

# Prekainozoos medencealjzat-mélység meghatározása gravitációs adatokból függvényközelítéses inverzióval

## *Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások és a potenciáltér-adatok összevetése országos szinten<sup>1)</sup>*

KISS J.<sup>@</sup>, GULYÁS Á., PASZERA GY.

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ),  
1145 Budapest, Columbus u. 17–23.  
<sup>@</sup>E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

A MÁFI, az ELGI, az MFGI és az MBFSZ keretein belül folyamatosan kutattuk, pontosítottuk a prekainozoos medencealjzat mélységi elhelyezkedését Magyarország területén. A felület leképzése, megismerése energetikai (pl. geotermia) és nyersanyagkutatói szempontból is fontos.

Az összegyűjtött országos földtani-geofizikai adatrendszerek (geofizikai – gravitációs és mágneses – adatbázisok<sup>2)</sup> és a mélyfúrási és rétegtani adatbázis – a GeoBank<sup>3)</sup> – adatai lehetővé teszik néhány „egyszerű” rutinművelet elvégzését, amelyek segítséget nyújthatnak a földtani információk, geofizikai erőterek és a fizikai paraméterek közötti összefüggések jobb megértéséhez.

Ahol nincsenek medencealjzatot elérő mélyfúrásaink, ott a geofizikai adatok, többek között a gravitációs mérési adatok alapján lehet az ország bármely pontjára mélységbecslést végezni, területileg kiterjesztve a mélyfúrások és a gravitációs mérési adatok között meghatározható összefüggéseket.

Cikkünk ehhez kapcsolódva – mint egy, a témakör taglalását bevezető tanulmány – mutat be néhány vizsgálatot és eredményt. A munka a jövőben remélhetőleg folytatódik...

### **Kiss, J., Gulyás, Á., Paszera, Gy.: Determination of a Pre-Cenozoic basement depth by functional approximation inversion. A national level comparison of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement with the potential field data**

Within the framework of MÁFI, ELGI, MFGI and MBFSZ, we continuously researched and specified the depth location of the Pre-Cenozoic basement in Hungary. The imaging and knowledge of the surface is important from an energetic (e.g. geothermal) and raw material research point of view.

The collected national geological-geophysical data systems (geophysical – gravitational and magnetic – databases and deep drilling and stratigraphic database – GeoBank – data) allow some “simple” routine operations to be performed, which can help to determine and for a better understanding the relationship between geological information, geophysical potential fields and physical parameters.

Where we do not have deep wells reaching the basement, depth estimates can be made for any point in the country based on geophysical data, including gravity measurements, spatially extending the relationships between deep wells and gravity measurement data.

In connection with this, our article presents some research and results as an introductory study on the topic. Work will hopefully continue in the future...

*Beérkezett:* 2022. február 11.; *elfogadva:* 2022. március 19.

## Bevezetés

A földtani képződményeket lehet a kor, a litológia és a kifejlődés alapján rangsorolni. A geológia elsősorban a kor és a kifejlődés paramétereit használja a besorolások során, amelyeket a litológiából kiindulva határoz meg. A geofizika a fizikai paraméterek alapján próbálja meg elkülöníteni a litológiát, azaz a földtani képződményeket. Ezzel kapcsolatban a földtani képződmények (elsősorban a medenceüledékek) sűrűségének jellegzetességeit a *Függelék* mutatja be.

A fent említett sajátosságok miatt a geológiai és a geofizikai szemlélet egy kicsit eltér. Földtani besorolás szempontjából a kifejlődés (ha úgy tetszik formáció) a legfontosabb a geofizika szempontjából, a kimutathatóság miatt azonban a fizikai paraméterek alapján valószínűsíthető litológia a döntő.

A mélyföldtani kutatások során sokszor nincs közvetlen kapcsolatunk a mélyben jelen lévő földtani képződményekkel, csak a geofizikai mérésekből meghatározott fizikai paraméterváltozásokon keresztül tudunk azokra következtetni. A felszíni geofizikai mérések és a mélybeli felépítés közötti közvetlen kapcsolatot a mélyfúrások biztosítják egy bizonyos mélységig, már ahol vannak mélyfúrások. A fúrások kutatás azonban költséges és ezért csak indokolt esetben alkalmazható.

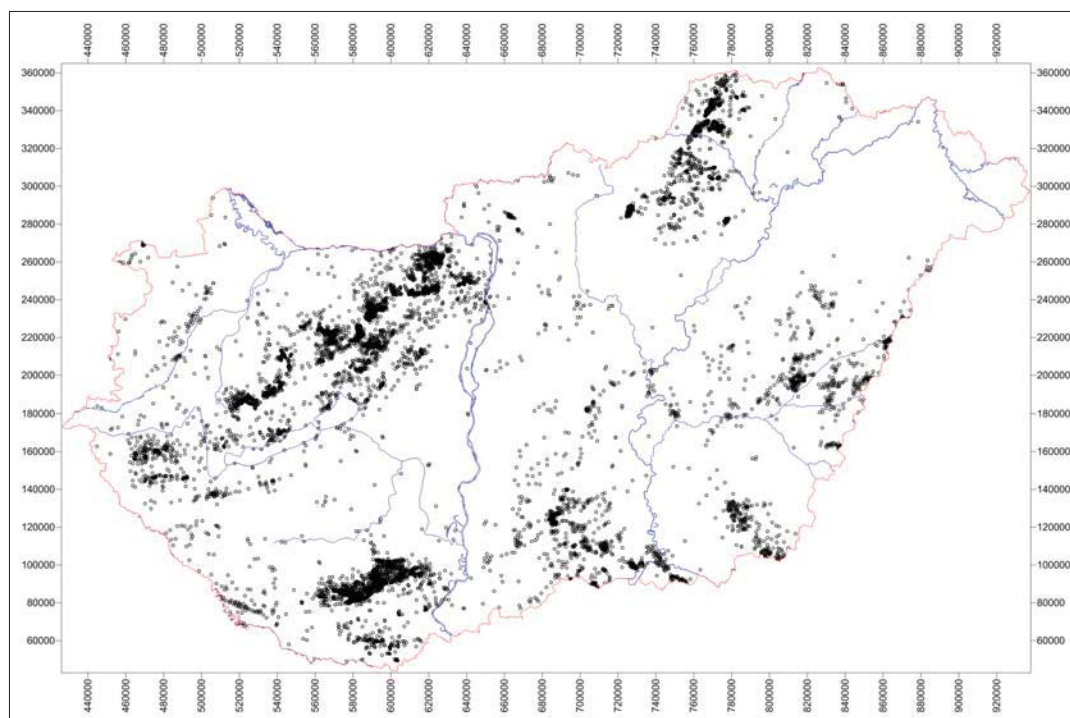
Az országos földtani-geofizikai adatbázisok kezelése mellett módszertani kutatásokat is végzünk az adatok jobb felhasználhatósága és az értelmezések pontosítása céljából. Az adott tanulmány erre mutat be példát, ahol a

