

## CONTENTS

Foreword.....	97
<b>MGE</b>	
News .....	101
<b>Geophysical Papers</b>	
Comparison of the Hungarian gravity base networks and their reference systems <i>G. Csapó</i> .....	105
The effect of different 2D geometries on the numerical models of thermal convection in the Earth's mantle <i>M. Herein, A. Galsa, L. Lenkey, B. Süle</i> .....	111
<b>News and Reports</b> .....	124
<b>In Memoriam</b>	
<i>Dr. Attila Meskó</i> .....	129

---

A szerkesztőség a szakcikkek szakektorálás után közli. A szaklektorok névsora az évfűzűrű kűtetben jelenik meg.  
A lapban megjelenű cikkek adatainak és  llit sainak helyess g ert, ill. kűzűlhetűs g ert a felelűss get kiz rűlag a szerzűk viselik.

---

## MAGYAR GEOFIZIKA

Kiadja: Magyar  llami Eűtvűs Loránd Geofizikai Intézet  
1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.  
Telefon: (1) 252 4999  
Felelűs kiadű: dr. Fancsik Tamás igazgatű  
Lombos Nyomda Kft., Budapest — Felelűs vezetű: Juhász Péter

• • •

Elűfizethetű a Magyar Geofizikusok Egyesűlet n l: 1371 Budapest, Pf. 433, tel.: (1) 201 9815,  
egyesűleti tagoknak tagdűj ellenében. Megjelenik évente négyszer

<b>Index: 26 507</b>
----------------------



## Tisztelt Kollégák!

### Évfolyamtársak voltunk...



MESKÓ Attila egyetemi hallgató

#### *De mortuis nil nisi vere*

Igen, 1964-ben az ELTE TTK geofizikus szakán heten végeztünk, mégpedig ALBU István, BODOKY Tamás, CZIFRA Ferenc, MESKÓ Attila, MÉSZÁROS Ferenc, SIMON András és VERŐ László. És most egy elment közülünk. Míg mondanivalómon gondolkodtam, már meg is érkezett a hivatalos nekrológ, és minden bizonnyal ezt még sok fogja követni. Megemlékeznek tudományos eredményeiről, sokoldalú tevékenységének kiemelkedő állomásairól. De van MESKÓ Attila életének öt olyan éve, amelyről a legtöbbet talán mi, köztük én, tudjuk. 45–50 évvel ezelőtti eseményekről van szó, akkor mi 20 év körüliek voltunk. Ha valaki esetleg kegyeletstörténet találja, hogy ezekre emlékezem, gondoljon arra, mi magunkat is nevetségessé tennénk, ha sok évtized után is nem egy ember jellemző tulajdonságait megvilágító emlékeket elevenítenénk fel, hanem anekdotáznánk. Négy, egymástól nagyon eltérő jellemvonást megvilágító eseményt vagy eseményeket szeretnék elmondani, amelyeknek mi, köztük én, résztvevője voltam.

Mi még a Múzeum körüli épületekbe jártunk. Ha az előadóterem bútorzatát azóta sem cserélték ki, késői utódaink egyik-másik katedrán, asztalon egy rejtélyes rendeltetésű kis négyszöget találnak, pontosan az asztal közepén. Mérete sem árul el semmit, mert a mértékegység, amivel kimértük, ma már ismeretlen. Ez ugyanis a forgalomból régen kivont húszfilléres volt. A kis négyszög mérete 3x2 húszfilléres. Azért rajzoltuk ezeket a nagyobb asztalokra,

hogy előadás után tudjunk húszfilléresekkal pöckölöst játszani, legalább négyen közülünk. Még mielőtt valaki rongálással vádolna minket, el kell árulnom, azokat az asztalokat már nem lehetett rongálni. Természetesen már senki sem emlékszik az eredményekre, de a lényeg nem is ez volt, hanem a kötetlen együttlét. Soha senki nem zavart meg minket az előadások után, az épület gyorsan kiürült.

A folytatásnak már csak két szereplője van: Attila és én. Bár nem egymás közelében laktunk, egy darabig egy volt az utunk. A Múzeum körüttől a Rákóczi úton és a Nagykörúton sokszor sétáltunk együtt, míg egyikünk trolira, másikunk villamosra szállt. Nagyon hatásos lenne azt mondani, hogy fontos tudományos kérdésekről, legalábbis a világ megváltásáról beszélgettünk, de be kell vallanom, egyetlen megbeszélte témára sem emlékszem. Csak arra, hogy sokszor tettük meg együtt ezt az utat és akkor fontosnak találtam ezeket a sétálva beszélgetéseket.

Minden valószínűség szerint még elsőéves korunkban történt. Analízis zárhelyire készültünk, mégpedig éppen a Taylor-sorfejtés volt műsoron. A délutáni gyakorlat előtt volt még egy szabad fél óránk. Eszünkbe sem jutott ezt pöcköléssel tölteni. És akkor kérés nélkül Attila kiment a táblához és pár perc alatt sokkal több használható ismeretet juttatott belénk, mint amit az előadás során kaptunk. Azt hiszem, az évfolyam akkor érte el a legjobb zárhelyi eredményt.

Nem az egyetemen, de az egyetem jóvoltából néha nyáron is együtt voltunk hosszabb-rövidebb ideig. Egy nyári gyakorlatot hárman, BODOKY, MESKÓ és VERŐ, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tihanyi obszervatóriumában töltöttünk. Most sem ottani tevékenységünk tudományos oldaláról szeretnék megemlékezni. Az a majd' ötven évvel ezelőtti Tihany nagyon más volt. Csak így juthatott eszünkbe az, hogy átme gyünk Szántódra vacsorázni. Nincs ebben semmi különleges, hiszen ott a komp. Igen, de mi inkább a vacsorára szerettük volna költeni nem túlságosan sok pénzünket. Így az úszás mellett döntöttünk. Lesétáltunk az obszervatóriumból a strandra a félsziget oldalában, ruhánkat vízhatlan zacskóban tologattuk magunk előtt és irány Szántód. Mikor már közel voltunk a parthoz, kinéztünk egy — nem tudok rá szebb szót — stéget és az ott üldögélők nagy csodálkozására kimásztunk a vízből. Mivel már sötét volt, feltűnés nélkül felöltözhattunk, majd megvacsoráztunk, talán a Révcsárdában (nem volt sok étterem a déli oldalon sem). Sajnos, már nem emlékszem, mi volt e történelmi jelentőségű vacsora menüje, de azt tudom, hogy az odaérkezéshez hasonló módon, szerencsésen visszatértünk az obszervatóriumba, illetve annak kertjébe, ahol a

„szállásunk” volt, Remélem, ennyi év után az illegális Balaton-átúszás vétsége már elévült.

Az egyetem elvégzése után útjaink elváltak. De mivel szakmánk ugyanaz volt, további pályafutásunk során is többször találkoztunk. Egy hosszabb időszak volt, mikor valamennyire hivatalos kapcsolatunk is volt, mégpedig mikor Attila a Magyar Geofizikusok Egyesületének elnöke, én pedig titkára voltam. De erre az egy évre való emlékezés ismét csak egy hivatalosabb nekrológ lesz hivatott.

Az évfolyam az utóbbi években novemberben össze szokott jönni egy kis beszélgetésre. Attila már tavaly is hiányzott, hiszen beteg volt. Most már örökre hiányozni fog. Hiába találnánk meg egy régi asztalt a Múzeum körüli épületben, már nem vehetne részt Attila a régi játéokban. Hiába szeretnék végigsétálni Attilával a szokott úton, sem egyedül, sem vele nem tudom megtenni. Tanítják még a Taylor-sorfejtést? Ha igen, minden bizonnyal jól jönne Attila magyarázata a mostani hallgatóknak is. Igaz, nem Tihanyból Szántódra, de milyen felhajtással ússzák át mostanában a Balatont! Attila, vállalkoznál velem egy éjszakai átkelésre?

*Az egyik volt évfolyamtárs,  
Verő László*



1964. Végeztünk! Diplománkat ünnepeljük a Múzeum körüli egyetemi kertben. (Balról jobbra: CZIFRA Ferenc, BODOKY Tamás, ALBU István, SIMON András, MÉSZÁROS Ferenc és MESKÓ Attila)

Nagyon nehéz bármit is hozzátenni a Laci által leírtakhoz. A szomorú hír nagyon lesújtott. Úgy látszik, hogy a kis létszámú évfolyam tud még kisebb is lenni... Emlékeimben Attila úgy él, mint egy korrekt, becsületes, segítőkész évfolyamtárs. Sokszor hallottam számomra érthetetlen dolgokat az előadásokon, de azokat Attila mindig érthetően és megnyugtatóan megvilágította.

Nagyon is emlékszem, amikor kinn a fekete táblánál lelkesen, feltűrt ingujjban írta a különböző képleteket, levelezéseket. Ez különösen az Analízis és Vektoranalízis témakörökben fordult elő.

Sajnos már csak foszlányokban él bennem egy balatoni kirándulás emléke, amelynek keretében BODOKY Tamás édesapjánál is jártunk, majd vitorlásra szálltunk és sok órát töltöttünk a vízen. Balatonlelléről indulva először Szemesre mentünk egy 25-ös wanderyolléval. Szemesen vendégeket vettünk fel (ESZTÓ Zsuzsát és ROSKA Tamást), majd átvitorláztunk Badacsonyra. Badacsonyra ránk esteledett és

már Badacsony előtt vihart is kaptunk, így BODOKY Tamás nem merte az éjszakai utat hazafelé vállalni a geofizikában kiváló, de vitorlázásban teljesen járatlan legénységgel. A badacsonyi kikötőben aludtunk és másnap hajnalban indulunk csak vissza ugyanazon az úton, akkor még nagyon erős széllel. A szél aztán Szemes előtt elállt, és Szemestől Lelléig többnyire a sekély vízben toltuk a hajót...

Nagyon jó volt együtt lenni azon a hajón. Érdekes módon, az úton nem alakult ki bennem a félelem érzése, pedig csekély úszási tudományom miatt erre minden okom meg lehetett volna. Valószínűleg az évfolyamtársaim közelsége adhatta a biztonság érzetét... Ma már szimbólumként is felfogható, hogy „egy hajóban eveztünk”. A cél ugyanis azonos volt: felnőttként, geofizikusként tenni valamit a tudományért.

A kirándulással kapcsolatban még egy emléket szeretnék feleleveníteni, amely, úgy érzem, fontos lehet az Attila egyéniségét meghatározó képben. Lellére vasárnap reggel érkezünk. Nem sokkal a megérkezésünk után Attila szinte kézen fogott és se szó, se beszéd elindultunk a nem túl közeli boglári templomba misére. Ezen akkor nagyon meglepődtem, de még se fordult a fejemben, hogy magyarázatot kérjek. Helyette valami jó érzés töltött el, hogy azonos világnézetűek vagyunk. Ez az emlék különösen élesen jutott eszembe a farkasréti gyászszertartáson, ahol a pap és az Akadémia elnöke is hangsúlyozta, hogy Attila életében fontos szerepet játszott a hit...

Attila sokra vitte, tudományos életpályája nagyon gazdagnak mondható. Büszke vagyok, hogy volt egy ilyen évfolyamtársam.

Nyugodjon békében!

*Mészáros Ferenc*

A fizikus hallgatókkal közös tornaórákat gyakran tartottunk a hajdani BEAC futballpályán és a torna többször futballmeccset jelentett, vagy az óra után szokásként játszottunk. Idővel ki is alakult, hogy általában kiket válogatott össze az egyik „csapat”, illetve a másik „csapat” főkolompósa, váltig hangoztatva, hogy természetesen ő hozott össze erősebb csapatot, illetve „mi tudunk jobban focizni, akármilyen is az eredmény”. Így esett, hogy az egyik vesztés meccs után Attila huncut mosollyal a nem létező bajusza alatt mondogatta, „na, hát most győzött a gyengébb csapat”.

Kazincbarcika-berentel erőmű, építőtábor — kinek nosztalgia, kinek a történelem kis morzsája ma már. Nyári gyakorlat után nagy diáksereg (egyetemisták, középiskolások) dolgozott akkoriban itt. A munka fizikai nehézsége olyan nagy volt, hogy szakemberek (kubikusok) nem vállalták el, mert nem lehetett „hozni a normát”. A hét geofizikus ott is egy „brigádot” alkotott, amelyben Attila bemutatva, hogy nemcsak „fejben jó”, de fizikai ereje is nagy volt, ami hajdani kőfaragó munkás korából datálható volt. Betontörmelékkel dúsított, tömörödött talajon ásta a brigád a későbbi nagyfeszültségű távvezetékartók részére szánt komoly méretű gödröket. Együtt ástunk, lapátoltunk, majd egymás mellé dobtuk magunkat hanyatt a földre, köztes pihenőkre. Attilával az élen a geofizikus brigád nagyot teljesített, a versenyben „kiváló helyezést” ért el.

*Simon András*

Egyetemi öt évünk kialakította és jelenleg is meghatározza annak a hét egykori egyetemistának a kapcsolatát, akik közül sajnos Attila most és elsőként testben eltávozott. Ő emlékeinkben, lelkünkben továbbra is jelen van, onnan nem tud eltávozni.

Az évfolyamtársi és emberi kapcsolat kezdete számomra a későbbi életemre meghatározóan megmaradt. A felvételi vizsgák utáni ötödik napon egy közlekedési baleset következtében koponyatörés, súlyos agyrázkódás és más kisebb betegséggel kórházba kerültem. Életem egy hetére nem emlékszem. Az egyetem megkezdése előtt még egy-másfél héttel fekvő beteg voltam. Szeptemberben még voltak memóriazavaraim és már a délelőtti előadásokon teljesen kifáradtam. Nagyon jól jött az évfolyamtársaim között kialakuló közvetlen, őszinte, egymással törődő, segítő viszony. A segítségnyújtás természetes volt, kérés nélkül történt. Két ember kérés nélküli, önkéntes velem való törődését külön meg kell említenem.

Egyik EGYED László professzorunk volt, aki mint „kötő a csibéire”, úgy vigyázott minden egyes hallgatójára — rám a betegségemből való gyógyulásban is. Az orvosi intézményektől kért és általa szervezett kezelésekkal és egyéb tetteivel sokat segített. Honnan szerezte információit, hogy ezekre szükségem van, nem tudom, csak magához hívatott és közölte, hogy hol, mikor, kinél kell jelentkezni. Ott már vártak.

A másik ember Attila volt. Egyszer odajött hozzám. Azt mondta, a képességeid jók, és én szívesen segítek neked külön is, hogy ne maradj le, és amiben már lemaradtál, azt könnyebben tudd pótolni. Én örömmel fogadtam. Attilával elkezdtük a munkát. Magyarázott, hozta a napi külön példákat, amiket nekem meg kellett oldani. Ő javította. Ahogy egyesbe kerültem, ezek a külön foglalkozások ritkultak, esetlegessé váltak.

Emlékszem arra is: évfolyamtársait nemcsak a tananyag elsajátításában segítette, hanem többször a szakirodalom újabb eredményeiből is tartott délutáni előadást.

Egy másik emlék. Egyszer valamilyen vizsgaidőszakban a lakásukon voltam. A szakmai kérdésre már nem emlékszem, csak arra, hogy hosszasan beszélgettünk és ő zongorázott. Játéka nem utólag szépült meg, akkor is csodáltam, hogy a diáktársam, kiváló tanuló, többféle sportot űz, és remekül zongorázik. Aznap édesanyjától megtudtam, hogy a súlyemelés további és aktív folytatását az ő határozott kérésére hagyta el Attila. Maradt a másik kedvenc, a futás. Igaz, már csak saját szórakozásból.

Sok közös emlék gyűlt össze azokban az években. Most hadd idézzem fel diákéveink legutolsó eseményét.

Diploma-kiosztási ünnepség volt a végzősöknek a jogi karon. Ünnepség után mentünk vissza Múzeum körüli bázisunkra, a laborba. Együtt akartunk ünnepelni, búcsúzni — a diákélettől, az egyetemtől és egymástól. Felvetődött, hogy menjünk egy étterembe. Attilával javasoltuk, csináljunk valami mást, ami nem szokványos. Vegyünk néhány üveg bort, és valamit enni, és maradjunk a laborban. Végül a borhoz a lecsó készítését választottuk. Attilával, aki kiemelkedő tudása alapján csupán egy, legfeljebb két órája, hogy megkapta a summa cum laude eredményéért a vörös diplomát, ünnepelő ruhában, de hétköznapi viselkedéssel mentünk a közeli hentes és zöldséges boltba megvásárolni a lecsóba valókat. Mind összefogva főztük a lecsót Bunsen-égő felett a kémiai eszközök

között található nagyobb edényben. Evőeszközöket a mechanikai műhelyben található fémlemezekből készítettünk. Vidámak voltunk, együtt voltunk. Az ital nem volt főszereplő. Meghívtuk a műhely dolgozóit is e különös ünnepségünkre. Végül az alagsori laborból, műhelyből kimentünk az egyetem udvarára közös fényképezésre. Beállított kép talán egy-kettő ha készült, a többi a vidám, mókázó társaságról ellesett pillanatkép. Köztük az a néhány is, ahogy Attila, mint egykori súlyemelő a feje fölé emeli SIMON Bandó társunkat.

Nagyítás után azokat mint „tablóképeket” őriztem. A 40 éves évfolyam-találkozón elővéve, mindenki újra átélte azt az emléket. És eddig minden egyes évfolyam-találkozónkon — egyet sem rendeztünk étteremben — mint akkor is, nem a külsőség, hanem az együttlét volt számunkra a legfontosabb.

Sajnos a következő találkozásinkon, Attila, te már csak emlékeinkben tudsz velünk lenni, de ott leszel, úgy, ahogy évfolyamtársaid a mindennapjaikban megismertek. Nemcsak a nagy tudósa, a szorgalmas, nagy munkabírási kutatóra, oktatóra, hanem a mindig segítőkész társunkra, az 5+44 (kár, hogy nem 50 és még több) év alatt közösen kialakított emberi kapcsolatainkra emlékszünk.

Örülök, hogy társad lehettem ez alatt az 5+44 év alatt.

*Albu Pista*



Az egyetem kertjében.  
Alul MESKÓ Attila, felül SIMON András

SIMON Bandihoz és ALBU Pistához csatlakozva el szeretném mondani, hogy Attila nem azért volt a futballcsapat „főkolomposa”, mert annyira nagy esze volt, hanem azért, mert nagyon jó sportoló és elismerten évfolyamunk — ebbe a fizikusokat és a tanár szakosokat is beleértve — legerősebb embere volt. Rendkívüli fizikai ereje bennem, aki ezzel nem nagyon dicsekedhettem, nagy tiszteletet ébresztett. Egyszer egy tantermi beszélgetés hevében mondanivalója megerősítéseként rácsapott az egyik, régi vastag tölgyfa asztallapra, amely azon nyomban kettéhasadt. Egy más alkalommal a fizika laborban vita folyt arról a komoly tudományos kérdésről, hogy az alfa sugárzó izotóp dög nehéz ólomtartályát ki hányszor tudja, természetesen két kézzel, kinyomni. Egyik tanár szakos kollégánk, aki zenészként szabadidejében jól keresett, elég meggondolatlanul azt találta mondani, hogy annak, aki ötvenszer kinyomja, fizet egy hordó sört. Attila fél kézzel már százhuszról tartott, amikor abba kellett hagyja, mert kiesett az izotóp és megbolondította a labor műszereit. Az évfolyam ezután átvonult a Csendesbe, a Múzeum körút túloldalán lévő hajdan volt diáksörözőbe, ahol MARGITTAI Tihamér kollégánk becsülettel állta szavát és így a nap végére már olyan görbének láttam a Rákóczi utat, mint se azelőtt, se azután soha.

Az, hogy Attila kiváló szakember, a geofizika kiemelkedő művelője és egyben jelentős közéleti személyiség volt, ma már közhírt. Hogy azzá fog válni, az már diákkorában is elég nyilvánvaló volt számunkra, az évfolyamtársak számára. Nagyon sokat tudott és tudását szívesen adta tovább, osztotta meg velünk. Élvezettel és nagyon jól tanított, amit professzoraink közül nem sokról lehetett elmondani. Laci megemlékezik egy esetről, de az ilyen esetek rendszeresek voltak, különösen vizsgaidőszakokban. 1959-ben például, én hónapokkal a tanév indulása után váltam gyógyszergyári segédmunkásból hirtelen egyetemi hallgatóvá és az éjszakai műszakokból egyenesen egy reggeli analízis órába csöppentem. Az előadás végére már azt sem tudtam eldönteni, hogy TURÁNNÉ SOÓS Vera professzor asszony vajon magyarul beszélt-e vagy sem. Hogy hetekkel

később az első féléves kollokviumokon mégis egy elfogadható „jó” rendűséggel jutottam túl, azt nagyon sokban Attilának köszönhetem, aki időt, erőt nem sajnálva gyömöszölte belém, sokszor éjszakába nyúlóan, az elmulasztott fél év anyagát.

Az egyetemen nemcsak hogy nem tanultunk a számítógépekről, de még csak nem is hallottunk róluk. Attila volt az közülünk, aki a számítástechnikát először fedezte fel és kezdte el alkalmazni akkor, amikor számítógép valójában még nem is állt rendelkezésre. Tartott nekünk, volt évfolyamtársainak egy fejtágítót a digitális adatrögzítés és adatfeldolgozás alapjairól. Ahogy ezt ő előadta, úgy minden egyszerűnek és magától értetődőnek tűnt, mi pedig döntő jelentőségű ismeretekhez jutottunk. 1965 telén az ELGI 1/1-es mélyszerkezet-kutató csoportja a tőle tanult digitális technikával ki is számolta néhány térbeli geofoncsoport 2D átviteli karakterisztikáját. Több hónapig tartott a munka Melitta és Triumphator típusú „tekerős” számológépeinkkel. Ezekből az átviteli karakterisztikákból irtuk egyetlen közös cikkünket és tartottunk egy előadást az 1965. évi budapesti geofizikai szimpóziumon. Amikor évek múlva valóban hozzáférhetővé váltak a valódi számítógépek, Attila jóvoltából már nem titokzatos és ijesztő idegent, hanem ismert és rég várt barátot jelentettek a számunkra.

A témáról írt első egyetemi jegyzete, a „Digitális szeizmikus adatfeldolgozás alapjai” az egyik legjobb tankönyv, amit valaha is a kezemben tartottam.

Aztán, ahogy Laci írja, lassan elváltak útjaink és ALBU Pista kezdeményezésére csak néhány éve kezdtük el éves rendszerességgel évfolyam-találkozóinkat, ezeket a baráti (és nem szakmai) alapon történő összejöveteleket, ahonnan Attila utoljára már hiányzott és most már — nehezen felfogható és még nehezebben elfogadható módon — mindig is hiányozni fog.

