

Termikus konvekció a Föld belsejében

CSEREPES LÁSZLÓ¹ (témavezető), LENKEY LÁSZLÓ¹, GALSA ATTILA¹

L. CSEREPES, L. LENKEY, A. GALSA: Thermal convection in the Earth's interior

OTKA nyilvántartási szám: T 15966

A Föld élő bolygó, de nemcsak biológiai értelemben. A „halott”, kővé fagyott égitestektől (ilyen pl. a Hold) az különbözteti meg, hogy szinte minden mozog benne. A légemű atmoszféra, a cseppfolyós óceán, de a „szilárd” földbelső is. A Földnek ezeket a mozgó, cirkuláló részeit csaknem mindenütt a *termikus konvekciónak* nevezett mozgásforma tartja „életben”. Ez a mozgás a hőmérséklet-különbségekből fakadó felhajtóerőtől származik.

Kutatási programunkban a Föld belsejében zajló termikus konvekció három konkrét esetét tettük vizsgálataink tárgyává. Ezek:

- 1) a Föld köpenyében zajló mozgás (köpenykonvekció), a geológiai evolúció, a lemeztektonika hajtóereje;
- 2) a külső magban zajló cirkuláció, amely fenntartja a Föld mágneses terét (magnetokonvekció);
- 3) a kéreg kőzeteiben elhelyezkedő vizek áramlása, amely ugyan csak részben konvektív eredetű, de a termikus hajtóerő is szerepet játszik benne (hidrotermális konvekció).

Összefogta e három területet az, hogy a három áramlásforma fizikai különbségei mellett sok hasonlóság is van közöttük. E hasonlóságok között első helyen áll az, hogy matematikai leírás módjuk nagyon nagy mértékig azonos.

A vizsgált konvekciós problémák három fő egyenlete a mozgásegyenlet, a hőtranszport egyenlete és (csak a magnetokonvekció esetében) a magnetohidrodinamika alap-egyenlete. A mozgásegyenlet a köpenykonvekció és a hidrotermális konvekció esetében nem tartalmazza explicite az időváltozót, azaz peremérték feladatra redukálódik. Ezt az egyenletet horizontális irányokban spektrális felbontással, vertikálisan véges differenciákkal oldottuk meg. A hőtranszport és a mágneses tér egyenlete, valamint a mozgásegyenlet a magnetokonvekció problémájában evolutív, azaz itt időben előre kell integrálnunk: erre a véges differenciákon alapuló ADI (alternating direction implicit) iterációt alkalmaztuk. Két- és háromdimenziós szimulációval egyaránt foglalkoztunk.

1. A legérdekesebb új eredményeink a köpenykonvekció számítógépes szimulációjából születtek.

Az eredmények egy első csoportja a földfelszint alkotó litoszférblokkok mozgásának explicit figyelembevételén alapszik. A kérdés az, hogy a merev lemezmozgás hogyan befolyásolja a konvekció háromdimenziós szerkezetét. A feladat két meghatározó paramétere a Rayleigh-szám és a lemezmozgás sebessége. Ezek függvényében lehet feltérképezni a lehetséges megoldási formákat. Ezek között transzverzális és longitudinális (Richter-féle) hengeráramok, ill. sokszögcellás cirkulációs elrendezések fordulnak elő. A Föld

aktuális paramétereivel számolva a felszálló oszlopok által dominált sokszögcellás szerkezetnek kell megvalósulnia. Ez az eredmény megerősíti azt az elképzelést, hogy a köpenykonvekció fő felszálló mozgása oszlopszerű és a *hotspot*-ok alatt található meg.

