vagy telegépes direkt nyomtatással 6 karakter/s-os sebességgel. A gép rendelkezett nagy sebességű elektrosztatikus tárolóval (RAM), amelynek 256 szó (egy szó 40 bináris számjegyből, vagyis kb. 12,1 decimális számjegyből állt). Mágnesdobos memóriája 16 000 szó tárolására volt alkalmas.

A szeizmogramok analizálására használt Ferranti számítógép néhány előnyös tulajdonságaként a kielégítő bemeneti sebesség, kiváló számítási sebesség és nagy dobmémória említhető. Az ilyen típusú számítógépeknél tapasztalható hátrányt az elektrosztatikus memóriájának (RAM) kis kapacitása jelentette. Egy komolyabb számításához, például egy analízis elvégzéséhez, igen sok utasításra (mintegy ezerre) és az adatok óriási tömegére volt szükség. Beolvasás előtt mindezeket az információkat a mágnesdob tárolta, majd onnan át kellett vinni azokat az elektrosztatikus memóriára sok egymást követő, viszonylag kis blokkokban való felhasználáshoz. Ez a megoldás a kódolás nehézsége miatti kellemetlen következményként hibákhoz vezethetett, amelyek behatárolását és kijavítását el kellett végezni a feladat futtatása előtt. A gép használatának másik korlátja – amelynek kiküszöbölésére a nem túl távoli jövőben számítani lehetett – az alacsony kimeneti sebesség volt. Az ennek nyomán jelentkező idővesztés csökkenthető volt azáltal, hogy a gép a nyomtatás ideje alatt is végezhetett számításokat, adott esetben azonban más kódolási szempontok korlátozhatták ennek alkalmazását.

### 1953 tavasza és Toronto

A GAG 1953. február 17-én megküldte a Raytheonnak az 1. számú munkafeladatot. A feladat tartalmazta 60 fél eset számításait, amelyek mindegyikét két jóslási távolság alkalmazásával kellett elvégezni. A 60 fél eset közül 35 a 10.9-es felvétel (Magnolia) számításaira, 10 fél eset a 7.5-ös felvétel (Atlantic), 15 pedig a 12.0-ás felvétel (Texas Instruments) számításaira vonatkozott. A jóslások és a hibagörbék számítása a Whirlwind számítógépen történt. Clippinger 1953. március 3-án telefonon közölte velem, hogy a

Raytheon néhány eset számítását 3 héten belül, az 1. számú feladat többi esetét pedig 5 héten belül teljesíti. A GAG 1953. március 9-én megküldte a Raytheonnak a 2. számú feladatot, amely a Texas Company 18 felvételét (12.1-től 12.18-ig terjedő számozással) érintette. Az eredmények ezt követően vártak magukra. Március 16-án felhívtam a Raytheon-t, és beszéltem Levinnel. Ő azt mondta, hogy a torontói gép az elmúlt héten végig működésképtelen volt. A Raytheon akkor még a mátrixos megoldáshoz szükséges kód ellenőrzését végezte, míg Levin a hibagörbe kódjának megírásán dolgozott. Clippinger 1953. március 20-án egy telefonbeszélgetésben ismerte be, hogy alábecsülte az esetek számunkra történő visszajuttatásához szükséges időt. Azt mondta, hogy gép- és kódhibák miatt nem működnek a programkódok, de állította, hogy május 15-ig a 320 esetet maradéktalanul feldolgozzák. Egy  $9 \times 9$ -es mátrixos megoldás számítását elvégezték kézi úton. Ez 42 órát vett igénybe, így több számítást nem végeznek ilyen módon. Most készen álltak felvételeink kiolvasására. Legfontosabb számítástechnikai feladatunkat a Raytheon vállalta magára, és a felső vezetés érdekelt volt a feladat sikeres teljesítésében. Ekkor nem volt okunk aggodalomra.

Március 25-én beszéltem Wadsworth professzorral. Azt javasolta, hogy a Tanácsadó Bizottságnál esedékes találkozót halasszuk el júniusról szeptemberre, én pedig írok egy elméleti cikket, amelyet júniusban elküldhetünk az olajvállalatoknak. Ez a tudományos cikk tartalmazná a differenciálegyenletek elméletének numerikus példákkal alátámasztott tárgyalását és még valami más munkát is ebben a témakörben. Wadsworth professzor javasolt még egy találkozót is, ahol megbeszelnénk a PhD-tézisek tárgykörének kérdését. Általános irányelv alapján kellene eldönteni, hogy a félállású tudományos segédmunkatársak milyen kutatómunkát végezzenek.

Egy április 1-i találkozón a Raytheon közölte, hogy még további két hétre van szükség az adatok feldolgozásához, így az 1. és a 2. számítási munkafeladat teljesítésének reálisan becsülhető határideje május 1. Találkozóm volt Levinnel április 13-án. Ő elmondta, hogy két nappal korábban találkozott Clippingerrel Torontóban. Clippinger tájékoztatta, hogy nála jól mennek a dolgok. A kódok jelentős részét kijavították, és a következő héten szándékában áll visszatérni Massachusettsbe. Levin a hét végén felment Torontóba. Nem találta súlyosnak a helyzetet. A hibák a kódolásban jelentkeztek. A gép napi 24 órát dolgozott, és hetenként kb. 50 óra hasznos idő állt rendelkezésünkre, elmentében a korábbi heti 4–6 órával. Torontóban a fő feladat a Szent Lőrinc hajóút építése volt. Ez a beruházási program minden héten 3 teljes nap gépidőt foglalt le, és a fennmaradó részt osztották el a többi feladatra, közöttük a miénkre is.

Április 27-én telefonon beszéltem Clippingerrel, ő akkor már visszajött Torontóból. Azt mondta, hogy a dolgok nem úgy mennek, mint ahogy a Raytheon szeretné. Most hívta őt Levin Torontóból. A feladatban 20 szubrutin van, ebből 8 működik, 6 másik közel áll a működéshez, és van 4, amelyeken Levin dolgozik. Megkérdeztem, hogy a vektor-

szorzatok kódja működik-e. Clippinger azt válaszolta, hogy működik, és Levin arra törekszik, hogy az inverz mátrixokból megkapja az operátor-együtthatókat. Megmondtam neki, ha Levin ezt a részt működőképessé tudja tenni, a többi mi elvégezhetjük a Whirlwinden. Hozzátettem még, ha a helyzet reménytelennek látszik, a tanácsadó bizottsági találkozót elhalaszthatjuk szeptemberre. A találkozó tervezett ideje június közepe volt. Clippinger erre azt válaszolta, hogy május 15-re a Raytheonnak biztos képe lesz a dolgok állásáról, nem kell tervbe vennünk a találkozó elhalasztását. Jó esély van arra, hogy az anyaghoz június 1-re hozzájutunk. Ő éjt nappallá téve dolgozik, és visszamegy Torontóba 10 napra, másnap utazik.

Május 8-án a Raytheon-tól Porter hívott fel, és a kanadai telefonhívásra hivatkozva közölte, hogy a Raytheon előző éjszaka gépidőhöz jutott, és két héten belül lehet számítani a megoldásokra. A Raytheon-t 1953 tavaszán kellemetlenül érintette, hogy nem kapott elegendő gépidőt, főként a FERUT gyakori leállásai miatt. Itt kell megemlíteni, hogy mindkét számítógép, a Whirlwind és a Ferranti is új állapotú volt, és még tesztelés alatt állt. Ez volt a valaha végzett első digitális jelfeldolgozás, a végrehajtás teljes folyamata új volt még a kiforrott, sokat próbált számítógépek számára is. Ezek a gépek akkor még nem rendelkeztek lebegőpontos aritmetikával, így mindig felmerült a túlcsoordulás problémája, hacsak előzőleg nem skálázták gondosan az adatokat. Wadsworth professzort rémálmok gyötörték. Hurley professzornak ezt írta: „Kedves Pat, az éjszaka közepén felriadok, és aggódom az óriási költségek miatt, amelyek terhelné minket a Raytheonnál végzett idej és jövő évi számításokért. Éjszakai nyugalmam érdekében kérlek, végezz ellenőrzést és bizonyosodjál meg arról, hogy van-e pénzügyi fedezetünk ennek a tehernek az elviselésére, és nem költünk-e túl sokat az alkalmazottakra”. Ennek az lett az eredménye, hogy Torontóba kellett mennem.

Így aztán az éjszakai vonattal Clippinger és Levin társaságában Torontóba utaztam. Az ósdi, 1890-es évjáratú vasúti kocsik belsejét mindössze a menyezetről függő két lámpa világította meg. Az árnyékok táncot jártak, ahogy a lámpák előre-hátra himbálóztak, miközben a pöfögő gőzmozdony belefúrta magát a sötétségbe és az ismeretlenségbe. Clippinger kezdte a beszélgetést. Lebilincselő volt számomra. Alan Turingról beszélt. Turing, ez a ragyogó és eredeti elme 1934-ben publikálta „A kiszámítható számokról” című tanulmányát. Ebben az elméleti munkájában lefektette a számítógép elvi alapjait. A matematikusként ismert Turing jártas volt a filozófiától kezdve a pszichológián át a fizikáig, kémiai és biológiai terjedően a tudományok teljes spektrumában. Össze tudta kapcsolni a magas szintű gondolkodást a gépesítés és a kísérletezés kézzel fogható gyakorlatával.

Clippinger elmondta, hogy 1948-ban a brit kormányzat kidolgoztatta a Small-Scale Experimental Machine (Kisméretű Kísérleti Gép) nevű számítógépet, amely bár egyszerű formában, de tartalmazta a tárolt programú számítógép csíráját. Az angliai Manchesteri Egyetemen rövid idő

alatt kifejlesztették a Mark I.-et, ezt a jóval nagyobb teljesítőképességű, használhatóbb gépet, elsősorban tudományos kutatások céljára. Turing 1948-ban került a Manchesteri Egyetemre, és 1949 nyarán fontos szerepe volt a Mark I. papírszalagos készülékkel való ellátásában. A brit kormányzat a Ferranti céget bízta meg a Mark I. gyártásával. Ez volt az első, kereskedelmi forgalomban kapható számítógép. Első példányát 1951-ben helyezték üzembe, a második Ferranti Mark I.-et (FERUT) pedig a Torontói Egyetem vásárolta meg a Szent Lőrinc folyami hajóút tervezési munkáihoz.