mélyfúrási adatokat vetjük össze a potenciáltér-adatokkal, majd a gravitációs adatokból korrekciók és szűrések után mélységmeghatározást végzünk. Analitikus összefüggéseket határozunk meg fúrási adatok és szűrt gravitáció kapcsolatából, majd az összefüggéseket kiterjesztjük azokra a területekre is, ahol nincs fúrási adat, és a gravitációs mérésekből közvetve medencealjzat-mélységet határozunk meg. Tehát nemcsak a fúrásokban azonosított mélységadatot használjuk fel, hanem a medencealjzatot felépítő földtani képződmények típusfüggő változékonyságát is.

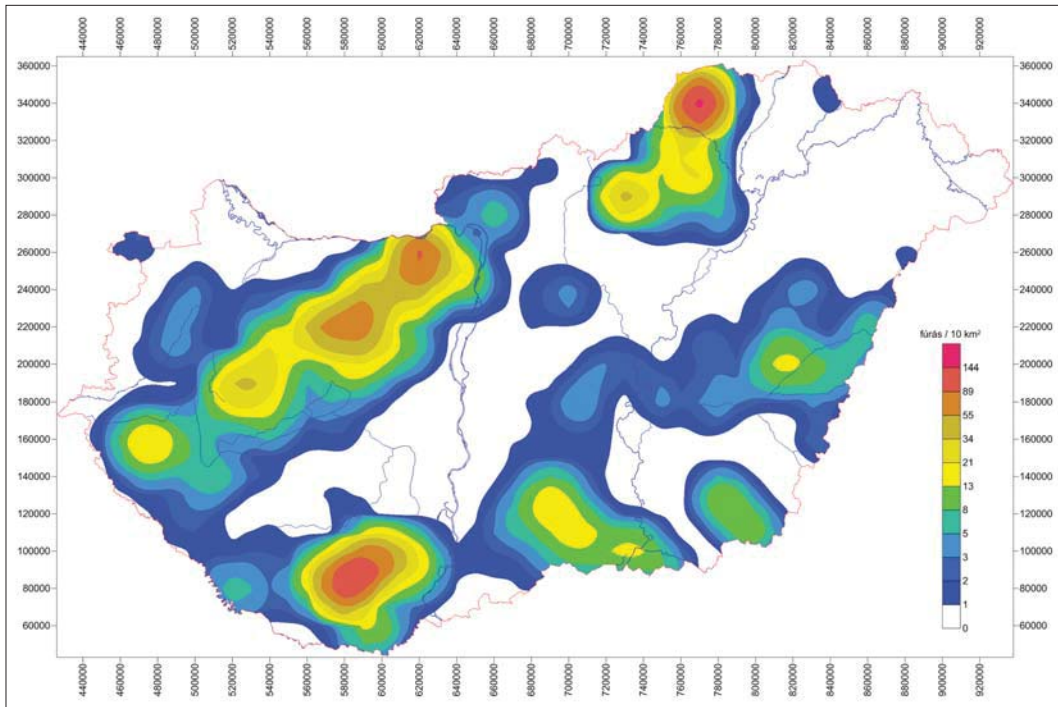
## Fúrási adatok

A GeoBank adatbázis 282 348 db mélyfúrást tartalmaz, ebből 10 153 db fúrás érte el a prekainozoos medencealjzatot. A direkt mélységadatok elhelyezkedése meglehetősen egyenlőtlen (*1. ábra*), sok a medencealjzat-kibúvákos környezetbe eső fúrás, amelyek nyilván a könnyebben elérhető ásványi nyersanyagok feltárása céljából mélyültek le.

Vannak viszont nagy területek, ahol gyakorlatilag nincsenek medencealjzatot ért fúrások. Ezek általában a vastag medenceüledékekkel lefedett területek, ahol csak egy-egy alapfúrás, vagy olajkutató fúrás mélyült le egészen a medencealjzatig. Így viszonylag nagy területekről (*2. ábra*, fehér területek) nincsenek elsődleges információk sem a medencealjzat mélységéről, sem annak kőzettani összetételéről. Ezeken a területeken kerülnek a kutatás fókuszába a geofizikai adatok.



**1. ábra** | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások Magyarország területén (~10000 fúrás)  
**Figure 1** | Deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement in Hungary (~10000 wells)

