

# CELEBRATION 2000

## nagyszabású ezredzáró projekt a litoszféra-kutatásban<sup>1</sup>

BODOKY TAMÁS<sup>2</sup>, BRUECKL EWALD<sup>3</sup>, FANCSIK TAMÁS<sup>2</sup>, HEGEDÜS ENDRE<sup>2</sup>, POSGAY KÁROLY<sup>2</sup>, CELEBRATION SZERVEZŐ BIZOTTSÁG ÉS KUTATÓ CSOPORT

*A cikkben a szerzők röviden beszámolnak a 2000-ben végrehajtott CELEBRATION 2000 nemzetközi litoszféra-kutatásról.*

**T. BODOKY, E. BRUECKL, T. FANCSIK, E. HEGEDÜS, K. POSGAY, CELEBRATION Organising Committee and Experiment Team: CELEBRATION 2000 — a large scale deep seismic experiment closing the millennium**

*In the paper the authors give a brief account of the CELEBRATION 2000 international lithospheric experiment carried out in 2000.*

### Bevezetés

1997-ben Aleksander GUTERCH akadémikus és Marek GRAD professzor vezetésével Lengyelország északi részén POLONAISE'97 néven (POLish Lithospheric ONsets — An International Seismic Experiment) egy négy mélyszeizmikus vonalból álló, litoszféra-kutató programot mértek [GUTERCH et al. 1999] a lengyel olajipar hathatós pénzügyi támogatásával. A jelentős nemzetközi részvétellel végrehajtott mérések átnyúltak Belorusszia és Németország területére is, céljuk elsősorban a Tornquist–Teisseyre zóna vizsgálata volt. A refrakciós tomográfia eljárásával szelvény mentén, illetve háromdimenziósan is feldolgozott mérési adatok a várakozásokat meghaladó mértékben érdekes eredményeket szolgáltatottak mind Lengyelország É-i részének mélyszerkezetére, mind a Kelet-európai és az Észak-európai tábla kapcsolódására vonatkozóan [GRAD et al. 1999, PHARAOH 1999]. Az eredmények az olajipar szemszögéből jelentősen felértékelték a Tornquist–Teisseyre zóna, vagy más néven TESZ (Trans-European Suture Zone) területét.

A POLONAISE'97 projekt sikere a kontrollált forrású szeizmológiával foglalkozó nemzetközi szakmai közösséget, elsősorban a lengyel kollégákat annyira felbátorította, hogy az évezred záróévére, 2000-re a kutatások D-i irányban, lehetőleg a Kárpátokon is átnyúló folytatását határozták el újabb három mélyszeizmikus vonal lemérésével. A tervezett három vonal Lengyelországon kívül Szlovákia és Magyarország területét is érintette, így az előkészítő megbeszélésekre 1998-ban meghívták a szlovák és a magyar kutatókat is (POSGAY Károlyt és az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet más kutatóit). Ezekon a megbeszéléseken kapta a program a CELEBRATION 2000 (Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction) nevet. A program névadója egyébként Egyesületünk tiszteleti tagja, a Kanadát képviselő HAJNAL Zoltán professzor

volt. A tervezett újabb program híre gyorsan terjedt és hamarosan az osztrákok és az olaszok is jelentkeztek, akik a vonaltervet egy negyedik, Varsótól a Ligur-tengerig futó vonallal akarták kiegészíteni. Tekintettel arra, hogy ez a vonal Csehországot is keresztezte, rövidesen a cseheket is bevonták az előkészületekbe.

A későbbiek során — a németek, a beloruszok és oroszok csatlakozásával, valamint az olaszok kilépésével — a résztvevő országok igényeinek és lehetőségeinek megfelelően az 1. ábrán látható vonalháló alakult ki. A mérés végrehajtására létrejött konzorcium azonban nem korlátozódott a területileg is érintett országokra, részt vett benne még az Amerikai Egyesült Államok, Kanada, Dánia, Finnország és Törökország is. A területileg nem érintett országok elsősorban a műszereikkel és az adatfeldolgozáshoz szükséges infrastruktúrával járultak hozzá a mérések sikeréhez.

### A CELEBRATION 2000 program céljai

A CELEBRATION 2000 projekt egyszerre szolgált gyakorlati és tudományos célokat. A program gyakorlati céljait ott, ahol az ipar is részt vett a program előkészítésében, elsősorban olajipari szempontok alakították ki.

