

# A Kárpát-medence főbb kéreg-határfelületei a gravitáció (izosztázia elve) alapján

Kiss J.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,  
1123 Budapest, Alkotás utca 50.  
E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

Korábbi években foglalkoztunk az izosztázia jelenségével, majd ezekből kiindulva elkészítettük az izosztázia alapján Magyarország Moho-mélységtérképét. A másik határfelület, a Conrad-határfelület meghatározása már nagyobb kihívást jelentett, mert ez nem jelenik meg mindenhol, nem olyan egyértelmű az azonosítása, és csak a kontinentális kéreg jellemzője. Ez a határfelület – azaz a felső kéreg és az alsó kéreg közötti határfelület – a szial (Si–Al) és a szima (Si–Mg) összetételű kérget választja el egymástól. Néha ez a határátmenet éles, néha olyan vastag, hogy sokszor középső kéregként hivatkozunk rá. A Conrad-felület mélységtartományában található a vas (Fe) Curie-hőmérsékletének mélysége is, így mágneses és magnetotellurikus jelenségek is kapcsolódhatnak e felülethez.

Kalmár és szerzőtársai az Alp-Array program keretében a határokon túlnyúlva is vizsgálták a Moho- és a Conrad-felületek mélységi elhelyezkedését passzív szeizmikus mérési háló adatai alapján.

Jelen tanulmányban az izosztázián alapuló vizsgálatainkat kiterjesztettük a határokon túlra, az egész Kárpát-medence területére, amit a belső üledékes medencék mélységadatai tettek lehetővé, és az adatokat összevetettük a ritkább szeizmológiai adatokból kapott eredményekkel, majd történt egy korrekció is, amelyet a korábbi szeizmikus mérésekből kapott minimális és maximális Moho-mélység alapján végeztünk.

## Kiss, J.: Main crustal boundaries in the Carpathian Basin based on principle of gravity isostasy

In previous years, we studied the phenomenon of isostasy, and based on this, we created a map of Hungary's Moho depth based on isostasy. Defining the other boundary surface was more challenging because the Conrad boundary surface does not appear everywhere, is not so easy to identify, and is only a feature of the continental crust. This boundary separates the crust composed of sial {Si–Al} and sima {Si–Mg} – that is, the boundary between the upper crust and the lower crust. Sometimes this boundary is sharp, sometimes it is so thick that we often refer to it as the middle crust. The depth range of the Conrad boundary also corresponds to the depth of the Curie temperature of iron (Fe), so magnetic and magnetotelluric phenomena may also be associated with this boundary.

Kalmár and his co-authors examined the depth of the Moho and Conrad surfaces across borders as part of the Alp-Array program, based on data of passive seismic measurement networks.

In this study, we extended our isostasy-based investigations beyond national borders to cover the entire Carpathian Basin, which was made possible by depth data from internal sedimentary basins, and compared the data with results obtained from less frequent measured seismological data, and then we made a correction based on the minimum and maximum Moho depths obtained from previous seismic measurements.

Beérkezett: 2025. november 12.; elfogadva: 2025. november 28.

## 1. Bevezetés

A 2009 és 2010-ben megjelent cikkekben foglalkoztunk a lokális izosztázia jelenségével és kiszámoltuk, hogy az izosztázia elve alapján, Magyarország területén milyen mélységben lehet a Moho-határfelület (Kiss 2009, 2010). 2009-ben csak a domborzatból indultunk ki, de az Airy-féle izosztáziaelv (Airy 1855) ismeretében, hamar kiderült, hogy a mély üledékes medencék (üledékvastagsága, az üle-

dékek sűrűsége) is hatással vannak a Moho-mélységre, amit aztán a 2010-es cikkben részletesen tárgyaltunk.

Természetesen előkerült a Vening Meinesz-féle regionális izosztázia elve (Vening Meinesz 1931) is, ami a rugalmaslemez-modellen alapuló új, regionális izosztáziaelmélet. Ez Magyarország viszonylatában talán nem feltétlenül mérvadó, de a nagyobb Kárpát-Pannon Régió esetében már komolyabb figyelmet érdemelne. Erre irányuló törekvés a környező országok gravitációs adatfeldolgozásaiban

sem volt tapasztalható – bár a jelenségre egy korábbi cikkünkben már felhívtuk a figyelmet (Kiss 2017) – noha a mély, például Moho-inhomogenitástól származó hatások kiszűrése nélkül nehéz a Bouguer-anomália-térképet földtani értelmezésre használni.

Sajnos a Kárpát-Pannon Régió regionális izosztázia-vizsgálatára még nem vagyunk felkészülve, de a lokális izosztatikuss hatásokhoz a kiindulási adatok, domborzati magasság, a medencemélység és az üledék átlagsűrűségének meghatározása már rendelkezésre áll, így a lokális izosztázia alapján kirajzolódó Moho-inhomogenitás és a Conrad-inhomogenitás felszínét meg tudjuk határozni.

Azzal azért tisztában kell lenni egyrészt, hogy a térségben a regionális izosztázia is jelen van, másrészt az izosztázia jelensége az epirogén (lassan lezajló, hosszan tartó folyamatok) mozgásokhoz sorolható, ezzel szemben a gyors lefolyású geodinamikai mozgások az orogén mozgásokhoz tartoznak, és ezek felülírhatják az izosztatikuss mozgásokat (Kiss és Zilahi-Sebess 2018) és azok hatását.

Adódik tehát, hogy egy komplex mozgássor (regionális izosztázia, lokális izosztázia, geodinamika) eredményét egyszerre látjuk, noha azok évmilliók alatt fejlődtek és alakultak ki, így bármilyen egyoldalú megközelítés csak rész megoldást jelenthet.

Mindezek ellenére érdemes volt a 2009–2010 évi izosztatikuss adatfeldolgozásokat kiterjeszteni a Kárpát-Pannon Régió területére is. Egy a gravitációs feldolgozásokról szóló akadémiai előadás (Kiss 2018) után Horváth Ferenc-