Utazás közben dolgoztunk. Clippinger tájékoztatást adott nekem a FERUT kódolásáról. Azt mondta, hogy főleg Turingnak tulajdonítható a 32-es alapú számrendszer használatának bevezetése. Bármely komolyabb programozás elvégzéséhez meg kellett tanulnom az alapszám 32 számjegyének alábbi megfelelési táblázatát, a számjegyek numerikus megfelelőjét és a megfelelés bináris ábrázolását. A számok bináris alakjának és 32-es alapú alakjának leírásakor a legkisebb helyértékű számjegy a bal oldalon volt. Ez a konvenció a mérnökök kényelmét szolgálta.

Clippinger elmagyarázta, hogy az alábbi 40 számjegyes bináris szám: 01010 00011 10011 01100 00110 10100 00011 00110 tömörebben is leírható 8 számjegyes, 32-es alapú számként: ROBINSON. Azt is elmondta, hogy egy 20 bites utasítást négy karakterként, egy tárcímet pedig 2 karakterként írnak le. Tudatta velem, hogy az 5 csatornás lyukszalag közvetlenül olvasható, és a kijelzőcsövön megjelenő információt könnyen ki lehet olvasni, ami különösen az utasítások esetében fontos. Ezek 20 bites sorként, négy 5 bites csoportot alkotva kerülnek fel a kijelzőcsőre, és az 5 bites csoportok mindegyike megfelel egy 32-es alapú karakternek. Clippinger számára mindez pofonegyszerű volt.

Munkához kellett látni. A dolgok komolyra fordultak. Egy szubrutint ellenőriztem, amely nem működött kielégítően. Fagyos kezeimben tartottam a lapokat. Valameddig eljutottam, aztán elvesztettem a fonalat. A programozás a 32-es alapú rendszerben elavultnak tűnt. Az egyszerű és hatékony Whirlwind-féle nyelvhez voltam szokva. A vasúti kocsik ide-oda rázkódtak és előre-hátra imbolygott. Úgy éreztem magam, mint Robinson Daniel Defoe regényében:

0	00000	/	8	00010	$1/2$	16	00001	T	24	00011	O
1	10000	E	9	10010	D	17	10001	Z	25	10011	B
2	01000	@	10	01010	R	18	01001	L	26	01011	G
3	11000	A	11	11010	J	19	11001	W	27	11011	"
4	00100	:	12	00110	N	20	00101	H	28	00111	M
5	10100	S	13	10110	F	21	10101	Y	29	10111	X
6	01100	I	14	01110	C	22	01101	P	30	01111	V
7	11100	U	15	11110	K	23	11101	Q	31	11111	£

„Nem tudtuk hol vagyunk, milyen vidékre érkeztünk, szigetre vagy szárazföldre, lakott vagy lakatlan területre”. Clippinger és Levin ott ültek a gyenge fénynél és szorgalmasan dolgoztak a programokon. Végül Levin bátorítására otthagyhattam őket a munkájukkal, és besurrantam a hálókocsiba. Alighogy elaludtam, felébresztett két kanadai rendőr. A vonat a kanadai határon volt, be kellett mutatnom az útlevelemet. Torontóba érkezve épphogy lenyeltük a reggelinket, máris mentünk a számítógéphez. A gép egy öreg, lestrapált egyetemi épületben volt elhelyezve. A bútorzat hiányos volt, de találtam magamnak egy kis asztalt, amelynél dolgozhattam. Elhatároztam, hogy működésbe hozom a szubrutint. Egész nap és még éjszaka is dolgoztunk. Éjjeltájban ők lefuttatták azokat a számítógépes programkódokat, amelyeket Dimsdale még Massachusettsbe való visszatérésekor írt meg. Dimsdale kódjai első próbálkozásra működtek, alighanem először fordult elő, hogy ez a csoda megtörtént ezen a rejtélyes gépen. Futtattuk a javításaimmal módosított szubrutint is, de az nem működött. Néhány óra alatt további módosításokat végeztem rajta. Újra lefuttattuk. Most sem működött. Clippinger

azt mondta, ha négy óránként eszünk valamit, nem lesz szükségünk alvásra. Én nem hittem ebben. Egy csaknem egész éjszaka működő büfében étkezhattunk, és az étel ízletes volt. Újabb próbálkozás során az én kódomban továbbra sem működött. De ahogy Ralph Walde Emersonról tudjuk: „A nehéz percek a tudomány számára hasznosak. A jó tanuló nem szalasztja el ezeket az alkalmakat”. Másnap reggel (legalábbis számomra) szerencsés dolog történt. Az egyetem közölte, hogy a számítógépet a nap folyamán egy ideig nem lehet használni. Nagyon megörültem a hírnek, alig vártam, hogy ágyba kerüljek. Átmentünk a kopott szobába, amelyet közösen foglaltunk egy öreg, kétszintes faház emeletén. A padlók nyikorogtak a lépteink alatt. Elég kezdetleges fajtája volt ez a „szoba reggelivel” szállásnak, mint-hogy reggelit nem kaptunk. Szerencsémre, nekem a szoba benyílójában volt a fekhelyem, egy kemény, hepehupás priccs. Már esteledett, de Clippinger ült az ágyon, és átnézte az addig kapott számítógépes eredményeket. Én megszakításokkal tudtam aludni. Hamarosan ideje volt visszamenni ahhoz a rémes számítógéphez és azokhoz az ördögi kódokhoz, amelyeket Alan Turing agyalt ki. Leültem az

asztalomhoz és dolgozni kezdtem a szubrutinon. A jóleső néhány órai alvás magamhoz térített. Clippinger kihasználta minden másodpercet, tudomást sem véve az idő múlásáról. Levin kijelölte a tennivalókat. Munkához kellett látni. Tettem két sikertelen kísérletet. Másnap hajnali 2 órakor kaptam még egy lehetőséget a gépen. A szubrutin akkor már működött. Halálosan fáradt voltam. Levin a segítségemre sietett, elvezetett egy hideg padhoz, amelyet az öreg épület valamelyik sötét zugában felejtettek, és erre lefeküdhettem. Nyomban mélyen elaludtam. Alvásomat csak számítógépes álmaim zavarták meg, amelyekben a számítógépek a szeizmikus hullámok tengerén lebegtek. A hullámok átváltoztak elemi hullámokká, ezek pedig teljesen kitöltötték a kaotikus tengert.

A becsörtető Clippinger ébresztett fel. Az első fények a hajnal közeledtét jelezték. Clippinger nagy hangon újságot, hogy az összes program működik. Félig aludtam, amikor kimentem és megnéztem a konzolon villogó fényeket. Clippinger és Levin könnyen tudták olvasni ezeket. Én képtelen voltam rá. Számomra a Turing által kigondolt 32-es számrendszerű kimenet még mindig értelmezhetetlen volt. Várom kellett, amíg a számokat kinyomtatták. Clippinger és Levin lefuttatott egy jó nagy adag GAG-adatsort. Az esetek egymás után oldódtak meg. Én alig vártam, hogy a Bostonba induló vonaton legyek.

### Találkozó 1953 nyarán

A GAG 1953. július 1-én találkozót tartott a Raytheonon az MIT-nél. A Raytheon bejelentette, hogy teljesítették 56 fél eset és 17 teljes eset kiszámítását. Clippinger kiszámolta a Raytheonon az addig felmerült költségeket. Ezek az alábbiak voltak:

Az analízis, kódolás és a számítógépen végzett ellenőrzések költségei	26 130 \$
A számítógép bérleti díja	
a.) Ellenőrzés	2 640 \$
b.) 56 fél eset és 17 teljes eset előállítása	2 970 \$
Adminisztratív költségek	9 750 \$
Felvételek kiolvasása	3 900 \$
Grafikus ábrázolás	1 170 \$
Utazási költségek	3 000 \$
Kellékek	1 000 \$
Összesen	50 560 \$

nak megállapítása szerint kétségkívül a Raytheon nyújtott az ipar számára elsőként üzleti alapú digitális jelfeldolgozó szolgáltatást. Soha azelőtt nem alkalmaztak számítógépeket nagy tömegű digitális adatfeldolgozására. Addig a számítógépeket egyenletek megoldására használták, amelyekben kevés volt a tényleges adat. Maga a Ferranti gép korlátozó tényező volt. Szerkezetének kialakítása nem felelt meg digitális adatfeldolgozásra, ezt a feladatot a Raytheon oldotta meg. A Ferranti gép nagy szóhosszúságánál, kis se-

A felhasznált teljes gépidő 70%-a nem volt hasznos, ezt nem számolták fel. Amikor a gép egy hétre leállt, Dimsdale, Clippinger és Levin, továbbá két vagy három kiegészítő női alkalmazott erre az időre kiesett a munkából. Szintén a holtidő miatt a kódolást hármuk között kellett felosztani. Ez rontotta a munka hatékonyságát, mivel nem tudtak egymás munkájáról, amikor egyikük Kanadában dolgozott, a többiek pedig Massachusettsben voltak.

A professzorok úgy vélték, hogy a pénzeszközöket jobban lehetne felhasználni a megszokott tudományos kutatás céljára. Schrock professzor később így emlékezett: „Nem volt meglepő, hogy a nagy sebességű számítógépek jövőjét illetően bizonytalanság uralkodott; még tapasztalt tudósok és mérnökök sem tudták, mit hoz a jövő.” Rendbe kellett tennem az egész zilált pénzügyi helyzetet az 1953. augusztus 12–13-ra tervezett Tanácsadó Bizottsági találkozó előtt. Találkoztam T. R. Porterrel, a Raytheon műszaki értékesítési igazgatójával. A GAG-nek további igényei voltak, amelyek nem szerepeltek az eredeti szerződésben. Porter ezt írja az augusztus 5-én nekem küldött levelében: „Hivatkozással megbeszélésünkre és egyeztetésünkre, amelyet a jelenleg érvényben levő szerződés tárgyában, a szeizmikus elemző programhoz kapcsolódó számítási szolgáltatások költségeire vonatkozólag folytattunk, a mostani helyzet megoldására az alábbi ajánlatot tesszük”. A megoldás egy új, 9180 \$-os szerződéses ár volt, a korábbi 8080 \$-os ár helyett. Az 1100 \$-os növekmény annak a többletmunkának az ára volt, amelynek elvégzését a Raytheononól kértük. Porter így fejezte be levelét: „Közben folytatjuk a munkát, feltételezve, hogy a fentiek elfogadhatóak lesznek az önök számára”.