*Bodoky Tamás*

*A fényképek Czifra Feri jóvoltából kerülhettek ide*



2004. november 12. Évfolyam-találkozó, a létszám még teljes. (Balról jobbra: ALBU István, MESKÓ Attila, SIMON András, BODOKY Tamás, MÉSZÁROS Ferenc, VERÓ László és CZIFRA Ferenc)

## TISZTELET AZ ÉVEKNEK

*Sok szeretettel köszöntjük szenior tagtársainkat, különös tisztelettel azokat, akik idén kerek évfordulós születésnapot ünnepeltek. Sokan közülük ma is aktívan részt vesznek az egyesület életében és a geofizikai kutatásokban. További sok sikert, sok örömet, derűs, békés hétköznapokat, jó egészséget és szép ünneplést kívánunk Mindannyiuknak.*

Köszöntjük

*80. születésnapja alkalmából*

BALOGH Aladárt,  
Dr. GÖÖZ Lajost,  
HOBOT József bányageológust,  
MARKÓ László geofizikust,  
TRENKA Sándorné matematika-fizika szakos tanárt;

*75. születésnapja alkalmából*

Dr. ACZÉL Etelka geofizikust,  
BARTHA Lajost,  
ELSHOLTZ László geológust,  
GADÓ Károly geofizikust,  
Dr. GEREBEN Lászlónét,  
GERZSON István geofizikust,  
KOVÁCS Ferencné technikust,  
RÓZSÁS Lászlót,  
RUMPLER János geofizikust,  
SÉDY Lórándné geofizikus technikust,  
SZARKA Rudolf geofizikust,  
SZERECZ Ferenc geológust,  
SZUNYOGH Ferenc villamosmérnököt,  
TENKEI Sándor geológust,  
Dr. VERŐ József geofizikust;

*70. születésnapja alkalmából*

BARANYAI Pál villamos üzemmérnököt,  
CZIPÓ Lászlót,  
Dr. DERES János bányageológus mérnököt,  
Dr. KOMLÓSSY György geológust,  
LANTOS Miklós geofizikust,  
MADAI László bányageológust,  
Dr. SZALÓKI István geofizikust,  
Dr. SZEIDOVITZ Győző geofizikust.

*Kérjük, erejükhez mérten támogassák továbbra is a hazai geofizika ügyét!*

*A Magyar Geofizikusok Egyesülete nevében  
Hegybíró Zsuzsanna*



BALOGH Aladár



HOBOT József



TRENKA Sándorné



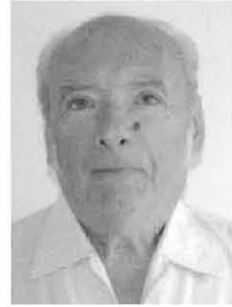
Dr. ACZÉL Etelka



BARTHA Lajos



RÓZSÁS László



SZUNYOGH Ferenc



CZIPÓ László



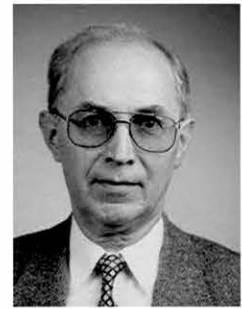
Dr. DERES János



LANTOS Miklós



MADAI László



Dr. SZALÓKI István

## A SZENIOROK BIZOTTSÁGÁNAK HÍREI

A Szeniorok Bizottságának 2008. évi tanulmányi kirándulására szeptember 10-én, kellemes őszi napsütésben került sor. A régi-új beszélgető társaságok elhelyezkedtek az autóbuszokban, és a tervezett nyolcórás időpontban elindultunk Sümegre. Hosszú utunkat Várpalotán szakítottuk meg, ahol a Múzeumkertben kávéval, üdítővel frissíthette magát a társaság. Sümegen csatlakoztak hozzánk a Pécsről vonattal érkezők, így létszámunk 60 főre emelkedett.

Ez évi kirándulásunkon a Dunántúli-középhegységben végzett geofizikai kutatásokkal ismerkedtünk. Az elvégzett mérésekről, azok eredményeiről, tanulságairól REZESSY Géza tartott vetített képes előadást a MÁFI egykori oktatóbázisán. Bemutatta, milyen szerepet játszott a geofizika az elmúlt évtizedekben, a földtani megismerésben és a hasznosítható ásványi nyersanyagok kutatásában. Az előadás nem térhetett ki mindenre, így méltánytalanul maradt ki például a mélyfúrás geofizika ismertetése.

Az előadás után megtekintettük az oktatóbázis szomszédságában feltárt, az ősember kovakőbányászatát bemu-

tató szabadtéri múzeumot. A kitermelt árkokat, a régi „bányászati eszközöket” nézegetve talán arra is gondoltunk, hogy az emberiség történetében a bányászat örök, a jelenkor méregzöld szemlélete csak egy múló pillanat.

A Scotti Udvarház kerthelységében kitűnő ebédet fogyasztottunk.

Ebéd után a társaság két csoportra vált szét. Az egyik a templomokkal ismerkedett. A ferencesek kegytemplomát és kolostorát, a templom és a szerzetesrend történetét PASCAL atya nagy hozzáértéssel és szünni nem akaró buzgalommal ismertette. Ezt követően átsétáltunk a plébánia-templomhoz, amelynek falait és mennyezetét a híres osztrák festő, Franz Anton MAULBERTSCH freskói díszítik. A házi barokk művészet egyik legismertebb, 250 éves alkotását a templom romló állapota veszélyezteteti — megőrzésére és karbantartására többet kellene áldozni.

IV. Béla a tatárjárást követően kezdte építtetni a sümegi várat, amely a török időkben Dunántúl egyik legfontosabb központjává vált. A másik csoport ide jött fel gyönyörködni

a kilátásban és a helyi látnivalókban. (NÉMETH Lajos tagtársunk rövid ismertetését Sümegről I. alább. — T. L.)

Köszönettel tartozunk az egyesület vezetőségének, HEGEDŰSNÉ PETRŐ Erzsébet ügyvezető titkárnak, ACZÉL Etelkának, a Szeniorok Bizottsága leköszönő elnökének a tanulmányi kirándulás előkészítéséért és lebonyolításáért. Az előadáshoz a helyiséget a szabadtéri múzeumot felügyelő VARGA Tamás igazgató biztosította, fogadásunkról DARA Ernőné gondoskodott. Tanulmányi kirándulásunkat, az elmúlt évekhez hasonlóan, idén is a NEMESI László által vezetett Magyar Geofizikusokért Alapítvány támogatta. A mellékelt csoportképet VIDA Zsolt készítette. (A szerk. megj.: A kiránduláson készült többi kép is megtekinthető az alábbi egyesületi képgalériában — [picasaweb.google.com/magyar.geofizika](https://picasaweb.google.com/magyar.geofizika).)

Mindazoknak, akik a program sikeres megvalósításáért tevékenykedtek, ezúton is köszönetet mond a Szeniorok Bizottsága.

*Rezessy Géza,  
A Szeniorok Bizottságának elnöke*

### Sümegről röviden...

Sümeg története szorosan összefonódik a vár történetével. A várat a XIII. században a templomos lovagok kezdték építeni. A sümegi vár a XIII. század vége felé a veszprémi püspökök birtokába jutott. 1292-ből van róla adat. A XVI. században, tekintettel a török veszélyre, a veszprémi püspökök egyre jobban kiépítették, és erődítménnyé alakították. A XVII. században SZÉCHENYI György püspök a várat tovább erősítette és a város köré falat építtetett.

A veszprémi püspökök 1552 óta legtöbbször Sümegen laktak, mert a törökök Veszprémet elfoglalták.

A sümegi vár Csobánccal együtt a török hódoltság idején végig magyar kézen maradt.

A kuruc korszak után a vár a császáriak kezére került, a bécsi hadvezetőség a várat félig leromboltatta, mint a többi magyar várat is.

Amikor SZÉCHENYI Györgyöt veszprémi püspökké ki-nevezték, tervel között szerepelt Sümegen templom és kolostor építése is. Ferenceseket telepítettek ide, és 1649-től kezdtek a templom építésével foglalkozni. Az építésben és irányításban a ferencesek is részt vettek. A templom felszentelése 1654-ben volt.

Gróf SZÉCHENYI Györgyről érdemes megemlíteni, hogy több megyének volt püspöke. 93 éves korában lett esztergomi érsek, és 103 éves korában halt meg.

Sümeg másik katolikus, és egyben plébániatemploma száz évvel később épülhetett. Az 1750-es évek vége felé MAULBERTSCH Franz Anton osztrák festő (sz. 1724), aki a XVIII. század egyik legjelentősebb mestere volt, fal- és mennyezetképeket festett BÍRÓ Márton veszprémi püspök megbízásából. Ez volt első magyarországi munkája, és ez a freskósorozata a művész egyik legjelentősebb fennmaradt alkotása, amely egyben a XVIII. századi monumentális dekoratív festészet egyik legszebb emléke.

Az 1770-es évek végétől szinte megszakítás nélkül Magyarországon dolgozott. Pozsonyban az érseki palota kápolnája, Pápán a plébániatemplom, Győrben a székesegyház, Kalocsán és Szombathelyen a püspöki palota egy-egy terme, Egerben a liceumi kápolna őrzi művészetének emlékeit. SZILY János szombathelyi püspök vele szerette volna a székesegyház freskóit megfestetni, de a művész még a munka megkezdése előtt, 1796-ban meghalt.

*Németh Lajos*





## WIM GOUDSWAARD ÁTVETTE A TISZTELETI TAG KITÜNTETÉST



Wim GOUDSWAARD úr (balra) a kitüntetéssel

Egyesületünk 2008. évi közgyűlésén ítélte oda Wim GOUDSWAARDnak a Tiszteleti Tag kitüntetést. Sajnos egy szerencsétlen baleset következtében nem tudott a számára oly kedves Magyarországra utazni és a kitüntetést személyesen átvenni. Ezért ORMOS Tamás, Egyesületünk korábbi

elnöke és DOBRÓKA Mihály, a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézetének igazgatója vállalták, hogy a magyar geofizikusok nevében személyesen adják át az elismerést. Vállalásukat 2008. november 7-én teljesítették. Pénteken délután otthonában, a Rotterdamhoz közeli Rockanje-ben keresték fel GOUDSWAARD urat és feleségét, Femmy-t, ahol a nappaliban került sor az ünnepélyes aktusra. DOBRÓKA Mihály ünnepi beszédében a „magyar geofizikusok barátjának” megköszönte a több évtizedes támogatást, kezdve a „nyolcvanötös” budapesti EAEG-n, a sok szeizmikus értelmezői kurzuson át egészen a PACE alapítványban betöltött szerepéig. Wim meghatottan fogadta az elismerést és egyben a gratulációt is 81-ik születésnapja alkalmából. Meleg szavakkal emlékezett Magyarországra és az ott élő geofizikusokra. Bámulatos szellemi frissességgel és részletességgel elevenítette fel a budapesti EAEG szervezésének és lebonyolításának történetét. Az eddigi legjobb konferenciának nevezte büszkén, amellyel nagyon sokan egyetértünk külföldön és itthon egyaránt. Köszönjük, Wim! További jó egészséget!

*Írta és a fotót készítette Ormos Tamás*

# A magyarországi gravimetriai alaphálózatok vonatkoztatási rendszereinek összehasonlítása<sup>1</sup>

CSAPÓ GÉZA<sup>2</sup>

*Nagyobb kiterjedésű területeken különböző időben és mérőműszerekkel végzett mérések eredményeit országos, vagy nagyobb területekre kiterjedő alaphálózatok keretében tartják nyilván. Az alaphálózatok pontjainak nehézségi gyorsulás értékeit minden esetben valamely kezdő értékre vonatkoztatják. Magyarországon a gravitációs mérések több évtizedes története során több alaphálózat létesítésére került sor, ezek vonatkoztatási értéke (referenciaszintje) a nemzetközileg elfogadott éppen aktuális rendszernek megfelelően változott az idők folyamán. A dolgozatban először röviden foglalkozunk a gravitációs mérések hazai történetével, majd az országos alaphálózatokat és azok referencia-rendszereit ismertetjük.*

## G. CSAPÓ: Comparison of the Hungarian gravity base networks and their reference systems

*Gravity data obtained in different time and observed with different gravimeters are organized into regional or national base networks. These networks are referred to the gravity value of a reference point. Several base networks were established during the history of gravity measurements in Hungary and their reference point or system changed according to the relevant international reference system. The paper deals with the history of the Hungarian gravity measurements and familiarizes with national networks and their reference systems.*

### Bevezetés

A Föld alakjának minél pontosabb meghatározása a jelenkor egyik fontos tudományos és gyakorlati feladata. Megoldásához a geodézia a geometriai alapú mérések eredményeit (távolság-, szög- és csillagászati mérések) hasznosítja. A Föld alakja szoros kapcsolatban áll a nehézségi erőterrel, annak szerkezetével, ezért a tudomány nem nélkülözheti a nehézségi erőterrel kapcsolatos vizsgálatok, mérések eredményeit. A geofizika a Föld belső szerkezetének, tömegelrendeződésének kutatásával foglalkozik és ehhez fizikai jellegű méréseket alkalmaz. Mérési módszerei közül leginkább a gravitációs mérések alkalmasak arra, hogy a Föld belső tömegelrendeződését, annak hosszú idejű változásait kimutassák. A gravitációs módszerrel meghatározhatók a földfelszíni mérési pontokon a nehézségi erőter gradiensei, a nehézségi gyorsulás abszolút és relatív értéke. Amikor a gravitációs mérésekről általánosságban beszélünk, akkor ingaberendezésekkel, gradiométerekkel és graviméterekkel végzett mérésekre gondolunk. A történeti fejlődés során először a különböző ingaberendezésekkel (relatív és abszolút ingák) végzett mérések terjedtek el. A XX. század 30-as éveinek végétől ezeket a berendezéseket fokozatosan a graviméterek váltották fel, amely műszerekkel közvetlenül határozhatók meg a nehézségi gyorsulás, vagy két pont között a nehézségi gyorsulás különbségének értékei. Ezért ma a gyakorlati munkák során általában gravimetriai méréseket alkalmaznak, amelyekhez abszolút és relatív gravimétereket használnak. Az elmúlt húsz évben rohamosan fejlődött az űrgeodézia, amely a Föld alakjának tanulmányozásához légi gravimetriai és légi gradiometriai méréseket végez az e feladathoz kifejlesztett beren-

dezésekkel. A nagyobb kiterjedésű (országos, ill. kontinentális) területeken végzett különböző célú nehézséggyorsulás-mérések eredményeinek egyértelmű értelmezése csak egységes rendszerben képzelhető el; ezt az egységes rendszert — a nehézséggyorsulás-mérések esetében — az országos gravitációs alaphálózat biztosítja. A következőkben röviden szólnunk a hazai gravitációs mérésekről [CSAPÓ 2005], majd az országos alaphálózatokkal foglalkozunk.

### A hazai nehézségi mérésekről

Magyarországon az első nehézséggyorsulás-mérések STERNECK 1884-ben kezdődött hazai — részben áttekintő, helyenként részletező relatív inga-mérései voltak [SZILÁRD 1980], GRUBER Lajos pedig abszolút módszerrel — egy Repsold-féle reverziós ingával — végzett nehézséggyorsulás-meghatározást Budapesten 1885-ben a várban, a Bécsi kapu környékén [GRUBER 1886]. Ilyen berendezéssel számos európai ország gravitációs alappontját határozták meg. EÖTVÖS korszakalkotó találmányának, a torziós ingának gyakorlati alkalmazása nagy lökést adott a hazai nehézséggyorsulás-méréseknek; a főleg földtani célú mérések nagymértékben segítették a nehézségi erőter magyarországi szerkezetének megismerését. Haláláig mintegy 1400 állomáson végeztek méréseket a torziós ingával, összességében pedig mintegy 60 000 állomás mérésére került sor hazánkban. A húszas évektől kezdve az ingák mellett egyre nagyobb szerephez jutottak az ipari nyersanyagkutatást szolgáló, hatékony, gyors és gazdaságosan végezhető mérést biztosító graviméterek. A mérési pontok számának növekedésével egyre nyilvánvalóbb lett, hogy a különböző területeken, különböző időben és berendezésekkel végzett nehézséggyorsulás-mérések eredményeinek egységes értelmezése nehézségekbe ütközik, ezért szükségessé vált a mérések egységes rendszerbe foglalása.

<sup>1</sup> Beérkezett: 2008. május 8-án

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

## A hazai országos alaphálózatok létesítésének előzményei

A magyarországi országos gravitációs alaphálózat létrehozása lényegében OLTAY Károly munkásságával kezdődött, akinek nevéhez nem csupán a budapesti országos főalappont létrehozása kapcsolódik, de az alaphálózat dunántúli részének mérése is. 1933-ig összesen 110 állomáson határozta meg relatívvinga-berendezésekkel a nehézségi gyorsulás értékét. Ezen pontok nehézségi gyorsulás értékének átlagos megbízhatósága mintegy  $\pm 1,5$  mGal volt [OLTAY 1933]. A kőolajkutatók érdekében egyre több torziósinga-mérést végeztek a Dunántúlon, a mérések azonban egymástól elkülönült, viszonylag kis területeken folytak. Ezen mérések egységesítése céljából 1939–41 között FACSINAY László 141 pontból álló hálózatot telepített, amely hálózat mérését egy Tanakadate gyártmányú asztalizált graviméterrel végezte [FACSINAY 1942]. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibájára  $\pm 0,15$  mGal-t kapott, ami egy teljes nagyságrenddel jobb az ingamérésekkel elért középhibánál. Ettől az időtől kezdve az alaphálózati munkákhoz már zömében gravimétereket alkalmaztak, mert ezek néhány száz mGal nehézségi gyorsulás különbségű ( $\Delta g$ ) mérési tartományban lényegesen nagyobb pontosságot biztosítanak, mint a relatív ingák. A minél nagyobb megbízhatóságú és minél nagyobb területre kiterjedő gravimetriai hálózatokat metrológiai szempontok is indokolják, nevezetesen az, hogy valamiféle egységes etalon álljon rendelkezésre mindazon feladatok megoldásához, amelyekhez a nehézségi gyorsulás ismerete szükséges, illetve a mérésekhez alkalmazott különböző műszerek kalibrálásához. Ezek a szempontok indokolták elsősorban a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (IAG) által ösztönzött különböző gravimetriai rendszerek bevezetését (Bécsi Gravitációs Rendszer — 1900, Potsdami Gravitációs Rendszer — 1909).

Mind az európai, mind a hazai gravimetria fejlődésének motorja az IUGG (Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió) 1948-ban Oslóban tartott konferenciája volt. Ezen a tanácskozáson fogadták el azt az ajánlást, amely szerint célszerű és szükséges lenne az európai országok gravimetriai alaphálózatainak létrehozása.

## A magyarországi országos gravimetriai hálózatok

Az oslói értekezlet javaslatát a Magyar Tudományos Akadémia is támogatta. A tudományos igények és a gyakorlat szükségessége egybeesvén, 1950-ben az ELGI egy akkoriban korszerű Heiland gyártmányú fémrugós, asztalizált gravimétert vásárolt és ezzel a műszerrel létrehozta hazánk első önálló — az egész ország területére kiterjedő — gravimetriai alaphálózatát, amelyet később MGH-50 néven tartottak számon [FACSINAY, SZILÁRD 1956]. Ez a hálózat két részből állt: a 16 pontból álló I.-rendű részt 1951-ben létesítették és mérték, 1950–55 között pedig 493 pontból álló II.-rendű hálózatot fejlesztettek. A méréseket három- és négyszög poligonok sarokpontjaiba telepített pontok többszöri körbejárásával végezték. A műszert az I.-rendű rész mérésénél repülőgéppel, a II.-rendűnél gépkocsival szállították. Későbbi hálózatokkal történő összehasonlíthatóság lehetőségének biztosítására 16 db különlegesen kiképzett pontjellel állandósított pontot is telepítettek (ún. „akadémiai

pontok”), amelyeket gondosan összemértek a közelükben lévő I.-rendű ponttal. E pontok magasságát BENDEFY László határozta meg azoknak az országos szintezési hálózatba történt bekötésével. A többi bázispont magasságát az ELGI munkatársai határozták meg. A graviméter kalibrálására — kalibráló alapvonal hiányában — nem volt lehetőség, ezért a mérési eredmények feldolgozásánál a gyár által megadott műszerszorozóval számolták át a skálaleolvasásokat mGal egységre. A mérési eredményeket műszerjárás és azimutjavítással [KOMÁROMY 1952] látták el, az I.-rendű méréseknél még árapály hatás miatti javítást is alkalmaztak. A két hálózatrészt külön-külön egyenlítették ki a legkisebb négyzetek módszerével. A II.-rendű hálózat kiegyenlítésénél kényszerértékeknek az I.-rendű hálózat kiegyenlítéséből nyert nehézségi gyorsulási értékeket fogadták el. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája  $\pm 0,029$  mGal volt.

## Az MGH-50 kapcsolata a potsdami rendszerrel

A potsdami gravitációs rendszer kezdőpontjának értékét KÜHNEN és FURTWÄNGLER határozta meg 1906-ban, amely értékre 981 274 mGal adódott. A potsdami kezdőpontról relatívvinga-méréssel OLTAY Károly 1908-ban vezetett le a Budapesti Műszaki Egyetem Geodéziai Intézetében telepített alappontra nehézségi gyorsulási értéket:  $g_{\text{Budapest}} = 980\,852$  mGal. A hazai gravimetriai alaphálózat kiinduló (referencia) értékéül azonban nem pontosan ezt az értéket, hanem a MORELLI által kiegyenlített európai főhálózatból származó  $g = 980\,853$  mGal értéket fogadták el. A műgyetemi főpont és további 3 bázishálózati pont (a Műgyetem kertjében, a Petneházi réten és a Ferihegyi repülőtéren) bevonásával egy ún. „kishálózatot” létesítettek, majd e szűkebb hálózat méréseivel, illetve e hálózat kiegyenlítésével kapták az MGH-50 Ferihegyi I.-rendű pont nehézségi gyorsulás értékét:

$$g_{\text{Ferihegy}} = 980\,824,50 \text{ mGal.}$$

Ez az érték az MGH-50 I.-rendű hálózat kiinduló értéke (a kiegyenlítés kényszerértéke).

A földtani célokat szolgáló rendellenességi (anomália) térképek előállításához az észlelt  $g$  értékeket terephatás miatti javítással látták el, meghatározták a pontok „normális nehézségi gyorsulási” értékét (ehhez az 1930-as, Heiskanen-Cassinis féle nemzetközi képletet alkalmazták), Bouguer-, Faye- és izosztatikus javításokat számoltak. A Bouguer-redukciót  $\sigma = 2,67$  értékkel, az izosztatikus anomáliát  $T = 30$  km kéregvastagságot feltételezve számították [FACSINAY 1948]. A pontok földrajzi koordinátái a Kraszovszkij-féle ellipszoidra vonatkoznak, a magasságok Balti rendszerűek. A kiegyenlített nehézségi gyorsulási értékek nem a hálózati pontok állandósított pontjellel, hanem a fölötti magasságra vonatkoznak (lásd később)!