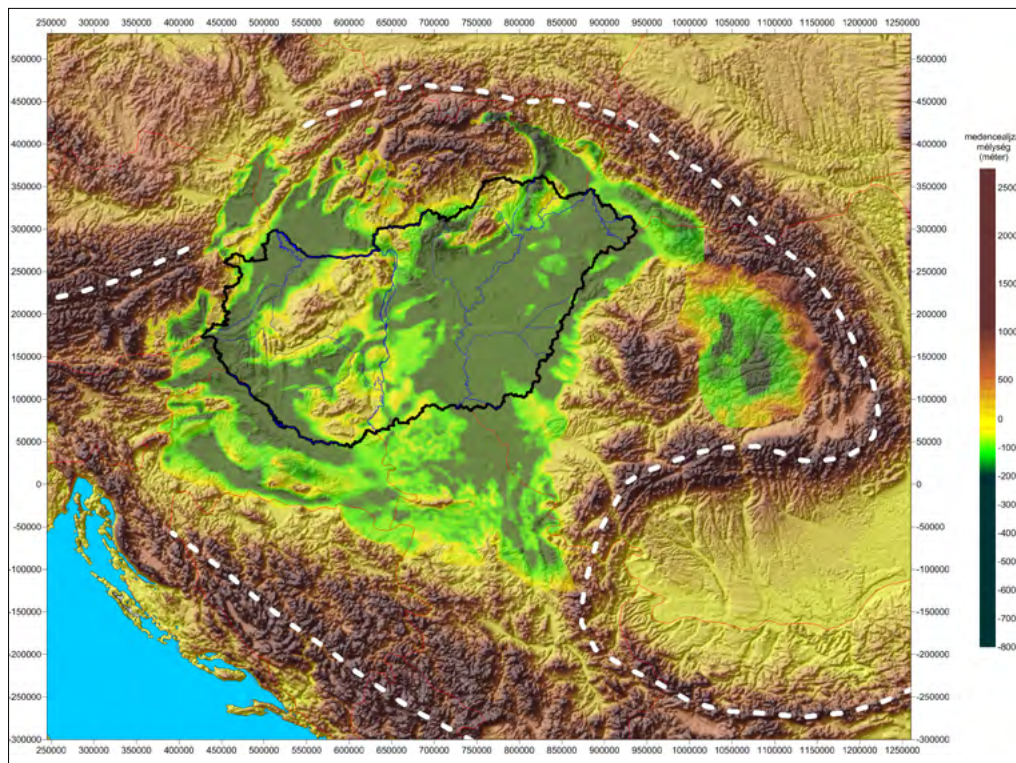
cel beszélgettünk, s ő mondta nem szó szerint idézve: „ahhoz, hogy világosabban lássunk – noha tudjuk, hogy az eredmény nem lesz igaz – ezeket az izosztatikuss vizsgálatokat ki kell terjeszteni a Kárpát-Pannon Régió területére, meghatározva az izosztatikuss elv szerinti Moho-határfelület mélységét a medence belsejében és a környező hegyvonulatok alatt is.”

2025-ben az SZTFH Földtani Szolgálat a más cégekkel együttműködve elkezdte a Kárpát-Pannon Régió geotermikus modelljének kialakítását, melynek keretében minden az áramlást és hőmérsékletet befolyásoló határfelületet, a Conrad- és a Moho-inhomogenitásokat is figyelembe kellett venni. Jelen tanulmány, ehhez a geotermikus projekthez kapcsolódva készült.

## 2. MOHO-határfelület mélysége a Kárpát-Pannon Régióban

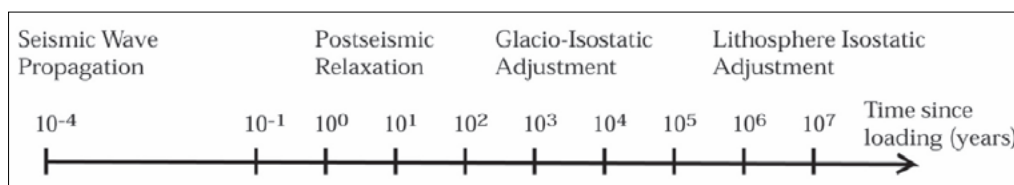
Pillanatnyi izosztatikuss egyensúlyt feltételezve, a domborzati és medencealjzat mélységadatokból (1. ábra) a Moho-felszín domborzata meghatározható.

Az izosztatikuss mozgások (epirogén mozgások) kialakulásának, lefutásának ideje ~10 millió év körüli (2. ábra), a gyors geodinamikai mozgások (orogén mozgások) ehhez képest pillanatszerűen zajlanak le, így „bármikor” felülírhatják az izosztaziát. A kiszámított Moho-felszín tehát egy idealizált felszín, amelyet a gyors geodinamikai folyamatok hatásának kizárásával határozhatunk meg. Korábbi



1. ábra A nagy sűrűségű kristályos kőzetek felszíne a Kárpát-medencében – domborzat a hegyvidéken és medencealjzat-mélység a medence belsejében (árnyékolts)

Figure 1 The surface of high-density crystalline rocks in the Carpathian Basin – relief in the mountainous region and basement depth in the interior of the basin (shaded)



2. ábra | A különböző földtani mozgások az időskálán (Thatcher & Pollitz 2010)

Figure 2 | Various geological movements on the time scale (Thatcher & Pollitz 2010)

vizsgálataink a Kelet-Kárpátok vonulata mentén (Kiss, Zilahi-Sebess 2018) bemutatta, hogy a hegység gerincvonalának legmagasabb pontja és az izosztatikus gyökérvonalának legmélyebb pontja ma már 25 km-re eltávolodott egymástól – a köpeny K-i, DK-i mozgása gyorsabb, mint a kéreg „súrlódással átadott” mozgása!

Az alkalmazott izosztatikus alakképlet (pl. Heiskanen, Veining Meinesz 1958) ennek megfelelően a következőképpen írja le a hegységek esetében az izosztatikus gyökérvonal (*root*) mélységét:

$$d = d_c + [(\sigma_c - \sigma_i)/(\sigma_m - \sigma_c)] h_i, \quad (1)$$

ahol

$d$  – a kompenzációs mélység (*root*),

$d_c$  – a kéreg átlagos vastagsága,

$\sigma_c$  – a kéreg sűrűsége ( $2670 \text{ kg/m}^3$ ),

$\sigma_i$  – a levegő sűrűsége ( $\sim 1,3 \text{ kg/m}^3$ ),

$\sigma_m$  – a köpeny sűrűsége ( $3270 \text{ kg/m}^3$ ),

$h_i$  – a domborzat magassága ( $h_i > 0$ ).

$$d = d_c + [(2670 - 1,3)/(3270 - 2670)] h_i,$$

$$d = d_c + 4,44783 h_i.$$

A domborzat okozta izosztatikus gyökérvonal:  $\sim 4,44783 h_i$ .

A mély üledékes medencék esetében köpenykiemelkedéssel (*antiroot*) kell számolni, ebben az esetben a képlet a következőképpen alakul:

$$d = d_c - [(\sigma_c - \sigma_{\bar{u}})/(\sigma_m - \sigma_c)] h_b, \quad (2)$$

$$d = d_c - [(2670 - \sigma_{\bar{u}})/600] h_b.$$

Az üledékes medence izosztatikus kemelekedése:

$$\sim (2670 - \sigma_{\bar{u}})/600 h_b,$$

ahol

$d$  – a kompenzációs mélység (*antiroot*),

$d_c$  – a kéreg átlagos vastagsága,

$\sigma_c$  – a kéreg sűrűsége ( $2670 \text{ kg/m}^3$ ),

$\sigma_{\bar{u}}$  – az üledékek sűrűsége (?),

$\sigma_m$  – a köpeny sűrűsége ( $3270 \text{ kg/m}^3$ ),

$h_b$  – az ismert medencemélység ( $h_b < 0$ ).

Az (1) és (2) képlet csak a második tag előjelében különbözik – a hegységek izosztatikus gyökerei (*root*) negatív gravitációs okoznak, a mély medencék által okozott izosztatikus kiemelkedések (*antiroot*) a kéreg–köpeny határon ( $\sim 25 \text{ km}$ ) pozitív gravitációs hatást okoznak. A (2)

képletben az üledékes medence sűrűségét elvileg vehetnénk állandónak (ez sok szempontból előnyös lenne), de valójában ez egy változó érték, amelynél figyelembe kell venni a medence mélységét és a tömörödési trendet.

### a) Az üledékes medencék átlagsűrűsége

A porozitás a laza üledékek esetében a mélység növekedésével csökken (Athy 1930), aminek következtében az üledékek sűrűsége a mélységgel növekszik. Ez azt jelenti, hogy bizonyos határmélységig a mélység növekedésével, csökkenni fog a porozitás és ennek megfelelően nő a sűrűség.