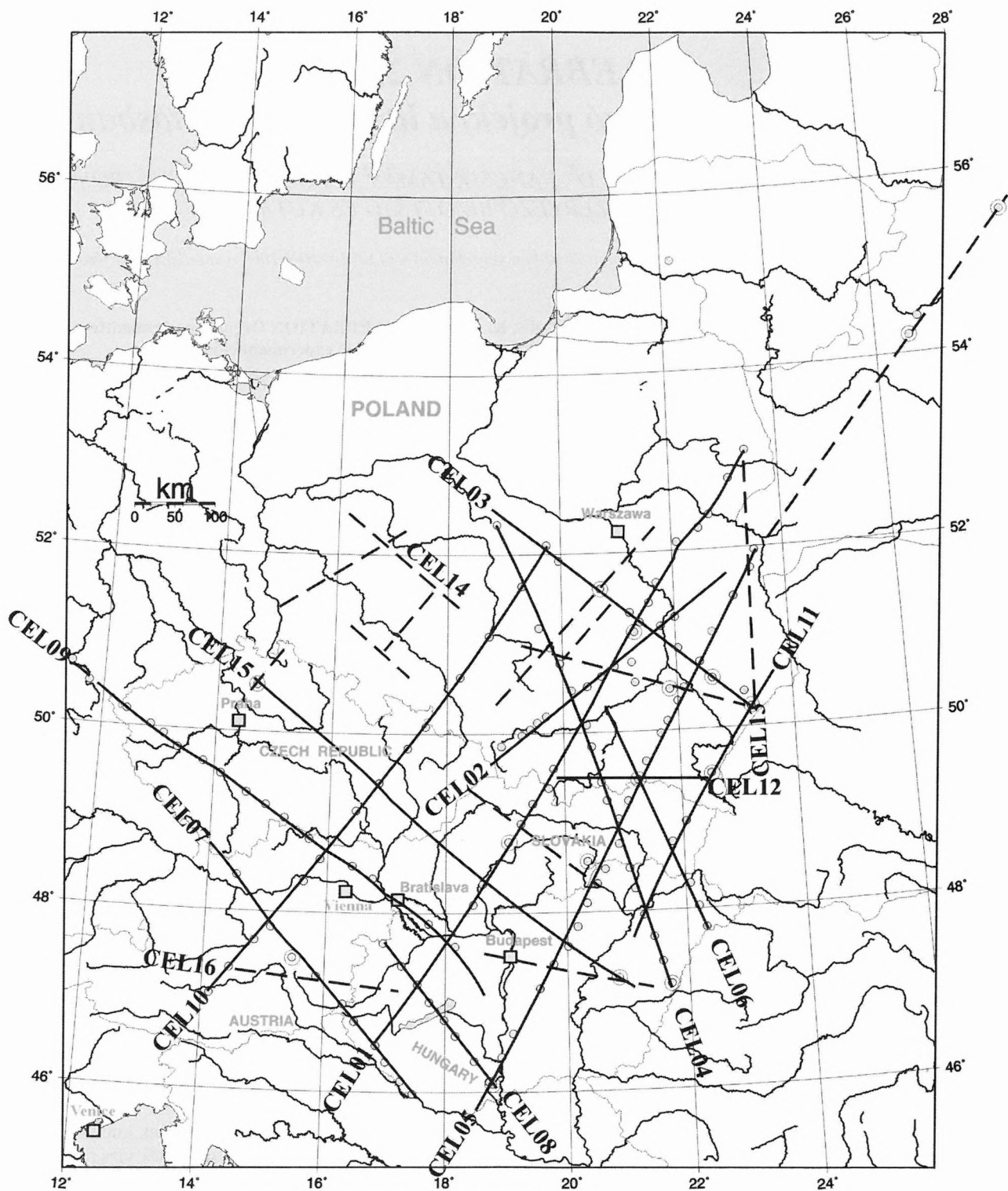
A program tudományos céljait a résztvevők foglalták össze [GUTERCH et al. 2000, CELEBRATION Org. Com. et al. 2000] a következők pontokban:

- A DNy-i Baltikum mélyszerkezetének kutatása, illetve a fiatalabb térénekkel való viszonyának vizsgálata;
- A TESZ (Trans-European Suture Zone) régió területére eső nagyobb térének, illetve kéregtömbök körülhatárolása (pl. Cseh masszívum, Felső-sziléziai blokk, a Szent Kereszt-hegység blokkjai);
- A Pannon-medence kialakulásának és nagyszerkezeti felépítésének vizsgálata a részmedencékre is kiterjedően;
- A Kárpátok É-i vonala mentén a rátalálódásos törések jellegének és kiterjedésének vizsgálata;
- A Nyugati-Kárpátok és a Cseh masszívum szerkezeti viszonyának vizsgálata;
- A teljes vizsgált területen a litoszféra háromdimenziós modelljének elkészítése;
- A régió tektonikus fejlődését leíró geodinamikai modellek kialakítása és értékelése.