A köpenyre vonatkozó modellszámításaink nagyobbik csoportjában a 400 és 1000 km mélységek között húzódó „átmeneti zóna” sajátosságaira koncentráltunk. E zónában több fontos fázisátalakulás van, emellett az újabb geoid-inverziók azt jelzik, hogy itt egy „második asztenoszféra”, azaz egy alacsony viszkozitású rétegnek is jelen kell lennie. A köpenyszerkezet e fontos elemei nagyon erősen befolyásolják a konvekció elrendezését. A 660 km-nél megállapított endoterm spinel-perovszkit átalakulás és a második asztenoszféra együtt erőteljes áramlási rétegződést okoz, éppen a 660 km-es határnál [CSEREPES, YUEN 1997]. Ha ez alatt a határ alatt valahol 1000 km környékén egy további endoterm fázisátalakulás is jelentkezik, ahogy ezt amerikai és japán szeizmológusok méréseiből ténylegesen fel lehet tételni („920 km-es diszkontinuitás”), akkor áramlási rétegződés 660 km-nél és e mélyebb határnál egyaránt előfordulhat [CSEREPES et al. 1998]. Ez az eredmény magyarázatot tud adni a szubdukciós zónákat érintő, tomografikus eszközökkel nyert adatokra, melyek szerint a szubdukció 660 km-nél és egy mélyebb szinten is akadályba ütközhet. Emellett pedig a második asztenoszféra, a 660 km-es diszkontinuitás alól is származhatnak felszálló oszlopáramlatok [CSEREPES et al. 1998, YUEN et al. 1998]. A geofizikában (és a geokémiában is) jelenleg az a nézet az uralkodó, hogy felszálló oszlopok vagy a 660 km-es határról, vagy a 2900 km mélységben lévő köpeny-mag határról érkeznek a felszínhez. A geokémiai elemzések valóban igénylik is legalább két különböző mélybeli „rezervoár” jelenlétét. A második asztenoszféra is jelölt lehet egy ilyen geokémiai rezervoárra, s a belőle induló felszálló áramoszlopok sokkal egyszerűbben magyaráznák a geokémiai adatokat, mint a köpeny-mag határ instabilitásai.

2. A Föld folyékony magjának konvekciója elektromosan vezető közegben és mágneses térben zajlik. Ez a folyamat a földmágnesség dinamóelméletének egyik alapeleme. A rá vonatkozó ismereteink egyelőre sokkal bizonytalanabbak, mint amit a köpenykonvekcióról tudunk. A modellszámítások fontos mozzanata a mágneses térnek az áramlásra való visszahatása a Lorentz-erőn keresztül. Bár a Föld magjában a Coriolis-erő közvetítésével a Föld forgásának is fontos dinamikai szerepe van, egyelőre ezt a hatást mellőztük, hogy tisztán a mágneses tér és a konvekció kölcsönhatásainak fizikai természetére kaphassunk választ [CSEREPES 1998]. A földforgás hatása az örvényegyenletben minimális akkor, ha az Egyenlítő síkjában vagyunk, ezért kétdimenziós modelljeinket úgy lehet interpretálni, hogy azok a földmag egyenlítői

¹ ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

metszetének áramlási viszonyait írják le. A földmag paramétereit minden valószínűség szerint olyanok, hogy ez az áramlás a nagy sebességek tartományában, kaotikus módusban zajlik. Modellszámításaink főként ennek a módusnak a vizsgálatát célozták. A számítások a paraméterek (Rayleigh-szám, Chandrasekhar-szám) változásának szélesebb intervallumait ölelték át, tekintve, hogy ezek az adatok a magra vonatkozólag nagyságrendileg is bizonytalanok. Az eredmény az, hogy a feltehetőleg erős toroidális mágneses tér a magban elnyúlt áramlási cellákat okoz, azaz az áramlásnak is domináns toroidális komponense van. Ez a toroidális áramlás a mágneses dinamo egyes elméleti modelljeinek fő mozgáseleme, ezért különösen érdekes, hogy a mágneses konvekció önmagában is produkálja ezt a mozgásformát.

3. A földkéreg porózus-permeábilis közetrétegeiben, tipikusan a legfelső laza üledékretegekben a felszín alatti vizek cirkulációja zajlik. Ez a mozgás ugyan legtöbbször egyszerűen a hidraulikus nyomáskülönbségek folyamánya, helyenként azonban a hőmérsékleti eredetű felhajtóerő is befolyásolja. Ahol ilyen hidrotermális konvekció fellép, ott nagyon erős ez a befolyásoló szerep.