## A második országos gravimetriai alaphálózat (MGH-80)

A hetvenes évek derekán jelentős állami alapmunka kezdődött hazánkban: az országos ún. „kéregmozgási szintezési hálózat” munkálatai. Ezek a munkák graviméteres méréseket is igényeltek a normálmagasság meghatározásához szükséges gravimetriai javításhoz. A szintezési vonalak graviméteres méréseit 1973–1979 között hajtottuk végre. A

kéregmozgási szintezési hálózat munkálataihoz kapcsolódóan került sor az *MGH-50* országos gravimetriai alaphálózat II.-rendű pontjainak felújítására és új pontjainak építésére, majd ezután 1981–1988 között az új országos alaphálózat (*MGH-80*) II.-rendű részének méréseire. Erre azért volt szükség, mert a 60–70-es években bekövetkezett változások (a mezőgazdasági nagyüzemek és ipari létesítmények telepítése, úthálózat fejlesztése stb.) azt eredményezték, hogy az *MGH-50* bázispontjai rohamosan pusztultak, vagy váltak mérésre alkalmatlanná. Az új, 389 pontból álló II.-rendű hálózatot háromszögekből alakítottuk ki úgy, hogy a szomszédos pontok között a nehézségi gyorsulás különbsége nem haladta meg a 35–40 mGal-t [CSAPÓ, SÁRHIDAI 1990a]. Ebben a munkában két Sharpe graviméteren (No.181-G és No.256-G) kívül már egy korszerű LCR-G gravimétert (No.1919) is alkalmaztunk a mérésekhez. A hálózati mérések megkezdése előtt a gravimétereket az országos graviméterkalibráló alapvonalon kalibráltuk. Ezt a vonalat 1969–70-ben létesítettük Szeged és Balassagyarmat között; mérését nemzetközi együttműködésben végeztük különböző gyártmányú (Askania, Worden, Sharpe, GAG-2) graviméterekkel. A vonalpontok közötti  $\Delta g$  értékek megbízhatósága  $\pm 0,02$  mGal volt, a nehézségi gyorsulási értékek potsdami rendszerűek.

Az új hálózat 5 „abszolút állomást” és 18 repülőtéri I.-rendű hálózati pontot tartalmazott. A szomszédos I.-rendű pontok közötti kapcsolatokat A-B-A-B-A sorrendben, cseh és szlovák mérőcsoporttal közösen, AN-2 és Pilátus-Porter típusú repülőgépekkel végzett műszerszállítással 1982-ben mértük. Az új hálózat kiegyenlítését kötött hálózatként végeztük, ahol a hálózat kényszerértékei az abszolút állomások  $g$  értékei voltak. Az *MGH-50* kiegyenlítési módjától eltérően az I.- és II.-rendű hálózatot együtt egyenlítettük ki a legkisebb négyzetek módszerének ún. „dán iterációs eljárásával” [CSAPÓ, SÁRHIDAI 1990b]. Az *MGH-50* és az *MGH-80* hálózati pontok közötti mérésekből nemcsak a két hálózat közötti transzformációs egyenletet határoztuk meg, de azt is kimutattuk, hogy a potsdami és az „abszolút” rendszer közötti eltérés hazánk területén  $-13,94$  mGal.

### Az *MGH-80* vonatkoztatási rendszere

Ismeretes, hogy a hatvanas évektől kezdődően egyre több európai graviméteres állomáson határozták meg a nehézségi gyorsulás értékét abszolút módszerrel, abszolút graviméterekkel. Ezen szaporodó mérések eredményei igazolták azt a korábbi felismerést, amely szerint a potsdami gravitációs rendszer kezdőértéke mintegy 13,8–14,1 mGal értékkel magasabb a ténylegesnél. Ezért a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió (IUGG) 1971. évi moszkvai XV. kongresszusán elhatározták a potsdami kezdőérték 14,0 mGal értékkel történő csökkentését. Az így definiált rendszert IGSN-71 gravimetriai referencia-rendszernek nevezték el [MORELLI 1974].

A hazai áttekintő graviméteres mérések a hetvenes évek derekán befejeződtek, a mintegy 380 000 mérési pont adatait ma is az *MGH-50* rendszerében tartjuk nyilván. Akkorra az *MGH-50* bázispontjainak nagy része is elpusztult. Ezért az nem volt járható út, hogy az *MGH-50* bázisértékeit 14 mGal-lal lecsökkentve átvegyük az *IGSN-71* rendszert. Tekintettel arra, hogy 1978–85 között — a volt szo-

cialista országok közötti együttműködés keretében — a novoszibirszki gyártású GABL abszolút graviméterrel hazánk területén 5 abszolút állomás mérésére került sor, az előbbi pontban leírtaknak megfelelően az *MGH-80* gravimetriai alaphálózatunk referencia-rendszere tulajdonképpen abszolút rendszer. A Párizsban rendszeresen végzett nemzetközi ún. „körvizsgálatok” eredményei szerint ugyanis a gyakorlatban alkalmazott abszolút graviméterek (beleértve a GABL berendezést is) mérési eredményei egymástól 0,01 mGal-nál nagyobb mértékben nem térnek el.

A terepi graviméteres mérések (mind az áttekintő, mind a későbbiekben végzett sűrítő méréseket ideértve) eredményeit csak úgy lehetett az ELGI által gondozott országos gravimetriai adatbázisba integrálni, hogy meghatároztuk a két rendszer közötti transzformációs függvényt.

### Az *MGH-50* és *MGH-80* kapcsolatának megteremtése transzformációs függvény meghatározásával

A függvény előállításához a még fellelhető mintegy 50 db *MGH-50*-es bázispontot összemértük az *MGH-80* hozzájuk legközelebbi két-három bázispontjával. Ezután két kötött hálózat szerinti kiegyenlítést hajtottunk végre. Az elsőben az *MGH-50* meglévő bázispontjainak  $g$  értéke, a másodikban az *MGH-80* megfelelő pontjaié voltak a kiegyenlítés kényszerértékei. A kiegyenlítések eredményeképpen rendelkezésünkre állt valamennyi összemért hálózati pont mindkét rendszerbeli  $g$  értéke. Ezután pontonként képeztük a két kiegyenlítésből nyert  $g$  értékek különbségét ( $\Delta g_i = g_i^{1950} - g_i^{1980}$ ). A különbségekkel izovonalas térképet szerkesztettünk. Az eltérések azt mutatták, hogy egyértelmű összefüggés létezik a két rendszer  $\Delta g$  értékei és a földrajzi szélesség között (1. ábra).

Mivel a  $\Delta g_i$  értékek a hely függvényében csak kis mértékben változnak, ezért a két hálózat nem mért pontjainak  $g$  értékei egy harmadfokú polinom segítségével ki számíthatók. A polinom együtthatóit a legkisebb négyzetek módszerével, a közvetett mérések kiegyenlítési csoportjának összefüggései segítségével határoztuk meg. A közvetítő egyenletek általános alakja:

$$\Delta g_i = a_0 + a_1 \cdot \varphi_i + a_2 \cdot \lambda_i + a_3 \cdot \varphi_i \lambda_i + \dots + a_j \cdot \varphi_i^n \cdot \lambda_i^n = f(\varphi_i, \lambda_i) \quad (1)$$

ahol

$\varphi_i, \lambda_i$  — a kérdéses pont földrajzi koordinátái,  
 $a_1, a_2, \dots, a_j$  — a polinom ismeretlen együtthatói,  
 $n$  — a polinom fokszáma.

Az  $i$ -ik ponthoz tartozó közvetítő egyenlet:

$$L_{\Delta g_i} + v_{\Delta g_i} = f(\varphi_i, \lambda_i) \quad (2)$$

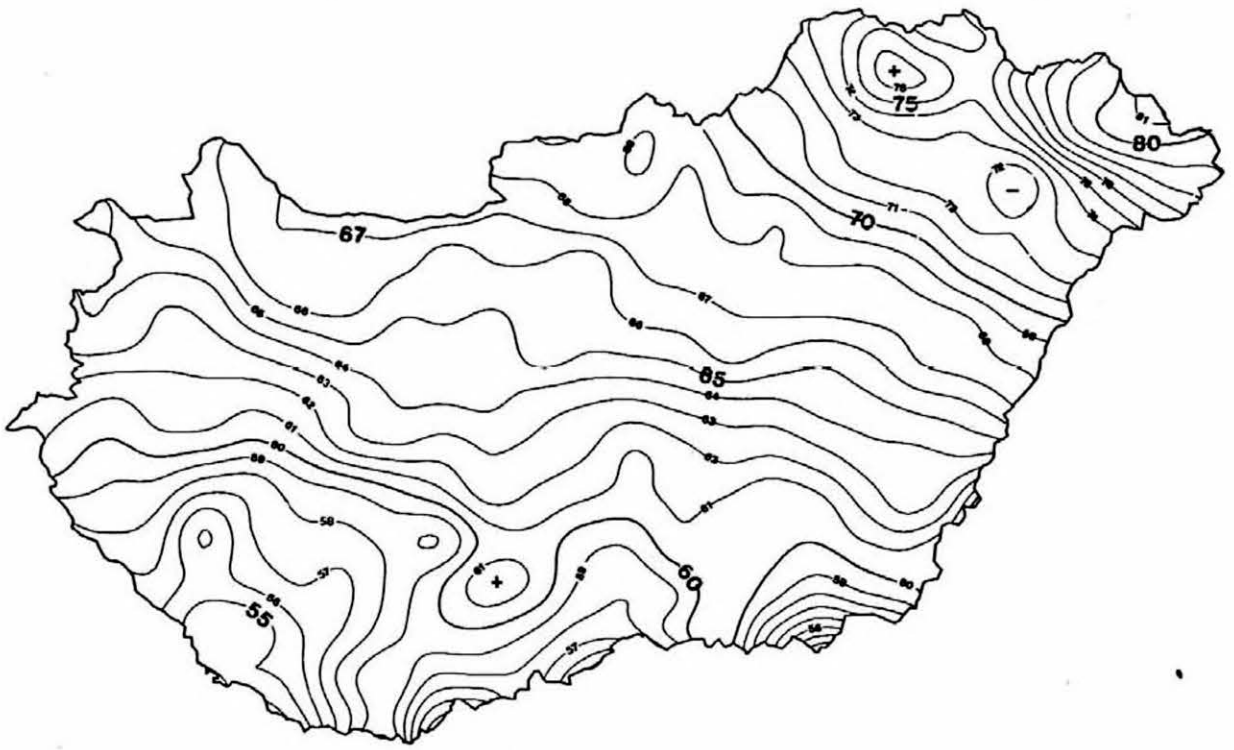
ahol

$v_{\Delta g_i}$  — az  $i$ -ik ponthoz tartozó mérési javítás,  
 $L_{\Delta g_i}$  — az  $i$ -ik pont mérési eredménye.

A közvetítő egyenletből az ismeretlenek parciális deriváltjai segítségével előállítottuk a linearizált javítási egyenletet:

$$v_{\Delta g_i} = f(\varphi_i, \lambda_i) - L_{\Delta g_i} \quad (3)$$

Ha a felület meghatározásába  $m$  pontot vonunk be, akkor a javítási egyenletek:



1. ábra. Az MGH-50 és MGH-80 g értékeinek eltérés-térképe (μGal-ban)

Fig. 1. Areal distribution of the observed difference between gravity base networks MGH-50 and MGH-80 (in μGal)

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta g1} \\ v_{\Delta g2} \\ \vdots \\ v_{\Delta gm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \varphi_1 & \lambda_1 & \varphi_1 \lambda_1 & \dots & \varphi_1^n \lambda_1^n \\ 1 & \varphi_2 & \lambda_2 & \varphi_2 \lambda_2 & \dots & \varphi_2^n \lambda_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \varphi_m & \lambda_m & \varphi_m \lambda_m & \dots & \varphi_m^n \lambda_m^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a_0 \\ \Delta a_1 \\ \Delta a_2 \\ \vdots \\ \Delta a_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_{\Delta g1} \\ L_{\Delta g2} \\ \vdots \\ L_{\Delta gm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{01} \\ f_{02} \\ \vdots \\ f_{0m} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol

$f_{01}, f_{02} \dots f_{0m}$  — a meghatározandó függvénynek a paraméterek előzetes értékeivel számolt érték.

Mátrixos írásmódban

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{a} + \mathbf{f}_0 - \mathbf{L} = \mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{a} - \mathbf{l} \quad (5)$$

A fölősmérések birtokában a feladat egyértelmű megoldása a

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min. \quad (6)$$

feltétel kielégítésével biztosítható, ami a

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}) \cdot \mathbf{a} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (7)$$

normálegyenlet megoldásából adódik (a (6) összefüggésben  $\mathbf{P}$  egységmátrix). Ebből az átszámító felület együtthatóinak előzetes értékeihez képesti változásait a következő összefüggéssel számítottuk:

$$\Delta a_i = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (8)$$

Végül a felület együtthatói:

$$a_i = a_{0i} + \Delta a_i.$$

Mindezekkel a transzformációs függvény:

$$g_P^{(MGH-50)} - g_P^{(MGH-80)} = 1334,623 - 2,615 \Delta \varphi - 0,87 \Delta \lambda + 0,884759 \Delta \varphi \Delta \lambda + 6,476951 \Delta \varphi^2 + 0,206357 \Delta \lambda^2 + 1,991854 \Delta \varphi^3 - 0,051530 \Delta \lambda^3 - 0,345641 \Delta \varphi \Delta \lambda^2 - 0,567867 \Delta \varphi^2 \Delta \lambda \quad (9)$$

A (9) összefüggésben

$$\Delta \varphi = \varphi_P - 47,833^\circ \quad \text{és} \quad \Delta \lambda = \lambda_P - 16,000^\circ.$$

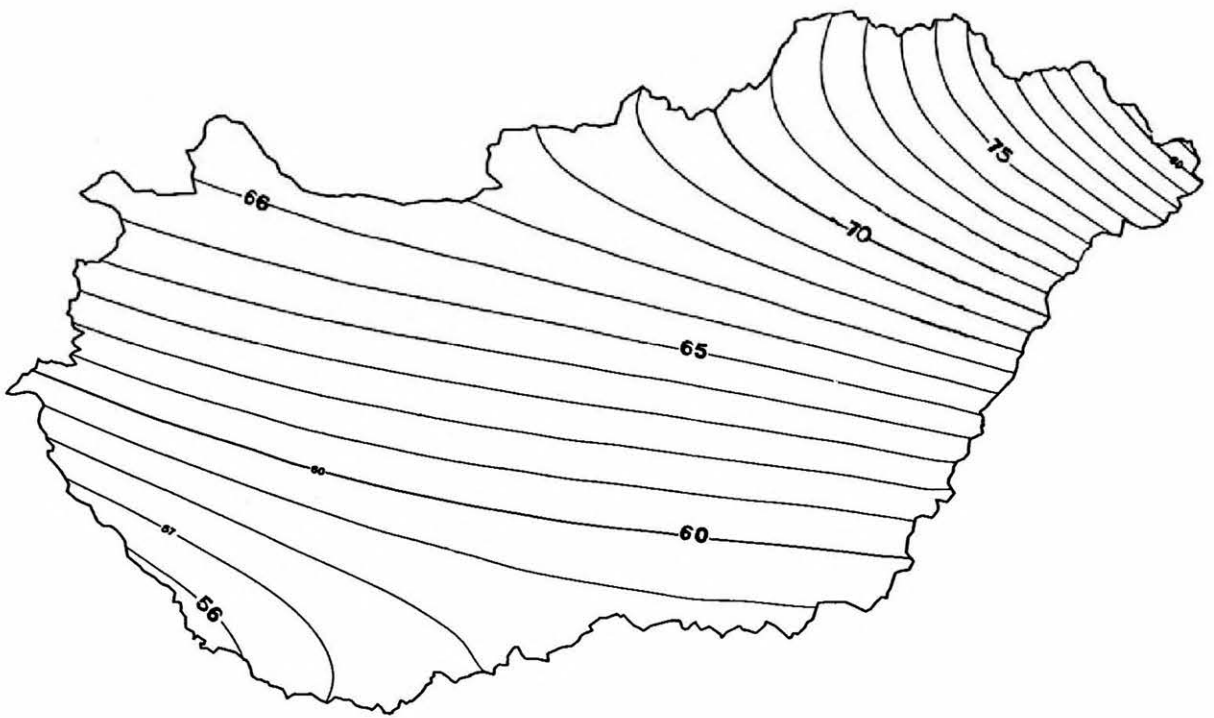
(Az összefüggésbe  $\Delta \varphi$  és  $\Delta \lambda$  tized fokban helyettesítendő, az eredmény pedig 0,01 mGal egységben adódik).

A (9) egyenlettel kiszámítottuk az eltéréseket és ezek alapján ábráztuk az eltérések területi eloszlását (2. ábra). Végül a maradék eltéréseket ábráztuk a függvény alkalmazása után (3. ábra).

A (9) függvény használhatóságát bizonyítja, hogy „eltűnt” a különbségek szabályossága, a maradék eltérések csupán az ország ÉK-i határvidékén érik el a 0,03 mGal értéket. A transzformációs egyenletnek emellett, hogy számos vizsgálat elvégzéséhez nyújt segítséget, nagy gyakorlati jelentősége is van, mert lehetővé tette az MGH-50 rendszerben korábban mért mintegy 380 000 magyarországi graviméteres pont nehézségi gyorsulási értékének átszámítását az új rendszerbe.

Megjegyzések a transzformációs függvénnyel kapcsolatban:

- 1) A felületillesztéssel végzett kapcsolatteremtés minősége erősen függ a mindkét rendszerben mért ún. „illesztő pontok” számától és azok területi elrendeződésétől. A 3. ábra tanúsága szerint az alkalmazott eljárás eredménye esetünkben jónak mondható.



2. ábra. Az eltérések területi eloszlása a függvény alapján ( $\mu\text{Gal}$ -ban)

Fig. 2. Areal distribution of the difference calculated from the approximation function in  $\mu\text{Gal}$



3. ábra. Maradék eltérések (izovonalak  $0,01\text{mGal}$ -ban)

Fig. 3. Areal distribution of the residual (isolines in  $0.01\text{ mGal}$ )

2) Az MGH-50 hálózati méréseit — és a későbbiekben a terepi méréseket is — a Heiland graviméterrel egy kb. 70 cm fix magasságú állványon végezték és a mérések feldolgozásánál nem alkalmaztak műszermagassági javítást.

Ez azt jelenti, hogy az általános gyakorlattal ellentétben az így meghatározott pontok  $g$  értékei nem a talajszintre (ill. az állandósított pontjelre), hanem egy 70 cm-rel e fölötti fiktív pontra vonatkoznak! A transz-

formációs függvény előállításánál erre nem voltunk tekintettel. Ez azt jelenti, hogy az *MGH-50* pontkatalógusában szereplő pontok  $g$  értékei mintegy  $0,22$  mGal (!) értékkel alacsonyabbak az adott pont talajszintre vonatkozó tényleges  $g$  értékeknél. — azoknál, amelyeket a műszermagassági javítás figyelembe vételével kaptunk volna a vertikális gradiens (VG) normálértékével ( $-0,3086$  mGal/m) számítva. Későbbi kutatások bizonyossága alapján [CSAPÓ 2001] a VG értéke Magyarországon akár 20%-kal is eltérhet ettől a normálértéktől, ami a  $\Delta g$  mérések eredményében maximum  $0,01$  mGal hatást eredményezhet — a magassági javítás figyelembevételének módjától függően. Ugyancsak nem alkalmaztak műszermagassági javítást a későbbiekben beszerzett *Sharpe*, ill. *Worden* graviméterekkel végzett „országos áttekintő graviméteres mérések” során sem egészen a '70-es elejéig. Miután ezeket a terepi méréseket változtatható magasságú műszerállványon (vagy anélkül) végezték, az egyes pontok számított  $g$  értékei között változó nagyságú véletlen eltérések adódtak — még egy mérési sorozaton belül is. Ily módon ezen pontok tényleges  $g$  értékei is nagyobbak az országos adatbázisban szereplő értékeknél.

### A jelenlegi, harmadik hazai országos gravimetriai alaphálózat (*MGH-2000*)

A jelenleg aktuális országos gravimetriai alaphálózat folyamatos fejlesztés eredménye. Az 1990-es rendszerváltozás után feloldották a gravimetriai adatokra vonatkozó „szigorúan titkos” minősítést, aminek következtében mód nyílt arra, hogy részt vegyünk olyan nemzetközi együttműködésben végzett gravimetriai programokban, amelyek lehetővé tették, hogy alaphálózatunkat összekapcsoljuk az 1993-ban létesített „Egységes Európai Gravimetriai Hálózat” (*UEGN*). E munka keretében 1993–2004 között számos kiegészítő relatív mérést végeztünk *LCR* gravimétereinkkel (elsősorban az addig már 15-re szaporodott abszolút állomásunk és többi alaphálózati pontunk között) és folyamatosan pótoltuk az idők folyamán elpusztult hálózati pontokat és néhány új pontot is létesítettünk. Az alaphálózatból célszerűen kiválasztott mintegy 40 pontból álló hálózattal csatlakoztunk az *UEGN02* hálózathoz. Ez a kisebb hálózat képezi az *UEGN* magyarországi szakaszát [CSAPÓ, VÖLGYESI 2002].

### Az *MGH-2000* vonatkoztatási rendszere

Az *MGH-2000* kiegyenlítését 2005-ben hajtottuk végre. A hálózat kiegyenlítését az *MGH-80* hálózat ismertetésénél leírt módon végeztük. Tekintettel arra, hogy a 15 abszolút állomáson — telepítésük és első mérések óta — egy, vagy több ismétlődő  $g$  meghatározást is végeztek különböző gyártmányú abszolút graviméterrel (*GABL*, *JILA-g*, *AXIS*), a kötött hálózat szerint végzett kiegyenlítésnél kényszerértékeknek az abszolút állomások legutolsó mérési eredményét fogadtuk el (az ismétlődő mérések célja egyébként a nehézségi erőtér magyarországi része időbeli változásainak tanulmányozása). A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája  $\pm 0,014$  mGal. A hálózat vonatkoztatási rendszere az abszolút rendszer, ami az abszolút módszerrel meghatározott

nehézségi gyorsulási értékeken keresztül realizálódik. Eből következik, hogy a korábbi referencia-rendszerek „kiinduló értékei” elvesztették jelentőségüket, mert az abszolút állomások mindegyikének  $g$  értéke — függetlenül azok földrajzi helyétől — kiinduló értéknek tekinthető.