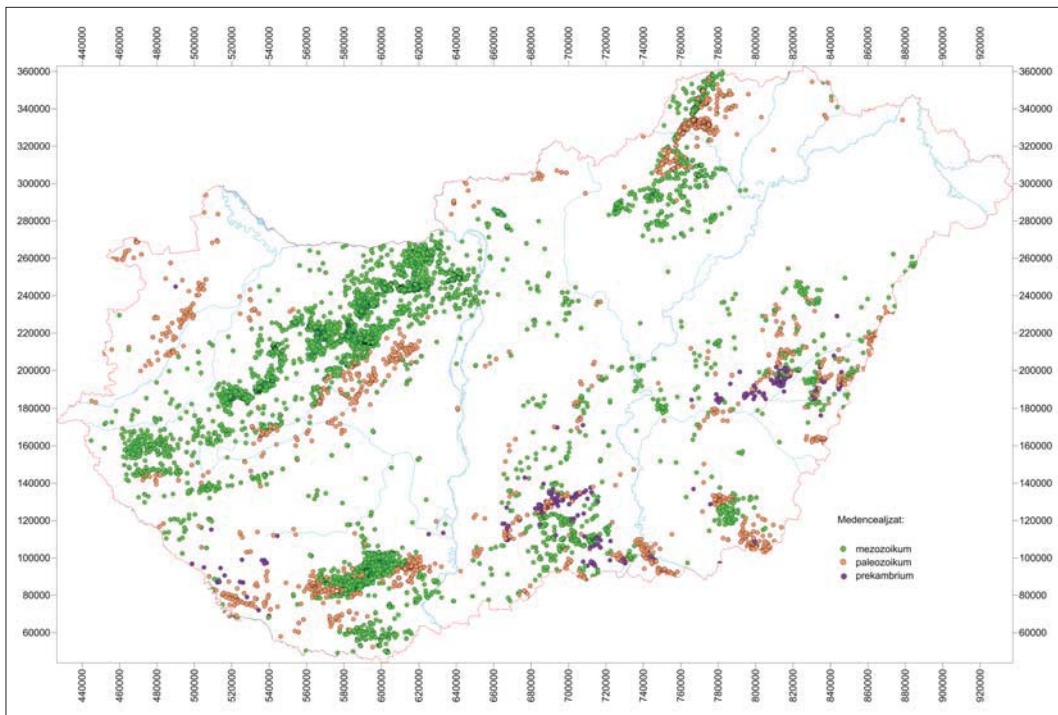


2. ábra | Fúrási felmértésg térkép (10 km<sup>2</sup>-re eső prekainozoos medencealjzatot ért fúrások száma, a fehér területeken nincs olyan fúrás)  
 Figure 2 | Deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement in Hungary (~10000 wells)

### Geofizikai és mélyfúrési adatok

Léptéktől függően először a nagy területeket lefedő térképi adatrendszerek (gravitációs, mágneses vagy akár tellurikus térképek), majd a részletesebb és pontosabb

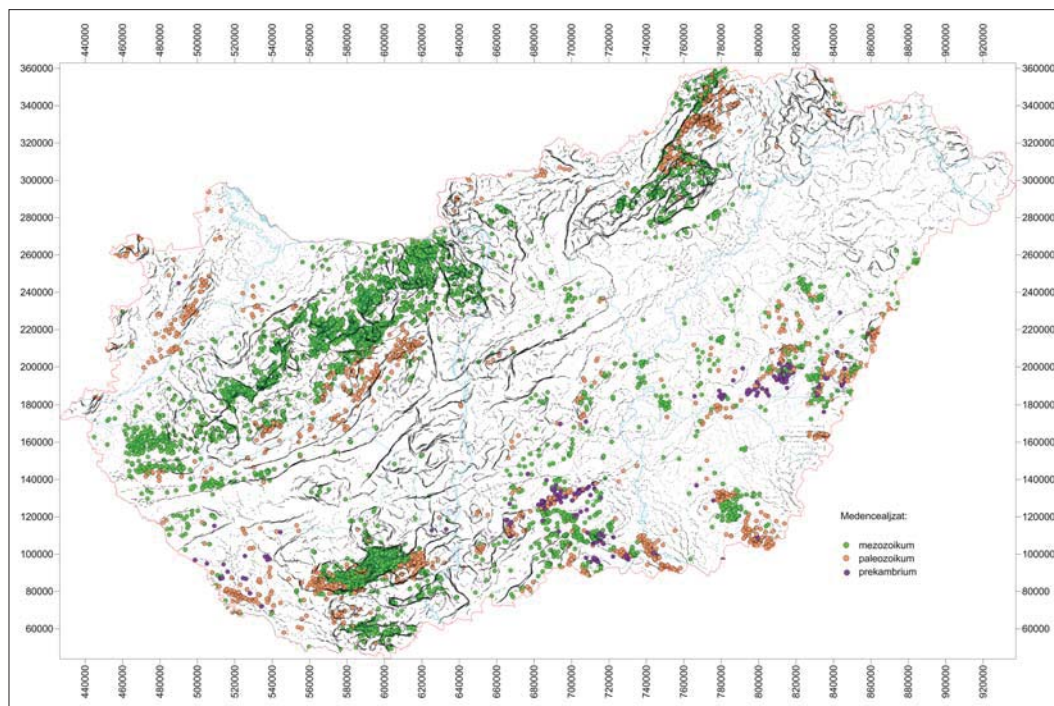
információt szolgáltató szeizmikus adatok (három- és kétdimenziós szeizmikus mérések) szolgálhatnak információval ezeken a területeken. Sok esetben nem közvetlenül, hanem valamilyen célirányos feldolgozást követően.



3. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (kor szerint színeze)  
 Figure 3 | Show deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (coloured by age)

Jelen cikkben kezdetben a térképi adatok (gravitációs, mágneses) és a mélyfúrási adatok kapcsolatát fogjuk elemezni, bemutatni a medencealjzat-képződményeket a mélységi helyzetük és a koruk függvényében, majd bizonyos szűrések után a mélységinverzióval is megpróbálkozunk.

képződmény megváltozását is jelenti, amit a térképen (3., 4. ábra) azonosíthatunk, lásd például Mecsekaljavonal (zöld-narancssárga színváltás), vagy például a Darnó-vonal északi részén jelentkező hasonló színváltás. Persze jól kirajzolódik a Balaton-felvidéken a paleozoos korú képződmények elterjedése is (4. ábra).