A Raytheon kidolgozott egy kifogástalanul működő dekonvolúciós rendszert. Az IEEE Történeli Központjára

bességénél és lassú kimeneténél fogva alkalmas volt a dekonvolúciós operátor (fél eset) kiszámítására, ugyanakkor alkalmatlan volt a dekonvolúció végrehajtására (a teljes eset fennmaradó része). Más részről viszont a Whirlwind kis szóhosszúsága, gyors működése és nagy sebességű kimenete nem tette lehetővé a dekonvolúciós operátor kiszámítását, a dekonvolúció elvégzésére azonban alkalmas volt. Mindkét gép esetén a RAM kis kapacitása (a Ferrantinál 256 szó, a Whirlwindnél 1024 szó) volt jellemző.

A Raytheon közlése szerint 24 emberhónap ráfordítást igényelt a szeizmikus dekonvolúció programozása és a kódok ellenőrzése a Ferranti számítógépen. Egy éve Howard Briscoe-val ketten teljesítettünk egy minden bizonnyal elég bonyolult programozási feladatot a Whirlwind számítógépen. Amikor ennek 1951-ben Briscoe-val nekifogtunk, még csak a meglehetősen primitív gépi nyelv létezett, és nekünk kellett megírunk saját kétszeres pontosságú kódjainkat. Munkánk a maga nemében hatással volt arra az irányvonalra, amelyet a Digitális Számítástechnikai Laboratórium a Whirlwind fejlesztésében követett, hogy alkalmassá tegye a gépet nagy tömegű légvédelmi adat kezelésére. A Tanácsadó Bizottsághoz 1953. július 8-án benyújtottuk az „Esettanulmány a Henderson megyei szeizmikus felvételtől, 1. rész” című 3. számú MIT-GAG-jelentést. Ez a jelentés a Magnolia Petroleum Co. 10.9-es számú felvételének számítási eredményeit tartalmazta. A felvételhez a GAG még az 1953. január 30-i Tanácsadó Bizottsági találkozó előtt jutott hozzá, és elvégezte ennek digitalizálását. Az 1. számú munkafeladatban a Raytheon a felvételhez kapcsolódó 35 fél esetet kapta meg. Minthogy minden fél esethez a jóslási távolság két értéke tartozott, ez összesen 70 dekonvolúciós operátort jelentett. Az operátor-együtthetők első 28 készletét a Raytheon május 26-án küldte meg a GAG-nak, és további készleteket küldött még június 16-án. Az operátor-együtthetők megkapott készleteihez a GAG a Whirlwind számítógépen kiszámította a jóslási hibagörbék. A jelentés ezeket tartalmazta. A jelentésben nem szerepelhettek azok a jóslási hibagörbék, amelyekhez az operátor-együtthetők a Raytheon június 16. után küldte meg, mivel nem állt rendelkezésünkre elegendő hasznos idő a Whirlwind gépen. A felvétel a texasi Henderson megyében készült, ahol mintegy 4,5 m laza Carrizo homokra ligniteres Wilcox homokos agyag települ. A Magnolia a laza homok miatt tekintette ezt nehéz területnek. A 10.9-es felvétel interferenciás volt, így nem mutatott jól felismerhető reflexiókat. Ennek ellenére a Magnolia a legfelső nyomvonalon bejelölt öt beérkezési időt. Bejelölésük alapját egy más lövési eljárás alkalmazása képezte, amely mutatta a reflexiókat. A dekonvolúció könnyűszerrel választotta ki az összes reflexiót, amelyek a 10.9-es felvételen voltak.

A Tanácsadó Bizottsághoz 1953. július 21-én benyújtottuk „A Texas Company szeizmikus szelvényéhez alkalmazott lineáris operátorok vizsgálata, 1. rész” című 4. MIT-GAG-jelentést. A jelentés azokat a számítási eredményeket tartalmazta, amelyek a Texas Company által a GAG részére 1953 februárjában megküldött, 12.0-tól 12.18-ig terjedő számozással ellátott felvételekre vonatkoztak. Kiegészítő információként szerepelt egy sebességszelvényezés, amelyet a C11X robbantóponttól csapásirányban 2700 m-re eső fúrásán végeztek, és egy elektromos fúrólukszelvény, amely a C11X-től északkeletre, mintegy 90 m-re eső fúrásán készült. Ezeket az interferenciás felvételeket a „csengetések” uralták, következésképpen az autokorrelációk is tele voltak csengetéssel. Az autokorrelációs együtthetők ezzel együtt járó magas értékei megnehezítették a mátrixinvertálásokat. Ez a komplikáció okozta, hogy a Raytheonnak

szenvetnie kellett, és újra kellett programoznia egy sokkal pontosabb és költségesebb mátrixinvertálást. Tavasszal erre a kényszerű, költségnövelő időráfordításra nem számítottunk, de még így is képesek voltunk lefuttatni 30 dekonvolúciót a 10 szeizmikus felvétel mindegyikén. Más szavakkal, összesen 300 dekonvolúciót futtattunk le. Minden egyes digitalizált és minden egyes dekonvolált nyomvonal kb. 600 pontot tartalmazott, ami 1,5 s-os szeizmikus időtartamot jelentett 2,5 ms-os mintavételezés mellett. A 300 dekonvolált nyomvonalon  $300 \times 600$  vagyis 180 000 pontot kellett kézi úton felrakni. A munka időben való elvégzéséhez egyszerűsítésre volt szükség. A felrakott érték a dekonvolált nyomvonal egyik jellemző szeizmikus tulajdonsága volt, nem pedig maga a nyomvonal. A jellemző tulajdonság minden egyes értéke 10 egymást követő értéken alapult. Csak a tulajdonság minden tizedik pontjának kiszámítását és felrakását végeztük el, mivel a teljes érték tartomány felrakása tízszer annyi munkát igényelt volna. A dekonvolúciós eredmények jónak látszottak. A dekonvolúció kiküszöbölte a csengetést és a reflexiók konzisztens sorozatát nyújtotta.

1953. augusztus 4-én küldtük el a Tanácsadó Bizottság részére „A szeizmikus analízisben alkalmazott lineáris operátorok elmélete és gyakorlata” című 4. MIT-GAG-jelentést, amely a GAG 1953 januárjától végzett kutatómunkáját ismertette. A jelentés 7. fejezetét „Szeizmogramot analizáló program gépi megoldásának vizsgálata” címmel a Raytheon Manufacturing Co. Számítógépes Szolgáltató Részlege részéről R. F. Clippinger és J. H. Levin állította össze. A fejezet először az árcsökkentés rövid távú kilátásainak kérdését tárgyalta. „Előre látható, hogy az előállítás költségei lényegesen csökkenni fognak. A szalagok elkészítésének irodai költségei (meglehetősen bonyolult eljárást igényel a hibázás lehetőségének kizárását célzó különös gondosság) csökkentek az alkalmazottak gyakorlottságának növekedésével, és ebben még további előrelépés várható. A munkabéreköltségek csökkenésén kívül számos lehetőség kínálkozik, hogy az egy esetre számított gépidő csökkenthető legyen. Jelenleg 5 perc gépidőre van szükség a fél esethez és 15 perc a teljes esethez. A tényleges számítások azonban csak az idő viszonylag kis részét veszik igénybe. A teljes esethez például 5 perc számítási és 10 perc nyomtatási idő szükséges. Ezen a helyzeten a nem túl távoli jövőben változtatni lehet párhuzamosan alkalmazott nagy sebességű nyomtatók munkába állításával. Ez a megoldás a jelenleginek 25%-ára fogja csökkenteni a nyomtatás idejét. Egy teljes eset kimeneti nyomtatásának költsége most kb. 18 \$. A jelenlegi bérleti díjszabás mellett ez várhatóan legfeljebb 4,5 \$ lesz, tehát a várható csökkenés legalább 13,5 \$. A FERUT-on végzett feladatmegoldás költségeinek mérséklésére több lehetőség is kínálkozik a program átalakításával. A program módosítható például úgy, hogy a számítógép behúzza a nyomvonalaknak megfelelő mesterszalagokat, és az egyes esetekhez rövid felügyelő szalagról hívja be a paramétereket és az azonosításhoz szükséges többi információt. Ezután kerül sor a nyomvonalak megfelelő csoportjainak kiválasztására és a számítá-

sok elvégzésére. Az összes szükséges számítás elvégzése után hívható be a nyomvonalak új sorozata. Az átalakításnak ez a típusa feleslegessé teszi külön adatbemeneti szalag készítését az egyes esetekhez. Ez csak egyike a kódolás egyszerűsítését célzó megoldásoknak, amelyek a költségek csökkentését eredményezhetik.”

A 7. fejezet ezután a hosszabb távon megvalósítható tökéletesítések kilátásait tárgyalja. „A távolabbi jövőt illetően a probléma megoldására érdemes lenne komolyan megfontolni egy olyan számítógép alkalmazását, amely mágnesszalagos bemenettel és digitálisról analógra való átalakításra képes kimeneti eszközzel rendelkezik. Ismeretes, hogy szeizmikus felvételeket esetenként már készítenek mágnesszalagra. Foglalkoznak már olyan készüléktípussal, amely lehetővé tenné a felvételek közvetlen betáplálását a számítógépbe, és a gép programozását a betáplált felvételek analizálására. A kimenetet digitálisról analóg formára lehet átalakítani, és regisztráló tollak rajzolhatják a hiba görbéket (a dekonvolváltnyomvonalakat). Jó okunk van feltételezni, hogy egy ilyen irányú fejlesztési program eredményeként az árak egy teljes esetre számítva 20 \$ alatt lesznek.” A 8. fejezet annak a nyolc eredeti Magnolia-felvételnek (új számozásuk 10.1–10.8) a Whirlwind számítógépen végzett újrafeldolgozását ismertette, amelynek dekonvolúciója kézi úton készült el 1951 nyarán. A bemutatott anyag a dekonvolváltnyomvonalak teljes sorozatát tartalmazta, és a dekonvolúció kifogástalan működését bizonyította.