Feltérképeztük a hidrotermális konvekció szerkezeti formáit arra az esetre, amikor a nyitott felszínen konstans hidraulikus gradiens van adva. Ezek a „térképek” a (Rayleigh-szám, hidraulikus gradiens) változó páros függvényében rajzolják fel a cirkulációs formák stabilitási zónáit. Jellemzően három nagy tartomány figyelhető meg e stabilitási diagramokon. Viszonylag kis hidraulikus gradiens, de elég nagy Rayleigh-szám esetén időben változó, szabálytalan alakú poligoncellák mutatkoznak. Növelve a hidraulikus gradienst longitudinális hengercellákat kapunk, melyeknek tengelye a lejtés irányába mutat. Végül nagyon nagy hidraulikus lejtő esetén transzverzális hengerek jönnek létre, melyekben a hidraulikus eredetű áramláskomponens elnyomja a termikus konvekció hatását.

Magyarországon a Kis- és Nagyalföld nagyléptékű, regionális vízáramlási rendszerek területe, s előfordul termikus konvekció is (Tiszakécske). Ezek az áramlások többékevésbé kimérhetők a nyomáseloszlásnak és az oldott anyagok eloszlásának a segítségével. Több alföldi szelvény mentén megpróbálkoztunk az áramlás pontos rekonstrukciójával. Kútbeli nyomásmérések nagy számban állnak rendelkezésre,

így ez a legegyszerűbb lehetőség az áramlás felmérésére. Egy, a Dunától Tiszakécskén át a Nyírségig húzódó hosszú szelvény mentén ilyen módon határoztuk meg a vízmozgás elrendeződését [GALSA 1997]. Az eljárás egyfajta geofizikai inverzióknak tekinthető, melynek során adatokat nyertünk a közeg permeabilitásáról és anizotrópiájáról. A szelvény mentén mindenütt hidraulikus típusú áramlás zajlik, de Tiszakécske vidéke kiugróan jelzi, hogy itt a termikus konvekció is megjelenik. Egy másik inverziós kísérlet során a Tiszakécske–Nyírség szelvényrészleten a felszín alatti vizek héliumgáz-tartalmának segítségével rekonstruáltuk a vízáramlást [CSEREPES, LENKEY 1998]. Bár He-koncentrációt mérni nehezebb, mint víznyomást, Magyarországon viszonylag jelentős mennyiségű He-tartalom adat áll rendelkezésünkre. A hélium, mint környezetével nem reagáló nemesgáz, egyszerű törvényeknek megfelelően migrál a mozgó felszín alatti vizekben. A He-inverzió ugyancsak fontos adatokkal szolgált a tiszántúli vízvezető rétegek permeabilitási viszonyairól, s ezzel a módszerrel is ki lehetett mutatni a tiszakécskei konvekciós zónát.

HIVATKOZÁSOK

- CSEREPES L., YUEN D. A. 1997: Dynamical consequences of mid-mantle viscosity stratification on mantle flows with an endothermic transition. *Geophys. Res. Lett.* **24**, 181–184
- CSEREPES L., YUEN D. A., SCHROEDER B. A. 1998: Effects of the mid-mantle viscosity and phase-transition structure on 3D mantle convection. University of Minnesota Supercomputer Institute, Res. Rep. UMSI 98/60, p. 34
- CSEREPES L. 1998: High-amplitude magnetoconvection in a horizontal external magnetic field. Submitted to *Acta Geod. Geophys. Hung.*
- CSEREPES L., LENKEY L. 1998: Modelling of helium transport in groundwater along a section in the Pannonian basin. Submitted to *J. Hydrology*
- GALSA A. 1997: Felszín alatti vízmozgás modellezése egy alföldi szelvényen, fúrólukákban mért víznyomások felhasználásával. *Magyar Geofizika* **38**, 245–256
- YUEN D. A., CSEREPES L., SCHROEDER B. A. 1998: Mesoscale structures in the transition zone: Dynamical consequences of boundary layer activities. *Earth, Planets and Space* (in press)

CSEREPES László