<sup>1</sup> Beérkezett: 2001. május 30-án

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolombusz u. 17–23.

<sup>3</sup> Technische Universität Wien, Austria



1. ábra. A CELEBRATION 2000 projekt helyszínrajza

Fig. 1. Location map of the CELEBRATION 2000 project

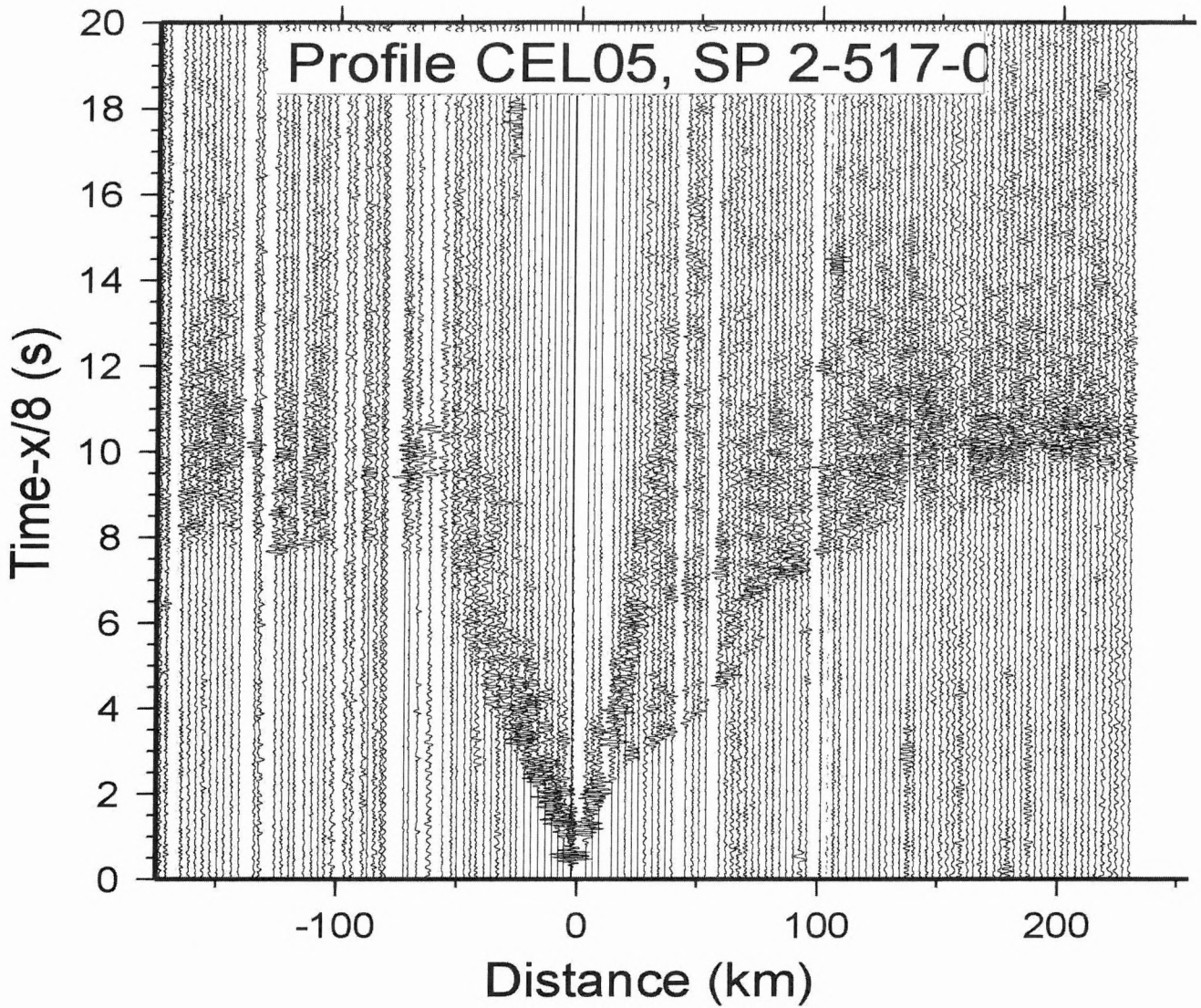
### A terepi mérések végrehajtása

A terepi mérések kivitelezése a POLONAISE'97 program végrehajtása során kialakított szervezési és végrehajtási elvekre épült.