2005-ben személyesen is részt vettünk az *UEGN02* kiegyenlítésében (2005 októbere, München), amelynek eredményéről részletes ismertető található a szakirodalomban [BOEDECKER 2007]. Ez a kiegyenlítés ún. „szabad hálózatos” kiegyenlítés volt, amelynél a többször mért abszolút állomások valamennyi értékét figyelembe vettük. Elvégeztük a két hálózati kiegyenlítésben szereplő közös hazai pontokra (az *UEGN02* magyarországi hálózatrészére vonatkozóan) a kétféle kiegyenlítésből nyert  $g$  értékek összehasonlítását: az egyes pontoknak a kétféle kiegyenlítésből származó értékei között csupán maximum  $0,01$ – $0,02$  mGal eltérések adódtak.

## HIVATKOZÁSOK

- BOEDECKER G. 2007: United European Gravity Network (*UEGN02*) Final Report. Publications of the committee for international geodesy of the Bavarian Academy of Sciences and Humanities, Astronomic geodetic works 63, München
- CSAPÓ G. 2001: A nehézségi erő vertikális gradiensének (VG) mérése és szerepe nagy pontosságú graviméteres méréseknél. *Mérésügyi Közlemények* 3, 67–72
- CSAPÓ G. 2005: Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet geodéziai vonatkozású gravitációs kutatásai napjainkig. *Magyar Geofizika* 46, 2, 67–77
- CSAPÓ G., SÁRHIDAI A. 1990a: Magyarország új gravimetriai alaphálózata (*MGH-80*). *Geodézia és Kartográfia* 42, 2, 110–116
- CSAPÓ G., SÁRHIDAI A. 1990b: Magyarország új gravimetriai alaphálózatának (*MGH-80*) kiegyenlítése. *Geodézia és Kartográfia* 42, 3, 181–190
- CSAPÓ G., VÖLGYESI L. 2002: Hungary's new gravity base network (*MGH-2000*) and its connection to the European Unified Gravity Net. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 125, p.72–77
- FACSINAY L. 1942: A dunántúli relatív ingaállomásokon mért nehézségi anomáliák újabb meghatározása graviméterrel. (Doktori értekezés), Pécs. (ELGI könyvtárban)
- FACSINAY L. 1948: Isostatic Anomalies of Transdanubia (Hungary) according to the gravity meter measurements. *Geofisica Pura et Applicata* XIII, 1–2, 28–42, Milano
- FACSINAY L., SZILÁRD J. 1956: A magyar országos gravitációs alaphálózat. *Geofizikai Közlemények* V, 2, 3–49
- GRUBER L. 1886: A földnehézség meghatározása Budapesten 1885-ben. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 4, 80–83
- KOMÁROMY I. 1952: Jelentés az országos II. rendű gravitációs bázishálózat 1951. évben végzett méréseiről (az MBFH Adattárában)
- MORELLI C. 1974: The International Gravity Standardization Net 1971 (I.G.S.N.71). Association Internationale de Geodesie, publication speciale 4, p. 18, Paris
- OLTAY K. 1933: A Magyar Geodéziai Intézet működése 1930–1932 között (francia és magyar nyelven). *Geodéziai Közöny* 10, 1–16
- SZILÁRD J. 1980: Sterneck érdemei a nehézségi erő mérése terén. *Geodézia és Kartográfia* 2, 105–110

# Termikus földköpeny-konvekció kétdimenziós numerikus modellezése különböző geometriák esetén<sup>1</sup>

HEREIN MÁTYÁS<sup>2,\*</sup>, GALSA ATTILA<sup>2</sup>, LENKEY LÁSZLÓ<sup>3</sup>, SÜLE BÁLINT<sup>4</sup>

A földköpenyben zajló termikus konvekció megértésének egyik leghatásosabb eszköze a numerikus modellezés. A termikus konvekciót leíró parciális differenciálegyenlet-rendszer megoldására a Boussinesq-közelítést alkalmaztuk. Az egyenletek numerikus megoldásához végelelemes módszert használtunk, melynek segítségével könnyen — és hazai viszonylatban először — modelleztünk termikus köpenykonvekciót nem derékszögű modell-tartományon. A derékszögű modelltartományon kapott eredmények nagyon pontos egyezést mutattak az összehasonlító tanulmányok eredményeivel [BLANKENBACH et al. 1989].

A szimulációkat kétdimenziós derékszögű, henger, valamint a valós köpenygeometriát vizuálisan jól közelítő hengergyűrű modelltartományon végeztük. A Rayleigh-szám ( $Ra$ )  $10^4$  és  $10^7$  között változott. A geometriától függetlenül bizonyult a derékszögű modellgeometria feltételezésével a határréteg elméletből levezetett összefüggés, miszerint a felszíni hőáram  $Ra$  közelítőleg  $1/3$ -ik, az átlagnégyzetes sebesség  $Ra$  közelítőleg  $2/3$ -ik hatványával nő. Természetesen adott  $Ra$  mellett a konkrét hőáram, átlagsebesség és átlagos cellahőmérséklet értékek a geometriától függenek: a legnagyobb értékek derékszögű geometria esetén tapasztalhatók. Adott sebesség mellett a legtöbb hőt a henger geometriájú áramlás képes a felszínre szállítani. Az átlagos dimenziótlan cellahőmérséklet a szimmetrikus geometriájú derékszögű modelltartomány esetén  $0,5$ -nek adódott, míg henger és hengergyűrű modellgeometria esetén ennél kisebb. A hidegebb cella az áramlások — geometria által meghatározott — aszimmetriájából következik. Henger geometria esetén a központi felszálló meleg áramlás felülete kisebb, mint a palást menti hideg leáramlás felülete, hengergyűrű esetén pedig a külső, hűtött felület nagyobb a belső, fűtött felületnél.

M. HEREIN, A. GALSA, L. LENKEY, B. SÜLE: The effect of different 2D geometries on the numerical models of thermal convection in the Earth's mantle

A major tool for understanding thermal convection in the Earth's mantle is numerical modelling. The Boussinesq approximation has been used to formulate the partial differential equation system of the thermal convection. The equations were solved by a finite element method. The flexibility of the method allowed modelling of the thermal convection not only in rectangular domain, but in other geometries, too. The results obtained in rectangular coordinate system were compared with the benchmark study of BLANKENBACH et al. [1989] and the agreement was within 1% error.

The simulations have been carried out in two dimensional rectangular, cylindrical, and in a "mantle-like" cylindrical-shell domain. The Rayleigh number ( $Ra$ ) varied in the range of  $10^4$ – $10^7$ . It was found that relationships between surface heat flow ( $Nu$ ) and  $Ra$  ( $Nu \sim Ra^{1/3}$ ), and root-mean-square velocity ( $v_{rms}$ ) and  $Ra$  ( $v_{rms} \sim Ra^{2/3}$ ), originally derived from the thermal boundary layer theory for 2D rectangular domain, are valid in the other studied geometries, too. Obviously, for a given Rayleigh number,  $Nu$ ,  $v_{rms}$  and the mean temperature of the convection cell depend on the geometry: the highest values were obtained in case of rectangular model domain. The significance of the cylindrical geometry is that for a given rms velocity the surface heat flow is the highest. In that sense the most effective heat transport occurs in cylindrical shape convection systems. The dimensionless mean cell temperature was  $0.5$  in case of symmetric rectangular domain, and it was lower in cylindrical and cylindrical shell domains. The lower mean cell temperature derives from the asymmetry of the flow regimes determined by these geometries. In case of cylindrical convection the surface of the hot upwelling plume in the centre is smaller than the surface of the cold downwelling flow at the rim of the cylinder. In case of cylindrical-shell geometry the outer cold surface of the domain is larger than the inner heated surface resulting in low cell temperature.

## 1. Bevezetés

A termikus földköpeny-konvekció numerikus modellezésében ma is előszeretettel használnak kétdimenziós modelltartományt egyes jól körülhatárolható problémák szisz-

tematikus vizsgálatára [pl. ČIŽKOVÁ, MATYSKA 2004; MITTELSTAEDT, TACKLEY 2006; BRUNET, YUEN 2000]. Ennek oka a jelentősen redukált számítási igény, valamint a fizikai jelenségek egyszerűbb nyomon követhetősége. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a háromdimenziós jelenségek kétdimenziósra történő korlátozása az áramlás egészét befolyásolja, ami megnyilvánul az áramlás globális jellemzésére használt átlagparaméterek (hőáram, átlagos sebesség, átlaghőmérséklet) viselkedésében.

A jelen kutatás fő célja annak vizsgálata, hogyan befolyásolja a nagy viszkozitású, földköpenyszerű folyadékok termikus konvekciójának legfontosabb paramétereit a kétdimenziós modellgeometria megválasztása. Mivel először

<sup>1</sup> Beérkezett: 2008. október 13-án

<sup>2</sup> ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Geofizika Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

\* e-mail: hereinm@gmail.com

<sup>3</sup> MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutató-csoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

<sup>4</sup> MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet Szeizmológiai Főosztály, H-1112 Budapest, Meredek u. 18.



használtunk végeeselemes módszert a hidrodinamikai folyamatok numerikus modellezésére, hangsúlyt fektettünk az algoritmus tesztelésére is. A végeeselemes módszer rugalmassága lehetővé tette számunkra, hogy a kétdimenziós numerikus számításokat derékszögű, henger és hengergyűrű modelltartományon is elvégezzük. A szimuláció során az áramlási rendszer átlagos paramétereit számítottuk, ezek a felszíni hőáram, az átlagnégyzetes sebesség, valamint a tartomány horizontálisan átlagolt hőmérséklete. Az alkalmazott numerikus módszer bemutatását követően részben ezen eredmények összefoglalása, értelmezése található, különös tekintettel az eltérő geometriai modell-tartományokban megfigyelt különbségekre.

## 2. A numerikus módszer

### 2.1. A Boussinesq-közelítés

A termikus földköpeny-konvekció jelenségét leíró differenciálegyenlet-rendszer a tömegmegmaradást kifejező kontinuitási egyenlet (1), az impulzusmegmaradást leíró Navier–Stokes egyenlet (2), amely Newton második törvénye folyadékokra felírva, valamint az energiamegmaradást kifejező hőtranszportegyenlet (3), derékszögű koordináta-rendszerben [CHANDRASEKHAR 1961]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{u}) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \rho \mathbf{g} - \nabla p + \eta \Delta \mathbf{u} + (\eta + \eta') \nabla(\nabla \mathbf{u}), \quad (2)$$

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{u} \nabla) T \right) = K \Delta T. \quad (3)$$

Az (1)-ben  $\mathbf{u}=(u,v,w)$  az áramlási sebességek vektora, míg  $\rho$  a folyadék sűrűsége. A (2)-ben  $p$  a nyomás,  $\eta$  és  $\eta'$  a belső súrlódásra jellemző anyagi együtthatók (dinamikai viszkozitás),  $\mathbf{g}$  a nehézségi gyorsulás. A (3)-ban  $c_p$  a fajhő,  $T$  a hőmérséklet, míg  $K$  a hővezető képesség.

Mivel a termikus konvekció folyamatát leíró (1)–(3) egyenletek egy olyan komplex csatolt parciális differenciálegyenlet-rendszert alkotnak, hogy teljes analitikus megoldásuk nem lehetséges, ezért nélkülözhetetlen az egyenletek közelítése még numerikus modellezés esetén is [GALSA et al. 2008]. A termikus konvekció esetében a legáltalánosabban használt közelítés a Boussinesq-közelítés, mely az izotermikus áramlások elméletében használt inkompresszibilis közelítés kiterjesztése nem izotermikus esetre. Ennek lényege, hogy az (1)–(3) egyenletekben a sűrűség változásait mindenhol elhanyagolhatónak tekintjük, kivéve (2)-ben a  $\rho \mathbf{g}$  tömegerő tagban, ahol a sűrűség hőmérsékletfüggését lineáris hőtágulásként vesszük figyelembe:

$$\rho = \rho_0 [1 - \alpha(T - T_0)], \quad (4)$$

hiszen ez a sűrűségváltozás a konvekció hajtóereje. Itt  $\rho_0$  a sűrűség értéke  $T_0$  referencia-hőmérsékleten, és  $\alpha$  a hőtágulási együttható.

A továbbiakban feltételezzük, hogy az összes anyagi paraméter ( $\alpha$ ,  $\eta$ ,  $K$ ,  $c_p$ ), valamint a nehézségi gyorsulás állandó. A fentiek alapján a termikus földköpeny-konvekció alapegyenletei a következőre módosulnak:

$$\nabla \mathbf{u} = 0, \quad (5)$$

$$\rho_0 \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \rho_0 [1 - \alpha(T - T_0)] \mathbf{g} - \nabla p + \eta \Delta \mathbf{u}, \quad (6)$$

$$\rho_0 c_p \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{u} \nabla) T \right] = K \Delta T. \quad (7)$$

A numerikus modellezés során az (5)–(7) egyenleteket oldottuk meg végeeselemes módszerrel a Comsol Multiphysics programcsomag felhasználásával [ZIMMERMAN 2006]. A kezdeti és határfeltételeket az eltérő geometriájú modellek esetén a 2.3. részben közöljük.

### 2.2. Dimenziótlan mennyiségek

A hidrodinamikában megszokott eljárás, hogy az egyenleteket dimenziótlan alakban írják föl, mivel ekkor az azonos geometriával, határfeltételekkel és dimenziótlan számokkal jellemzett rendszerek ugyanolyan áramlást írnak le. Így az adott áramlásra jellemző dimenziótlan számok segítségével könnyebb az áramlások leírása, összehasonlítása és megértése.

A (6) egyenlet dimenziótlantásával kapható meg a Boussinesq-közelítésnek a termikus konvekciót jellemző egyetlen, független dimenziótlan paramétere, a Rayleigh-szám [GALSA et al. 2008]:

$$Ra = \frac{\rho_0 \cdot \alpha \cdot g \cdot \Delta T \cdot d^3}{\kappa \cdot \eta} = \frac{\text{felhajtóerő}}{\text{viszkózus erő}}, \quad (8)$$

ahol  $d$  a köpeny vastagsága,  $\Delta T$  a köpeny alja és a teteje közötti hőmérséklet-különbség,  $\kappa$  pedig a hődiffuzivitás ( $\kappa = \frac{K}{\rho_0 c_p}$ ).

A Rayleigh-szám szoros kapcsolatban áll a konvekció dinamikájával,  $Ra$  növekedésével az áramlást előidéző felhajtóerő erősödik az öt fékező viszkózus súrlódással szemben, így az áramlás felgyorsul, a hőtranszport fokozódik, a felszíni hőáram megemelkedik. Fontos hangsúlyozni, hogy  $Ra$  földköpenyre vonatkozó értéke nem pontosan ismert [GALSA et al. 2008]. Ennek fő oka, hogy a Rayleigh-számot leginkább befolyásoló viszkozitás nem állandó, hanem a nyomásnak és a hőmérsékletnek a függvénye. A növekvő nyomás következtében a viszkozitás a köpeny tetejétől az aljáig másfél nagyságrenddel nő [ČADEK, VAN DEN BERG 1998], ami az adott mélységben érvényes viszkozitással definiált ún. lokális  $Ra$  ugyanilyen mértékű csökkenését okozza. Nyomás- és hőmérsékletfüggő viszkozitás esetén a Rayleigh-számot egy referencia viszkozitással definiálják, ami az *I. táblázatban* is közölt felsőköpeny viszkozitás [SCHUBERT, TURCOTTE, OLSON 2001]. A hőmérséklet-különbség a köpeny alja és a földfelszín között néhány ezer Kelvin [FOWLER 1990], tehát a Rayleigh-szám  $10^7$  nagyságrendű. Mint említettük, a lokális  $Ra$  a mélységgel majdnem két nagyságrendet csökken, ezért a modellezés során az állandó viszkozitással definiált Rayleigh-számot  $10^4$ – $10^7$  tartományban változtattuk.

Fizikai mennyiségek		
Jelölés	Érték	Megnevezés
$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	4500	sűrűség
$\eta$ [Pa·s]	2·10 <sup>21</sup>	viszkózitás
$c_p$ [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	1200	fajhő
$K$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	5,4	hővezető-képesség
$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	2·10 <sup>-5</sup>	hőtágulási együttható
$g$ [m·s <sup>-2</sup> ]	9,92	nehézségi gyorsulás
$d$ [m]	2,9·10 <sup>6</sup>	köpeny vastagsága

1. táblázat. A numerikus modell fizikai paramétereinek értékei

Table 1. Values of the physical parameters in the numerical models

A konvekciót jellemző további fontos dimenziótlan mennyiségek a Nusselt-szám ( $Nu$ ), az átlagnégyzetes sebesség ( $v_{rms}$ ), valamint az átlagos hőmérséklet ( $T_{av}$ ). Derékszögű koordináta-rendszerben

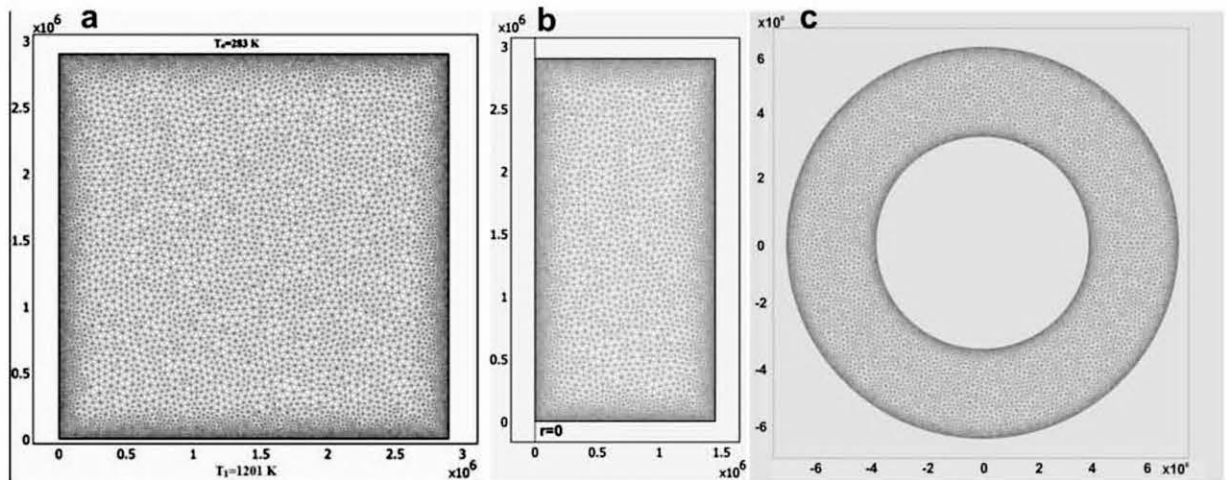
$$Nu = \frac{q_T}{q_c} = \frac{K \int_0^d \frac{\partial T(x, y=d)}{\partial y} dx}{K \int_0^d \frac{\Delta T}{d} dx} = \frac{1}{\Delta T} \int_0^d \frac{\partial T(x, y=d)}{\partial y} dx. \quad (9)$$

A Nusselt-szám a (9) definíció szerint a teljes felszíni átlagos hőáram ( $q_T$ ), és a csak hővezetés (konduktív) útján fellépő hőáram ( $q_c$ ) arányát fejezi ki. Míg

$$v_{rms} = \frac{d}{\kappa} \left\{ \frac{1}{d^2} \int_0^d \int_0^d (u^2 + v^2) dx dy \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

a teljes modelltartományra számított „térfogati” négyzetes átlagsebesség (10), addig  $T_{av}$  (11) a modelltartományra számított dimenziótlan „térfogati” átlaghőmérséklet:

$$T_{av} = \frac{1}{\Delta T} \left[ \frac{1}{d^2} \int_0^d \int_0^d T(x, y) dx dy - T_0 \right]. \quad (11)$$



1. ábra. A derékszögű (a), a henger alakú (b), valamint a hengergyűrű (c) modelltartomány végelesemes felbontása. A távolságok méterben értendők. A rétegek vastagsága mindegyik esetben megegyezik a földköpeny vastagságával. Hengergyűrűnél a belső sugár a földmag sugarának felel meg

Fig. 1. The finite element mesh in (a) rectangular, (b) cylindrical and (c) cylindrical-shell domains. The distance is measured in meters. The thickness of the domains is equal to the thickness of the Earth's mantle. The inner radius of the cylindrical-shell domain is equal to the radius of the Earth's core

A modellezések során ezeket a mennyiségeket használtuk a termikus konvekció jellemzésére, természetesen az adott modellgeometriára aktualizálva. Szuperkritikus Rayleigh-számok esetén (amikor az advekció dominál a hőtranszportban), az analitikus egyenletek közelítésén alapuló termikus határréteg elmélet szerint [TURCOTTE, OXBURGH 1967]  $v_{rms} \sim Ra^{2/3}$  és  $Nu \sim Ra^{1/3}$  izotermikus, mechanikailag feszültségmentes határok mellett, kétdimenziós derékszögű modelltartományon.

### 2.3. A numerikus modell

A numerikus szimulációkat kétdimenziós Descartes-, illetve hengerkoordináta-rendszerben végeztük el négyzet alakú, henger, valamint hengergyűrű modelltartományon (1. ábra). A határfeltételek az első két tartomány esetén azonosak voltak. A mechanikai határfeltételek alapján a falak feszültségmentesek és impermeábilisak. A termikus határfeltételek szerint a vertikális határok hőszigeteltek, míg a horizontális határok izotermikusak, az alsón  $T_1$ , a felsőn  $T_0$  ( $T_1 > T_0$ ) a hőmérséklet. Hengergyűrű geometriában az alsó (köpeny-mag határ) és a felső (felszín) határfeltételek megegyeznek az előző modellek horizontális határaitra előírt feltételekkel, azonban oldalsó határ nincs a tartomány geometriája miatt. A hengergyűrű tartományban — a numerikus megoldás stabilizálása végett — egy belső határt helyeztünk el, mely termikusan folytonos, de rajta keresztül nem történik áramlás. A modellek termikus kezdeti feltétele minden esetben a stacionárius konduktív megoldás volt, melyet kismértékben perturbáltunk, hogy meggyorsítsuk az áramlás megindulását.

A modelltartományok végelesemes diszkrétizációját az 1. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy a határok mentén finomabb felbontást alkalmaztunk, mivel a termikus határréteg elmélet szerint superkritikus Rayleigh-számú konvekció esetén a hőmérséklet-változás döntően a határok közelében történik. Az 1.a. ábra a derékszögű modelltartomány

mány véges elemes felbontását mutatja: a tartomány négyzet alakú, vastagsága  $d=2900$  km. Az 1.b. ábra a kétdimenziós, szögfüggetlen (csak  $r$ -től és  $z$ -től függő) henger alakú modelltartományt szemlélteti, melynek szimmetriatengelye az  $r=0$  tengely. A háromdimenziós hengertartomány ezen tengely körül történő körbeforgatással nyerhető. A henger magassága és átmérője 2900 km. A hengergyűrű geometriáját a tartományt (1.c. ábra) a radiális földmodell alapján szerkesztettük, így a köpeny–mag határ sugara 3470 km, míg a gyűrű vastagsága 2900 km. A henger teste a gyűrű síkjára merőlegesen végtelen kiterjedésű.