Mészáros és Zilahi-Sebess (2001) mélyfúrás-geofizikai adatok alapján megállapították, hogy a magyarországi vastag üledékek esetén a sűrűség mélységfüggése a következő képlettel közelíthető:

$$\sigma = (a - b \cdot e^{-ch}) d, \quad (3)$$

$$\sigma = [2,7 - 0,8 e^{-(0,00071 \cdot h)}] \cdot 1000,$$

ahol  $a$  az üledékek maximális sűrűsége (országos szinten  $a = 2,7$ ),  $b$  a felszínre extrapolálás paramétere (országos szinten  $b = 0,80$ ),  $c$  a növekedés mértékének paramétere (országos szinten  $c = 0,00071$ ),  $d$  a CGS–SI átváltás koeficiense ( $d = 1000$ ),  $h$  a mélység (m) és  $\sigma$  az adott mélységre vonatkozó sűrűség ( $\text{kg/m}^3$ ) értéke. Az üledékes medence okozta köpeny-kiemelkedés mértékének kiszámításakor ezt az összefüggést fogjuk felhasználni. A (3) képlet alapján a medence adott ( $h_b$ ) mélységére ki tudjuk számítani a legnagyobb sűrűséget. Ennek a sűrűségnek és a felszíni sűrűségnek ( $1900 \text{ kg/m}^3$ ) az átlagát képezve előállíthatjuk a medence átlagos sűrűségét, amely pontról pontra változik. Mivel azonban a sűrűség–mélység összefüggés nem lineáris, ezzel valószínűleg alulbecsülnénk a medence sűrűségértékét. Célszerű tehát egy olyan, nem túl bonyolult képletet (4) alkalmazni, amely jobban figyelembe veszi a mélységfüggést. Ilyen lehet például a súlyozott átlagolás. Kiszámítva minden pontra a felszíni, a fél mélységbeli és a maximális mélység sűrűségét, majd súlyozva átlagoljuk a minimális, maximális és fél mélységbeli sűrűségértékeket, megkapjuk a keresett átlagsűrűséget:

$$\sigma = (\sigma_{\min} + 2\sigma_{\text{közép}} + \sigma_{\max})/4. \quad (4)$$

A számítás érdekessége, hogy medencék magas helyzetben, a fennsíkokon is vannak...

A domborzat alapján kiszámítjuk a kéregsűrűséggel a „root”-hatást, majd a medencékre kiszámítjuk az átlagos

medenceüledék sűrűséggel az „antroot”-hatást, amely értékével kompenzálni fogja magas helyzetű helyeken is a „root”-hatást.

**b) Feldolgozási lépések:**

**Alapadatok:**

- 1) Domborzat kivágása és EOVSz transformációja a Kárpát-Pannon Régió területére az SRTM<sup>1</sup> adatokból;
- 2) A Kárpát-Pannon Régió belső medencéinek mélységtérképe.

**Részeredmények:**

- 1) Az izosztatikusan eredetű gyökérzóna (*root*) hatása a domborzati térkép alapján (negatív mélységértékek a vonatkoztatási szinthez képest);
- 2) Az izosztatikusan eredetű köpenykiemelkedés hatása a medence mélységtérképe alapján (többnyire pozitív értékek a vonatkoztatási szinthez képest, kivéve a fennsíki medencéket); Az üledékoszlop átlagsűrűségének meghatározása a minimum és a tömörödési trend alapján meghatározott maximum értékek alapján (pontonként) – a térkép üresen maradt részeinek feltöltése nodata helyett 0, azaz a nulla értékkel a rácsművelet miatt.

<sup>1</sup> SRTM – Shuttle Radar Tomography Mission (Űrradar-tomográfia segítségével az egész Földre létrehozott domborzati modell)

**Végeredmény:**

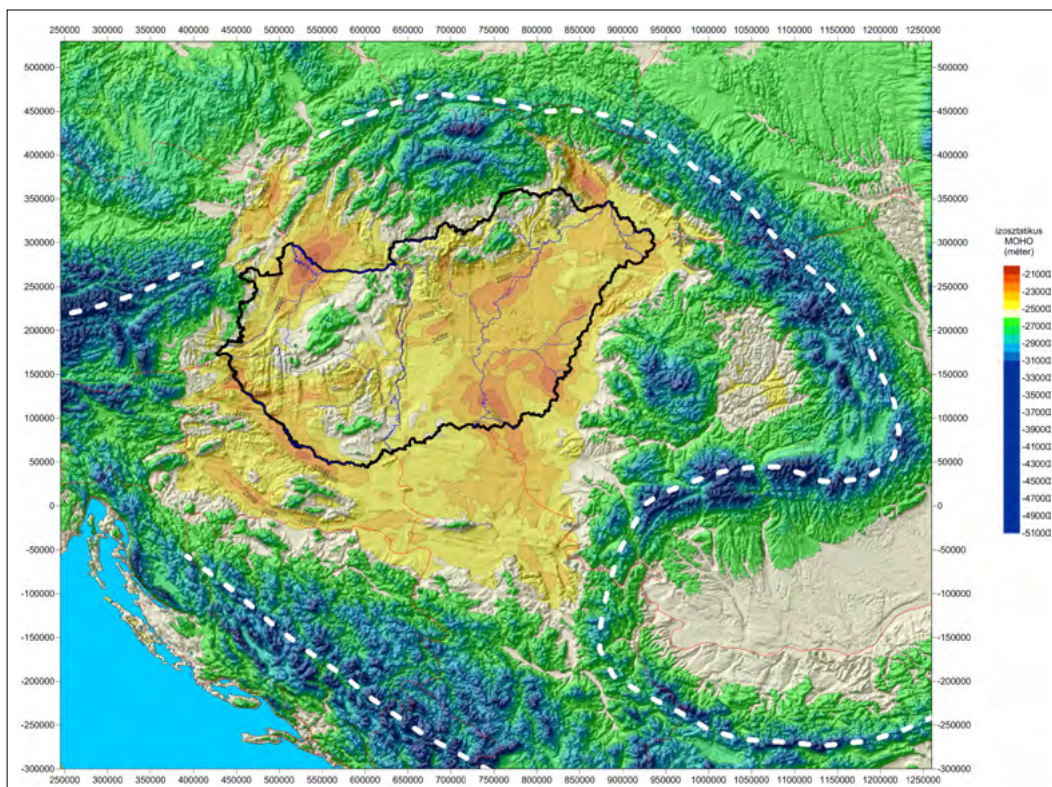
- 1) Moho szint (3. ábra) meghatározása a gyökérzónák és a köpeny-kiemelkedések alapján  $Moho_{depth} = -(25000 + root - antiroot)$
- 2) A szeizmikus MOHO mélységadatok alapján alap-szint és amplitúdó korrekció.