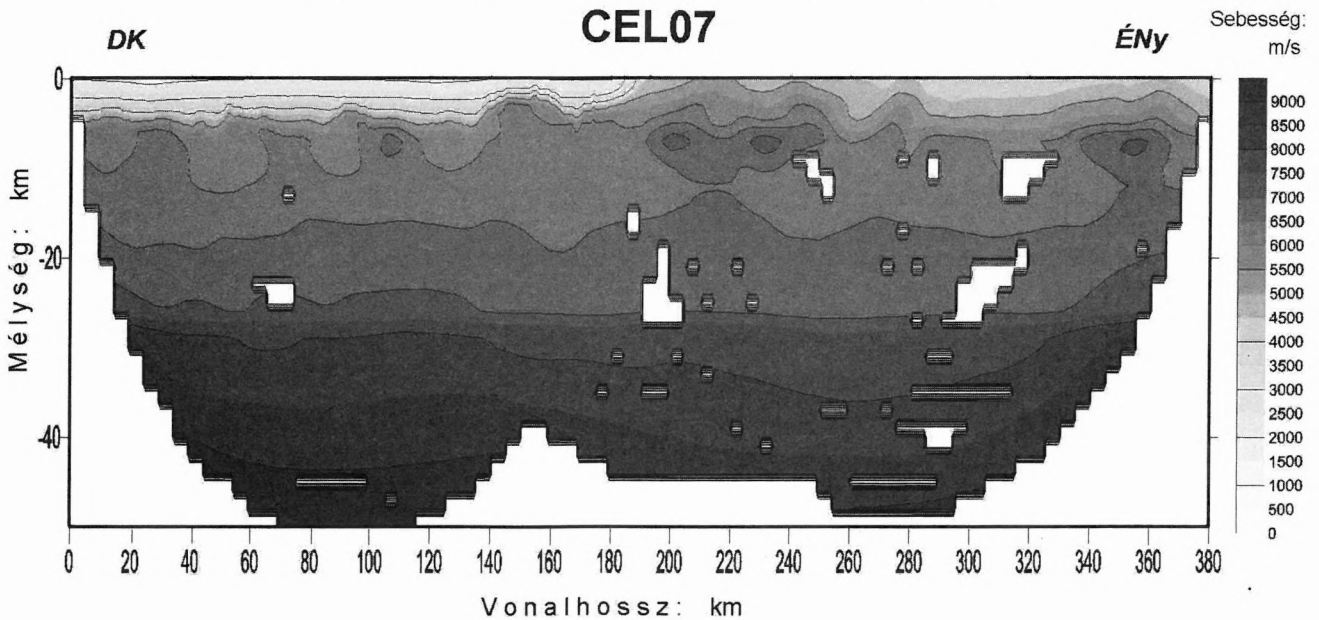
A hullámforrásul szolgáló robbantásokat és a regisztráló műszereket az 1. ábra helyszínrajzán bemutatott vonalak mentén telepítettük. A vonalak összhossza 8900 km, ebből a magyar területre jutó vonalak hossza 1668 km volt.

Hullámforrásként fűrt lyukcsoportokban végzett nagy töltetű robbantások szolgáltak. A robbantások száma 142 volt, a töltetek mérete 200 kg-tól 15 tonnáig változott, az átlagos töltetnagyság 500 kg körül volt. Magyar területen 34 robbantást végeztünk.