A GAG és a Tanácsadó Bizottság esedékes nyári találkozójára 1953. augusztus 12–13-án került sor az MIT-nél. A találkozó résztvevőinek névsora: L. Y. Faust (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), R. B. Bowman és W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson (Carter), R. M. Bradley (Cities Service), J. M. Crawford és W. E. N. Doty (Continental), T. J. O'Donnell és W. C. Dean (Gulf), D. H. Gardner (Humble), W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety (Phillips), R. Vajk (Standard Oil Company, New Jersey), D. Silverman (Stanolind), W. T. Evans (Sun), H. J. Jones és D. B. Dubbert (Texas Instruments), E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz és F. B. Coker (United Geophysical), R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, N. A. Haskell, E. A. Robinson, S. M. Simpson és M. K. Smith (MIT) és R. F. Clippinger, B. Dimsdale és J. H. Levin (Raytheon). A GAG bemutatta a számítógépes eredményeket és az elméleti munkaanyagot. A legnagyobb figyelem az interferenciás (csengetéses) felvételek a 4. GAG-jelentésben benyújtott dekonvolúciójára irányult.

Az 1953. január 30-i téli találkozó azt a benyomást tette rám, hogy a számítások elvégzése zökkenőmentes lesz a Whirlwind számítógépen szerzett tapasztalataink birtokában. A Whirlwindhez a légierő mindig a legkiválóbb minőségű alkatrészeket, így a legjobb elektroncsöveket használta fel annak ellenére, hogy ezek sokkal drágábbak voltak. A Whirlwind projekt a gép üzemeltetéséhez tekintélyes költségvetési előiránnyal rendelkezett. A Whirlwind karbantartó személyzete mindig elfoglalta magát valamivel.



6. ábra. Babel tornya (id. Peter Brueghel, 1563): „Mert szelet vetettek.”

Ehhez képest a FERUT elhagyatottnak tűnt. Ezen az 1953. augusztus 12–13-i találkozón nem rejtettük véka alá, hogy a gépleállások szinte kizárólag a FERUT-nál jelentkeztek. A vállalatok képviselői joggal kifogásolták ezt. Maga a számítási teljesítmény azonban elismerésre méltó volt. Ezeknek a felvételeknek jó részén egyáltalán nem voltak bejelölhető reflexiók. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a dekonvolúció eltávolította a többszörösöket, és a reflexiók összefüggő sorozatát szolgáltatta. Ez a megállapítás volt a fordulópont. A Bizottság első alkalommal bocsátkozott élénk és szenvedélyes vitába. Egyszerre mindenki így vagy úgy a maga ügyének tekintette ezt a kockázatos vállalkozást. Senkinek sem tetszett a dekonvolváltnál nyomvonalak ábrázolási módja. Ez a szegényes bemutatás szemet szúrt mindenkinek. A nyomvonalak és a dekonvolváltnál nyomvonalak számjegyes értékei háttéranyagként szolgáltak, de ennek a számtömegnek a puszta látványa is ijesztő volt. A figyelem az eredmények megjelenítésének módjára irányult. Ez nagy vitát váltott ki. A Bizottság javaslata a GAG számára az volt, hogy mindig a dekonvolváltnál nyomvonalat kell felrakni és sohasem a jellemző tulajdonságot. Az eredmények felrakásához egyéges léptéket kell alkalmazni, és a nyomvonalakat egyetlen nagyméretű lapon kell csoportosítani a tanulmányozás megkönnyítése céljából. Javaslattal tettek egy automatikus grafikus megjelenítő kidolgozására. A GAG megemlítette, hogy oszcilloszkóp-képernyő felhasználását tervezik a Whirlwindnél, a szöveg és a rajzolat valós idejű megjelenítéséhez.

„És mondá az Úr: Íme e nép egy, s az egésznek egy a nyelve, és munkájának ez a kezdete; és bizony semmi sem gátolja, hogy véghez ne vigyenek mindent, amit elgondolnak magukban. Nosza szálljunk alá, és zavarjuk ott össze nyelvüket, hogy meg ne értsék egymás beszédét. És elszéleszté őket onnan az Úr az egész földnek színére; és megszűnének építeni a várost (Genesis 11)”. A geofizikusok nem képeztek homogén csoportot, és ez érvényes volt a Bizottság tagjaira is. Voltak közöttük terepi geofizikusok és módszerkutató geofizikusok. Képzettségüket szerezhették a geofizikában, geológiában, fizikában vagy villamosmérnöki szakterületen, illetve az üzleti élet területén is.

A Tanácsadó Bizottság az 1953. január 30-i dallasi találkozón úgy határozott, hogy a GAG az esetek nagy számán végezze el a dekonvolúció tesztelését. Más szavakkal, a GAG vizsgálja meg a dekonvolúció mint szeizmikus feldolgozó módszer elfogadhatóságát. Ebben a célkitűzésben általános volt az egyetértés, mindannyian ugyanazt mondták. Most azonban, három hónappal később, a célkitűzést illetően már különböztek a vélemények. Mindenkinek saját személyes tapasztalatával kellett összeegyeztetnie az új, digitális gondolkodásmódot. Az eredmény a legkülönbözőbb tudományterületek előtérbe helyezése lett, az elméleti fizikától a számítási táblázatokig terjedően. Korábban a Bizottság egységes volt, és mindenki egy nyelven beszélt; hozzáláttak a dekonvolúció megvalósításához, és semmi sem tudta ettől visszatartani őket. Most azonban beszédük összezavarodott, és nem értettek szót egymással. Eltévelyedtek, és felhagytak a dekonvolúció

művelésével. Úgy gondoltam, hogy ez a felderítetlen területre való tévelyedés még hasznos és izgalmas is lehet. A geofizika megértéséhez a tudomány különböző nyelveinek ismeretére van szükség. Az elméleti viták széleskörűek voltak. Kérdések merültek fel a lineáris operátorok tulajdonságait és ezeknek a tulajdonságoknak a hagyományos szűrőelmélettel való kapcsolatukat illetően. A vállalatok képviselői azt akarták, hogy a GAG vizsgálja meg magának a zajnak a statisztikus jellegét, ahogy az a szeizmikus felvételen megjelenik. Beszéltek a szeizmikus hullám energiavesztéséről és arról, hogy azt a viszkoelasztikus csillapítás okozza-e, vagy a földben mutatkozó inhomogenitások eloszlásából eredő szóródás. A vitatott kérdések terítékén sok téma szerepelt, kezdve attól, hogy milyen a szeizmikus energia viselkedése egy több szórás-pontot tartalmazó, bonyolult felépítésű földben, egészen a termodinamika entrópia fogalmáig. Szóba került még, hogy kapcsolatba hozható-e ezekkel az elképzelésekkel egy más területen folyó kutatás, amely a ködön át szóródó fényimpulzusok vizsgálatával foglalkozik. Javasolták, hogy a GAG hozzon létre fizikai modellt, amelyben a hullámok különféle visszaverőkről és szóráspontról reflektálódnak. Így zajlottak az elméleti viták.

Elméleti sikon vita tárgya volt a dekonvolúciós operátor és a korrelációs függvény közötti kapcsolat kérdése. Javasolták, hogy a dekonvolúciós operátorok kiszámítását előzze meg az adott felvétel korrelációs függvényeinek vizsgálata. A meglévő számítógépes programok nem szolgáltatták a teljes korrelációs függvényt, pedig csak azok együtthatói kerültek felhasználásra a dekonvolúciós operátor kiszámításában. A korrelációs együtthatók és a teljes korrelációs függvény közötti kapcsolat további vizsgálatára van szükség. A Bizottság azt kívánta, hogy a GAG kezdje el a dekonvolúciós operátorok szűrőkarakterisztikáinak kiszámítását a Whirlwinden. Szóba került a Carter Oil Company Fourier-analizátora. Javasolták, hogy a GAG határozzon meg a dekonvolúciós operátorokkal egyenértékű elektromos analóg szűrőket. A dekonvolúció elektromos szűrőkkel való elvégzésének módját kívánták kidolgoztatni. Ennek birtokában a szeizmikus felvételek analóg szűrésére meglévő berendezést lehetne alkalmazni. Ezt illetően két álláspontot vitattak meg. Az egyik szerint az átlagos operátort kell kiszámítani egy teljes felvételhez. Erre célra egy kijelölt felvétel vagy a felvételek sorának felhasználását javasolták. A témát tárgyaló tanulmányban össze lehetne hasonlítani az átlagos operátor kiszámításának különféle módszereit. A másik elképzelés szerint az átlagos operátort többféle nyomvonallal kell alkalmazni. Célkitűzés lehet elektromos frekvenciaszűrőkkel megvalósítható időtartományú dekonvolúciós operátorok készletének összeállítása. A Bizottság tagjai közül többeknek egyértelmű volt az állásfoglalása. Szerették a dekonvolúciót, de nem digitálisan. Örömlének, ha a GAG találna egyenértékű analóg eljárást a dekonvolúcióra.

Érdeklődést keltettek azok az eredmények, amelyeket nemrég publikált a *Geophysics* 1953. júliusi számában Frank és Doty a Continentáltól. A cikk egy gyenge felvételeket

produkáló terület interferenciás regisztrátumának vizsgálatát ismerteti. Az additív modellnek megfelelően mesterséges impulzussorozatot szuperponálnak az interferenciás felvétel szakaszaira. Más szavakkal, az új nyomvonalak mindegyikét az interferenciás nyomvonal és a szuperponált impulzusok összege képezi. A hozzáadott impulzusok képviselik a jelet, az eredeti interferenciás felvétel pedig a zajnak felel meg. A zaj elnyomására Frank és Doty a frekvenciaszűrés új módszerét dolgozta ki, amely a jel–zaj viszonyon alapult. Azt állították, hogy „az eredményekben mutatkozó különbség sok esetben annyira meglepő, hogy a kiértékelő vonakodik a javított eredmények tényleges adatként való elfogadásától”. A cikk meggyőző példát mutatott be az elektromos frekvenciaszűrőket alkalmazó analóg szeizmikus adatfeldolgozásra. Mindenki úgy látta, hogy a frekvenciaszűrés jelenti a megoldást. Vita folyt az additív modell használatáról. Ez volt a széles körben elfogadott egyetlen modell, amelyet alkalmaztak. A vállalatok képviselői azt kívánták, hogy vegyék elő az interferenciás felvételeket, és mesterségesen vigyenek be fiktív reflexiós jeleket. Végül arra jutottak, hogy vagy Bill Doty bocsátja rendelkezésre Continental felvételeinek egy sorozatát, vagy a Magnoliától kérnek hasonló felvételeket. Mivel az Atlantic interferenciás felvételei számításra kész állapotban voltak, célszerű volt ezeken elkezdni a munkát a hozzáadott mesterséges reflexiós impulzusokkal. Ezután kerülhetne sor a Continentaltól vagy a Magnoliától származó második felvételesorozat vizsgálatára. Számomra a valóságos reflexiók az interferenciás felvételekben rejtőztek, akkor pedig mi szükség van szuperponált mesterséges reflexiókra?