**3. A CONRAD-határfelület mélysége a Kárpát-Pannon Régióban**

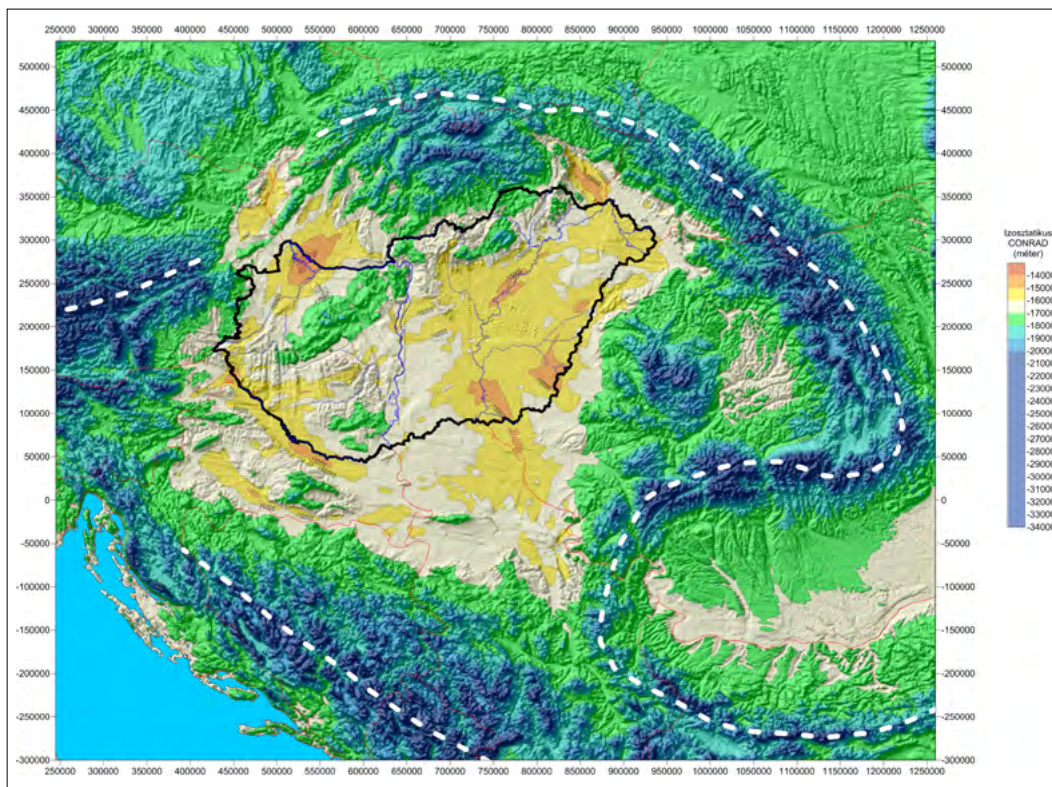
A Conrad-felület a szeizmikus reflexiók (refrakciók) szelvényeken időnként jól látszik, de egyrészt csak a kontinentális lemezekben jelentkezik, és ott sem mindenhol azonosítható, a lokális földtani, hidrogeológiai, hőmérsékleti és legfőképpen közettani kifejlődéstől függően (Kiss 2022).

A szeizmológiai (Alp-Array) mérési hálózat adataiból készült már Conrad-határfelület-térkép, de országosan 90 állomás adatait használták fel, ami elég ritka (Kalmár 2021).

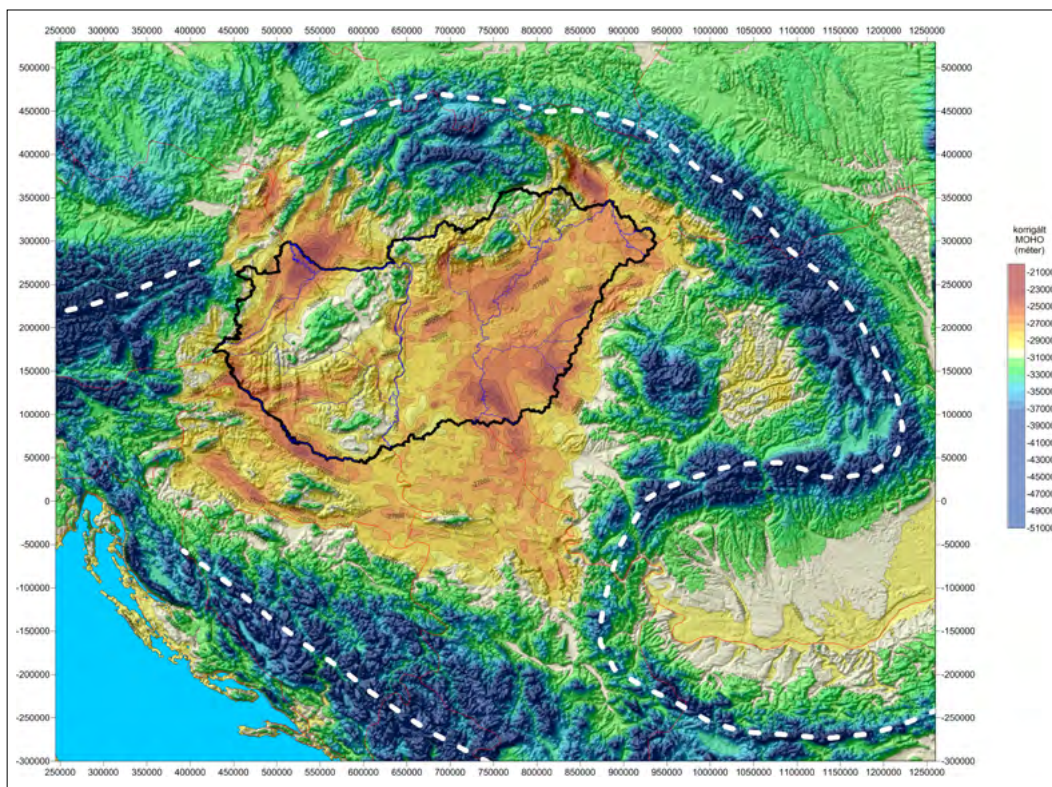
A szelvények mentén végzett gyakorlati feldolgozások alapján a Conrad-határfelület közel párhuzamos lefutású a Moho-határfelülettel – a Moho mélysége hatással van a Conrad mélységére. A Moho átlagmélysége Magyarországon 25 km, a Conrad-felületé 18 km körül van. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a Conrad-határfelület a Moho mélységének kétharmad része, azaz a  $H_{Conrad} = (2H_{Moho})/3$  képlettel jó közelítéssel megkapjuk a Conrad-határfelület mélységét (4. ábra).