A numerikus modellben a földköpeny fizikai paramétereit legjobban közelítő értékeket használtuk, amelyeket az 1. táblázat összegez. A modellezést a Rayleigh-szám  $10^4$ – $10^7$  tartományán végeztük el, s értékét a modell alsó és felső határai között előírt hőmérséklet-különbséggel szabályoztuk.  $Ra=10^4$  értéknél a hőmérséklet-különbség  $\Delta T=0,918$  K, míg  $Ra=10^7$  értéknél  $\Delta T=918$  K volt. Eszerint az 1. táblázatban található paraméterértékek mellett a köpeny alja és teteje közötti kevesebb mint 1 K hőmérséklet-különbség ( $Ra=10^4$  esetben) termikus konvekció kialakulásához vezet! Ez a meglepő következtetés csak a modell érvényességi körén belül igaz, ezért nem szabad közvetlenül a földköpenyre vonatkoztatni.

	$Ra$	Jelen dolgozat	BLANKENBACH et al. [1989]	Eltérés [%]
$Nu$	$10^4$	4,88525	4,884409	0,0172
$v_{rms}$		42,864943	42,864947	0
$Nu$	$10^5$	10,567700	10,534095	0,319
$v_{rms}$		193,197400	193,21454	0,0088
$Nu$	$10^6$	22,06157	21,972465	0,4
$v_{rms}$		833,99150	833,98977	0,0002

2. táblázat. Derékszögű modelltartományon számított  $Nu$  és  $v_{rms}$  értékek összehasonlítása az ugyanolyan modell esetén számított referenciáértékekkel

Table 2. Comparison of our results of  $Nu$  and  $v_{rms}$  with the values of the benchmark study of BLANKENBACH et al. [1989] calculated assuming the same model

### 3.2. Derékszögű modelltartomány

A földköpeny geometriája miatt a konvekció leírására a gömbi koordináta-rendszer a legalkalmasabb, a legtöbb numerikus modell mégis derékszögű koordináta-rendszert használ az egyenletek könnyebb kezelhetősége miatt. Másrészt, a konvekcióval kapcsolatos fizikai folyamatok jól vizsgálhatók és értelmezhetők derékszögű modelltartományon is, ezért az ilyen geometria mellett kapott eredmények képezik az alapját a henger- és a hengergyűrű geometriával történő összehasonlításnak.

A Rayleigh–Bénard probléma [BÉNARD 1900] megoldása megadja a kétdimenziós konvekció megindulásához szükséges kritikus Rayleigh-számot Descartes-rendszerben, két horizontálisan végtelen síklemezzel határolt közegben, izotermikus és feszültségmentes határok esetén. A kritikus

Rayleigh-szám értéke  $Ra_{krit} = \frac{27}{4} \cdot \pi^4 \cong 657,5$  [RAYLEIGH 1916], azaz ennél nagyobb  $Ra$  esetén termikus eredetű konvekciós áramlás indul meg.  $Ra=10^5$  esetben a rendszer már szuperkritikus állapotban van. A modellezések során a rendszer állapotát jellemző alapvető paraméterként tekintettük  $Nu$  (9) és a  $v_{rms}$  (10) értékeit. Ezen mennyiségek se-

## 3. A modellezés eredményei

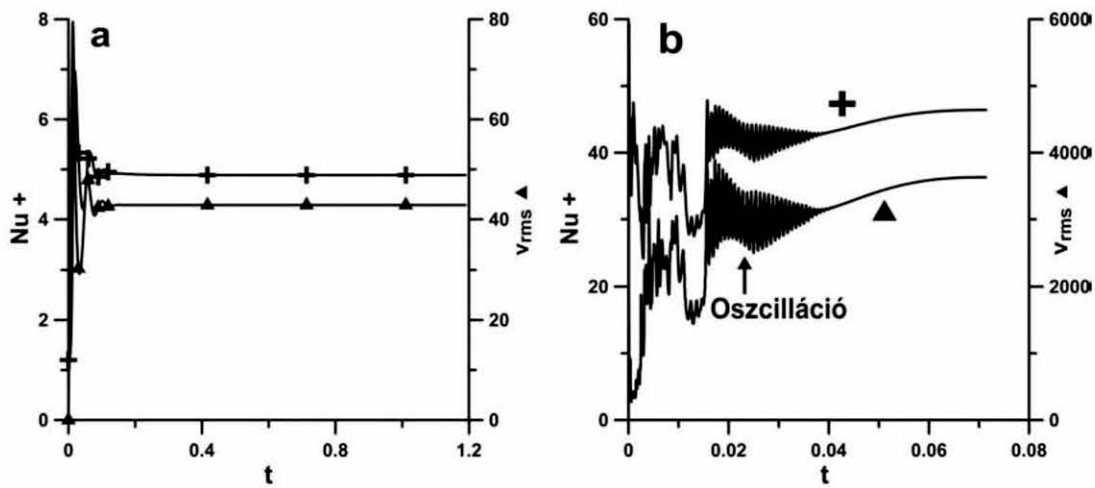
### 3.1. Az eredmények ellenőrzése

A Comsol Multiphysics egy végeelemes módszert használó programcsomag általános parciális differenciálegyenlet-rendszer megoldására. Fontos volt annak ellenőrzése, hogy a program helyesen oldja-e meg a földköpeny termikus konvekcióját leíró (5)–(7) egyenletrendszert. A földköpeny termikus konvekcióját modellező különböző programok eredményeit egymással BLANKENBACH és munkatársai [BLANKENBACH et al. 1989] hasonlították össze, és referenciaértékeket határoztak meg az áramlás néhány jellemzőjére. Az összehasonlításhoz a legegyszerűbb modellt alkalmazták: izotermikus és feszültségmentes síklapokkal határolt homogén közegben, Boussinesq-közelítés esetén kialakuló kétdimenziós termikus konvekciót. Az ugyanilyen feltételek mellett általunk számított Nusselt-számok és átlagnégyzetes sebességértékek összevetését a [BLANKENBACH et al. 1989] által közölt értékekkel a 2. táblázat tartalmazza. A táblázat alapján megállapítható, hogy a végeelemes módszerrel kapott modelleredmények igen jó egyezést mutatnak az alaptanulmány eredményeivel, az eltérés mindenütt 1% alatt marad.

gítségével eldönthető, hogy az áramlás stacionárius, kvázi-stacionárius, vagy nemstacionárius.

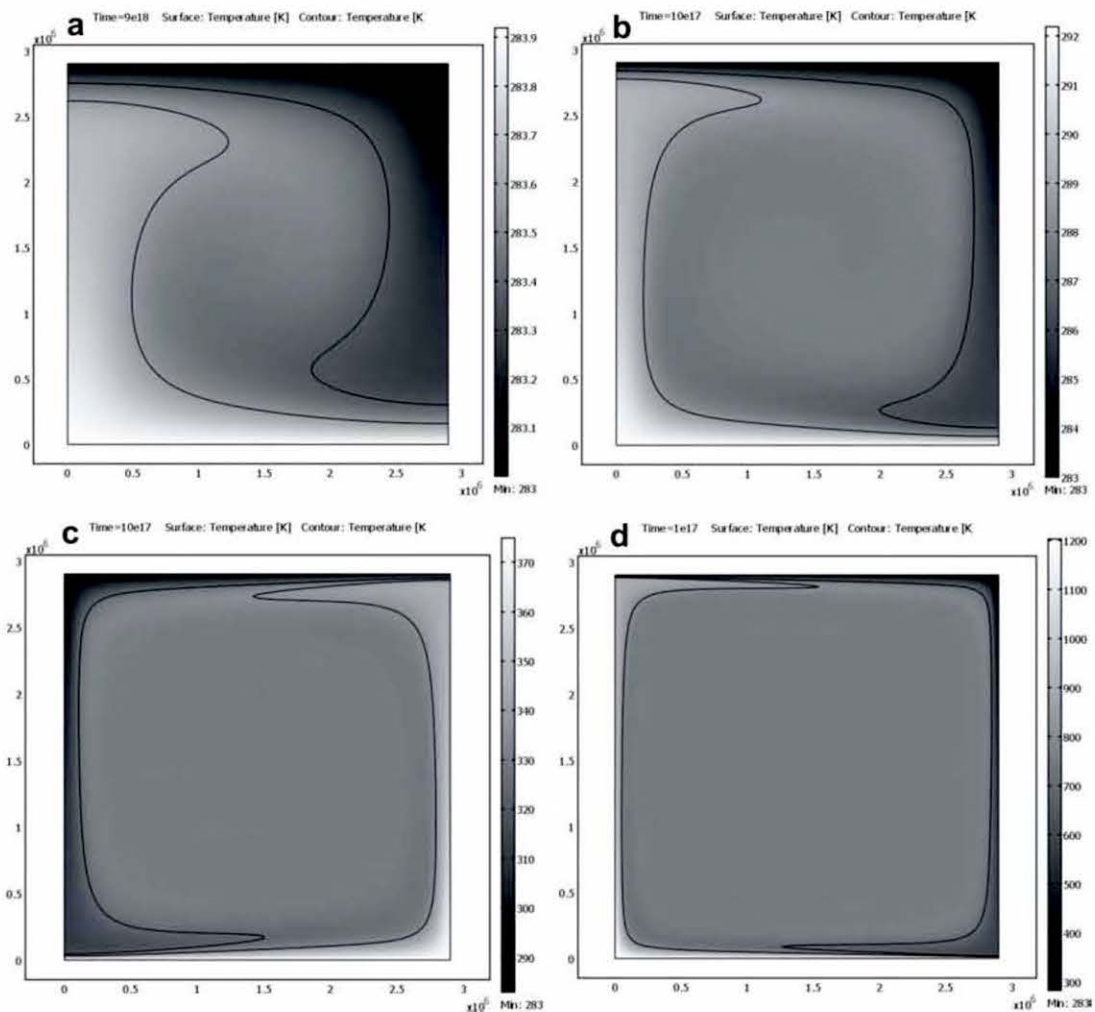
A stacionárius állapot kialakulása látható derékszögű modelltartományon  $Ra=10^4$  esetben a 2.a. ábrán. Egy nem túl nagy „tüllövés” — mely a kezdeti konduktív állapotból a konvektív állapotba való átmenet következménye — után a rendszer stabil, stacionárius állapotba kerül. A 3. ábrán jól látható, hogy az  $Ra=10^4$ – $10^7$  tartományban minden esetben kialakul a konvekció, létrejön egy felszálló meleg és egy leszálló hideg hőoszlop, valamint kialakulnak a horizontális termikus határrejtegek, amelyek a Rayleigh-szám növelésével egyre vékonyabbá válnak. Itt jegyezzük meg, hogy a 3. ábrán egy-egy félcella látható, mert a fel- és leszálló áramlásoknak csak a fele található a cellában. A teljes cella az egyik függőleges oldalra való tükrözéssel kapható meg. A két félcellában az áramlás iránya ellentétes. A továbbiakban a félcellát is cellának fogjuk nevezni az egyszerűség kedvéért.

A 4. ábra a horizontálisan átlagolt hőmérséklet–mélység görbéket mutatja. A 3. és 4. ábrán jól látható, hogy a cella belseje növekvő Rayleigh-számok esetén egyre inkább izotermikussá válik, kialakul egy állandó,  $T=0,5$  hőmérsékletű „cellamag”, és hőmérséklet-változás csak a cella pere-



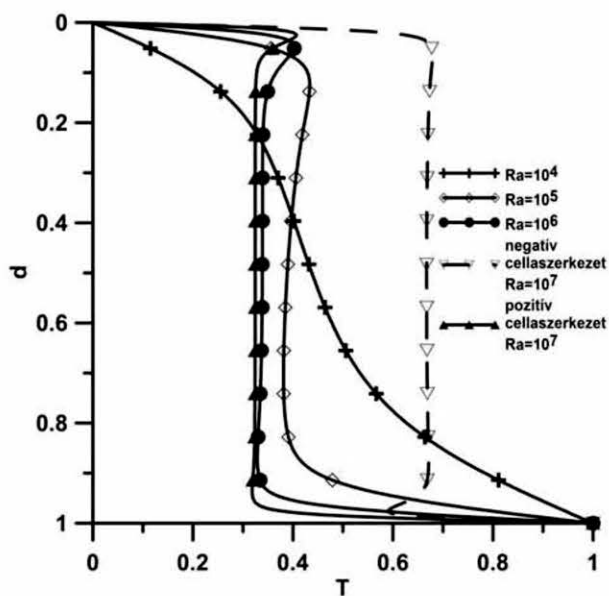
2. ábra. Az átlagos felszíni hőáram (Nusselt-szám,  $Nu$ ) és az átlagnégyzetes sebesség ( $v_{rms}$ ) változása a dimenziótlán idő függvényében, (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^7$ . A kezdeti állapot mindkét esetben a konduktív hőtér volt. Az áramlás végállapota mindkét esetben stacionárius

Fig. 2. The mean surface heat flow (Nusselt-number,  $Nu$ ) and the root mean square velocity ( $v_{rms}$ ) as a function of dimensionless time, (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^7$ . The initial condition was the conductive thermal regime. Both for  $Ra=10^4$  and  $10^7$  the final states are stationary



3. ábra. Stacionárius hőmérsékletterek különböző Rayleigh-számok esetén derékszögű geometriában (világos – meleg, sötét – hideg). A folytonos vonalak egy meleg és egy hideg izotermát jelölnek. (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , (d)  $Ra=10^7$ . A hőmérsékletértékek  $Ra$ -val együtt 10-szeresre nőnek, mert a Rayleigh-számot a réteg alja és teteje közt mérhető hőmérséklet-különbséggel kalibráltuk. A (c) ábrán az áramlás iránya fordított

Fig. 3. Temperature distribution in rectangular model domains in case of stationary convections at different Rayleigh numbers (light colours: hot temperature, dark colours: cold temperature). The continuous lines mark a hot and a cold isotherm. (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , (d)  $Ra=10^7$ . Note the tenfold increase of the temperature scale with the tenfold increase of  $Ra$ , because  $Ra$  was calculated using the temperature difference between the top and bottom boundary. The direction of convection is opposite in Fig. (c)



4. ábra. A horizontálisan átlagolt dimenziótlan hőmérséklet a dimenziótlan mélység függvényében derékszögű modelltartományon különböző Rayleigh-számok mellett. A hőmérséklet-változás az alsó és a felső termikus határrétegekben következik be, míg a cella belsejének hőmérséklete állandó.  $Ra$  növekedésével a határrétegek elvékonyodnak

Fig. 4. Horizontally averaged dimensionless temperature as a function of the dimensionless depth for different Rayleigh numbers in case of rectangular model domain. The temperature changes in the horizontal thermal boundary layers, and the core of the cell has uniform temperature (see also Fig. 3). Higher  $Ra$  results in thinner thermal boundary layers

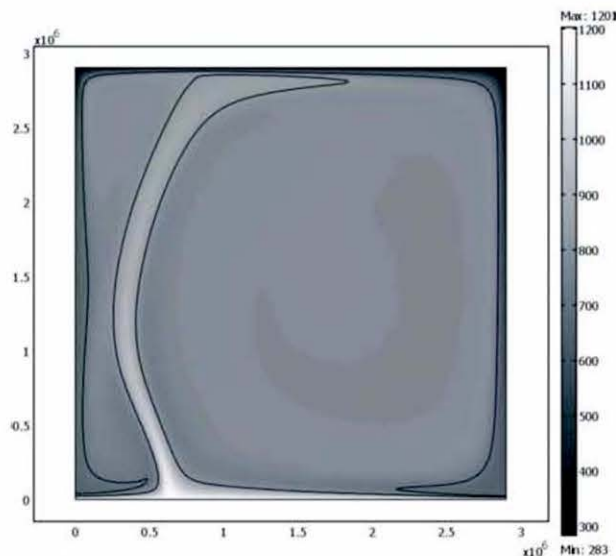
mein, — a horizontális és vertikális határrétegekben — tapasztalható. Ez annak a következménye, hogy a hőtranszport a cellán keresztül advekcióval történik. A vizsgált  $Ra$  számok tartományában az áramlás sebessége jóval nagyobb, mint a „konduktív sebessége” — pontosabban a hődiffúzió sebessége, — ezért a felszálló anyag emelkedés közben alig hűl. A felhozott hőenergia leadása a felső termikus határrétegen keresztül hővezetéssel történik. A leáramlás hasonló módon szállítja a hőt: a lesüllyedt hideg anyag az alsó határrétegekben konduktíval melegszik fel. Az áramlás sebességétől függően az anyag meghatározott ideig tartózkodik az alsó és a felső határon. Ennyi idő áll rendelkezésre, hogy felmelegedjék, illetve lehűljön. Mivel a konduktív (hődiffúzió) sebessége kicsi, csak egy adott vastagságú rész tud felmelegedni, illetve lehűlni, vagyis stacionárius állapotban nem áramlik hő a cella belsejébe, illetve onnan nem áramlik ki. Ezért jönnek létre a horizontális termikus határrétegek, amelyekben a hőmérséklet változik, míg a cella belsejének hőmérséklete állandó lesz. A Rayleigh-szám növekedésével az áramlási sebesség nagyobb lesz, ami a fentiek értelmében a határretek elvékonyodásához vezet.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy az anyag áramlása az egész cellában történik, s nem korlátozódik csak a határretekre, míg a hő transzportja a határretekben zajlik. A hőoszlopban — a vertikális termikus határretekben — tehát a nevének megfelelően valóban a hő transzportja történik, míg az anyag — a nagy viszkozitású folyadékokra jellemzően — egy jóval nagyobb felületen, jelen geometria esetén egy félcellányi területen áramlik felfelé, illetve lefelé.

A cella belsejében nincs hőtranszport, a fel- és leáramló anyag olyan gyorsan halad át a cellán, hogy közben nem történik számottevő hőcsere a hőoszlop és a környezete között, vagyis a hőmérsékletnek a hőoszlopokban és a cella belsejében az adiabatikus hőmérséklet-mélység profil szerint kellene változnia. A Boussinesq-közelítéssel kapott (3), illetve (7) hőtranszport-egyenlet a kompressziós munkavégzést nem veszi figyelembe, ezért alakul ki a cella belsejében állandó hőmérséklet. A kiterjesztett Boussinesq-közelítés alkalmazásával nyert hőtranszport-egyenlet [pl. (10) egyenlet, GALSA et al. 2008] megoldása már adiabatikus hőmérséklet-mélység profilt eredményez a cella belsejében [CSEREPES 2002]. Ugyanakkor a hőtranszportra és a hőmérséklet-eloszlásra vonatkozó fenti megállapítások az izotermikus cellamag kivételével továbbra is érvényben maradnak.

A  $T=0,5$  dimenziótlan hőmérsékletértékre teljes a szimmetria, mert a geometria és a határfeltételek típusai miatt a kialakuló áramlás is szimmetrikus: a horizontális és vertikális áramlások sebessége páronként megegyezik, csak az előjelük különbözik. Érdemes megemlíteni, hogy az  $Ra=10^6$  esetben a stabil stacionárius állapot, a többihez viszonyítva pont ellenkezőleg jön létre, azaz a feláramlás a cella jobb oldalán található. Mivel a rendszer szimmetrikus, ez semmilyen eltérést nem okoz a megfigyelt fizikai mennyiségekben, amelyet igazol a horizontálisan átlagolt hőmérséklet-mélység görbe is (4. ábra).

Érdekes továbbá, hogy  $Ra=10^7$  esetben a Nusselt-szám és az átlagnégyzetes sebesség időben oszcilláló viselkedést mutat, mielőtt beállna a stacionárius állapot (2. b. ábra). Az átlagolt mennyiségekben tükröződő viselkedést a cella belsejében kialakult feláramlás jobbra-balra történő periodikus mozgása idézi elő (5. ábra). Ez a jelenség arra hívja fel a figyelmet, hogy növekvő Rayleigh-számmal csökken a cellák horizontális mérete [GALSA, CSEREPES 2003].



5. ábra. Hőmérséklet-eloszlás pillanatképe  $Ra=10^7$  esetben. A 2.b. ábrán látható  $Nu$  és  $v_{rms}$  oszcillációját a cella közepén periodikusan mozgó hőoszlop okozza

Fig. 5. Snapshot of the temperature field in case of  $Ra=10^7$ . Oscillation of  $Nu$  and  $v_{rms}$  shown in Fig. 2.b. is caused by the periodic movement of the hot plume in the cell

A modellezés során a tartomány horizontális méretét nem változtattuk, hogy az áramlások könnyebben összehasonlíthatók legyenek. Azonban  $Ra=10^7$  esetében a tartomány horizontális mérete egy fél cellának sok, egy teljes cellának kevés. Kezdetben kialakult a teljes cella, belsejében a „hajladozó” feláramlással és az oldalfalakon található két fél leáramlással (5. ábra). Azonban ez az állapot nem volt stabil, és egy átmeneti szakasz után itt is kialakult a félcellás szerkezet. A modelltartomány méretének megválasztásával kényszerítettük a konvekcióna a félcellás szerkezetet, ami átmenetileg periodikusan változó kvázistacionárius áramlást eredményezett. Keskenyebb modelltartományon a stacionárius áramlás gyorsabban alakul ki [SÜLE 2005], vagy fordítva, szélesebb tartományon már kisebb  $Ra$  esetében is kvázistacionárius áramlás zajlik [GALSA, CSEREPES 2000]. A modelltartomány méretének megválasztása befolyásolja a megoldást, tehát a tartományt — lehetőség szerint — a vizsgálni kívánt jelenségek megfelelően kell megválasztani [SÜLE 2005].