A Raytheon képviselői vitára bocsátották a számításait. Hangsúlyozták, hogy a hatalmas számítógép-terhelés döntően az adatkezelésre és a korrelációs műveletekre irányult, nem pedig az egyidejű egyenletek megoldására. A Raytheon közölte azt is, hogy az érdekelt vállalatok részére most a kifejlesztett dekonvolúciós programokat tudják szolgáltatásként nyújtani. Megemlítették, hogy a mágneszalagra rögzített adatok közvetlenül beolvashatók a számítógépbe. Bérelhetnek vagy építhetnek jobb gépet a számítások elvégzéséhez. Grafikus megjelenítésre szolgáló készülék közvetlenül csatlakoztatható a számítógéphez. Többen rámutattak a munka egészének melléktermékeiként jelentkező számítógépes megoldások fontosságára. A Raytheon célja az volt, hogy számítógépes adatfeldolgozást adjon el az olajvállalatoknak. A vállalatok azonban az adott helyzetben sem egyénileg, sem összességükben nem voltak hajlandók beszállni egy ilyen kockázatos vállalkozásba.

Wadsworth professzor a vita során említést tett azokról a nehézségekről, amelyekre akkor lehet számítani, amikor az operátor-együtthatók túl nagyokká válnak. Hangsúlyozta még a különféle kiválasztott tényezők közötti határozott korrelációt, és kifejtette, hogyan okoz ez bizonyos fokú meghatározatlanságot az operátorokban. Végeterül nagy vonásokban felvázolt egy sokkal szélesebb problémakört, amely a predikciós munkafeladat és a szeizmikus hullámterjedésre vonatkozó teljes peremérték-feladat megoldása

közötti kapcsolatot érintette. A találkozó különböző ülés-szakjain számos jó elgondolás született. Az utolsó ülészsza-  
kon összefoglaltam a további munkára vonatkozó javaslatokat. Ezt a listát a magyarázó megjegyzésekkel együtt valamennyi részt vevő vállalat részére elküldtem. A vállalatok visszajuttatták a lista másolatát a felsorolt tételek általuk megállapított fontossági sorrendjére vonatkozó javaslatukkal együtt. Összegezve, az olajipari és geofizikai vállalatok elégedettek voltak a dekonvolúciós eredményekkel, kedvüket szegte azonban a digitális technika akkori állapotára jellemző megbízhatatlanság. Egyetértettek abban, hogy a GAG-nak analóg megoldást kell találnia a dekonvolúcióra.

### Treitl, és visszatérés a józan észhez

Nem volt mód az 1953. augusztus 12–13-i találkozón megvitattott projektek mindegyikének végrehajtására, mint ahogy azt a Bizottság tagjai közül többen kívánták. A találkozó után beszámolót készítettem mindazokról a tárgypontokról és kérdésekről, amelyek a viták során felmerültek. A beszámoló további feladatokat és javaslatokat is tartalmazott. Az összeállítást tanulmányozásra és véleményezésre elküldtem a Tanácsadó Bizottságnak azzal a kitételrel, hogy szívesen látnám a tárgypontok prioritására vonatkozó javaslatokat. Először az Atlantic és a Magnolia válaszolt. A Magnoliának küldött válaszomban a következők olvashatók: „Köszönöm 1953. október 7-i levelüket. Megjegyzéseik segítőkészségről tanúskodnak, és elősegítik további munkánk megtervezését. Egyetértünk önökkel abban, hogy a prioritásokat meghatározó célkitűzéseink túl ambiciózusak, figyelembe véve a decemberig rendelkezésre álló időt, de a munkánkat igyekszünk úgy mederben tartani, hogy jelentős eredményeket tudjunk felmutatni. Már belefogtunk abba a munkába, amely az I-A szekció tételeire és az I-B szekció 10. tételére vonatkozik. Észrevételeket önökön kívül csak egy vállalattól kaptunk. Ez a vállalat a II-B szekció 1. tételében szereplő munka elvégzését szorgalmazza. Úgy látjuk, hogy önök nagyon megértik azokat a problémákat, amelyek megoldásán fáradozunk. Ezt mutatják számunkra rendkívül értékes észrevételeik.”

A II-B szekció 1. tétele a következő volt: „Gyenge reflexiók kiválasztása irányított kísérletben. Ebben a feladatban az értéktelen felvétel minden egyes nyomvonalára szabályozott elemi hullám szuperponálódik, és lineáris operátorokat kell választani az így előállított mesterséges reflexiók kimutatására. A jel–zaj arányokat és jel–zaj frekvenciakülönbségeket lehet gondosan beszabályozni olyan módon, hogy össze lehessen hasonlítani az eredményeket más eljárásokkal. Mivel ez a megoldás Doty és Frank (Continental) szűrési eljárását használja fel, kézenfekvő ugyanazoknak a felvételeknek és jeleknek a felhasználása, mint amelyek dolgozatukban szerepelnek. Ez mentesíti az MIT munkacsoportját a feladat teljesítéséhez szükséges frekvencia- és amplitúdóanalízis elvégzésétől, a kísérlet pedig végrehajtható a meglévő gépi számítószerzőkkel. Az MIT munkacsoportja ezt a kísérletet elvégezheti az Atlantic Refining Companytól kapott értéktelen felvételeken. Ebben az eset-

ben a reflexiókat számjegyesen lehetne bevinni, és szükség lenne a frekvenciakarakterisztika vizsgálatára. A csoport ugyan nem rendelkezik még a spektrum gépi kiszámításának eszközeivel, tervei között azonban szerepelnek a feladat mielőbbi teljesítéséhez szükséges digitális számítógépes programok.”

Elkészültünk a Whirlwinden futtatható frekvenciaanalizáló programok kódolásával, és a programok rendkívül hasznosnak bizonyultak.

Thomas Edison mondta: „Legnagyobb gyarlóságunk a meghátrálás. A sikerhez vezető legbiztosabb út: újra és újra próbálkozni”. Dekonvolúciós programunk működött. Megpróbáljuk még egyszer meggyőzni a vállalatokat a dekonvolúció gyakorlati hasznosságáról. Ha sikerrel járunk, a dekonvolúció nem tudományos kuriózum lesz, hanem az olajkutatásban elterjedten alkalmazott produktum. Elhatároztam, hogy nem egészítem ki mesterséges reflexiókkal az Atlantic csengetéses felvételeit, ahogy ezt a Tanácsadó Bizottság kívánta, hanem dekonvolválom azokat eredeti állapotukban.

A Raytheon már alig várta, hogy lejárjon a szerződés. Rávettem Mark Smitht, hogy válasszon ki néhány dekonvolúciós esetet ezekhez a felvételekhez. Kézírásos feljegyzései között olvasható: „A 7.7, 7.8 és 7.9-es felvételek esetében operátorok és operátorintervallumok kiválasztása indokolt. A 7.7-nél két operátorintervallumot kell választani, mivel a felvétel zajos, vagyis nincsenek szemmel látható reflexiók. A 7.8 és 7.9-es felvételeknél mindegyikhez egyet kell választani. Az oszcillációk átlagos időtartama azt mutatja, hogy 8 késleltető lehet a jó választás a jósolt nyomvonalaknál, és a maximális keresztkorrelációhoz a szomszédos nyomvonalakat kellett kiválasztani. Legyen a Raytheon is elégedett a kiválasztással.”

A GAG négy új tudományos segédmunkatársat vett fel 1953 szeptemberében. Név szerint David Bowkert, Robert Bowmant, Freeman Gilbertet és May Turynt. Később, 1954 februárjában Sven Treitel is belépett. A GAG az új munkatársak számára képzési programot állított össze. A program tartalmazott rendszeres megbeszéléseket és vitaüléseket az új tagok részvételével, továbbá tanfolyamot, amely az idősorok statisztikáját geofizikai alkalmazásokkal szemléltetve tárgyalta. Ezen a tanfolyamon Sven Treitel is részt vett. Tudásával és előrelátásával teljesen új korszakot nyitott a GAG történetében. Nagy szükség volt arra az együttérzésre és józan ítélőképességre, amely szimpatikus személyiségét jellemezte. A GAG új tagjai digitális projekteknél kaptak feladatokat. Freeman Gilbert feladatuként a digitális frekvenciaszűrést jelöltem ki, amelyet a mesterséges jelekkel kiegészített Continental-felvételeken kellett végrehajtania. Robert Bowman az Atlantic gyenge minőségű csengetéses felvételeinek dekonvolválását kapta feladatuként.

### Tavaszi találkozó 1954-ben

A GAG 1954. március 10-én tette közzé a 6. jelentését „A szeizmikus analízisben alkalmazott lineáris operátorok to-

vábbi vizsgálata” címmel. Ez a jelentés az 1953 augusztusától végzett munkát ismertette. A GAG és a Tanácsadó Bizottság 1953. március 29–30-án megtartott találkozásának színhelye a Stanolind Tulsában működő kutatási központja volt. A résztvevők a következők voltak: W. T. Born, A. Wolf és K. S. Cressman (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson és G. M. Webster (Carter), E. W. Johnson és R. M. Bradley (Cities Service), J. M. Crawford, C. J. Clark és W. E. N. Doty (Continental), T. J. O'Donnell és W. C. Dean (Gulf), W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety, R. B. Rice és S. E. Elliott (Phillips), H. F. Sagoci (Standard Oil Company of Texas), D. Silverman, J. D. Eisler és L. P. Goetz (Stanolind), A. J. Siegert (a Stanolind tanácsadója a Felsőfokú Tanulmányok Intézetétől), A. C. Winterhalter, W. T. Evans és W. F. Brown, Jr. (Sun), H. J. Jones, R. J. Graebner és E. J. Stulken (Texas Instruments), B. D. Lee és E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz (United Geophysical), P. M. Hurley, E. A. Robinson, S. M. Simpson és M. K. Smith (MIT), valamint R. F. Clippinger és J. H. Levin (Raytheon).