**4. ábra** | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (kor szerint) a gravitációs hatóperemekkel (a horizontális gradiens nagyságának megfelelő hosszúságú, csapásirányú tüskékkel)

**Figure 4** | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (by age) with gravity edge detections (with impact spikes of the same length as the horizontal gradient)

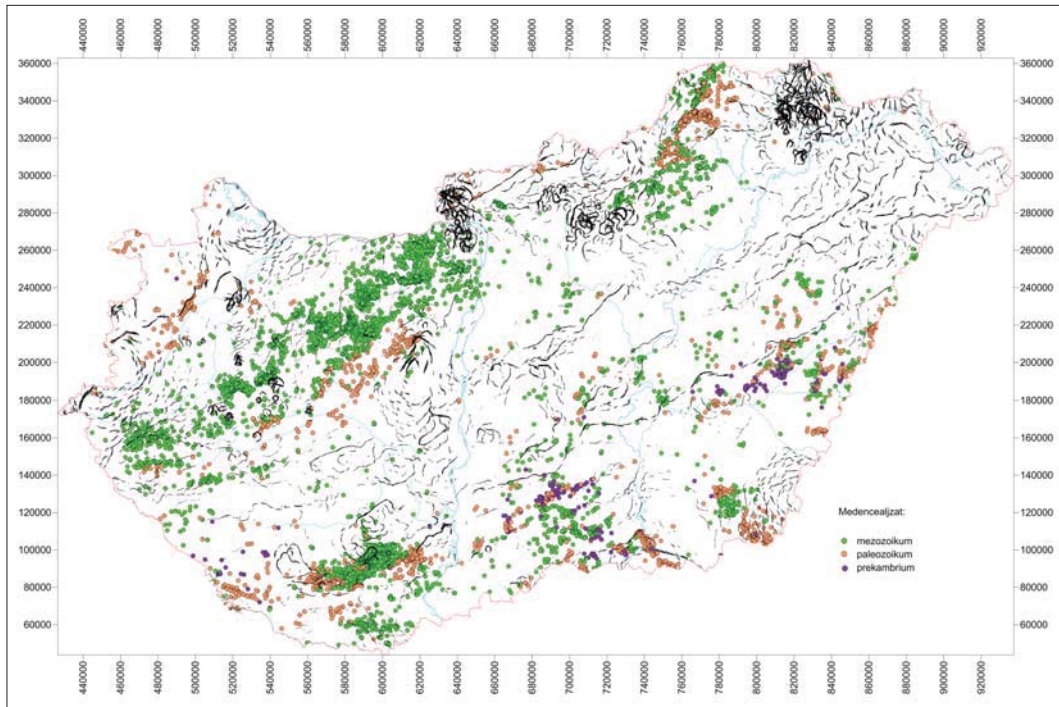
Minden földtani jellegű feladat megoldása során az első művelet a fontosabb mélyfúrások (esetünkben a medencealjzatot ért fúrások) leválogatása (1. ábra) és tematikus megjelenítése – például az aljzatképződmények korának vagy mélységének figyelembevételével – amire, valljuk be, országos szinten eddig nem nagyon voltak példák. A magyarországi medencealjzatot ért fúrások különböző korú aljzatképződményeket harántoltak, ezek kor szerinti megjelenítése (3. ábra) az ország DNy–ÉK-i sávosi földtani felépítését tükrözik vissza.

Érdekes összevetni a kor szerint megjelenített fúrásokat a korábban készült gravitációs és mágneses hatóperem-térképekkel, vagy ha úgy tetszik, a gravitációs (Szabó, Páncsics 1999a, Kiss 2006) és mágneses (Kiss 2013) lineamens térképekkel. Az összevetés a lineamens földtani minősítéséhez, besorolásához adhat további adalékot.

A gravitációs hatóperemek (4. ábra) megadják a medencealjzatot felépítő kőzetek kor szerinti blokkhatárait a sűrűségparaméter alapján. (Általában minél idősebb a kőzet, annál nagyobb sűrűsége, például a diagenézis miatt, a földtani kifejlődéstől függően persze lehetnek kivételek). A kor megváltozása többnyire a medencealjzat-

A magmás képződmények kutatása mélyfúrásokkal Magyarországon nem volt jellemző. A mágneses hatóperemek olyan területeken jelentkeznek, ahol nincs mélyfúrás, vagy a fúrások nem érték el a medencealjzatot (5. ábra). Az intruzív kőzetek közül a gránit (pl. karbon gránit, Mórág-rög), a mezozoos magmatitok (pl. kréta diorit, Nyírség) jöhetnek szóba mint prekainozoos medencealjzat-képződmények, de ezekre a képződményekre a mostani vizsgálatok nem terjednek ki. A magyarországi vulkáni eredetű kőzetek többsége eocén, miocén és pannon korú.

Mágneses szempontból a legérdekesebb terület rész a Közép-magyarországi zóna. A medencealjzatot ért mélyfúrások szempontjából majdnem „üres” sávként húzódik végig az országon NyDNy–KÉK irányban (1. ábra) Nagykanizsától Nyíregyházáig, határozott mágneses lineamenssekkel a peremeken (5. ábra). Ez azt jelzi, hogy e mentén a nyírási zóna mentén (esetleg annak peremén), több helyen is mágneses, azaz bázisos magmás esetleg metamorf képződmények találhatóak (Kiss 2009, 2015, 2016, Kiss et al. 2017).