### 3.3. Henger geometria

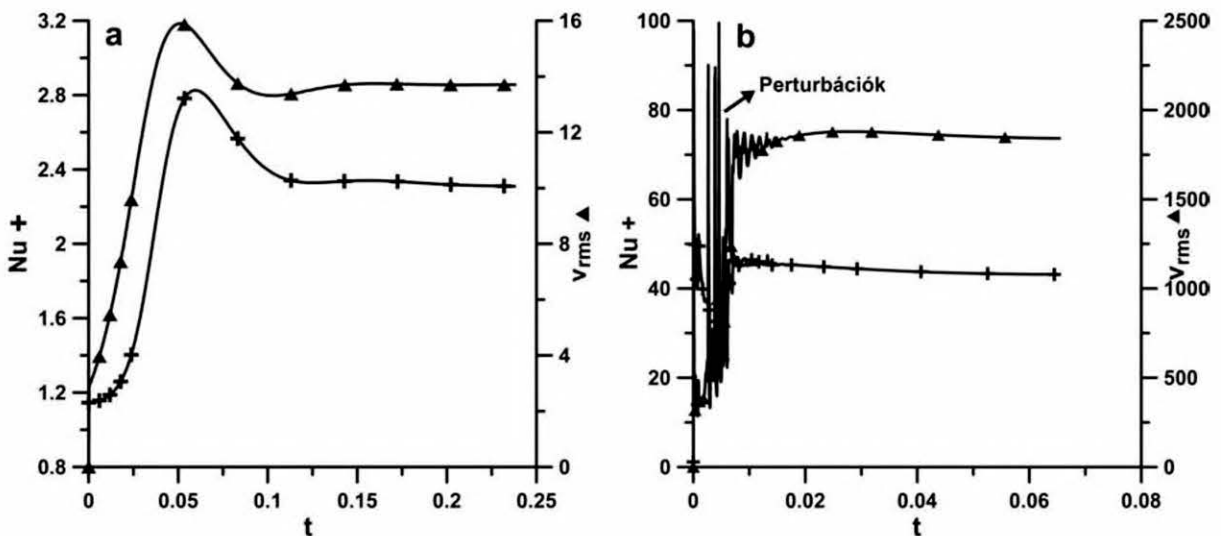
A henger geometriában történt futtatások során mindent elértük a stacionárius állapotot. A 6. ábra a felszíni hőáram és az átlagos sebesség időbeli változását mutatja tengelyszimmetrikus, henger alakú modelltartományon egy kis, valamint egy nagy Rayleigh-számú esetben.  $Ra$  növelése — hasonlóan a derékszögű modelltartományhoz — elvékonyítja mind a horizontális, mind a vertikális termikus határ rétegeket (7. ábra). A feláramlások a cella belsejében (az ábra bal oldalán) tengelyszimmetrikusan találhatók, míg a hideg leáramlások a henger külső részén. Ennek megfelelően a feláramlások geometriája oszlopszerű, míg a leáramlásoké lepelszerű.

Fontos különbség a derékszögű modelltartományhoz képest, hogy a legkisebb Rayleigh-számnál nem alakulnak ki termikus határ rétegek, a megjelenő áramlások mindössze a konduktív hőmérsékleti állapot torzulását eredményezik: a tengelyben kicsit melegebb, a palástonál kissé hidegebb van. Egyértelmű, hogy ebben az esetben a hővezetés összemérhető az advékcióval. A jelenség magyarázata, hogy

henger geometriában a kritikus Rayleigh-szám nagyobb, mint a derékszögű tartományon, így  $Ra=10^4$  esetben az áramlás korán sem tekinthető szuperkritikusnak.

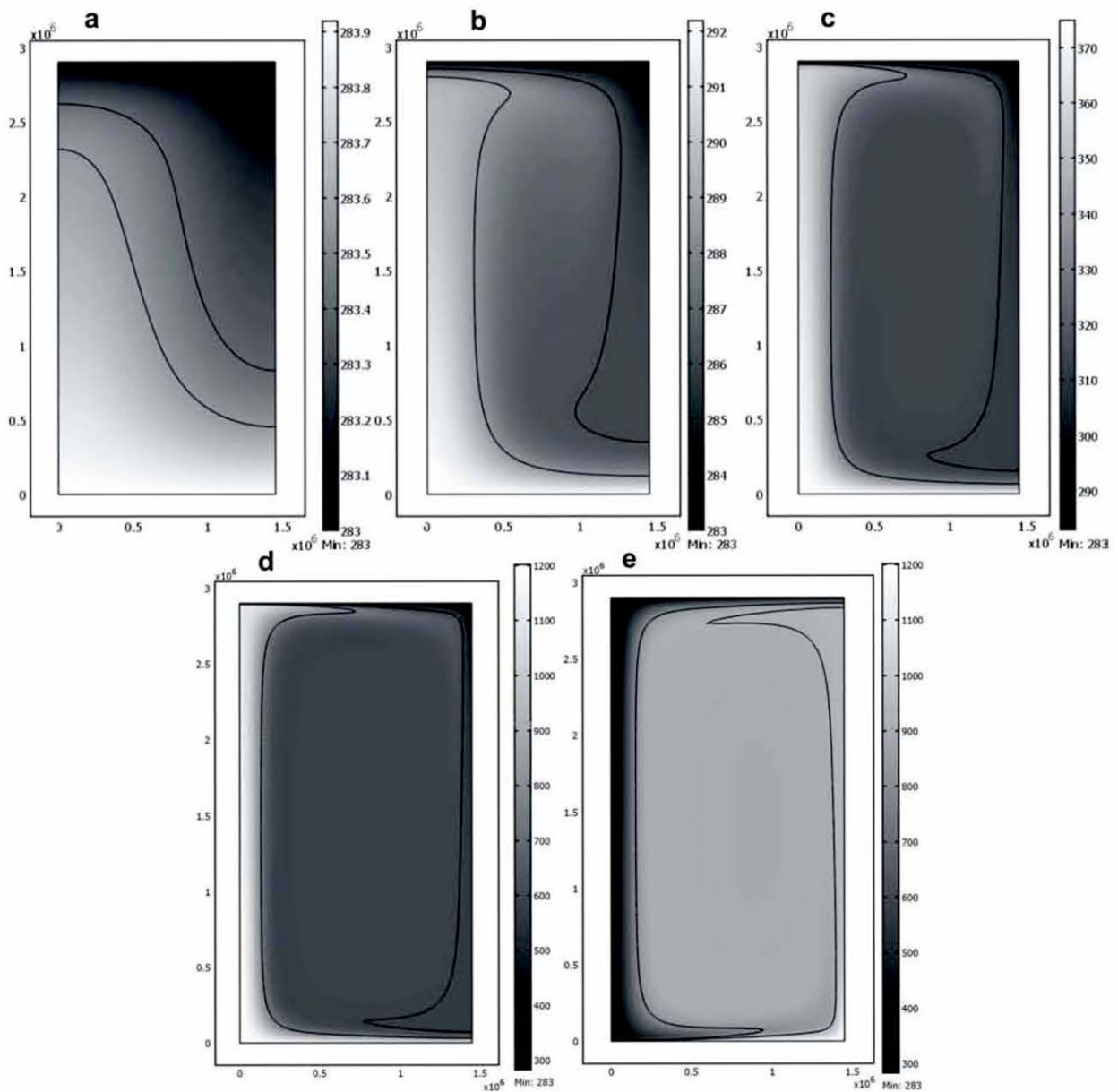
A horizontálisan átlagolt hőmérséklet-eloszlás (8. ábra) jól láthatóan alátámasztja a fentebb elmondottakat.  $Ra=10^4$  értéknél nincs egyértelműen kijelölhető horizontális termikus határ réteg, és nem található izotermikus cellamag sem. Nagyobb  $Ra$  értékek esetén a derékszögű modelltartománytól eltérően a cellamag dimenziótlán hőmérséklete 0,5 alatt marad, s a Rayleigh-szám növelésével csökken. Ennek oka, hogy az áramlás geometriája nem szimmetrikus: a hengerpalást mentén leszálló hideg ág felülete jóval nagyobb, mint a cella közepén felszálló meleg ág felülete. Mivel a hűtött felület nagyobb, mint a fűtött felület, a cella átlaghőmérséklete csökken. A Rayleigh-szám növekedésével a vertikális határ rétegek elvékonyodnak; a cella közepén található hőoszlop felülete csökken, a hideg határ réteg pedig jobban rásimul a hengerpalástra, így a hűtött felület nő, tehát a cella átlaghőmérséklete tovább csökken.

Az elmondottakat alátámasztja, hogy a legnagyobb Rayleigh-szám mellett egyaránt stacionárius megoldást kapunk tengely menti felemelkedésre és palást menti süllyedésre, valamint fordított esetben tengely menti le- és palást menti feláramlásra (7.e ábra). Az előbbi szerkezetet pozitív áramlási szerkezetnek hívjuk, mivel valószínűleg hasonló áramlási kép létezik a földköpenyben, utóbbit pedig negatívnak [CSEREPES 1992]. Az áramlás kialakulásának korai fázisában perturbáltuk a hőmérsékletet (6.b. ábra), melynek hatására egyik vagy másik cellaszerkezet kialakulása elősegíthető, avagy gátolható. Számításaink alapján megállapítható, hogy mindkét megoldás egyformán stabil, a felszíni hőáramot, valamint az átlagos sebességet tekintve nincs különbség az eltérő cellaszerkezet között. Ugyanakkor az áramlás iránya erőteljesen befolyásolja a konvekciós cella átlagos hőmérsékletét. Ha a paláston hideg leáramlás zajlik, a cellát hűtő felület dominál az átlagos hőmérséklet kialakításában, ha azonban a paláston meleg feláramlás alakul ki, az felfűti a modelltartományt (8. ábra).



6. ábra. A Nusselt-szám és az átlagnégyzetes sebesség időbeli változása henger geometriában zajló áramlás során, (a)  $Ra=10^4$  és (b)  $Ra=10^7$

Fig. 6.  $Nu$  and  $v_{rms}$  as a function of dimensionless time in case of cylindrical geometry, (a)  $Ra=10^4$  and (b)  $Ra=10^7$



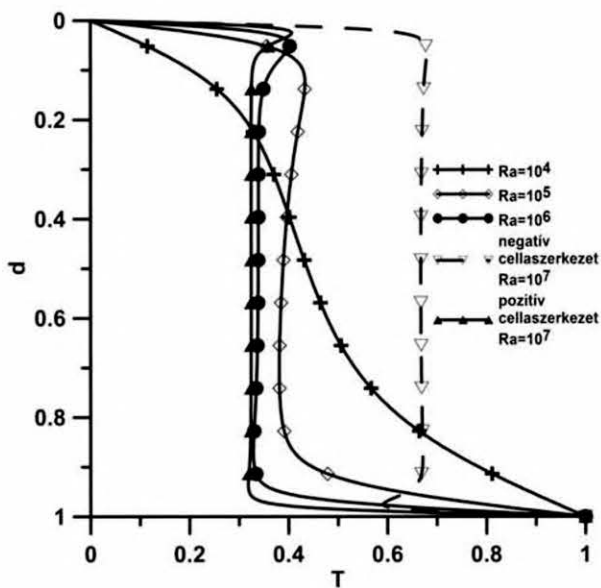
7. ábra. Stacionárius hőmérsékletter különböző Rayleigh-számok esetén henger alakú modelltartományon. Jelölés mint a 3. ábrán. A feláramlás a cella szimmetriatengelyében, a leáramlás a henger palástja mentén történik: (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , (d)  $Ra=10^7$ . (e) Hőmérséklet-eloszlás negatív cellaszerkezet esetén: leáramlás a henger belsejében és feláramlás a henger palástja mentén,  $Ra=10^7$

Fig. 7. Stationary temperature distribution in a cylindrical domain convection for different Rayleigh numbers. (a)  $Ra=10^4$ , (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , (d)  $Ra=10^7$ . The upwelling is situated in the center of the cell, downwelling happens along the surface of the cylinder. Fig. 7.e. shows the temperature field in case of negative cylindrical cell structure. Downwelling occurs in the centre of the cell, upwelling occurs along the rim of the cylinder,  $Ra=10^7$

### 3.4. Hengergyűrű geometria

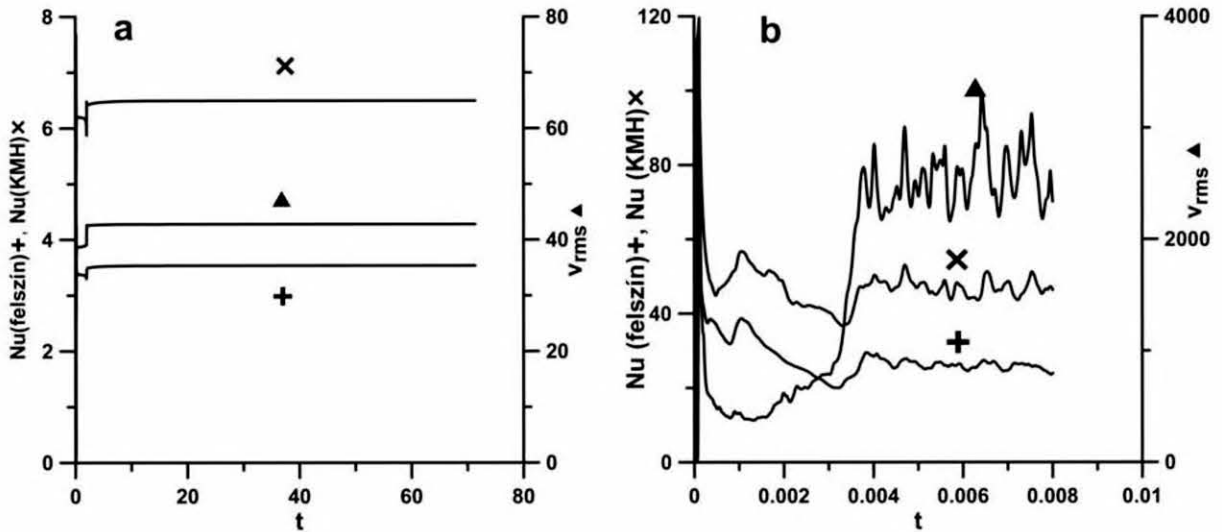
A hengergyűrű alakú modelltartomány abban különbözik az eddig ismertetett geometriáktól, hogy görbültsége révén alsó és felső határfelülete nem azonos, így ebből a szempontból a valós földköpenyt jobban közelíti. Azonban ez a geometria is csak kétdimenziós, mert a gyűrű síkjára merőlegesen az áramlás nem változik, a hengergyűrű egy végtelen hosszú henger tengelyirányára merőleges síkmetszetként kapható meg. Különbség az eddigi modellekhez képest, hogy sokkal nagyobb a konvekciós áramlások rendelkezésére álló tér, ezért várhatóan többcellás áramlás alakul ki.

A nagyobb modelltartomány által biztosított szabadabb áramlás már a Nusselt-szám és az átlagos sebesség időbeli változásában is megmutatkozik. Az eddigi modellekkel ellentétben csak  $Ra=10^4$  esetben kaptunk stacionárius megoldást (9. ábra). Jól megfigyelhető, hogy a felszíni hőáram durván a fele (0,545-szöröse) a köpeny-mag határon (KMH) megfigyelt hőáramnak. Azaz a hőáramok viszonyában visszatükröződik a földmag, illetve a Föld teljes sugarának aránya, mert a modell nem tartalmazza a köpeny radioaktív hőtermelését.



8. ábra. Horizontálisan átlagolt dimenziótlan hőmérsékletek a dimenziótlan mélység függvényében különböző Rayleigh-számok esetén henger geometriában. Pozitív cellaszerkezet (belső feláramlás, kívül leáramlás) mellett a nagyobb hűtött felület következtében a cella belsejének hőmérséklete kisebb mint 0,5. Negatív cellaszerkezet (fordított áramlási irány) esetén a hőmérséklet-mélység görbe centrálisan szimmetrikus a  $d=0,5$ ;  $T=0,5$  pontra

Fig. 8. Horizontally averaged dimensionless temperature as a function of dimensionless depth for different Rayleigh numbers in cylindrical model domain. In case of positive cell structure (upwelling in the centre, downwelling at the rim) the outer cooler surface is larger resulting in lower than 0.5 mean temperature in the cell. In case of negative cell structure (opposite flow direction) the temperature-depth curve is symmetric with respect to the point  $d=0.5$  and  $T=0.5$



9. ábra. A Nusselt-szám (felszínen keresztrel, a köpeny-mag határon x-szel jelölve) és az átlagnégyzetes sebesség (háromszög) időbeli változása hengergyűrű rendszerben. (a)  $Ra=10^4$  stacionárius, (b)  $Ra=10^7$  nemstacionárius áramlás

Fig. 9. Nusselt number at the surface (cross), the core-mantle boundary (x) and the  $rms$  velocity (triangle) as a function of time in cylindrical-shell model domain. (a)  $Ra=10^4$  stationary, (b)  $Ra=10^7$  non-stationary convection

A megnövelt modelltartomány hatása a hőmérséklet-térben is egyértelmű. A 10. ábra a hengergyűrű modell-tartományon kialakuló hőmérséklet-eloszlásnak egy-egy pillanatképét mutatja különböző Rayleigh-számok esetén. Növekvő  $Ra$  értékek mellett a fel- és leáramlások mindinkább dinamikusabbak, változékonyabbak, a valós föld-köpenyt megközelítő esetben ( $Ra=10^7$ ) az áramlás időben erősen változó, kaotikus jellegűt ölt. A termikus határreteg elmélet állítása, mely szerint  $Ra$  fokozásával a határretek elvékonyodnak, hengergyűrű geometriában is helytálló.

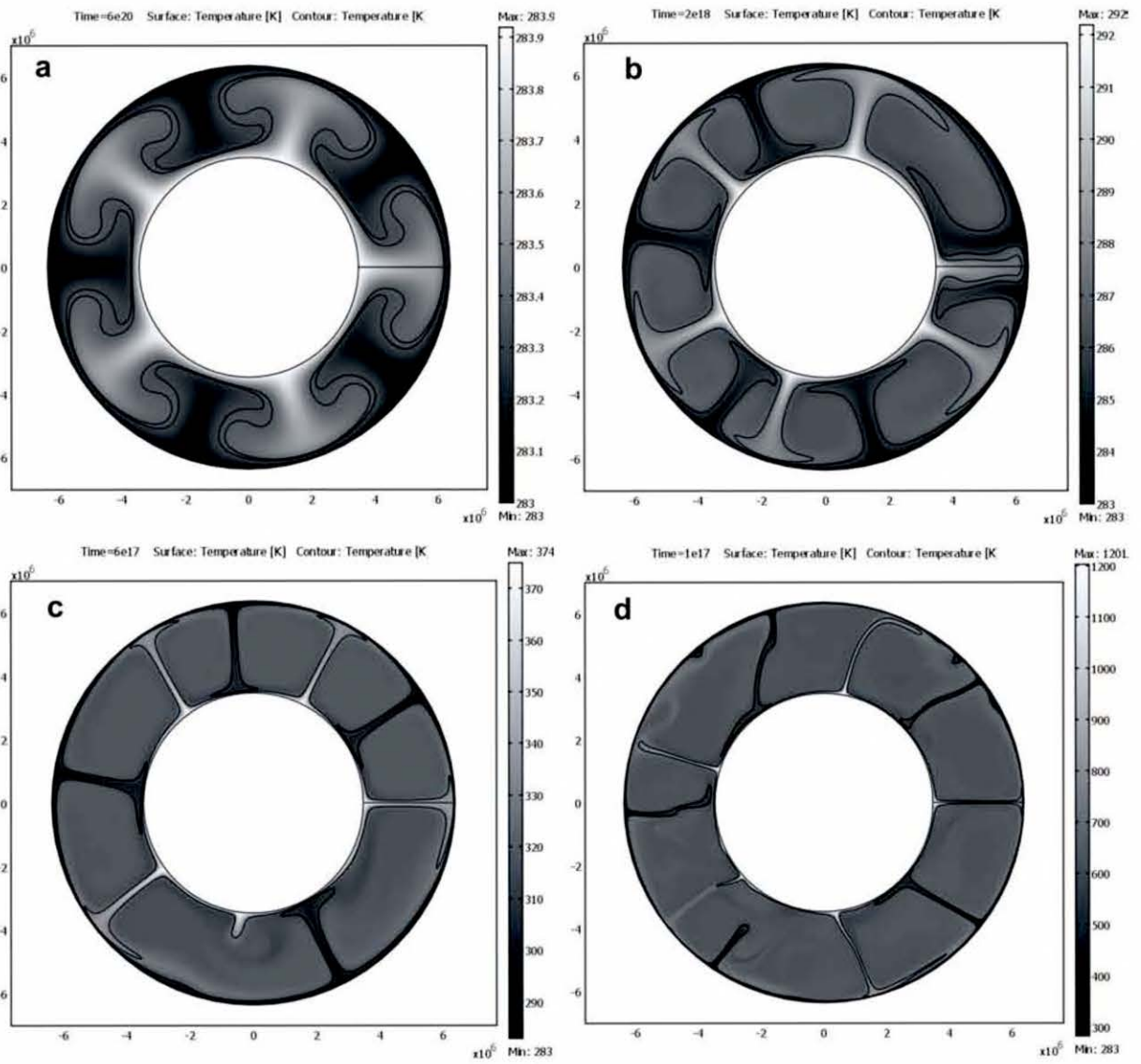
Megvizsgálva a hengergyűrű-modell körív mentén átlagolt hőmérséklet-mélység profilját (11. ábra) látható, hogy a henger geometriához hasonlóan a kisebb cellahőmérséklet felé történik eltolódás. Lényeges különbség azonban, hogy a csökkent átlaghőmérséklet ( $T \approx 0,4$ ) függetlennek tűnik a Rayleigh-számtól. Ezen megfigyelés — a henger modelltartományánál tárgyaltaknak megfelelően — azzal

magyarázható, hogy  $Ra$  növelésével a termikus határretek ugyan elvékonyodnak, tehát a felső, hideg határreteg felülete nő, míg az alsó, meleg határretegé csökken. Ugyanakkor azonban a horizontális határretek felületének változása sokkal kisebb mértékű, mint a henger alakú modelltartományon a vertikális határreteké, hiszen hengergyűrű geometria esetén a horizontális határretek maximális, illetve minimális felülete adott a földfelszín és a köpeny-mag határ felülete által.