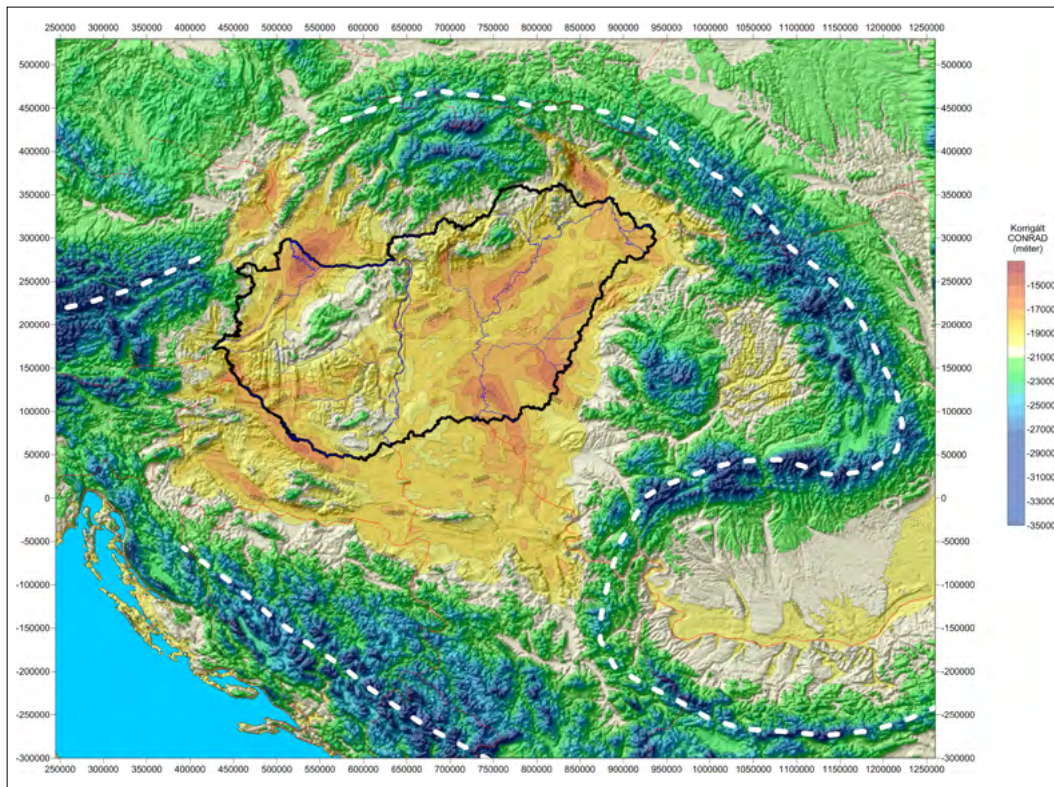
**3. ábra** | A Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében az Airy-féle izosztázia alapján  
**Figure 3** | Depth map of the Moho boundary in the Carpathian Basin based on Airy’s isostasy



**4. ábra** | A Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében az Airy-féle izosztázia alapján  
**Figure 4** | Depth map of the Conrad boundary surface in the Carpathian Basin based on Airy's isostasy



**5. ábra** | A szeizmikus adatok alapján korrigált Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében  
**Figure 5** | Depth map of the Moho boundary surface corrected based on seismic data in the Carpathian Basin



**6. ábra** | A szeizmikus adatok alapján korrigált Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében  
**Figure 6** | Depth map of the Conrad boundary surface corrected based on seismic data in the Carpathian Basin

Ez a megközelítés nyilván csak a Kárpát-medence belsőjében igaz, a környező hegykoszorún túl már nincsenek gyakorlati tapasztalataink, ott valószínűleg más törvényszerűségekkel kellene számolni.

A Conrad-határfelület mélységtérképét a 4. ábra mutatja. Első ránézésre ugyanolyan, mint a Moho-határfelület (3. ábra) mélységtérképe, ami nem meglepő, hiszen abból származtattuk. A különbség csak a mélységtérkékekben van, amit a színskála alapján azonosíthatunk.

Ha a számításból kapott Moho-felszín összevetjük a szeizmikus mérésekből kapott Moho-felszínnel (Posgay 1991), akkor kisebb mélységeket és amplitúdókat tapasztalunk. Ez kétféle dologból adódhat:

1. Az izosztatikus megfontolások során homogén és konstans kéreg-, illetve köpenysűrűséget feltételeztünk, noha a valóságban nem az. A valódi sűrűségviszonyok megismerése irreális vállalkozásnak tűnik, így az izosztatikus kompenzációs mélységet sem tudjuk tovább pontosítani.
2. A Moho átlagos szintjének a 25 km-t választottuk, ehhez adtuk hozzá a gyökérvonal és a köpenykiemelkedések okozta változásokat. Ez azonban csak egy közelítő érték, ez az átlagérték lehet ennél kisebb, de inkább nagyobb is. Az átlagos mélység pontosítása csak a szeizmikus mérések alapján lehetséges.

Feltételezve, hogy az izosztatikus megfontolásból kapott Moho-felület ( $H_{I\_Moho}$ ) lefutásának tendenciái helyesek, a szeizmikus és gravitációs szintek eltérését szélsőértékek

alapján végzett korrekcióval (Kiss 2015) kaphatjuk meg a valódi Moho-mélységet ( $H_{V\_Moho}$ , 5. ábra).

A korrekció mértékét a következő lineáris összefüggéssel lehetett megadni:

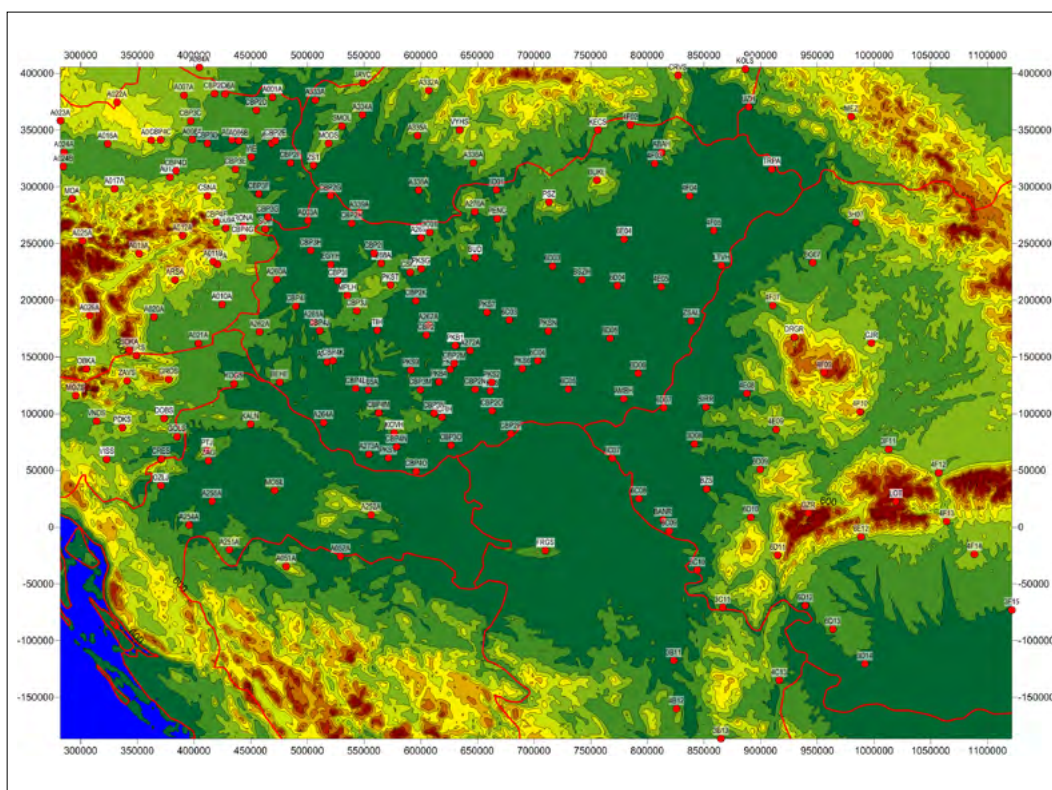
$$H_{V\_Moho} = 1,77 H_{I\_Moho} + 14965 \text{ (mBf)}.$$

(A Moho-mélység egy negatív szám, amelyet ha megszorozunk egy 1-nél nagyobb számmal, akkor még nagyobb negatív számot kapunk, ezt azonban a korrekció során eltoljuk pozitív irányban 14965 m-rel!)