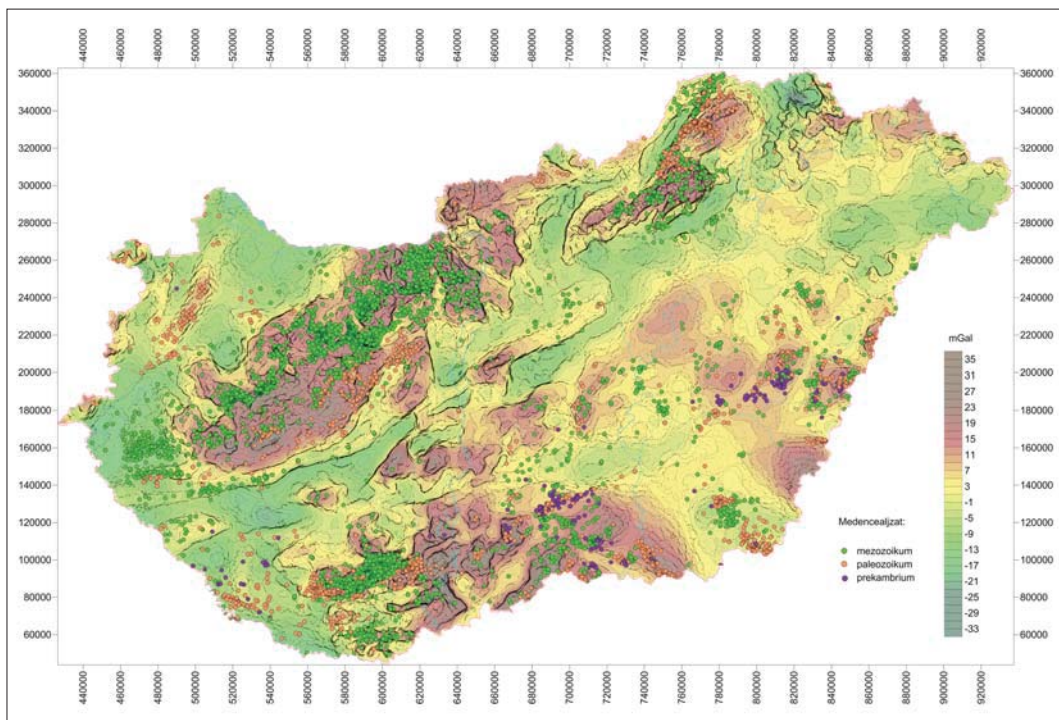


5. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (kor szerint) a mágneses hatóperemekkel  
 Figure 5 | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (by age) with magnetic edge detections

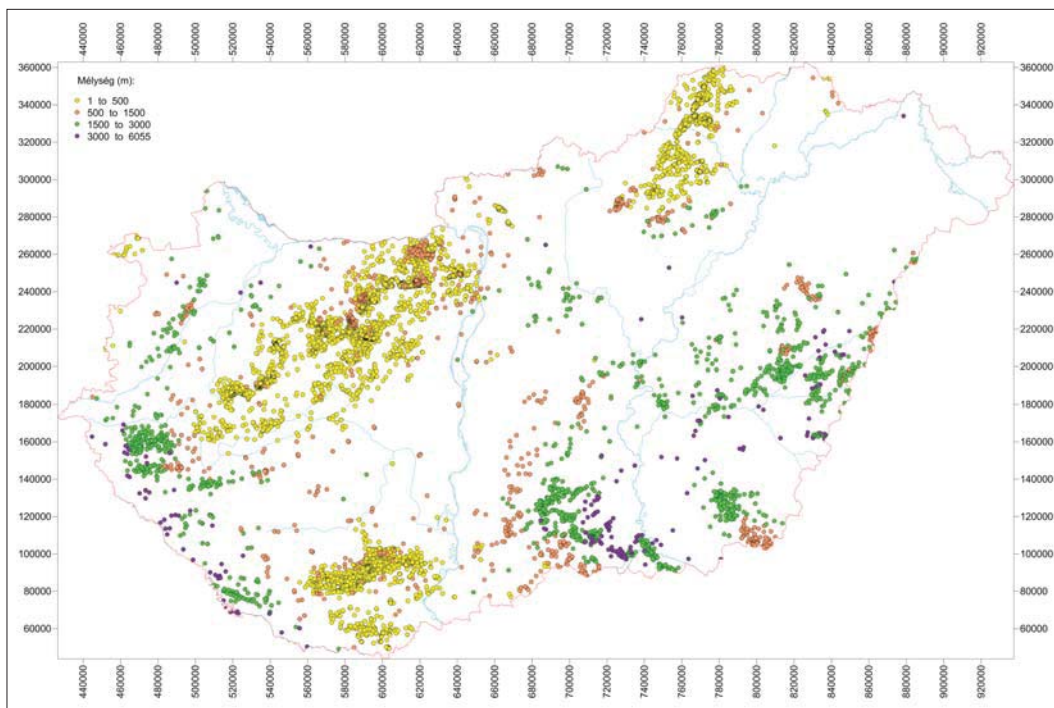
### Mélyfúrási és gravitációs adatok összevetése

A medencealjzat kora szerint megjelenített mélyfúrások és a Bouguer-anomália-térkép között nem egyértelmű,

hanem csak laza korrelációs kapcsolat látszik. Általában minél idősebb a kőzet, annál nagyobb a sűrűsége, de ez a kifejlődéstől függően változhat. A paleozoos képződmények egy része (pl. karbon, perm szárazföldi kifejlő-



6. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (kor szerint színezve) a gravitációs hatóperemekkel a Bouguer-anomália-térképen  
 Figure 6 | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (coloured by age) with gravitational edges on the Bouguer anomaly map