### 3.5. A különböző geometriájú modelltartományok összehasonlítása

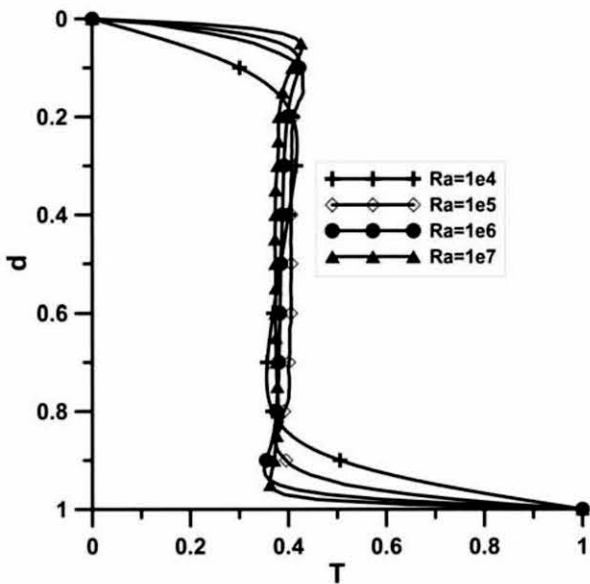
A 12. ábra a Nusselt-szám és az átlagnégyzetes sebesség változását mutatja a Rayleigh-szám függvényében az általunk vizsgált eltérő geometriájú modelltartományok esetén. Megállapítható, hogy a felszíni hőáram hozzávetőlegesen a





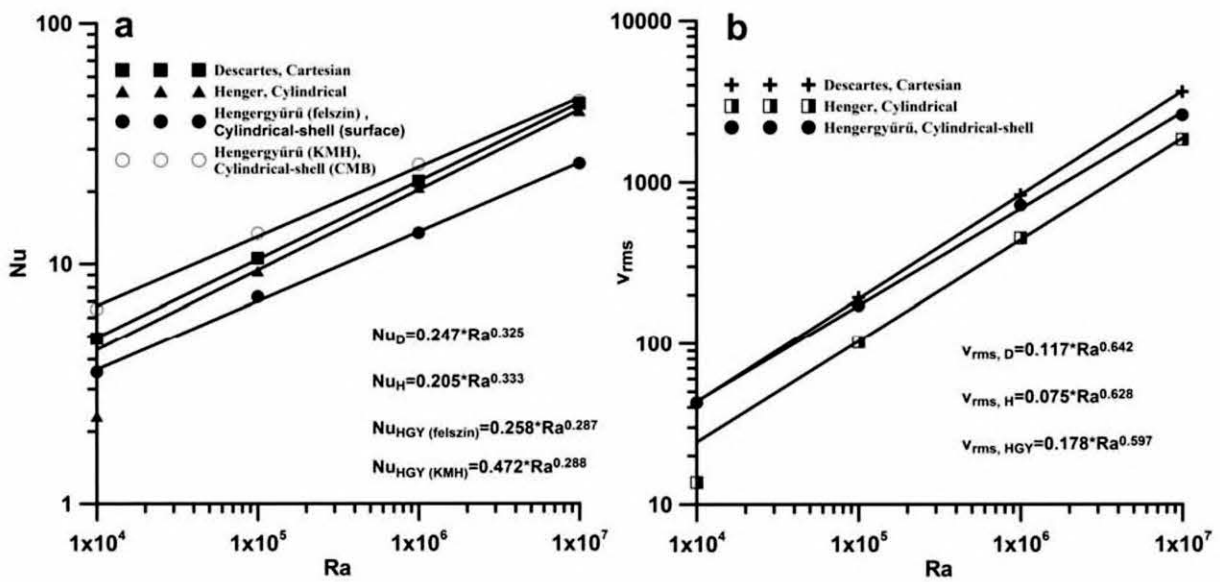
10. ábra. A hőmérséklet pillanatképe hengergyűrű geometriában különböző Rayleigh-számok mellett (világos – meleg, sötét – hideg). Stacionárius végállapot: (a)  $Ra=10^4$ , nemstacionárius végállapot: (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , (d)  $Ra=10^7$

Fig. 10. Snapshots of the temperature field in cylindrical-shell geometry for different Rayleigh numbers (light shading: hot, dark shading: cold). Stationary state: (a)  $Ra=10^4$ , non-stationary state: (b)  $Ra=10^5$ , (c)  $Ra=10^6$ , and (d)  $Ra=10^7$



11. ábra. Körív mentén átlagolt dimenziótlan hőmérséklet-mélység görbék hengergyűrű modelltartomány esetén különböző Rayleigh-számok mellett. A külső, hűtött felület nagyobb, mint a belső fűtött felület, ezért a cella belseje lehűl

Fig. 11. Spherically averaged dimensionless temperature–depth curves in cylindrical-shell domain for different Rayleigh-numbers. The outer cooled surface is larger than the inner heated surface leading to low mean cell temperature



12. ábra. (a) A Nusselt-szám és (b) az átlagnégyzetes sebesség a Rayleigh-szám függvényében különböző modellgeometriák esetén. A nemstacionárius megoldások esetén a számított paraméterek időbeli szórása a szimbólum nagyságrendjébe esik

Fig. 12. (a) Nusselt-number and (b) rms velocity as a function of the Rayleigh-number in case of different model geometries. In case of non-stationary solutions the standard deviation of the computed parameters is less or equal to the symbol size

Rayleigh-szám  $1/3$ -ik, míg az átlagos sebesség  $Ra$   $2/3$ -ik hatványával arányosan emelkedik, függetlenül a használt modellgeometriától. A köpenykonvekció modellezésében ismert, hogy a numerikus módon meghatározott kitevők valamivel kisebbek a számos közelítést magában foglaló határreteg elméletből adódó kitevőknél ( $Nu \sim Ra^{1/3}$ ,  $v_{rms} \sim Ra^{2/3}$ ) [SOLOMATOV 1995; GALSA, LENKEY 2007]. Esetünkben az eltérés a hengergyűrű geometriában a legnagyobb, vélhetően azért, mert itt a legjelentősebb a különbség az analitikus közelítés és a numerikus modell között. Az illesztésnél nem vettük figyelembe a henger alakú modelltartományon  $Ra=10^4$ -nél kapott eredményeket, hiszen — a fentebb részletezett okok miatt — itt az áramlás nem tekinthető szuperkritikusnak, a konduktió hatása nem hanyagolható el az advékciónak mellett. A 12. ábrán feltüntetjük a hőáram- és sebességértékek időbeli szórását is, noha ezek értéke oly csekély, hogy összemérhető a szimbólum nagyságával.

A hőáram- és a sebességgörbék további tanulmányozásakor észrevehető, hogy a hengergeometriában észlelt kis átlagsebességhez relatíve nagy felszíni hőfluxus tartozik (12. ábra). Azaz a lassabb áramlás is képes nagy hőmenyiséget szállítani, vagyis — ha szabad ilyen értelemben hatékonyságról beszélni — a henger alakú tartományon kialakuló hőtranszport a leghatékonyabb. Megjegyezzük, hogy a földköpenyben a legvalószínűbb geometriájú áramlási forma is ilyen, azaz henger alakú feláramlás (hőoszlopok) és lefelé irányuló leáramlás (szubdukáló lemezek), habár nyilvánvaló, hogy a köpenyben számtalan más fizikai jelenség is befolyásolja az áramlási rendszert.

A vizsgálat megmutatta, hogy az átlagos cellahőmérséklet nem független a numerikus számításoknál használt modelltartományok geometriájától (13. ábra). Szimmetrikus geometria és határfeltételek esetén derékszögű tartományon a hőmérséklet-mélység profil is szimmetrikus, a dimenziótlan átlagos hőmérséklet hibahatáron belül  $T=0,5$ ,

értéke független a Rayleigh-számtól. Hengergeometriában a Rayleigh-szám növekedésével a vertikális határretek elvékonyodása miatt a hűtött és fűtött felületek aránya növekszik, ami az átlaghőmérséklet csökkenését okozza. Hengergyűrű geometriában a határretek vastagságának változása nem befolyásolja érzékelhetően a hideg és meleg felületek arányát, ezért annak az átlaghőmérsékletre gyakorolt hatása sem mutatható ki.

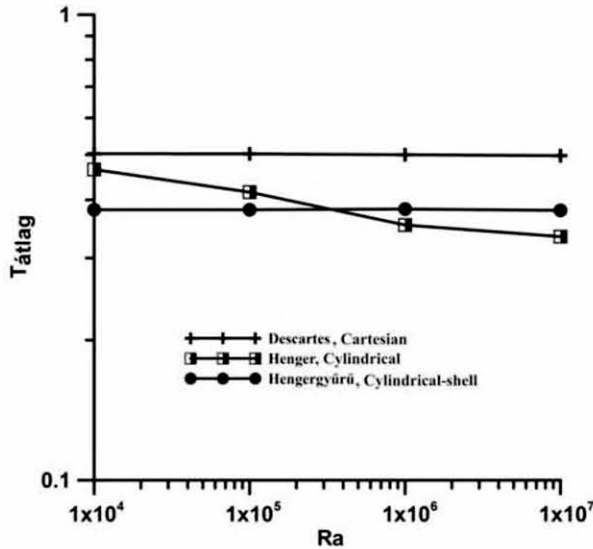
#### 4. Összefoglalás, további tervek

Hazai viszonylatban először használtunk véges elemes numerikus módszert a földköpenyben zajló termikus konvekció modellezésére, ezért elkerülhetetlen volt az alkalmazott program tesztelése. A nemzetközi tanulmányokkal való összevetés alapján kijelenthető, hogy a numerikus számítások eredményei megbízhatóak. A módszer előnye, hogy nagyon rugalmasan képes kezelni a különböző alakú modelltartományokat, mely lehetővé tette, hogy — szintén hazai viszonylatban először — vizsgáljuk meg a termikus földköpeny-konvekció jelenségét nem derékszögű modelltartományokon.

A kétdimenziós geometria hatását tanulmányoztuk derékszögű, henger és hengergyűrű modelltartomány esetén. A modellekben a legegyszerűbb feltevéseket alkalmaztuk: homogén, izovizskózus, alulról fűtött réteg, és az egyenletek Boussinesq-approximációval való közelítése. Ezért az eredmények nem vonatkoztathatók közvetlenül a földköpenyre. A modellezett áramlások annyiban földköpenyszerűek, amennyiben a fizikai paraméterek értékei, és így az áramlás intenzitását meghatározó dimenziótlan Rayleigh-szám a földköpenyre jellemző nagyságrendben vannak.

Szuperkritikus Rayleigh-szám esetén a hő transzportja a konvekciós cella peremén a termikus határretekben történik, míg a cellák belsejének hőmérséklete a

Boussinesq-közelítés mellett állandó marad, egyébként adiabatikusan változik. A függőleges hőtranszport a cellán keresztül a hőoszlopban, a vertikális határretegben advékcióval zajlik, míg a horizontális határretekben a hőtranszport kondukciónal történik. A cella peremén természetesen nagyobb az áramlás sebessége, mint a cella belsejében, de a sebességtérben nem alakulnak ki határretek, áramlás az egész cellában zajlik. A termikus határretek kialakulása a kondukciónak az advékcióhoz viszonyított lényegesen kisebb „sebességének” következménye.  $Ra$  növelésével az áramlási sebesség is nő, ami a határretek elvékonyodását okozza.



13. ábra. A dimenziótlan átlaghőmérséklet és a Rayleigh-szám kapcsolata a vizsgált modellgeometriák esetében. A henger geometriájú áramlásban  $Ra$  növekedésével bekövetkező határretek elvékonyodása a hűtött külső felület növekedését és a belső fűtött felület csökkenését eredményezi, ezért a cella átlaghőmérséklete csökken

Fig. 13. Dimensionless mean temperature of the convection cell plotted against the Rayleigh number for the studied model geometries. In cylindrical convection the increase of  $Ra$  results in thinner boundary layers, which in turn leads to larger cooled surface and smaller heated surface. Therefore, the mean temperature of the cell decreases with increasing  $Ra$

Mindhárom geometria esetén közelítőleg fennáll, hogy szuperkritikus Rayleigh-számok mellett a felszíni hőáram ( $Nu \sim Ra^{1/3}$ ), az átlagnégyzetes sebesség ( $v_{rms} \sim Ra^{2/3}$ ) szerint nő. Számításaink alátámasztják, hogy a kétdimenziós derékszögű modelltartományra levezetett határreteg-elméletből adódó összefüggések általános érvényűek nagy viszkozitású folyadékok termikus konvekciója esetén. Természetesen adott  $Ra$  mellett  $Nu$  és  $v_{rms}$  értéke, valamint a cella belsejének hőmérséklete már függ a választott modell geometriájától.

Derékszögű tartományon szimmetrikus határfeltételek mellett mind a horizontális, mind a vertikális termikus határretek szimmetrikusak, így a horizontálisan átlagolt hőmérséklet-mélység görbe is az, és a cella átlaghőmérséklete ( $T=0,5$ ) független a Rayleigh-számtól. Henger geometria esetén a központi határreteg oszlopszerű, a felülete jóval

kiseb, mint a henger palástján található határreteg felülete. Ezért a cella átlaghőmérsékletét a palást mentén zajló áramlás hőmérséklete határozza meg; pl. központi meleg feláramlás és palást menti hideg leáramlás esetén a cella lehül. Ilyen áramlási irány esetén a Rayleigh-szám emelkedésével a vertikális határretek felületének csökkenése miatt az átlaghőmérséklet tovább süllyed. Hengergyűrű geometriában, a henger geometriához hasonlóan, a külső hűtött határfelület nagyobb, mint a belső fűtött határfelület, ami miatt a cella átlaghőmérséklete kisebb lesz  $T=0,5$ -nél.  $Ra$  növelésével a határretek felületének változása nem számottevő, így annak az átlaghőmérsékletre gyakorolt hatása sem számszerűsíthető egyértelműen.

Megegyező átlagnégyzetes sebességek mellett a legnagyobb felszíni hőáram hengergeometriában tapasztalható. Ebben az értelemben ez az áramlási forma képes a leghatékonyabb hőtranszportra, noha ismert, hogy a cellaméret megválasztása (az áramlás hullámhossza) befolyásolja a kialakuló átlagos paramétereket [GRIGNÉ, LABROSSE, TACKLEY 2005].

A földköpenyben számos olyan fizikai jelenség létezik, amely érdemben képes módosítani az itt bemutatott eredményeket [GALSA et al. 2008]. A közeljövőben a mélységfüggő, illetve mélység- és hőmérsékletfüggő viszkozitás, valamint a belső, radioaktív hőtermelés hatását kívánjuk tanulmányozni.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA a K-72665 sz. pályázat, illetve a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal az OMF-00124/2007 szerződésszámú Öveges József Program keretén belül támogatta.

## HIVATKOZÁSOK

- BÉNARD H. 1900: Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. *Revue Generale des Sciences Pures et Appliquees* **11**, 1261–1271, 1309–1328
- BLANKENBACH B., BUSSE F., CHRISTENSEN U., CSEREPES L., GUNKEL D., HANSEN U., HARDER H., JARVIS G., KOCH M., MARQUART G., MOORE D., OLSON P., SCHMELING H., SCHNAUBELT T. 1989: A benchmark comparison for mantle convection codes. *Geophys. J. Int.* **98**, 23–38
- BRUNET D., YUEN D. A. 2000: Mantle plumes pinched in the transition zone. *Earth Planet. Sci. Lett.* **178**, 13–27
- ČADEK O., VAN DEN BERG A. P. 1998: Radial profiles of temperature and viscosity in the Earth's mantle inferred from the geoid and lateral seismic structure. *Earth Planet. Sci. Lett.* **164**, 607–615
- CHANDRASEKHAR S. 1961: Hydrodynamic and hydromagnetic stability. Clarendon Press, Oxford
- ČIŽKOVÁ H., MATYSKA C. 2004: Layered convection with an interface at a depth of 1000 km: stability and generation of slab-like downwellings. *Phys. Earth Planet. Inter.* **141**, 269–279
- CSEREPES L. 1992: A földköpeny termikus konvekciójának háromdimenziós szerkezetéről. Doktori értekezés, ELTE Geofizika Tanszék, Budapest
- CSEREPES L. 2002: Convective motions in the mantle. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **37**, 1, 3–27
- FOWLER C. M. R. 1990: The Solid Earth: An Introduction to Global Geophysics. Cambridge University Press

- GALSA A., CSEREPES L. 2000: The number of hotspots in mantle convection: effect of depth-dependent viscosity and internal heating in two-dimensional models. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **35**, 383–396
- GALSA A., CSEREPES L. 2003: The number of hotspots in three-dimensional numerical models of mantle convection. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **38**, 103–109
- GALSA A., LENKEY L. 2007: Quantitative investigation of physical properties of mantle plumes in three-dimensional numerical models. *Phys. Fluids* **19**, 116601
- GALSA A., LENKEY L., SÜLE B., HEREIN M. 2008: A földképenyben zajló konvekcióról. *Magyar Geofizika* **49**, 2, 75–87
- GRIGNÉ C., LABROSSE S., TACKLEY P. J. 2005: Convective heat transfer as a function of wavelength: Implication for the cooling of the Earth, *JGR* **110**, B03409
- MITTELSTAEDT E., TACKLEY P. J. 2006: Plume heat flow is much lower than CMB heat flow. *Earth Planet. Sci. Lett.* **241**, 202–210
- RAYLEIGH 1916: On convection currents in a horizontal layer of fluid, when the higher temperature is on the under side. *Phil. Mag.* **32**, 529–546
- SCHUBERT G., TURCOTTE D., OLSON P. 2001: *Mantle Convection in the Earth and Planets*. Cambridge University Press
- SOLOMATOV V. S. 1995: Scaling of temperature- and stress dependent viscosity convection. *Phys. Fluids* **7**, 2, 266–274
- SÜLE B. 2005: The structure and the surface manifestation of mantle plumes in depth-dependent three-dimensional models. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **40**, 1, 89–104
- TURCOTTE D. L., OXBURGH E. R. 1967: Finite amplitude convective cells and continental drift. *J. Fluid. Mech.* **28**, 29–42
- ZIMMERMAN W. B. J. 2006: *Multiphysics modeling with finite element methods*. World Scientific Publishing Company, 432 p.

## MESKÓ ATTILA TEMETÉSE



MESKÓ Attila akadémikust, Állami Díjas geofizikust, a Magyar Tudományos Akadémia volt főtítkárát, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékének volt tanszékvezető egyetemi tanárát, a Magyar Geofizikusok Egyesületének volt elnökét és még sok fontos tisztség volt viselőjét 2008. november 10-én temették el római katolikus szertartás szerint a Farkasréti temetőben. Temetésén a család kívánságának megfelelően csak egyetlen búcsúbeszéd, az Akadémia elnökének beszéde hangzott el. 69. életében elhunyt kollégánkat szinte az egész geofizikus társadalom elkísérte utolsó útjára

Majdnem ugyanúgy, mint vagy negyven évvel ezelőtt, az évfolyam ismét együtt ült a padban. Majdnem, mert a helyszín nem az egyetem valamelyik előadóterme volt,

hanem a Farkasréti temetőnél lévő templom és — ez a sokkal nagyobb különbség — csak hatan voltunk. Igaz, éppen a hiányzóra emlékezve jöttünk össze, hogy évfolyamtársunktól, MESKÓ Attilától búcsút vegyünk a szentmisén. Azt hiszem, korábban, talán csak hónapokkal ezelőtt sem gondolta egyikünk sem, hogy egy ilyen összejövetelre sor kerülhet.

A temetésről két ok miatt sem tudok szokványos beszámolót adni. Engem nem nagyon érdekelték a kívülállóknak számára fontos dolgok, hányan vettek részt a szertartáson, kik voltak ott, de megromlott látásom miatt ezt nem is tudtam volna felmérni. Viszont a szentmisét is bemutató pap búcsúszavával, a kórus éneke és a hivatalos emlékbeszéd alatt volt időm sok mindent végiggondolni, többek között az emlékbeszéd is utalt egy fontos dologra. Míg él az ember, sokféle szerepet tölt be, sokféle arcát mutatja különböző jellegű feladatai ellátása közben. Halála után az emlékezők sokasága tudná csak összeállítani azt, ami egy emberben olyan magától értetődően egyesült, megnyilvánult a külvilág számára. Ezért gondoljuk, hogy az emlékezők sokaságában nekünk is helyünk van és nekünk is hozzá kell tennünk néhány vonást Attila immár nem változó arcképéhez.

Közel egy hónappal ezelőtt még azt kérdeztem Attilától, hogy hajlandó lenne-e megismételni az éjszakai Balatonátúszást. Ha nem is ez, de egy utolsó közös séta azért megvalósult. Az emlékbeszéd elhangzása után megindultunk a többi gyászolóval együtt a sír felé. Ezen a rövid úton is kiki inkább saját gondolataiba merült, csendben kísértük Attilát. Sokunknak nyugodhatott már korábban is rokona, ismerőse a Farkasréti temetőben, de nagyon sok ismert ember sírja is ott van. Nekünk most már eggyel több helyet kell meglátogatnunk. Attila a közelmúlt akadémikusai, tudósai között kapott végső nyughelyet. Ugyanolyan társaságban nyugszik, mint amilyenben élete nagy részét töltötte. Egy ideig még csak úgy találkozhatunk Vele, ha kilátogatunk a temetőbe, aztán eljön az is, hogy mindannyian valahonnan nagyon távolról nézzük azt a Földet, amit Attila szeretett és kutatott. Viszontlátásra!

*Verő László*

## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR EAGE CSOPORTNÁL

2005. március 8-án alakult meg a magyar EAGE csoport azzal a szándékkal, hogy az európai geofizikusok és földtudományi szakemberek egyesületének tagjai itthon is kapcsolatépítési lehetőséget kapjanak, a geofizikus tago-

kon kívül az olajmérnökök, geológusok, rezervoármérnökök, mérnök-geofizikusok is találkozhatnak egy közös fórumon. A csoport működése jól indult, kezdetben a külföldön megtartott előadásokat ismételtük meg itthon, a

kibővült közönség a rokonterületekről is igen érdekes előadásokat hallhatott. Egy tanulmányi kirándulást is szerveztünk a Paksi Atomerőműbe. A nagyobb érdeklődést kiváltó előadóüléseket klubnappá bővítettük, azaz az előadás után vendégül láttuk a kollégákat, és így sikerült a témákat hosszabban is megvitatni, és ki lehetett használni, hogy találkoztunk más intézmények munkatársaival is. Rendezvényeinkre nemcsak az EAGE, de az MGE tagjait is mindig meghívtuk

Az eltelt közel 4 év alatt összesen 43 előadás hangzott el, ebből 4 külföldi előadótól, 4 alkalommal klub keretében, 3 előadót hívtunk meg az EAGE, illetve az SEG Distinguished Lecturer Programja keretében — természetesen az MGE-vel együttműködésben. Ma már szinte magától működik a csoport, a kollégák önként jelentkeznek az érdekes témákkal és előadásokkal. Már „csak” meg kell szervezni, hogy legyen terem, büfé és persze közönség — de az is adódott mindig.

Már a csoport megalakulásakor is úgy gondoltam, hogy amint a csoport életképessége beigazolódik, működése beindul, átadjuk az irányítást másnak. Úgy láttam, hogy ennek több okból is most jött el az ideje: egyrészt engem beválasztottak az EAGE elnökségébe, másrészt adódott egy alkalmas jelölt TÖRÖS Endre személyében. Ő idén köszönt le az EAGE-ben betöltött tisztségéről, a Near Surface divízió elnökségéről.

A csoport vezetésében KAKAS Kristóf töltötte be a titkári, LŐRINCZ Katalin a tudományos titkári feladatkört,

most ők is lemondtak tisztségükről. Ezért október 16-án, az előadóülésen vezetőségválasztást is tartottunk. A jelenlévő tagság egyhangúlag megszavazta, hogy az új elnök TÖRÖS Endre (ELGI), az új titkár CZELLER István (MOL) legyen. Kettőjük személye a biztosíték arra, hogy az EAGE-körökben is elismerten jól működő magyar csoport továbbra is a hazai szakmai élet kiemelkedő intézménye maradjon.