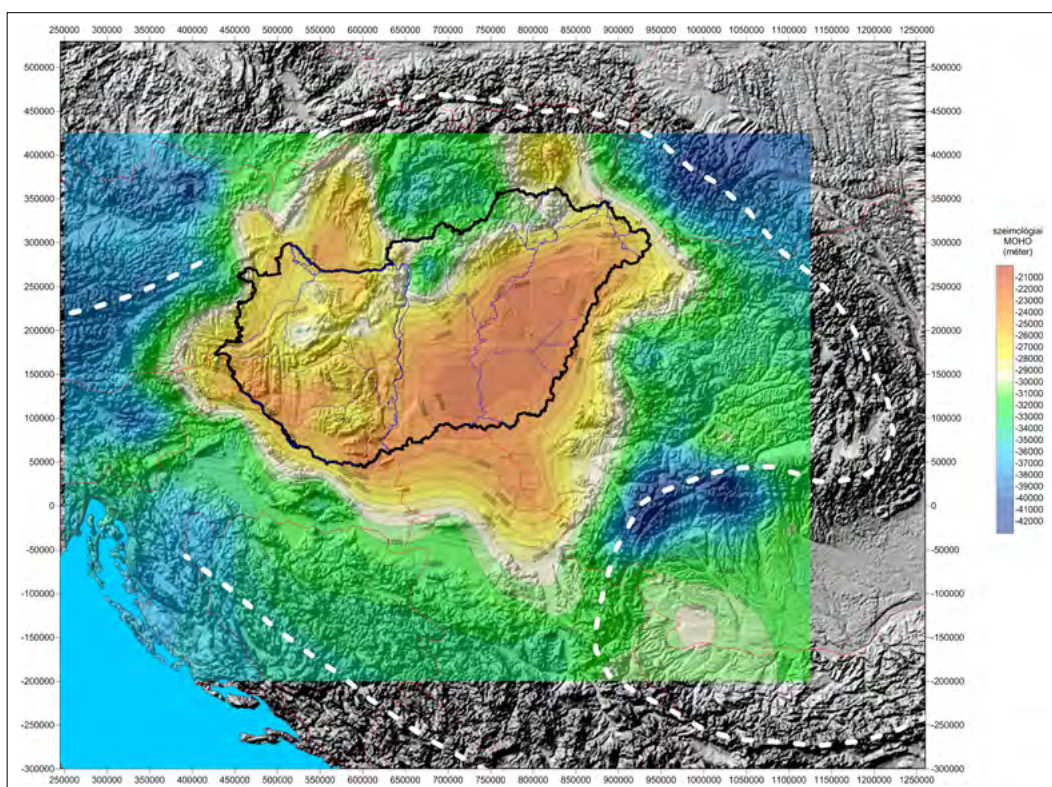
Mivel megbízható szeizmikus mélységek csak a Kárpát-medence belsejében állnak rendelkezésre, így a korrekció is csak maximum a vízválasztóig érvényes, a Kárpátokon kívül már más törvényszerűségek lehetnek!

#### 4. A határfelületek mélysége a passzív szeizmikus mérések alapján

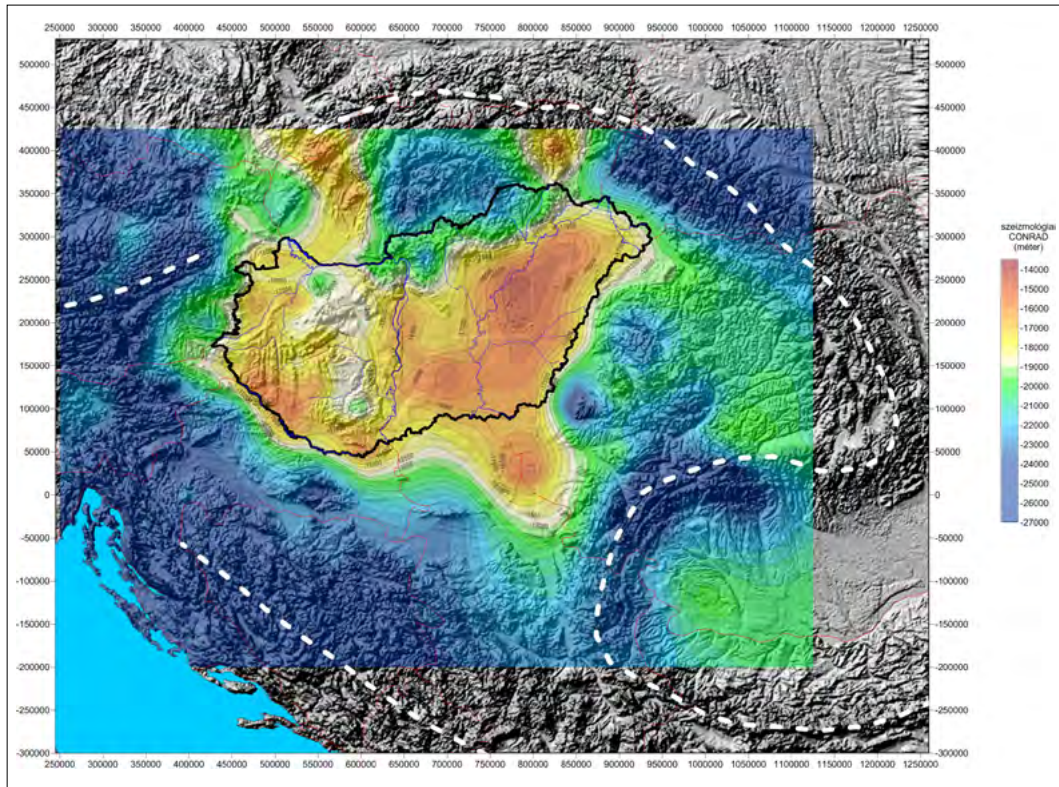
Az Alp-Array program keretében Közép-Európa 257 szeizmológiai állomásának (7. ábra) vevőfüggvény-analízise alapján a Kárpát-Pannon Régió területére is meghatározták a Conrad- és Moho-határfelületek mélységét (Kalmár 2021, Kalmár et al. 2021). A mérési pontok sűrűsége sokkal kevesebb (7. ábra), mint a gravitációs szempontú, az izosztázia alapján – domborzati és medence mélységadatokat felhasználásával – készült felület, de mivel más módszerrel, más eljárásból született, így érdekes összevetni az eredményeket.