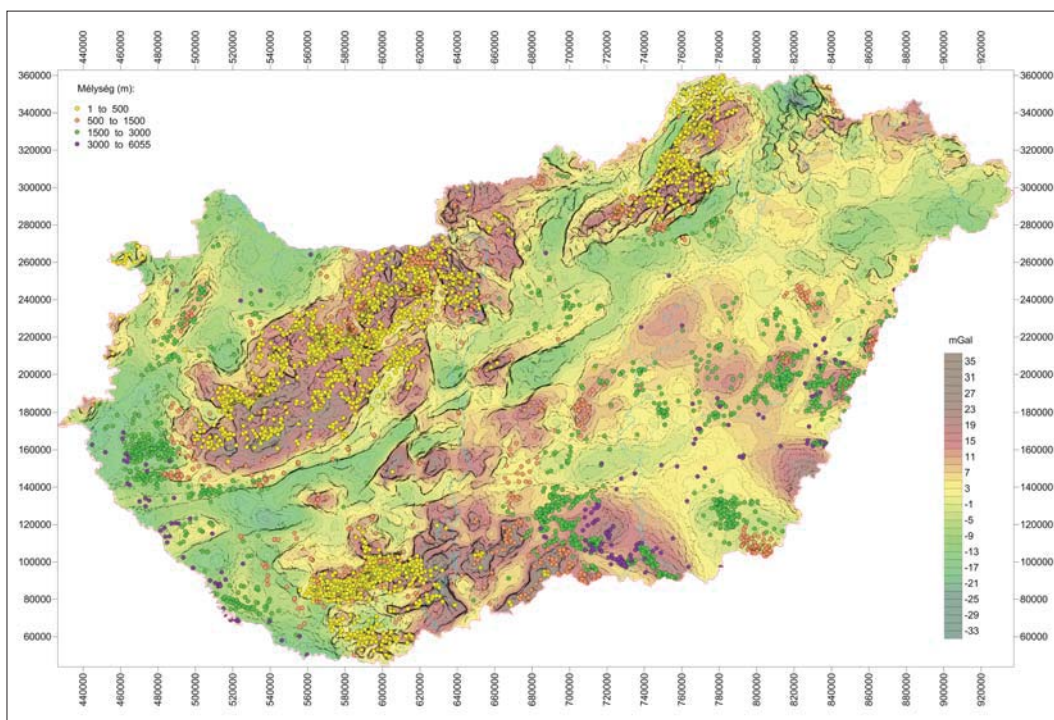


7. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (mélység szerint színezve)  
 Figure 7 | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (coloured by depth)

désű összletek) a tengeri mezozoikumnál kisebb sűrűséggel jellemezhetők (noha idősebbek), így a Bouguer-anomália-érték felettük szintén kisebb lesz, lásd például a Balaton-felvidék D-i peremét (6. ábra). A képződ-

ményeket ért metamorfózis többnyire növeli a kőzet sűrűségét.

A nem teljes korrelációt egyrészt a medencealjzat-képződmények kőzettani változékonysága okozza, másrészt



8. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (mélység szerint színezve) a gravitációs hatóeremekkel, a Bouguer-anomália-térképen  
 Figure 8 | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (coloured by depth) with gravity edges on the Bouguer anomaly map

a medencealjzat mélységi elhelyezkedése, és végül vannak olyan gravitációs mélyhatók, amelyekről szinte semmit nem tudunk, miközben a hatása ott van a Bouguer-anomália-térképben.

Mivel a mélyfúrások esetében a medencealjzat mélysége ismert, így a fúrási pontokat mélység szerint megjelenítve (7. ábra) szintén összevethetjük a Bouguer-anomália-térképpel (8. ábra).

Ezen a kibúvások területek rajzolódna ki a fúrások sárga színek alapján. A mélyfúrásokból kapott mélységek és a Bouguer-anomália-térkép között sincs teljes összhang. Ennek oka lehet a Moho-diszkontinuitás szintjének hullámzása, vagy a köpeny-litoszféra sűrűség inhomogenitása, illetve a medenceüledékek változó közzettani összetétele.

Ha sikerül a Moho-diszkontinuitás hullámzásából (Kiss et al. 2015) és a laza üledékek vastagságából (Szabó, Páncsics 1999b, Kiss et al. 2015) származó gravitációs hatásokat eltávolítani a Bouguer-anomália-térképből, akkor várhatóan a korreláció feljavul.<sup>4)</sup> Egy ilyen korrigált Bouguer-anomália-térkép készült a 2017. év során, amelyet összevetettünk a mélyfúrások mélységadataival (9. ábra). A mélyfúrások mélysége és a korrigált Bouguer-anomália-térkép között sokkal kevesebb ellentmondást találunk, mint az eredeti, korrigálatlan Bouguer-anomália-térképpel való összehasonlítás során. Így a korrigált Bouguer-anomália-térképből kétréteges mélységinverzióval (Cordell, Henderson 1968) vagy függvényközelítéses inverzióval elvileg pontosabb medencealjzat-mélységet határozhatunk meg.

Ennek a próbálkozásnak az egyik eredményét láthatjuk a 10. ábra által bemutatott inverziós mélységtérképen

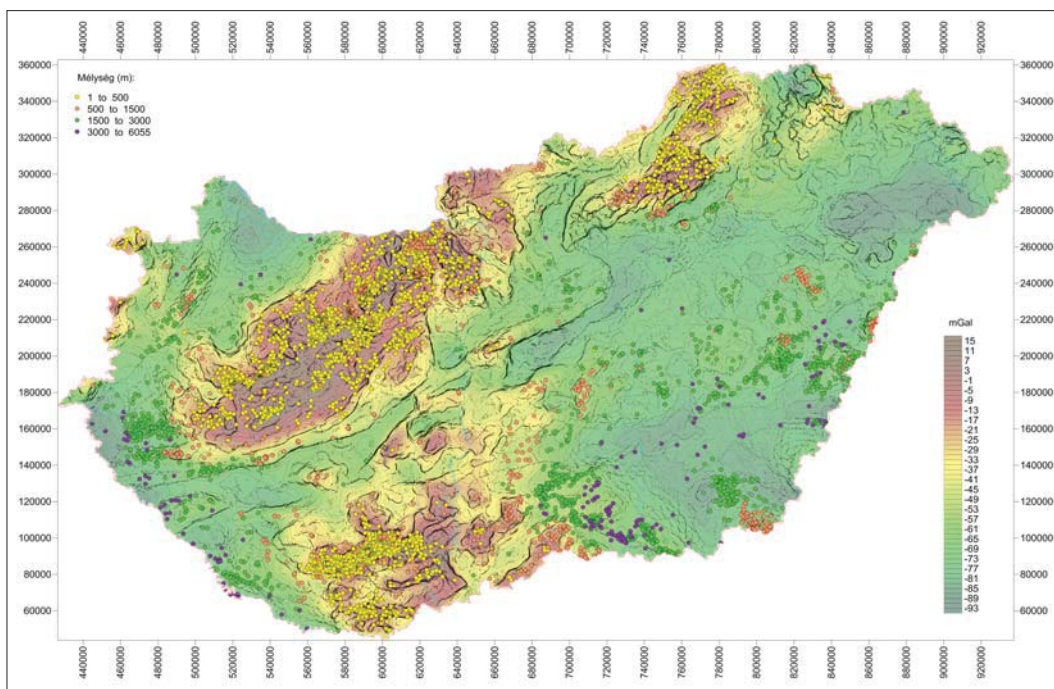
(kétréteges modell: sűrűségkontraszt = 1 g/cm<sup>3</sup>, referenciamélység = 8 km). Az ábrán a fúrásokban harántolt medencealjzat-mélységeket (méterben) 4 csoportba osztottuk, a mélységtérképnél viszont már tengerszinthez viszonyított abszolút magasságértékeket (mBf) használtuk. Ebben az esetben elsősorban a korreláció jószágát és nem a pontos mélységegyezést vizsgáltuk. A fúrások esetében is alkalmazható lett volna az abszolút magasságadat, de megjelenítés szempontjából ez a megoldás az előnyösebb, mert így jobban látszanak a fúrások helyei.