Buzdítom a kollégákat, ha érdekes, új eredményeket érnek el, jelentkezzenek TÖRÖS Endrénél [toros@elgi.hu](mailto:toros@elgi.hu) vagy CZELLER Istvánnál [czeli@mol.hu](mailto:czeli@mol.hu), és az ELGI konferenciatermében megtarthatják előadásukat — a közönséget pedig az MGE tagjaiból és a magyar EAGE tagokból fogjuk verbuválni, ahogy eddig is tettük.

A diákok — Bsc-, Msc- és Dr.-képzésben részt vevők — figyelmét felhívom, hogy a magyar EAGE csoportnak köszönhetően minden évben tízen egyéves ingyenes EAGE tagságot kaphatnak. Aki az egy év elmúltával is tag szeretne maradni, nyújtson be egy kérvényt az egyesülethez, és a MOL támogatásának köszönhetően diákvevői alatt továbbra is tagja maradhat ennek a kiváló szakmai egyesületnek.

Akik az EAGE-ről többet szeretnének megtudni, látogassanak el a honlapjukra: [www.eage.org](http://www.eage.org).

Kívánok mindenkinek további sikeres együttműködést és sok sikert!

*Hegybíró Zsuzsanna*

## HUNGEO 2008

### a Magyar Földtudományi Szakemberek IX. Világtalálkozója

A Magyarhoni Földtani Társulat, a Magyar Földrajzi Társaság és a Magyar Geofizikusok Egyesülete kezdeményezésére és szervezésében 1996-ban került megrendezésre Budapesten a Magyar Földtudományi Szakemberek Világtalálkozója. A találkozó sikerén felbuzdulva a szervezői kör, több társegyesülettel kibővülve, rendszeressé tette a HUNGEO névre keresztelt szakmai találkozót.

A világban szétszórta élő magyar földtudományi szakemberek számára szervezett újabb, immár kilencedik találkozóra Budapesten került sor 2008. augusztus 20–22-én az Eötvös Loránd Tudományegyetem új, Duna-parti campusában. A rendezvénynek az egyetem Földtudományi Intézete adott otthont.

A rendezvény fővédnökségét SÓLYOM László, a Magyar Köztársaság elnöke, védnökségét HUDECZ László, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora és SZABADOS Gábor, a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal elnöke vállalta el.

A IX. világtalálkozó augusztus 20-án délután vette kezdetét a résztvevők egy részének regisztrációjával az ELTE épületegyüttesének északi tömbjében. A jelenlévők este a helyszínről tekintették meg az ünnepi tűzijátékot. Az idei rendezvénynek 121 fő regisztrált résztvevője volt, döntően a Kárpát-medence országaiból. A nyugati szórvány magyarságot összesen két fő képviselte.

A rendezvény hivatalos programja a plenáris üléssel kezdődött az ELTE épületegyüttesének déli tömbjében található „Mogyoródi József” teremben augusztus 21-én. A megjelenteket KOCSIS Károly, a HUNGEO elnöke üdvö-

zölte. Ezt követően köszöntők hangzottak el ZENTAI László (az ELTE oktatási rektorhelyettese), HORVÁTH Ferenc (az ELTE Földtudományi Intézetének előző vezetője), valamint HAAS János (a Magyarhoni Földtani Társulat elnöke) részéről.

A szervezők a konferencia tematikájának kialakításakor három szempontot vettek figyelembe. A hagyományos földtudományi témák mellett kiemelt hangsúlyt kívántak fektetni 2008-ban a Föld Bolygó Nemzetközi Éve nemzetközi rendezvénysorozat (2007–2009) szellemiségének érvényesítésére, valamint — a Biblia éve kapcsán — a Föld népszerűségének, nyelvi és vallási sokszínűségeinek elemzésére.

A plenáris ülés előadásai mindhárom tematikai elemet kiegyensúlyozottan mutatták be. 14 darab 20 perces előadás hangzott el felkért előadók szájából. A MGE tagjai közül SZARKA László (Nemzetközi földtudományi évek a Nemzetközi Geofizikai Év (1957–58) 50. évfordulóján című), FANCSIK Tamás és BODOKY Tamás társszerző (Száz éves a Geofizikai Intézet, a világ első gyakorlati geofizikai kutatóintézete című), és HORVÁTH Ferenc (A Pannomedence szerepe a globális geodinamikai koncepciók fejlődésében című) előadása hangzott el. Emellett bemutatásra került a Föld Bolygó Nemzetközi Éve alkalmából a soproni kollégák által összeállított „Geofizika” poszter-együttes is.

A plenáris ülést követően bemutatták a résztvevőknek az ELTE földtudományi (biológiai, paleontológiai, ásványkőzettani) gyűjteményeit. A napot a helyszínen megrendezett fogadás zárta be.

A fogadást KOC SIS Károly elnök nyitotta meg. A fogadás keretében DUDICH Endre, a HUNGEO egyik alapítója és tiszteleti tagja, köszöntőben méltatta KOMLÓSSY Györgyöt, a HUNGEO egyik szellemi alapítóját és volt elnökét, akinek közelgő 70. születésnapja alkalmából a „HUNGEO örökös tiszteleti tagja” oklevelet adta át.

A rendezvény augusztus 22-én a „Hunfalvy János” (A szekció), „Soó Rezső” (B-C-D szekciók) és „Dudich Endre” (E-F szekciók) termekben szekcióülésekkel folytatódott. A rendezők hat szekciótémát hirdettek meg:

A: A Föld mint globális rendszer (lito-, hidro-, atmo-, bioszféra);

B: Erőforrások, veszélyforrások;

C: Települések és életminőség;

D: A Föld és az élet — a Föld és az egészség;

E: Földtudományi oktatás, ismeretterjesztés és élethosszig tartó tanulás;

F: Az emberiség szolgálatában: alkalmazott földtudományok.

Az A szekcióban 19 db, az összevont B-C-D szekcióban 12 db és a szintén összevont E-F szekcióban 18 db, eredetileg 20 percre tervezett előadás hangzott el. Az előadásokon általában 30-40 fő vett részt. A szekciók közötti átjárhatóság, valamint a hozzászólások/konzultációk lehetősége nem volt teljesíthető, hiszen az eleve sok előadást még azok időbeni csúszása is sok esetben megterhelte. Minden szekcióhoz poszter előadás lehetősége is fennállt. Összesen 30 poszter került bemutatásra. A poszterek kivitelezés módjában is és tematikájukban is változatos képet mutattak.

Az MGE tagjai aktívan vettek részt a szekciók munkájában is. Az A szekcióban három előadás hangzott el:

KISS János, SZARKA László, PRÁCSER Ernő: A mágneses fázisátalakulás geofizikai következményei;

KIS Márta, BODOKY Tamás, KUMMER István, SÖRÉS László: A magyarmecskesi tellurikus vezetőképesség anomália vizsgálata;

KAKAS Kristóf, BODOKY Tamás, NÉGYESI Lajos: Magyarországi meteorokráterek — geofizikai és geomorfológiai adatok.

A D szekcióban egy előadással vettünk részt:

DETZY Gergely, VÉRTESY László, GeoMind Konzortium: A GeoMind portál, a közcélú nemzetközi geofizikai információk új internetes forrása.

Az E szekcióban egy előadásunk volt:

SZABÓ Zoltán: A magyar kormány és az Eötvös-inga.

Az F szekcióban két előadással vettünk részt:

SZABÓ Zoltán: A Föld alakjától a kőolajkutatásig;

KISS János, SZALMA Elemér: Tündérrózsás élőhelyek és gravitációs lineamensek kapcsolata az Alföldön.

A HUNGEO záró értékelő ülésén KOC SIS Károly elnök elismerő oklevelet adott át GÖTZ Endrének (84 éves), a HUNGEO legidősebb tagjának, az egykori kolozsvári Bolyai János Tudományegyetem most is jelen lévő oktatójának, aki rendezvényeink rendszeres résztvevője és előadója.

A záróülésen került átadásra a középiskolások számára kiírt HUNGEO 2008 Poszter díj, amelyet a kiskunhalasi Bibó István Gimnázium TÓTH Piroska vezetete csapata nyert el. A középiskola csapata rendszeresen vesz részt a rendezvényeken. A HUNGEO 2008 rendezvény kétnapos (augusztus 23-24.) szakmai kirándulással fejeződött be. Az első nap útvonala: Budapest–Dobogókő–Visegrád–Esztergom–Párkány–Léva, a második nap: Léva–Garamszentbenedek–Körmöcbánya–Selmecbánya–Ipolság–Budapest.

A kiránduláson 42 fő vett részt, amelyen a gazdag és színvonalas szakmai programot jó időjárás és jó hangulat egészítette ki.

A gazdag tematikájú és zökkenőmentesen lebonyolított rendezvény jó hangulatú volt. Rossz szájízt hagyott azonban a nyugati szórványban élő magyar szakemberek hiánya. Csak reményünket tudjuk kifejezni, hogy a várhatóan két év múlva ismételt megrendezésre kerülő találkozón a nagyvilág ezen részéből is nagyobb és aktívabb részvételi szándékkal fognak majd találkozni *Ápoljuk és óvjuk meg értékeinket!*

*Pályi András*

## BESZÁMOLÓ A NAGYKANIZSAI VII. FÖLDTUDOMÁNYI ANKÉTRÓL

2008. november 13-án került sor Nagykanizsán a Magyar Geofizikusok Egyesülete Zala megyei csoportja és a Magyarhoni Földtani Társulat Dél-dunántúli Területi Szervezete által rendezett VII. Földtudományi Ankétra. A 75 regisztrált résztvevő, valamint a Zsigmond Vilmos Szakképző Iskola felnőttképzésében érintett mintegy 15 hallgatója 11 előadást hallgatott meg délelőtt 10 órától délután 4 óráig.

Mint az már megszokott, az előadások a geotudományok széles körét érintették. Az előadások színvonalára jellemző, hogy a pár perces áramszünetben — sőtétben — is folytatódott az előadás, valamint az ankét végét követő állófogadásra a hallgatóság jelentős része ott maradt, annak ellenére, hogy Nagykanizsa meglehetősen távol esik a jelentősebb geo-szakember felhalmozódási

helyektől. A „gazdasági válságnak” némileg ellentmondva a rendezők igazán színvonalas állófogadást adtak. Mind a rendezvénynek mind szakmai, mind pedig a vendéglátási színvonaláról számos pozitív visszajelzést érkezett.

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve keretében bemutatott posztereket és az ELGI által kiállított műszereket nemcsak a népes hallgatóság, hanem a város középiskoláiból érkezett diákok is nagy számban tekintették meg. Ezért a Geo-Fifika füzetek is szépen fogytak, az 1-5. számokból nem is volt elég.

*Horváth Zsolt elnök,  
Császár János titkár*

# ÜZENET ONNAN, AHOL A TELJESÍTMÉNYT NEM FELTÉTLENÜL LÓERŐBEN MÉRIK

Kedves Kollégák!

Üdvözetem küldöm az Arab-félsziget csücskéről!

A legforróbb hónapokat túl lehetett élni, már viszonylag elviselhető a klíma, ritkán megy 30 fok fölé a nappali hőmérséklet.



Akadtak problémák...



Radarmérés a sivatagban

Az otthoni hidegebb napokra gondolva küldök egy kis melegítő képet (sikerült kijönni a nehéz helyzetből) és egy másikat egy nem megszokott mérési elrendezésről.

*Vértesy László  
Eötvös Loránd Geofizikai Intézet*



## *Rendezvénynaptár*

2009. március 26–28.	ISZA-2009: Ifjú Szakemberek 39. Ankétja (MGE–MFT)	Keszthely Hotel Meridián
2009. április 19–24.	Közgyűlés, European Geosciences Union ( <a href="http://www.copernicus.org/EGU/">www.copernicus.org/EGU/</a> )	Bécs, Ausztria
2009. április 27–29.	IOR 15: a másodlagos szénhidrogén-kitermelés 15. európai szimpóziuma ( <a href="http://www.eage.org/event">www.eage.org/event</a> )	Párizs, Franciaország
2009. május 10–13.	„Geofizika válaszúton”: a Balkan Geophysical Society 5. kongresszusa ( <a href="http://www.agserbia.com">www.agserbia.com</a> )	Belgrád, Szerbia
2009. június 8–11.	EAGE, 71. évi közgyűlés és műszerkiállítás ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Amszterdam, Hollandia
2009. aug. 23–30.	IAGA kongresszus ( <a href="http://www.ggki.hu">www.ggki.hu</a> ) (GGKI)	Sopron
2009. szeptember 7–9.	Near Surface 2009 — 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE–NSGD ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Dublin, Írország
2009. szept. 24–26.	Az MFT és az MGE vándorgyűlése	Pécs, Vasváry-villa

MGE: Magyar Geofizikusok Egyesülete; GGKI: MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron; EAGE: European Association of Geoscientists and Engineers; NSGD: EAGE Near Surface Geoscience Division; IAGA: International Association of Geomagnetism and Aeronomy.

*További részletek, referenciák a honlapról érhetők el ([www.mageof.hu](http://www.mageof.hu)).*

*Kakas Kristóf*

# In Memoriam:

## DR. MESKÓ ATTILA

1940-2008



### Bácsiák az alma mater...

A súlyos betegséggel majd' egy évig tartó küzdelem után, október 11-re visszatérő bajjalon elhunyt MESKÓ ATTILA, a Magyar Tudományos Akadémia volt főtitkára, az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizikus professzora.

Teljes életet juttat be. Csillagozhatóság és emberi bölcsesség lehetett az akadémiai és munkahelyi tanács, s ennek eredményeként mind a tudományban, mind annak irányításában és szervezésében a legnagyobb csúcokra jutott.

1940. április 23-án született Budapesten, polgári család első gyermekeként. A jól nevelt fia már a Madách Gimnáziumban kiemelkedő tehetségei, Központosítási tanács tanári versenyt nyert 8. évfolyamból és rendszeresen kódtört be megoldásokkal a Központosítási Művelődési Lapok feladatmegoldó versenyén. Kétszáz gódot fordított a testnevelésben. Az osztály legelőkelőbb diákjaként érettségizett 1958-ban és jelentkezett az ELTE földtan szakára. Kiváló érettségije és hasonló kiváltsági vizsgája ellenére azonban nem vették fel, a korrelációk megfigyelésénél polgári szociológusnak állt.

Egy évvel dolgozott először mint földrajztanár, majd kiegészítést az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet szociológus laborjában. Ekkor adódott a gondolat, hogy második profilozzáként az ELTE geofizikus szakára jelentkezzen. Sikeres felvételi után megkezdte tanulmányait egy olyan szakon, ahol az volt az elvárás, hogy a szakspecifikus tudás megszerzése mellett, a fizikát és a matematikát a fizikusokkal, a földtant pedig geológusokkal összehasonlítsa szaktan III. évfolyamán. EGYED László professzornak hamar állított a kiemelkedő képességű fiatal ember, akinek tanulmányait végzetével (1964) alkalmazni kívánt a Geofizikai Intézetben. De nem kizárta a politikát: Attila alkalmazása nem kivétel volt. Ekkor EGYED professzor bölcsen úgy döntött, hogy az általa vezetett akadémiai kutatócsoportba veszi fel, így került Attila a szociológiai Szociológiai Osztályra. Röviden magára kiegészítőit és EGYED támogatásával két év elteltével (1966) mint meghívott előadó bekapcsolódhatott az egyetemi oktatásba. Sok, 1967-ben többnyire angolul tanult tananyagot tehetett, amelyek során alkalma volt megismereni a tudományok kutatás helyét kiemelkedő műhelyt (Cambridge, Newcastlén, majd a Durham).

Az általános geofizikában való elsődleges mellett pályáján kiderült nagy érdeklődését fordult a szociológiai kutatásban egyre szélesebb körben alkalmazott szociológiai módszerek felé. Ez az érdeklődés egy életre szülő kutató tevékenységét szerte szedte, amely Attila számára a legnagyobb sikereket hozta meg.

1966-tól 1983-ig konmarekelt, majd igazgatói tanácsadóként a Geofizikai Kutató Üzemnél (1979-től Geofizikai Kutató Vállalatnál) dolgozott felállításban, és hajótörésre lett a szociológus végzettség „digitális forradalmának”. A GKU vezetői kiemelkedő szakmai tudásával és vitázószellemével támogatva kulcs szerepe volt abban, hogy digitális terepi berendezéseket, az adatok feldolgozására legalkalmasabb TICSOP számítógépet, valamint egy szociológusok megvételét, akiket át is szociológusra 1,1 millió dollárral. A digitális technika elhozták a 0 fős csapat utaztatás a Texas Instruments céghez Houstonba, több hónapos időtartamra. Ennek a csapatnak szociológus vezetője volt MESKÓ ATTILA, akinek Egyedől Államokba való kiküldését persze ismét a hatóságokkal való kiemelés szorítható csak megvalósított.

Visszatértek után a számítógépes technikát nemcsak adatközpont, hanem munkatársával együtt új szoftvereket is készítettek, s ezután megkezdődött a világszerte elterjedt digitális adatgyűjtés és feldolgozás a hazai szociológusok körében. Az eredmény az addigig eddig jobb szabványok elkészítése volt, amely nagymértékben hozzájárult új szerzői jogi jogok feldolgozásához és a Famos medence geodémiájának megteremtéséhez.

1973-ban lett főtitkár egyetemi docens az ELTE Geofizikai Intézetében. 1977-ben sikeresen megvédte magdoktorát és tudományos pályájának csúcspontja lett. Ez akkor eljött az igazság pillanata! 1978-ban MESKÓ ATTILA a GKU nagy vezetőjével együtt megkapta Állami Díjat kapott. A vezetőlegyen tudás geofizikai módszerek és módszerek fejlesztésében, a kutatás hatékonyságának növelésében és eredményekben.

Ezt követően széleskörű elméleti és gyakorlati tudásával teljesen átalakította és korszerűsítette a tudományegyetemi geofizikus képzést. A korszerűsítés alapvetően két területen nyilvánult meg. Nagy hangsúlyt kapott az oktatásban az egyetemen való önképzés, különös tekintettel a legmodernebb matematikai módszerek alkalmazására a geofizikai adatfeldolgozásban. Ezzel parhuzamosan messzemenően ösztönözte a geofizika hagyományos kereténél a képzést. Kurrikulumban fontos része lett a keretrendszer, a geofizikai földrajztudományok és a Föld körüli térség fizikája. Különösen fontosnak tartotta az emberi környezet megismerését és ebben a környezeti geofizika szerepét. Tervei kidolgozásához kiemelte a személyi és tárgyi feltételeket, különösen 1985-től kezdődően, amikor tanácskivonat és az MTA ELTE Geofizikai és Könyvtári Kutató Csoportjának lett a vezetője.

Erdői keretbe majd mindenütt jelt a az egyetemi és a tudományos körökben. Nyolc évig volt a Központosítási

Tanszékcsoport vezetője (1987–1995), majd elnöke lett a Szakterületi Professzori tanácsnak és a Habilitációs Bizottságnak. 14 évig volt elnöke az MTA Geofizikai Tudományos Bizottságának (1979–1993), rövidebb ideig az OTKA Élettelen Természettudományi Szakkollégiumának (1998–1999), a Magyar Ösztöndíj Bizottságnak és a Magyar Természettudományi Társulatnak. Érdemei elismeréseként 1990-ben lett az MTA levelező, majd 1995-ben rendes tagja.

Alkotó tevékenységének gazdag terméséből egyet szeretnék kiemelni, amely a legjobban mutatja MESKÓ Attila széleskörű tudását, szakmai felelősségérzetét, valamint az érzékeny embert örömeivel és csalódásaival együtt.

A történet a Paksi Atomerőmű szeizmikus biztonságával kapcsolatos. Az 1980-as évek elején felmerült a hazai villamosenergia-termelés szempontjából kulcsfontosságú atomerőmű új blokkokkal való bővítésének a lehetősége. Ez szükségessé tette a telephely átfogó újraminősítését, különös tekintettel arra, hogy az akkor rendelkezésre álló szeizmikus szelvények és fúrási adatok alapján már kétségbevonhatatlan volt az, hogy a telephely egy vetőzóna fölött helyezkedik el. Az Országos Atomenergia Bizottság elnöke 1991-ben felkérte MESKÓ Attila professzort, hogy hozzon létre egy bizottságot azzal a céllal, hogy a nemzetközi előírásoknak megfelelően határozzák meg a  $10^{-4}$ -es valószínűségi szinten várható földrengés okozta maximális talajgyorsulást. A komplex bizottság hosszas mérlegelés után 1993 februárjában készült jelentésében hozta meg határozatát. Ezt több érintett szakember erősen konzervatív becslésnek

ítélte, amelynek teljesítése nehéz helyzetbe hozta volna az erőművet. A kínos helyzetet a bizottság egy tagja úgy vélte feloldani és saját személyét tisztázni, hogy levelet írt a Magyar Köztársaság belügyminiszterének, amelyben a bizottság elnökét elfogultsággal vádolta. Ennek következménye akárcsak néhány évvel korábban súlyos lehetett volna. Az új Magyarország szerencsére már másképp működött. A levelet átküldték az illetékes hivatalhoz, akik erkölcsi kötelességüknek tartották azt „kiszivároztatni” a megvádolthoz. Attila nagy szomorúsággal, de tudományos igazába vetett rendíthetetlen hittel olvasta a levelet. Később számos alkalma lett volna a visszavágásra, s bár soha nem felejtett, távol állt tőle minden, ami nem volt tisztességes az ő polgári erkölcsai szerint.

1999-től 2005-ig két ciklusban volt az MTA főtitkár-helyettese, majd 2005–2008 között főtitkára. Főtitkár-helyettesként még megtartotta legfontosabb egyetemi előadásait, és csak főtitkári kinevezésétől szentelte teljes munkaidejét és energiáját az Akadémiának.

Ezek az energiák elapadtak és Attila, méltóságteljesen viselve szenvedéseit, elhagyott bennünket. Velünk marad azonban szellemi hagyatéka és legfőképpen tanítása, amellyel új pályára állította a geofizikát és megváltoztatta emberi arculatunkat. Tudjuk, hogy okosabbá és reméljük jobbá lettünk általa!

Isten áldjon, nyugodjál békében!

*Horváth Ferenc*

HU ISSN 0025—0120

---

*Főszerkesztő:* dr. Bodoky Tamás

*Szerkesztő:* Tóth Lajos, tel.: (1) 252 4999/142, e-mail: tothl@elgi.hu

*Szerkesztőbizottság:* dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Hegybíró Zsuzsanna, Kakas Kristóf,  
dr. Ormos Tamás, dr. Szarka László, Verő László

*A szerkesztőség címe:* Budapest, II., Fő u. 68. (1371 Budapest, Pf. 433)

Telefon: (1) 201 9815

---