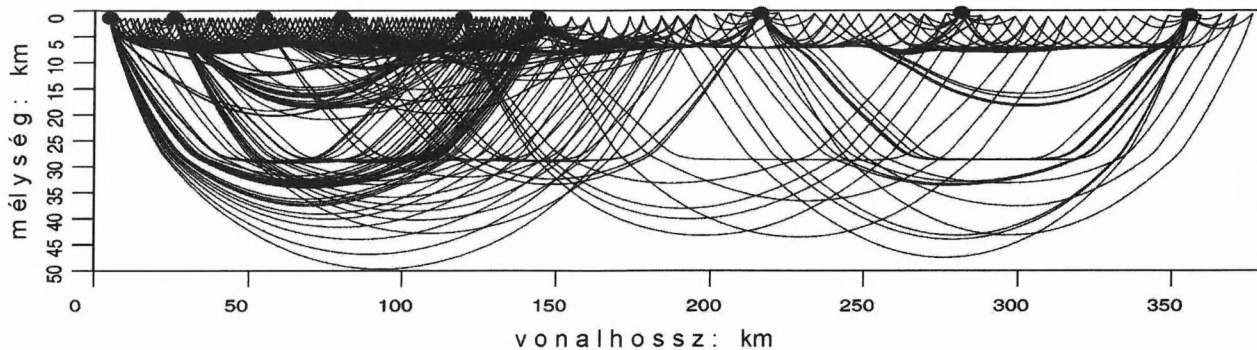
Regisztráló műszerként előre programozható, egy- vagy háromcsatornás, kisfrekvenciás (2 és 4,5 Hz-es) geofonokkal felszerelt PRS, illetve Texan műszereket használtunk. A rendelkezésre álló műszerek száma 1200 körül



2. ábra. Egy jellegzetes szeizmogram részlet a Pannon-medence területén  
 Fig. 2. A part of a characteristic seismogram obtained in the Pannonian Basin



3. ábra. A CEL07 vonal előzetes feldolgozása — refrakciós tomográfiával kapott sebességképe  
 Fig. 3. Preliminary processing — a seismic velocity tomography of the profile CEL07



4. ábra. A CEL07 vonal — ritkított — sugárúteloszlása

Fig. 4. A ray path distribution (thinned out) of the profile CEL07

volt, ami a világon fellelhető összes hasonló jellegű műszernek több mint 90%-át jelentette. A műszerek vonalmenti sűrűsége (egymástól való távolsága) 2,8 és 5,6 km között változott. Magyarországon általában 3 km-es állomássűrűséget alkalmaztunk, kivételt képeztek a CEL07 és a CEL08 vonalak, ahol az állomássűrűség ennek kétszerese, 1,5 km volt.

A méréseket nem vonal menti, hanem háromdimenziós elven végeztük, ami azt jelentette, hogy elvben minden vonal minden egyes műszere vette minden vonal minden egyes robbantását és így a vonalközi területek sugárúttal való fedettsége is biztosítva volt. A vonalak rendkívül nagy összhossza miatt azonban a teljes mérési hálót tekintve erre nem állt rendelkezésre elég műszer, ezért a teljes kutatási terület három, egymást jól átfedő részterületre lett bontva és az egyes részterületeken a méréseket külön-külön hajtottuk végre. A három részterület közül az első a 19. K-i hosszúsági foktól K-re eső területet fedte, a harmadik az ettől Ny-ra esőt, míg a második mindkettőt alaposan átfedve középen helyezkedett el. A mérések háromdimenziós rendszeréből következik, hogy a 8900 km hosszú vonalhálóból hagyományos szelvény menti refrakciós vonalként csak mintegy 5400 km szelvényhossz kezelhető, ugyanez az érték magyar területen 1100 km.

A mérések éjszaka folytak, mindhárom részterület lemérése három-három éjszakát vett igénybe. Magyar területen az első és a második részterület mérésénél 200 PRS, a harmadik részterület mérésénél pedig 420 PRS és Texan regisztráló műszer dolgozott.

A sikeres felvételek aránya 95% felett volt.

A terepi mérések néhány jellegzetes pillanatát mutatják az 5–9. ábrák fényképei.

### Az adatfeldolgozás és értelmezés

Az adatfeldolgozás már a terepi mérések alatt megindult, ugyanis a részterületek méréseit elválasztó szünetekben és a mérések lezárultakor ki kellett menteni a regisztrált adatokat a regisztrálóműszerek memóriájából. Ez megközelítőleg 170 000 egyedi szeizmogram kezelését jelentette. A felvételeket ellenőriztük, majd

robbantópontok szerint csoportosítottuk és így a hagyományosra hasonlító sokcsatornás refrakciós szeizmogramokhoz jutottunk (2. ábra). Ezt a munkát végleges formában az egyesült államokbeli El Paso egyetemének eszközeivel végeztük. Az ellenőrzés és rendezés után a konzorcium minden tagja megkapta a teljes adatrendszert (részvételi arányától és területi hovatartozásától függetlenül).