A Moho- és a medencehatás eltüntetése miatt a fúrások mélysége és a korrigált Bouguer-anomália-térkép közötti korreláció jelentősen feljavult, az eredeti (8. ábra) térképhez képest.

A modell is leegyszerűsödik, mivel „elvileg” kiszedtük a mélyhatásokat és az üledékes medence hatását, így csak egy, a mélységtől függő kétréteges modellünk van adott sűrűségkontraszt mellett. Így volt lehetséges a kétréteges gravitációs mélységinverzió a korrigált Bouguer-anomália-térkép alapján. Persze könnyű belátni, hogy sem a mélybeli hatásokat, sem a medenceüledék változásait nem ismerjük pontosan, így csak közelítő megoldásokat kaphatunk.

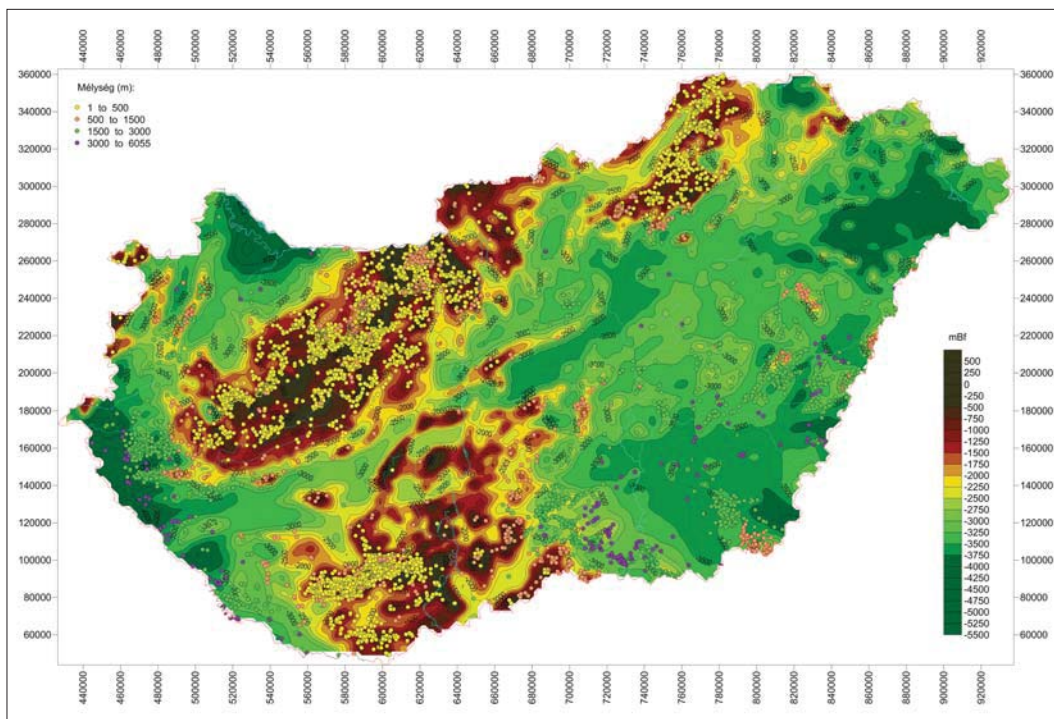
### Függvényközelítéses mélységbecslés

A Moho-diszkontinuitás és a medenceüledékek hatásától mentes Bouguer-anomália-térkép és a mélyfúrások medencealjzat-mélység adatai között egyértelműen korreláció van (9. ábra), ami már a térképi adatokon is látszik,



9. ábra | Prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrások megjelenítése (mélység szerint színezve) a gravitációs hatóperemekkel, a Moho- és medenceüledék-hatástól mentes Bouguer-anomália-térképen

Figure 9 | Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (colored by depth) with gravity edges on Bouguer anomaly free of Moho and basin sediment gravity effect

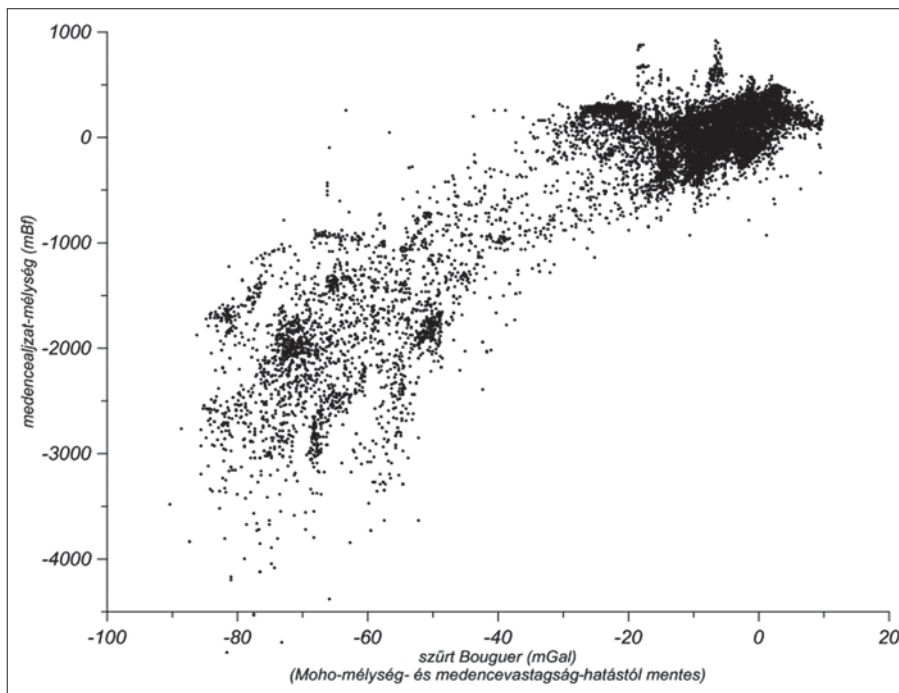


10. ábra Prekainozoos medencealjazatot ért mélyfúrások megjelenítése (mélység szerint) az invertált mélységtérképen (kétréteges inverzió a Moho és üledékhatástól mentesített Bouguer-anomália-értékekből)