A vállalatok képviselői új felvetések sokaságával jelentkeztek. A GAG a 6. jelentésében bemutatta a digitális jelfeldolgozás előnyeit, nem kevesebbet bizonyítva, mint azt, hogy a digitális szűrő ugyanazt teljesíti, mint az analóg elektromos szűrő, ráadásul nagyobb pontossággal. A bemutatott jelentést Howard Briscoe készítette, aki nem vett részt a találkozón. Jelentése áttekintést nyújtott az akkor rendelkezésre álló számítástechnikai és adatkezelő eszközökről. Clippinger és Levin eljött Tulsába, hogy nyomós érvekkel még egyszer kísérletet tegyenek a vállalatok képviselőinek meggyőzésére a dekonvolúció üzleti alapú használatba vételéről. Szétosztották az „Elektronikus digitális számítógépek felhasználása a szeizmogramok analízisében” című jelentést, amelynek szerzői R. F. Clippinger, B. Dimsdale és J. H. Levin voltak. Munkájuk ismertette azt a szerepkört, amelyet a Raytheon töltött be a GAG tevékenységéhez kapcsolódó programozási, kódolási és számítási feladatok teljesítésében. A jelentés leszögezte, hogy a Raytheon számítástechnikai szolgálata kész elvégezni a dekonvolúciót a kőolajipar számára, és tartalmazta a szolgáltatás árait. A Raytheon kész volt arra is, hogy a szeizmikus munkákhoz beszerezze vagy megépítse a legalkalmasabb számítógépeket. Különösen javasolta az új IBM 701-es számítógép alkalmazását, és ajánlotta a szeizmikus adatok mágnesszalagos bevitelét a számítógépbe. A Raytheon újra megpróbálta, hogy szeizmikus adatfeldolgozást adjon el az olajvállalatoknak. A vállalatok azonban még nem voltak készek erre.

A találkozón a GAG bemutatta a digitális szeizmikus adatfeldolgozás eredményeit is, amelyek a GAG 6. jelentésében szerepeltek. Mark Smith beszámolt munkájáról, amely a lineáris operátorok szűrőkarakterisztikájára, az optimális lineáris operátor vagy szűrő meghatározásának módszereire és összetett szeizmométer-csoportok irány- szűrési tulajdonságaira vonatkozott. A távol levő Freeman Gilbert munkájának bemutatására is sor került. Ő a Continental anyagának vizsgálatát végezte el, ami meggyőző

eredményeket hozott. Jelentése a digitális szűrésnek azzal az esetével foglalkozott, amikor a zaj és a jel amplitúdóspektruma külön-külön ismert. A jelentés kimutatta, hogy a digitális szűrés jobb eredményeket szolgáltatott, mint az analóg elektromos szűrés. Doty később hozzáfűzte, hogy a digitális szűrés nem igazán használható, mivel a szeizmikus jelet nem képes sokkal hatásosabban elválasztani a zajtól, mint az analóg elektromos szűrés. Ennek ellenére a GAG álláspontjának megerősítése, miszerint a számítógépen működő digitális szűrők elvégzik ugyanazt, mint az analóg elektromos szűrők, már önmagában áttörésnek számított. A villamosmérnökök és a geofizikusok közül sokan még évekig nem fogadták el ezt a véleményt. Amikor a GAG kiszámította az alulvágó, felülvágó és sávszűrőkhöz szükséges időtartománybeli operátorok táblázatát, csak kevesen hitték el, hogy az időtartománybeli operátorok egyáltalán képesek frekvenciaszűrésre. Wadsworth professzor mutatott rá később, hogy figyelemre méltó eredményeket ért el a GAG, amikor minden korábbi megközelítésnél részletesebben és szakszerűbben tárta fel a lineáris operátorok és a szűrőelmélet közötti kapcsolatot. Távollétében Robert Bowman munkája is bemutatásra került. A Whirlwind számítógép és a Raytheon szolgáltatásainak felhasználásával kiválóan végezte el az Atlantic Refining Company csengetéses interferenciás szeizmogramjainak dekonvolválását. Azt írta, hogy „a lineáris operátorok alkalmazása után a szeizmogram minden látható reflexiója kétséget kizáróan megmarad; vagyis a hibagörbében megjelenő csúcsok mutatják azokat az időközöket, ahol reflektált energia van jelen. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az ilyen típusú szeizmogramokhoz lineáris operátorok képezhetők a reflektált energiának a nem reflektált energiától való elválasztásához. Az eredmények a szeizmogramon mutatkozó reflexiókban nyilvánulnak meg, ezen kívül pedig a statisztikai szabályszerűség meghatározott fokát is mutatják. Bizakodásra ad okot az a tény, hogy az elemző munkában alkalmazott operátorok olyan jól teljesítettek, a legjobb esetben is csak csiszolatlanul mondható számítástechnika fogyatékosai mellett. Ha például az egyes operátorokban több késleltető felhasználására került sor, és az információ kettőnél több nyomvonalról származott, értelemszerűen nagyobb selektivitásra lehetett számítani”. A dekonvolúció kiküszöbölte a reverberációkat. Ezek értéktelen szeizmogramok voltak, amelyeket a GAG a Dunloptól kapott. A Dunlop határozottan állította, hogy a dekonvolúció sikeres alkalmazása ezeknél a csengetéses szeizmogramokon példaként szolgál annak hasznosságára. Cecil Green (1980) ezt írta: „Ken Burg a GSI (Geophysical Service Inc.) kutatási igazgatójaként nagyon hamar felismerte a kibontakozó számítógépes forradalomban rejlő lehetőségeket. Látjuk, amint az 1950-es években nagyon okosan adaptálja az újonnan elfogadott statisztikai kommunikációs elméletet a reflexiós szeizmikához, amihez hathatós segítséget nyújtanak az MIT-n geofizikából frissen PhD-fokozatot szerzett Mark Smith, Milo Backus, Lawrence Strickland, Freeman Gilbert és Robert Bowman. Ennek a különleges csa-

patnak nagy szerepe volt abban, hogy a szeizmikus kutatás átállt a digitális technológiára az 1960-as évek elején.

Az analóg szeizmikus feldolgozáshoz a szeizmikus információt reprodukálható formában rögzítették a terepen, majd a felvett anyagot a laboratóriumba vitték, ahol szűrőkészletek és más eszközök álltak rendelkezésre. Néhány vállalatnak még Fourier-analizátora is volt, amely lehetett mechanikus vagy elektronikus. Emlékszünk, hogy eredeti formájában az ENIAC az alkatrészek tárháza volt. Dimsdale kapott egy differenciálegyenletet és egy halom huzalozási diagramot, majd megmondták neki, hogy végezze el a számításokat. A geofizikai laboratóriumban a geofizikusnak átadták a szeizmikus szelvényt, kapott egy halom szűrődiagramot és megmondták neki, hogy végezze el a hasznos jelek kiemelését. Időbe telt, amíg a geofizikus végzett az analóg berendezés beállításával, hogy a legjobb eredményeket kapja a kiemelésben. Amikor ezzel elkészült, a tényleges végrehajtás csupán percekig tartott. A beállítások azonban csak ehhez az egyedi szelvényhez voltak megfelelőek. A következő szelvényhez teljesen új beállításra volt szükség. Az olajvállalatok, legalábbis néhányan közülük, azt kívánták, hogy a GAG keresse meg a dekonvolúció analóg megfelelőjét frekvenciaszűrőként értelmezve. Ennek birtokában a dekonvolúció új képességként egészíthette volna ki analóg feldolgozó eszköztárukat. Még ennek megvalósulása esetén is megmaradt volna mindaz a sok próbálkozás és kinszenvedés, amely az analóg berendezés beállításával együtt járt.

Mindig örültem a Tanácsadó Bizottság találkozóinak. Ez a találkozó is kellemes és izgalmas volt. A résztvevők lelkesek voltak, tele új elképzelésekkel, amelyek között gyakorlati értékűek és a fantázia világába tartozók egyaránt előfordultak. Nagy hatással volt rám Tulsa és a Stanolind kutatási központja., mint ahogy emlékezetes volt Dallas és a Magnolia is egy évvel korábban. Megragadott a geofizikai kutatás perspektívája és szépsége. Az MIT-nél 1953. augusztus 12–13-án megtartott nyári találkozón a GAG azt a megbízást kapta, hogy találjon analóg módszereket a dekonvolúcióra. Ha a GAG úgy jött volna el erre a találkozóra, hogy kijelenti, találtunk analóg frekvenciaszűrő-készletet, amely elvégzi a dekonvolúciót, az olajvállalatok bizonyára elégedettek lettek volna. Ehelyett azt mondtuk, hogy megtaláltuk azokat az időtartományú digitális szűrőket, amelyek mindazt teljesíthetik, amire az analóg szűrők képesek. Még egy lépéssel tovább is mentünk, mivel kijelentettük, hogy az összes analóg feldolgozási mód megvalósítható digitális jelfeldolgozással, és digitális úton nagyobb pontosság érhető el, mint analóg eljárásokkal. Valójában azt indítványoztuk, hogy az olajvállalatok mind együttesen hagyjanak fel az analóg adatfeldolgozással és térjenek át a digitálisra. Clippinger azt mondta, hogy a Raytheon kész rendelkezésre bocsátani vagy megépíteni mindazokat az alkotóelemeket, a bemenettől a kimenetig terjedően, amelyek a digitális adatfeldolgozáshoz szükségesek. Akárcsak Frankenstein Mary Shelley könyvében, Clippinger is létrehozott egy monstrumot a hadsereg számára az adott alkatrészek készletéből. Ez volt az átépített

ENIAC, az első üzemképes tárolt programú digitális számítógép. Mary Shelley ezzel a mondattal indítja történetét: „Örömmel fogod hallani, hogy semmilyen kellemetlenség nem akadályozta vállalkozásom megkezdését, amely iránt oly rossz előérzeteid voltak”. Most, 1954-ben Tulsában Clippinger kinyilvánította készségét egy monstrum megépítésére geofizikai kutatások céljára. Ez lett volna az első üzemképes digitális szeizmikus számítógép. Az olajipari és geofizikai vállalatok képviselői azonban ekkor nem voltak hajlandók belefogni a digitális szeizmikus adatfeldolgozásba. Ellenérzéseket tápláltak, mivel a digitális szeizmikus adatfeldolgozás területére való kirándulás új erőfeszítést igényelt, és tetemes költségekkel járt volna, ezenfelül még sikertelenséggel is végződhetett a meglévő számítógépek megbízhatatlansága miatt. Ezzel szemben én hittem a digitális adatfeldolgozásban. Egy olajvállalat laboratóriumának összes analóg berendezését kiválthatta egyetlen nagy sebességű, tárolt programú digitális számítógép. Ezután a dekonvolúció és minden más (korrekciók, erősítésszabályozás, beállítások, keverés, szűrés, korreláció, spektrumanalízis stb.) elvégezhető ennek az egy számítógépnek a programozásával. A digitális szeizmikus adatfeldolgozás azonban nem kapott zöld utat, legalábbis 1954-ben nem.