7. ábra | Szeizmológiai, passzív szeizmikus mérési hálózat a Kárpát-medencében és közvetlen környezetében a domborzati térképen megjelenítve  
 Figure 7 | Seismological, passive seismic measurement network in the Carpathian Basin and its immediate surroundings, shown on a topographic map



8. ábra | A szeizmológiai adatok alapján a Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-Pannon Régióban  
 Figure 8 | Depth map of the Moho boundary in the Carpathian-Pannonian Region based on seismological data



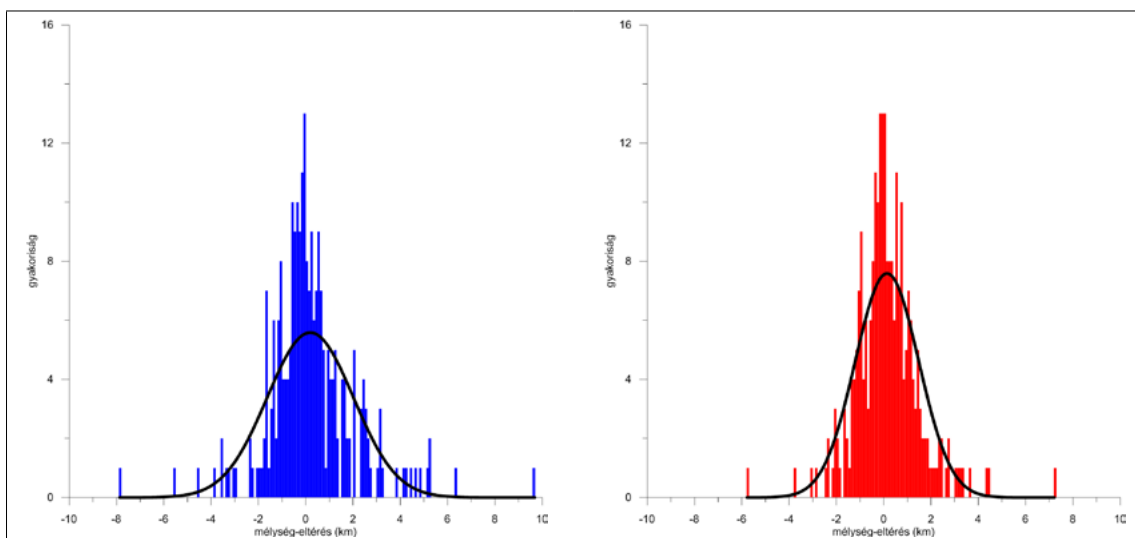
**9. ábra** | A szeizmológiai adatok alapján korrigált Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében  
**Figure 9** | Depth map of the Conrad boundary surface in the Carpathian-Pannonian Region based on seismological data

A doktori dolgozatban (Kalmár 2021) és a publikációban (Kalmár et al. 2021) szereplő felületek (gridek) nem álltak rendelkezésünkre, így a táblázatosan megadott adatok alapján készítettük el és jelenítettük meg a felületeket.

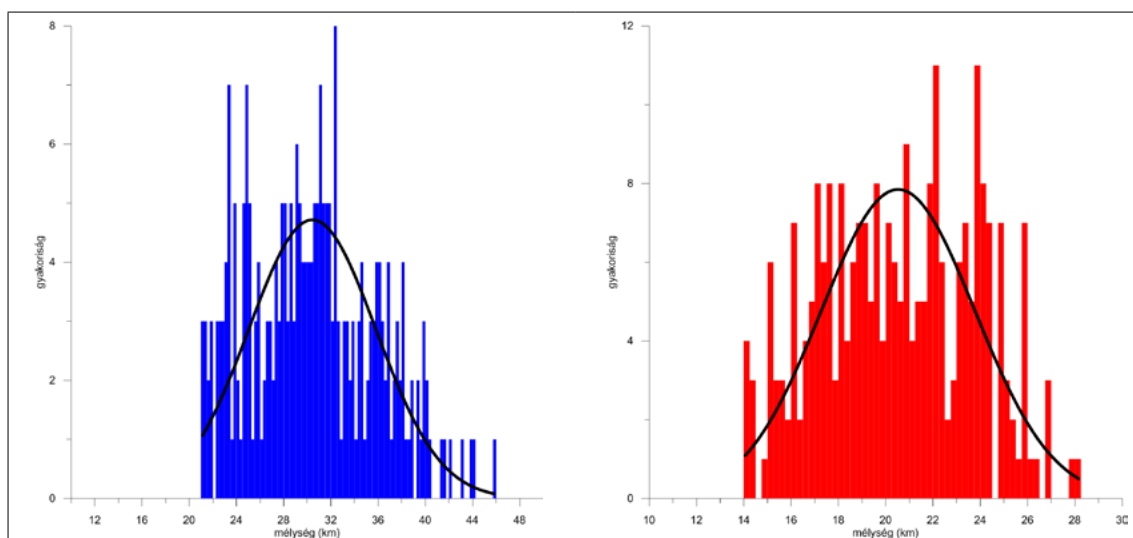
A Moho-határfelület (8. ábra) menete – a ritkább adatrendszer miatt – robusztusan, de hasonlít a gravitációs megfontolásból, az izosztázia alapján kiszámított felülethez. A térképet a mérési háló alapján körbe kellene vágni,

de akkor nagyon lecsökkenne a hasznos terület, ezért ezt nem tettük meg, viszont a passzív szeizmológiai mérőhálózat (Alp-Array) pontjait feltüntettük a domborzati térképen (7. ábra), így az adatok területi elterjedése és megbízhatósága ellenőrizhető.

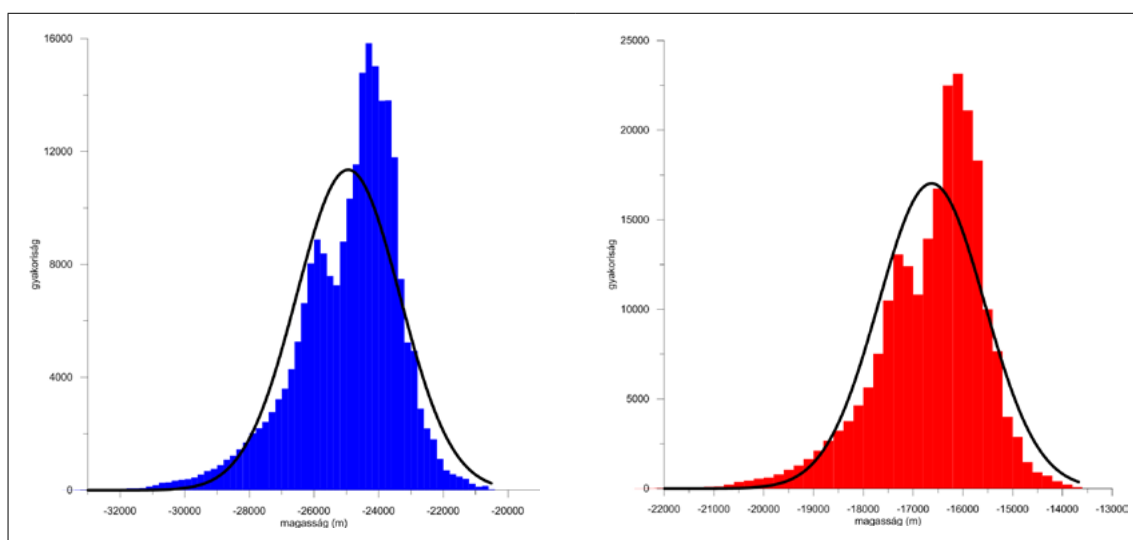
A 9. ábra a szeizmológiai adatokból meghatározott Conrad-határfelületet mutatja. A szeizmológiai Moho- és Conrad-határfelület lefutása nagyon hasonló, így az izo-



**10. ábra** | Az izosztázia és a szeizmológia alapján meghatározott Moho- és Conrad-határfelületek mélységbeli eltéréseinek hisztogramjai ( $\Delta = H_1 - H_2$ )  
**Figure 10** | Histograms of depth differences between the Moho and Conrad boundaries determined based on isostasy and seismology ( $\Delta = H_1 - H_2$ )



**11. ábra** | A szeizmológia alapján a Moho- és a Conrad-határfelület átlagmélysége a hisztogram alapján  
**Figure 11** | Based on seismology, the average depth of the Moho and Conrad boundaries according to the histogram



**12. ábra** | Az izosztázia alapján Moho- és Conrad-határfelület átlagmélysége

**Figure 12** | Average depth of Moho and Conrad boundaries based on isostasy

isztázia alapján meghatározott Conrad-szint szintén elfogadhatónak tűnik, azaz a feltételezés, hogy a Conrad-szint robusztusan követi a Moho-szint mélységváltozásait, a szeizmológia adatai is alátámasztják.