A további feldolgozás és értelmezés elvégzésére a konzorcium munkacsoportokat hozott létre. A részt vevő kutatók szabadon jelentkezettek az őket érdeklő munkacsoportokba, illetve az egyes csoportok vezetői meghívták csoportjukba a szükségesnek látszó kollégákat. A következő feladatokra állítottunk fel munkacsoportokat:

1. A Kelet-európai pajzs és a Tornquist–Teisseyre zóna
2. A Transzeurópai ütközési zóna, beleértve a Szent Kezest-hegységet, a Malopolska blokkot és a Kraków–Lubliniec zónát is
3. A Kárpátok
4. A Pannóniai medence
5. A Cseh masszívum
6. Az Alpok
7. A Vogland és Nyugat-Bohémia
8. Az alsó litoszféra
9. A kőzetek fizikai tulajdonságai (laboratóriumi mérések)
10. 3-D szeizmikus inverzió

Ezekből magyar kutatók a 3., 4., 5., 6., 8. és 10. csoport munkájában vesznek részt.

### Az első eredmények

Bár a konzorcium a munkacsoportokat a párhuzamosan végzett munkák lehetőség szerinti elkerülésére hozta létre, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek — olajipari érdekekre való tekintettel — a feldolgozási és értelmezési feladatokat felgyorsítva, a többieket megelőzve kellett megkezdnie. Ennek megvolt az az előnye, hogy bebizonyosodott, hogy az Intézetnek ezekben a munkákban alig van nemzetközi támogatásra szüksége, saját eszközeivel és saját szakembereivel is képes megoldani őket.



5. ábra. Az ELGI konferenciatermében kialakított regionális adatközpont a terítékek közötti szünetben a PRS műszerekkel (a képen HAJNAL Zoltán és Ron CLOWES látható)

Fig. 5. PRS seismic data acquisition instruments in the regional data center in the conference hall of ELGI between two deployments (Zoltán HAJNAL and Ron CLOWES)



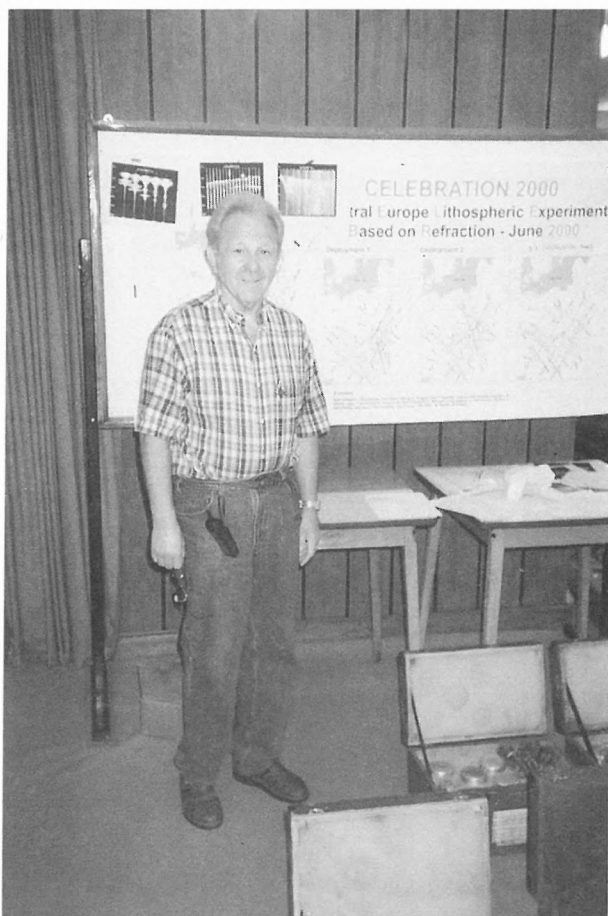
6. ábra. Folyik a műszerek kihelyezése (HAJNAL Zoltán és Ron CLOWES)

Fig. 6. Transporting the instruments to the field (Zoltán HAJNAL and Ron CLOWES)



7. ábra. A PRS műszer telepítése — elástuk a műszereket, ezzel a jobb csatolást és a biztosítók pénzének megtakarítását egyszerre szolgálva

Fig. 7. Deploying a PRS instrument — we hid them in the ground to achieve a good coupling and to save money for the insurance company