Lev Tolsztoj írta: „Nincs nagyobb erő, mint ez a két harcos: a türelem és az idő”. A számítógépek gyermekkorukat élték. Tisztában voltam vele, hogy a rendelkezésre álló gépek nem teljesen alkalmasak geofizikai adatfeldolgozásra. Azonban 1946-tól kezdődően mostanáig, vagyis 1954-ig a számítógépek megszakítás nélküli tökéletesítésének voltunk tanúi, és ez a fejlődés minden évben gyorsult. Az olajkutatás fontos dolog. Türelemmel és az idő múlásával az olajipari és a geofizikai vállalatok végre fogják hajtani a váltást a digitális feldolgozásra. Ez akkor következhet be, amikor a nehezen megtalálható olaj iránti megnövekedett igény elfogadhatóvá teszi azt a ráfordítást, amely az értelmetlen szeizmogramok értékelhető adatokká alakításához szükséges. Időközben megnyílt előttem az alkalmazott geofizikához vezető út. Miután megszereztem a PhD-fokozatot, munkámat olajvállalatnál kívántam folytatni.

### Az 1954-es nyári találkozó

Az a körülmény, hogy nem sikerült meggyőzni az olajvállalatokat a digitális szeizmikus adatfeldolgozás előnyeiről, kételyeket támasztott az MIT-nél. Tekintélyes professzorok és a vezetőség ferde szemmel néztek mindenre, ami digitális. Sokat köszönhetek Sven Treitelnek, aki segítségemre sietett.

A tanfolyam folytatására buzdított, nem pedig mellékvágányok labirintusába való letérésre. A digitális adatfeldolgozás matematikáját a geofizika nyelvén kellett kifejezni. Minden erőmet harmadik célkitűzésemre, a dekonvolúciót igazoló geofizikai modell megalkotására fordítottam. Tudtam, hogy az idő sürgeti PhD-disszertációm befejezését, amelybe már sok munkát fektettem. A GAG tagjai új kezdeményezéseket indítottak el, miközben én szorgalmasan

dolgoztam a disszertáción (Robinson 1954), amely az MIT 7. jelentéseként is megjelent 1954. július 12-én „Idősorok prediktív dekompozíciója és ennek alkalmazásai a szeizmikus kutatásban” címmel. Matematikában az idősor-analízist illetően egyesítettem Wold (1938) és Kolmogorov (1941) munkáit Wiener (1949) ezen a területen végzett munkájával. Wold statisztikus és közgazdász volt. Tevékenységével akkor ismerkedtem meg, amikor a Közgazdasági Tanszéken végeztem tanulmányaimat. Prediktív dekompozíciós tétele egzisztenciátétel, amely kifejeződik bármely szabályos és szinguláris összetevőből álló stacionárius idősorban. A szinguláris összetevőre példaként egy tiszta szinuszhullám hozható fel. A szinguláris összetevő teljességgel előre jelezhető. A szabályos összetevő, amely csak részben jelezhető előre, mozgóátlag formájában jelenik meg. Disszertációmban a dekonvolúció tapasztalati ismeretéből indultam ki. Bemutattam, hogy a szabályos összetevő sok egymást átfedő elemi hullám összegződésének tekinthető. Ezek az elemi hullámok mind ugyanazzal a stabilis minimumfázisú jelképpel rendelkeznek. Az ilyen típusú elemi hullámok beérkezési ideje és erőssége véletlenszerű, és nincs korreláció közöttük. Az eredmény a konvolúciós modell:

$$\text{nyomvonal} = \text{zaj} * \text{jel},$$

ahol a csillag a konvolúció szimbóluma, a zaj a reflexióképesség (a reflexiók együtthatók sorozata), a determinisztikus jel pedig az elemi hullám. Az elemi hullám testesíti meg azokat a dinamikus módosításokat, amelyeket a műszerezés és a föld belsejének mechanizmusa idéz elő a reflexiók impulzuson. Példaként említhető egy reverberációs elemi hullám. Ez a modell minden bizonnyal egyszerűsítés. A konvolúciós modellből kiindulva leveztettem, hogyan működik a dekonvolúciós operátor. Az derült ki, hogy a dekonvolúciós operátort az elemi hullám inverzének kell tekinteni. A dekonvolúciós operátor lehet például a reverberációs elemi hullám inverze. A dekonvolúciós operátor a normál egyenletek megoldásaként adódik. Ezután azt kellett bemutatnom, hogy az így kiszámított dekonvolúciós operátor valóban az inverz elemi hullám. A dekonvolválts nyomvonal képezi a zajt (a reflektivitást). Végezetül, mindezekhez alkalmaznom kellett Kolmogorov és Wiener időbeli és spektrális analízisét. A minimumfázis koncepció csak folytonos időre volt kidolgozva. Én ezt az egészet kidolgoztam diszkrét időre: így a Z-transzformáció, az egységkör, a polinomfaktorizáció alkalmazását. Ez mind illeszkedett egymáshoz. Fontos körülmény, hogy az elemi hullám és a reflektivitás a szeizmika elméletének világában maradt. Most már numerikusan lehetett ezeket számítani a szeizmikus csatorna jeléből. Analóg módon erre nem lett volna lehetőség; a digitálisra volt szükség.

Az olajipari és geofizikai vállalatok elégedettek voltak a fejlesztésükben megvalósított analóg szeizmikus adatfeldolgozással, amely a frekvenciaszűrést alkalmazta. Az analóg feldolgozás az additív modellen alapult. A reverberáló szeizmikus felvételek kezelésére 1953 tavaszán és nyarán végzett dekonvolúciós munka fontos feladatnak számított.

Az additív modell valahogy nem volt jó a szeizmikus nyomvonalhoz. Helyette a konvolúciós modellt igényelte a szeizmikus nyomvonal. A reflektivitás mindenütt más és más, ezért véletlenszerű zajnak tekinthető. A reverberáció mindenhol ugyanazzal a matematikai struktúrával rendelkezik, ezért determinisztikus jelnek tekinthető. Tekintsük a következő példát: egy hajórajt köd vagy füst takar el. Vegyük először a ködtakaró esetét! A köd és a hajók nincsenek fizikai kapcsolatban egymással. A hajók raját nevezzük jelnek, a köd legyen a zaj! Amit látunk, az a jel és a zaj összege. Ez az additív modell. Szükségünk van egy eszközre, amely csökkenti a ködöt (a zajt) és kiemeli a jelet (a hajókat). Ez a megoldás a frekvenciszűrés. A másik esetben feltételezzük, hogy füst borítja be a hajókat. Mindegyik hajó füstfüggőnyt bocsát ki, amely csóvában áramlik ki a hajó farából. A füst és a hajó fizikai kapcsolatban vannak egymással. A hajók helyéről nincs információ, így zajnak tekintjük ezeket. Pontosán tudjuk azonban, hogyan működik a füstfüggöny, így a füstfüggőnyt tekintjük jelnek. Amit látunk, az a jel és a zaj konvolúciója. Szükségünk van egy eszközre, amely megszünteti a hajó által kibocsátott füstfüggőnyt. Ilyen eszköz a dekonvolúciós operátor. Az additív modellben a nyomvonal a jel és a zaj összege, nyomvonal = jel + zaj, ahol a jel a visszaverő-képesség, a zaj pedig az interferencia. A zaj és a jel nincs kapcsolatban egymással. A konvolúciós modellben a szeizmikus nyomvonal a véletlenszerű erősségű és beérkezési idejű elemi hullámok additív összege. A nyomvonal a zaj és a jel konvolúciója, vagyis nyomvonal = zaj \* jel, ahol a \* a konvolúció szimbóluma, a zaj a visszaverő-képesség, a jel pedig az elemi hullám. A zaj és a jel kapcsolatban van egymással; minden egyes elemi hullám egy reflexiók együtthatóhoz kapcsolódik. A konvolúciós modell a feje tetejére állította a szeizmika világát. Az összeadásból konvolúció, a zajból jel, az analóg feldolgozásból digitális feldolgozás lett.

Mielőtt megkaphattam volna PhD-fokozatomat, tanulmányi kötelezettségként részt vettem az MIT geológiai egyetemi nyári táborán Új-Skóciában. Ez kitöltötte a nyár jó részét. Ezután tényleges katonai szolgálati időt kellett letöltenem a hadseregnél. A tanácsadó bizottsági találkozót az MIT-nél tartották 1954. szeptember 14-én. Ez volt az utolsó találkozó, amelyen részt vettem. A résztvevők a következők voltak: H. F. Dunlap (Atlantic Refining Co.), L. Y. Faust és W. T. Born (Amerada Petroleum Co.), J. J. Roark (Carter Oil Company), R. M. Bradley (Cities Service Oil Co.), C. J. Clark, J. M. Crawford és W. E. N. Doty (Continental Oil Co.), M. K. Smith (Geophysical Service Inc.), W. C. Dean, T. J. O'Donnell (Gulf Research & Development Co.), M. R. MacPhail és W. M. Rush, Jr. (Humble Oil & Refining Co.), J. E. White (Magnolia Petroleum Co.), S. E. Elliott és R. G. Piety (Phillips Petroleum Co.), R. Runge és D. Silverman (Stanolind Oil & Gas Co.), W. F. Brown, Jr. (Sun Oil Company), H. J. Jones (Texas Instruments Corp.), R. A. Peterson (United Geophysical Co.), R. L. Wentworth (MIT Industrial Liaison Office), R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, J. G. Bryan, E. A. Robinson, S. M. Simpson, Robert Bowman, D. R. Grine, D. E. Bowker, K. Vozoff, T. S.