Meghatároztuk a szeizmológiai állomásokra a két határfelület mélységének eltérését, a gyakorisági hisztogramot (10. ábra). A Moho-szintek eltérése  $\pm 2$  km körüli, a hisztogram módusa  $-0,5$  km-en található (Gauss-görbe szerint 0 km).

A Conrad-szintek eltérése szintén  $\pm 2,5$  km, kicsit szélesebb a hisztogram törzse, de a módus itt kicsit közelebb van a nullához, értéke inkább  $-0,25$  km (Gauss-görbe szerint 0 km). Természetesen vannak kiugró értékek is, de azokkal külön most nem foglalkozunk.

A szeizmológiai mélységadatok hisztogramja alapján a Moho- és a Conrad-felületek közepmélysége is meghatározható (11. ábra). A Moho átlagmélysége a Gauss-görbe alapján 30 km, a Conrad átlagmélysége a Gauss-görbe alapján 20 km körül van. A hisztogram módusa nem meggyőzően rajzolódik ki – nagyon szórnak az értékeke, így az illesztett görbe maximumértékét használtuk.

Az izosztázia alapján a Moho-határfelület mélységének hisztogramja kettős csúccsal jelentkezik, amelyet a Conrad-határfelület is átörököl. A maximumérték azonban kijelölhető – a Moho 25 km-es átlagmélységű (korrigált érték 31 km), a Conrad 16 km körüli átlagértékkel jelentkezik (korrigált 21 km). Az illesztett Gauss-görbe alapján meghatározható maximumhely mindkét esetben valamivel nagyobb mélységet adna.

## 5. Összegzés

A földkéregbeli és a kéreg–köpeny határfelületek több szempontból is érdekesek.

Földtani szempontból ezek a felületek ásványtani fázisátalakulások, amelyek mentén a közegnek kristálytani, kémiai, és fizikai tulajdonságai megváltozhatnak – lásd Conrad-felület mélységében bekövetkező változások mint kristályszerkezeti átalakulások, mágneses fázisátalakulás (mágneses doménszerkezet szétesése a Curie-hőmérsékleten). Vagy ilyenek a Moho-határfelületen bekövetkező változások, amelyek a közegben a hullámterjedési sebességének megváltozását idézik elő. Éppen ezeknek a változásoknak köszönhető, hogy ezeket a nagy mélységben elhelyezkedő határfelületeket felszíni geofizikai mérésekkel megismerhettük és azonosíthatjuk.

Ezek a határfelületek geotermikus és vízföldtani szempontból is fontosak, egyrészt a Föld belső hőeloszlásának ezek szintén határfelületei, amelyek megmutatják, hogy milyen mélyen van a „kályha”, azaz hogyan változik a geotermikus gradiens egy adott területen belül, és hogy a ki egyenlítődség miatt ebből milyen lokális/regionális fluidumáramlások várhatók.

E határfelületek mélységi elhelyezkedése alapján következtethetünk kéregszerkezeti, geodinamikai mozgásokra, mint például a lemeztektonika, szubdukció, kollízió, köpenydiapír, hotspotok és magmás benyomulások.

Sajnos e jelenségek nem mindegyike fordul elő a Kárpát-medencében, de ami jelen van, annak hatásai, a medence belsejében, közvetett formában megjelenhetnek.

Nyilvánvaló, hogy a lassú izosztatikus mozgásokat a gyors geodinamikai folyamatok felülírhatják és felül is írják, így a kiszámított felületek is csak „mankóként” használhatók az aktív alpi orogén zónában található Kárpát-medence esetében.

Az izosztázia alapján kapott eredmények összevetése litoszférakutató szeizmikus mérési eredményekkel (PGT, CELEBRATION, PANCAKE stb.) azonban felhívják a figyelmet például mélybeli köpenyáramlásokra (Kiss, Zilahi-Sebes 2018), vagy regionális köpenydiapírhoz kapcsolódó magmás jelenségekre (Kiss et al. 2017), mint például az intrúziók, szubvulkáni testek és hasadékvulkánok, amelyek ezeket a határfelületeket helyileg módosíthatják.

### A tanulmány szerzője

Kiss János

## Hivatkozások

- Airy G. B. (1855): On the computation of the effect of the attraction of mountain masses as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 145, 101–104.
- Athy L. F., (1930): Compaction and oil migration. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 14, 25–35.
- Heiskanen, Veining Meinesz (1958): *The Earth and its gravity field*. McGraw-Hill Series in the Geological Sciences, New York, p. 136
- Kalmár D. (2021): Crustal structure determination in the wider region of the Pannonian Basin from P receiver function analysis. Doktori (PhD-) értekezés, ELTE, Földtudományi Doktori Iskola, Budapest.
- Kalmár D., Hetényi Gy., Balázs A., Bondár I. (2021): Crustal thinning from orogen to back-arc basin: The structure of the Pannonian Basin region revealed by P-to-S-converted seismic waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126/7, Paper: e2020JB021309, 24.
- Kiss J. (2009): Regionális gravitációs anomáliák, izosztatikus hatások Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 50/4, 153–171.
- Kiss J. (2010): Mély medencék izosztatikus hatása. *Magyar Geofizika*, 51/3, 1–13.
- Kiss J. (2017): A Kárpát-medence és környezete kialakulásának egy lehetséges modellje (kaptafa után ejtőernyő). *Magyar Geofizika*, 58/2, 66–75.
- Kiss J. (2018): Mit látunk a gravitáció alapján? MTA X. osztály előadói ülés, Dinamikus litoszféra, Budapest, 2018. 05. 16.
- Kiss J. (2022): A Conrad-határfelület a Pannon-medencében (magyarországi adatok). *Magyar Geofizika*, 63/4, 190–207.
- Kiss J., Gúthy T., Zilahi-Sebes L. (2015): A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása – módszerek, mérések, eredmények. *Magyar Geofizika*, 56/3, 152–178.
- Kiss J., Vértesy L., Fancsik T., Kovács A. Cs., Madarasi A., Gulyás Á. (2017): Tisia, a geofizika adatok tükrében és a litoszférakutató szelvények szeizmikusan nagy sebességű zónáinak értelmezése. *Magyar Geofizika*, 58/4, 209–229.
- Kiss J., Zilahi-Sebes L. (2018): Geodinamika a Kárpát-Pannon régióban. *Magyar Geofizika*, 59/4, 180–196.
- Mészáros F., Zilahi-Sebes L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions*, 44/1, 21–48.
- Posgay K., Albu I., Mayerkova M., Nakladalova Z., Ibrmajer I., Blizkovsky M., Aric K., Gutdeutsch R. (1991): Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central-Europe. *Geophysical Transactions*, 36/1, 7–13.
- Vening Meinesz F. A. (1931): Une nouvelle methode pour la reduction isostatique regionale de l'intensite de la pesanteur. *Bulletin Géod.*, 29, 33–51.