8. ábra. HAJNAL professzor az éjszakai mérések után kissé elnyűtten

Fig. 8. Professor HAJNAL worn-out a little after three nights of field activity

A mérési eredmények feldolgozása 2-D és 3-D sebésztomográfiás módszerekkel történik a konzorcium által ismert, és eddig is alkalmazott programok felhasználásával. Ezek közül az egyik, és talán a legegyszerűbb lehetőség az első beérkezések felhasználására épülő 2-D tomográfia alkalmazása. Az algoritmus és a feldolgozási metódika körültekintő tesztelését követően elkészítettük — többek között — a Barcstól az ausztriai Passauig futó CEL07 szelvény feldolgozását, ezt az első eredmények közül a 3. ábrán illusztrációként bemutatjuk. Az ábrán a bemutathatóság kedvéért a horizontális és vertikális lépések arányát erősen torzítottuk. A 4. ábrán feltüntettük a vizsgált térrész sugárfedtettségét is — illusztrálva ezzel a mérési geometria és az algoritmus adta leképezési lehetőséget. Egy sor fontos kérdést kell természetesen a továbbiakban még tisztázni. Így például a kiinduló modellek és az első beérkezések jel/zaj viszony javításának kérdését, vagy a 3-D tomográfia irányába történő továbblépés problematikáját és végül, de nem utolsó sorban az értelmezés módját.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a MOL Rt. vezetőinek és szakembereinek a projekt megvalósításában nyújtott segítségükért, a gyakorlati célok megfogalmazásáért, konzultációikért és hasznos tanácsaikért.

Köszönetünket fejezzük ki továbbá a kanadai Lithoprobe képviselőinek, mindenekelőtt Ron CLOWESnak és HAJNAL Zoltánnak a műszerek rendelkezésre bocsátásáért és a terepi munkákban történt személyes részvételükért.

Ugyancsak köszönetünket fejezzük ki az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet munkatársainak önfeláldozó és hibátlanul végzett munkájukért.

## CELEBRATION 2000 Szervezőbizottság (Organising Committee)

Aleksander GUTERCH, Lengyel Tudományos Akadémia  
Geofizikai Intézete, Lengyelország  
Marek GRAD, Varsói Egyetem Geofizikai Intézete, Len-  
gyelország  
G. Randy KELLER, Texasi Egyetem Geológiai Intézete, El  
Paso, USA  
POSGAY Károly, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai  
Intézet, Magyarország  
Josef VOZÁR, Szlovák Köztársaság Geológiai Szolgálat,  
Szlovákia  
Ales SPIČAK, Cseh Köztársaság Tudományos Akadémiájá-  
nak Geofizikai Intézete, Csehország  
Ewald BRUECKL, Bécsi Műegyetem Geodéziai és Geofizi-  
kai Intézete, Ausztria  
HAJNAL Zoltán, Saskatchewan Egyetem, Kanada  
Hans THYBO, Koppenhágai Egyetem, Dánia  
Oguz SELVI, Földfizikai Intézet, Törökország.

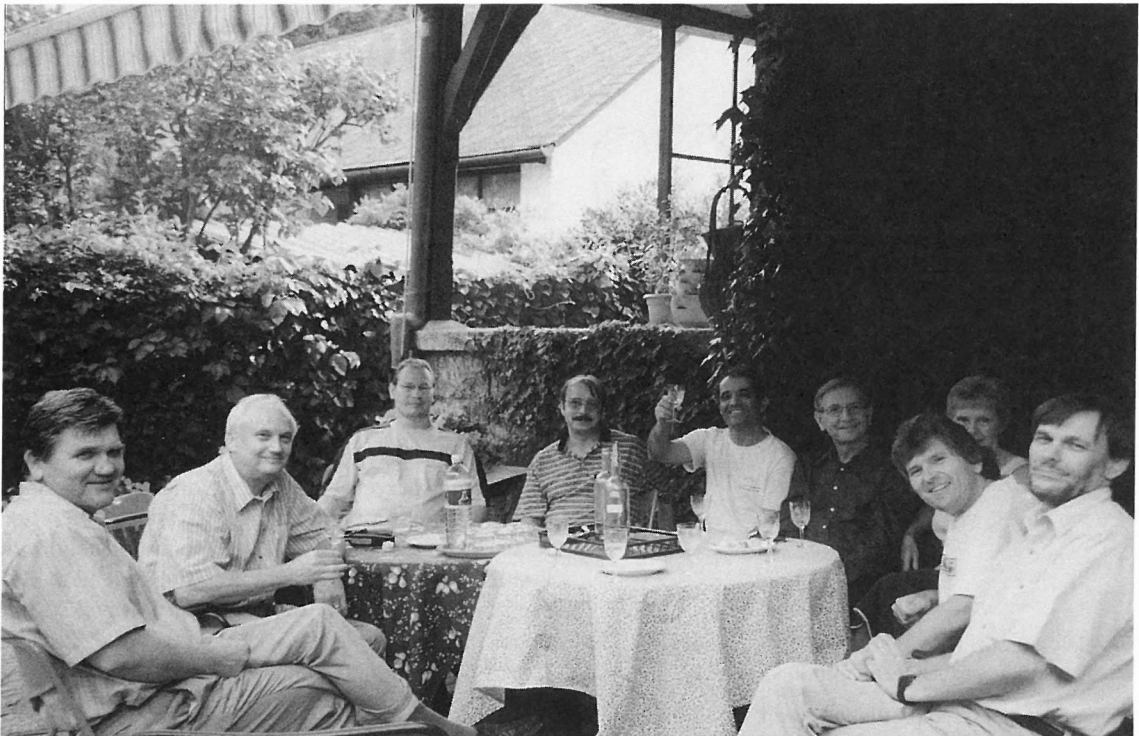
## CELEBRATION 2000 Kutatócsoport (Experiment Team)