Neves és M. Lopez- Linares (MIT). A rendezvényen bemutatam disszertációm eredményeit (a szeizmikus konvolúciós modellen alapuló dekonvolúció). H. F. Dunlop, a Tanácsadó Bizottság képviselője ezt írta: „A jelenlévő szponzorok körében osztatlan volt az egyetértés, hogy az előterjesztett munka reményt keltő, és nagyon elégedettek voltak azzal, ami megvalósult”. A GAG teljesítette az 1951. november 29-i Clewell-levél után megfogalmazott három feladatot. Megteremtette a dekonvolúcióhoz szükséges digitális számítógépes eszköztárat (1), szeizmogramok sorozatán bizonyította a dekonvolúció hatékonyságát (2), és kidolgozta a konvolúciós modellt a dekonvolúció igazolására (3). A GAG sínen volt. Én munkába álltam a Gulf Oil Company szeizmikus csoportjánál a texasi Lamesában, ahol kezdtem megtanulni, hogy „olaj ott van, ahol megkeresed”.

Disszertációm egy példányát 1954. október 7-én elküldtem a svédországi Uppsalába Herman Wold professzornak. Ő volt az idősorok analízisének egyik legkorábbi művelője. Válaszát 1954. október 18-án küldte el lamesái címemre. Ebben a következőket írta: „Mindenekelőtt gratulálni szeretnék önnek a tételéhez és néhány érdekes eredményt felmutató kiváló munkájához, amelyet egyaránt megkülönböztet a tárgyalás alaposága és a kifejtés világossága. Képzelteti, mennyire örülök, hogy újra láthatom prediktív dekompozíciós tételtem ilyen ragyogó feltűnését a továbbfejlesztés fényében. Meghatódva tapasztalom, hogy ön milyen lelkiismeretes gondossággal tett utalást a tételtemben megfogalmazott, akkor újdonságnak számító következtetések prioritására. Kedves öntől, hogy bírálatot és észrevételeket kér tőlem, továbbá felajánlja észrevételeim továbbítását azok részére, akik megkapják értekezését. Igazából szinte semmit sem kell kritizálnom. Prediktív dekompozícióm elsősorban egzisztenciátételként töltötte be szerepét, miután a hangsúly a szabályos és szinguláris összetevő megkülönböztetésén és a korábbi megközelítéseknek a stacionárius folyamat speciális eseteiként való értelmezésén volt. Tisztában voltam azzal, hogy szoros kapcsolat van a dekompozíció és a spektrumfüggvény tulajdonságai között, azonban ebbe a problémába nem bocsátkoztam, egyszerűen azért, mert nem voltam mestere a spektrumelmélet általános módszereinek. Értekezésének 6. fejezetében ismertetett alkalmazások nagyon hatásosak. Remélem, hogy kapcsolatunknak lesz folytatása, ezért nagyon szeretném, ha válaszolna fenti észrevételeimre. A továbbiakat illetően remélem, majd egyszer személyesen is megismerhetem. Van erre lehetőség, ha a közeljövőben átjönne Európába. Ebben az esetben emlékezzen rá, hogy van egy barátja Uppsalában”. Ez a levél kezdete volt egy életre szóló barátságunk Wald professzornal.

„Ha belelatsz az idő vetésébe, és megmondod, mely mag kezd növekedni és melyik vész el, csak szólj nekem” (Shakespeare). A digitális számítógépek nagy lépésekkel haladtak előre. Miután megjelentek a tranzisztorizált gépek, mint például az IBM 7090-es és a Control Data 1604-es, a számítógép-technológia és alkalmazásai újra teret nyertek. Jack Kilby (Texas Instruments) 1959-ben szabadal-

maztatta az első integrált áramkört (IC). Robert Noyce (Fairchild) 1961-ben már kereskedelmi mennyiségben adott el IC chipet. A digitális szeizmikus adatfeldolgozásra való átállás az 1960-as évek elején elkezdődött, és az alkalmazott geofizika volt az első tudományág, amelyben lezajlott a digitális forradalom. Az olajipari és a geofizikai vállalatok általánosan alkalmazni kezdték a dekonvolúciót és a digitális szeizmikus adatfeldolgozás más módszereit a szeizmikus felvételeken. Az olajkutatás számára most már megnyiták azok a tartományok, amelyek csupán értéktelen szeizmogramokat szolgáltatottak. Ide tartoztak a nagy tengeri lelőhelyek, ezek szeizmogramjait jellemzően a vízréteg reverberációi borították be. A Raytheon vállalat a Seismograph Service Company közreműködésével, továbbá Dale Stone, Bob Geyer és mások munkáján keresztül az őt megillető helyet foglalta el a szeizmikus adatfeldolgozás vezetőjeként. A digitális szeizmikus adatfeldolgozás iránti lelkesedés megszakítás nélkül tart mind a mai napig. A geofizikai kutatásban bekövetkezett változások hasonlóak azokhoz, mint amelyeket a csillagászatban a távcső feltalálása indított el. Az alkalmazott geofizika izgalmas történetét egészen a kezdetektől részletekbe menően ismerteti Lawyer, Bates és Rice (2001) kiváló munkája. A GAG igazgatását 1954-től Stephen Simpson látta el nagy hozzáértéssel. Simpson a digitális számítógépek mestereként állandóan új és új megoldásokkal gazdagította a geofizikát. A hallgatók dolgait különösen a szíven viselte. Éjszakákat töltött tanulmányai és kutatómunkájuk segítségével. Akárcsak Tedd Madden, ő is intézménnyé vált az MIT geofizikájában. Sven Treitel tagja volt a GAG-nak egészen 1957-ig, a GAG megszűnéséig.

A következő cikkben Sven Treitel ismerteti a GAG történetének 1954-től kezdődő időszakát. Ő egyike azoknak, akik tagként és még a GAG megszűnése után is éltető erővel jelentettek. Treitel újraélesztette a GAG célkitűzéseit, és mi ketten, másokkal együtt éveken át ápoltuk a GAG hagyományait.

## Befejezés

A kőolajkutatásban alkalmazott reflexiós szeizmika sikeressége a föld belsejéről alkotott képek pontosságától függött. A pontos képek előállítását a digitális adatfeldolgozás tette lehetővé. Ebben a cikkben szerepelnek azok nevei, akik közvetlenül részesei voltak a digitális szeizmikus adatfeldolgozás kezdeti kifejlesztésének. Néhányan a háttérben nyújtottak jelentős segítséget és adtak ösztönzést. Említésre méltó Milton B. Dobrin és Norman Ricker az olajipar részéről, továbbá John Tukey, Claude E. Shannon és H. W. Bode a Bell Laboratóriumtól, az MIT-től pedig David Duran és John Nash professzorok. A legjelentősebb az a támogatás volt, amelyet az Alkalmazott

Geofizikusok Egyesületétől (SEG) kaptunk abban az időben.

## Köszönetnyilvánítás

Nagyra becsülöm Sven Treitel segítségét, amelyet ehhez a vállalkozásomhoz nyújtott. Köszönetet kívánok mondani Jerry Schusternek, a *Geophysics* szerkesztőjének lelkes támogatásáért és értékes meglátásaiért. Ő képviseli azokat a keményen dolgozó geofizikusokat, akik képességükkel és előrelátásukkal mindig új és elismerést kiváltó magasságokba juttatják a geofizikát. Külön szeretnék köszönetet mondani Jerry tehetséges és művelt feleségének, Susannak, aki nagy gondossággal fésülte át a kéziratot, és tette meg fontos kiigazításait. Hálás vagyok az útmutatásokért Dean Clarknak a *The Leading Edge* szerkesztőjének. Köszönettel tartozom még a *The Leading Edge*-től Dolores Proubastának és Sylvie Dale-nek. Szeretnék köszönetet mondani Judy Wallnak (SEG) kedvességéért, szakértelméért és azért a segítségért, amelyet a modern publikálás útvesztőjében való eligazodáshoz nyújtott.

## A cikk szerzője

Robinson, Enders A.

## Hivatkozások

- Clippinger R. F. (1948): Az ENIAC-hoz alkalmazott logikai kódrendszer. Aberdeen BRL 673. sz. jelentés
- Frank H. R., Doty W. E. N. (1953): Jel-zaj viszony javítás szűrővel és keveréssel. *Geophysics* 18, 587–604
- Green C. (1980): Kenneth E. Burg életrajza. SEG virtuális múzeum, seg.org
- Jakosky J. J. (1950): Alkalmazott geofizika. Trija Publishing Co.
- Kolmogorov A. (1941): Véletlen stacionárius sorrendek interpolálása és extrapolálása. *SzSzSzR Tudományos Akadémia Közleményei, Matematikai Sorozat* 5, 3–14
- Lawyer L. C., Bates C. C., Rice R. B. (2001): A geofizika kultúrtörténete. SEG
- Levin J. H. (1948): Parciális differenciálegyenlet közelítő megoldása a differenciálanalizátoron. *Matematikai táblázatok és más számítási segédletek*, 5. kötet, 23. szám
- Robinson E. A. (1954): Idősorok prediktív dekompozíciója és ennek alkalmazásai a szeizmikus kutatásban: MIT PhD-disszertáció
- Wiener N. (1948): Kibernetika, avagy szabályozás és kommunikáció az állatvilágban és a gépben. John Wiley.
- Wiener N. (1949): A stacionárius idősorok extrapolációja, interpolációja és simítása és ezek műszaki alkalmazásai. John Wiley
- Wold H. (1938): Tanulmány a stacionárius idősorok analiziséről. Almqvist és Wiksells