Kate C. MILLER, Steven HARDER, Texasi Egyetem Geoló-  
giai Intézete, El Paso, USA  
HEGEDÜS Endre, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai  
Intézet, Magyarország  
Pavla HRUBCOVA, Cseh Köztársaság Tudományos Akadé-  
miájának Geofizikai Intézete, Csehország  
Kai ARIČ, Franz KOHLBECK, Bécsi Műegyetem Geodéziai  
és Geofizikai Intézete, Ausztria

Ronald CLOWES, Isa ASUDEH, Lithoprobe, Kanadai Geoló-  
giai Szolgálat, Kanada  
Peer JOERGENSEN, Koppenhágai Egyetem, Dánia  
Sergey L. KOSTIUCHENKO, GEON, Moszkva, Oroszország  
Gerhard JETZSCH, Dieter KRACKE, Jénai Egyetem, Német-  
ország  
Timo TIIRA, Jukka YLINIEMI, Helsiki, illetve Oului Egye-  
tem, Finnország  
Andrey A. BELINSKY, Minszki Központi Geofizikai Expe-  
dició, Belorusszia.

## HIVATKOZÁSOK

- GRAD M., JANIK T., YLINIEMI J., GUTERCH A., LUOSTO U., TIIRA  
T., KOMMINAHO K., SRODA P., HÖING K., MAKRIK J., LUND C-  
E. 1999: Crustal structure of the Mid-Polish Trough beneath the  
Tornquist–Teisseyre Zone seismic profile. *Tectonophysics* **314**,  
145–160
- GUTERCH A., GRAD M., THYBO H., KELLER G. R., POLONAISE  
Working Group 1999: POLONAISE'97 — an international  
seismic experiment between Precambrian and Variscan Europe  
in Poland. *Tectonophysics* **314**, 101–121
- PHARAOH T. C. 1999: Paleozoic terranes and their lithospheric  
boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ); a  
review. *Tectonophysics* **314**, 17–41
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R., POSGAY K., VOZÁR J.,  
SPIČAK A., BRUECKL E., HAJNAL Z., THYBO H., OGUZ S. 2000:  
CELEBRATION 2000: Huge seismic experiment in Central  
Europe. *Geologica Carpathica* **51**, 413–414
- CELEBRATION Organising Committee and Experiment Team,  
GUTERCH A., GRAD M. 2000: Seismologists celebrate the new  
Millennium with an experiment in Central Europe. *EOS* (in press)



9. ábra. A mérések sikeres befejezése után felszabadult borozgatás a Bodoky portán Leányfalu (balról jobbra: GYÖRGY Lajos, BODOKY Tamás, FANCSIK Tamás, TAKÁCS Ernő, Isa ASUDEH, Ron CLOWES, Sheila CLOWES, Brian REILKOFF, HEGEDÜS Endre)

Fig. 9. Relaxed wine-drinking in the Bodoky home in Leányfalu after finishing the field measurements successfully (from left to right: GYÖRGY Lajos, BODOKY Tamás, FANCSIK Tamás, TAKÁCS Ernő, Isa ASUDEH, Ron CLOWES, Sheila CLOWES, Brian REILKOFF, HEGEDÜS Endre)