Figure 10 Display of deep wells reaching the Pre-Cenozoic basement (by depth) on the inverted depth map for the Pre-Cenozoic basement (two layered inversion from Moho- and sediment-free Bouguer anomaly values)

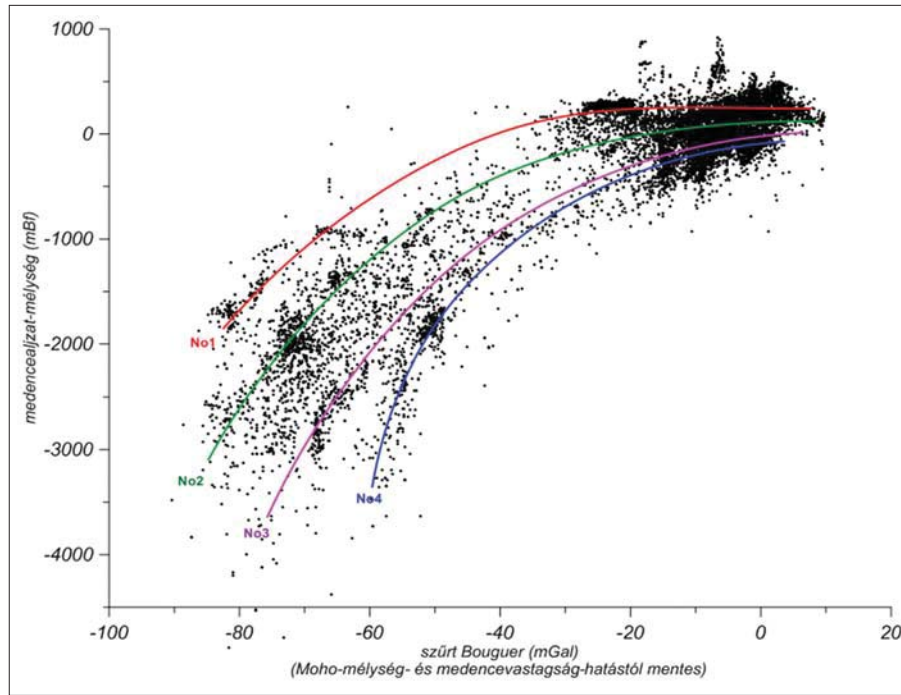
s amit most egy grafikon alapján is ellenőrizhetünk (11. ábra). Ezt a kapcsolatot azonban számszerűsíteni is kellene – azaz kiterjeszteni azokra a helyekre, ahol nin-

csenek mélyfúrások – ahhoz, hogy analitikus úton, a gravitációs mérésekből medencealjazat-mélységeket határoz-



11. ábra A korrigált Bouguer-anomália és a fúrások medencealjazat-mélysége közötti kapcsolat pontfelhője

Figure 11 Connection (point cloud) between corrected Bouguer anomaly and depth of basement in the boreholes



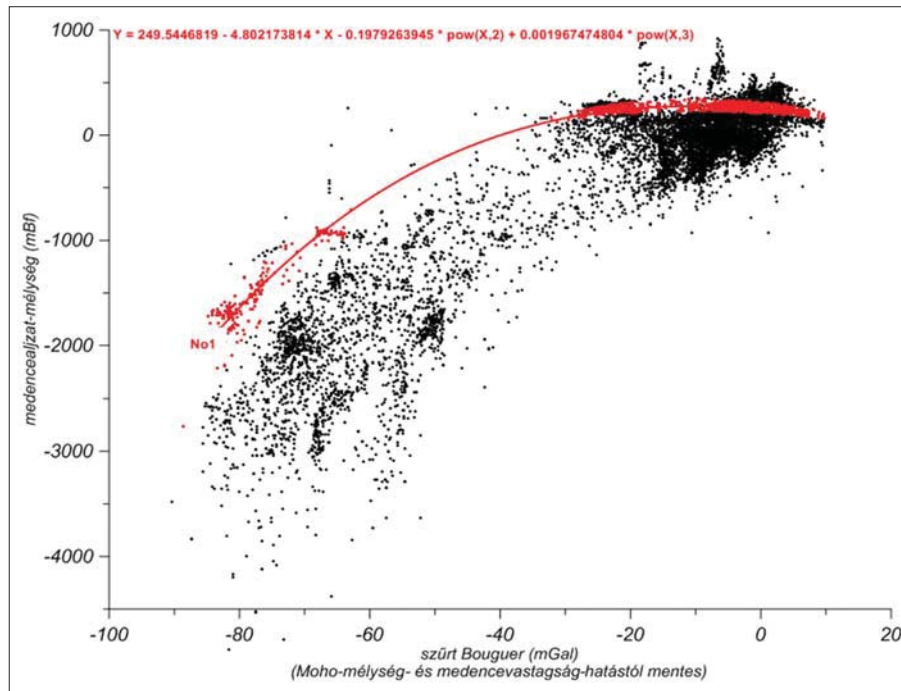
**12. ábra** | A korigált Bouguer-anomália és a fúrások medencealjzat-mélysége közötti kapcsolat pontfelhője néhány vizuálisan meghatározott illesztett görbével

**Figure 12** | Connection (point cloud) between corrected Bouguer anomaly and depth of basement in the boreholes with some manual fitted curves

A pontfelhő alapján vizuálisan nem egy, hanem több korrelációs görbe húzható be (12. ábra). Egy korrelációs függvény alkalmazása esetén – a halmazszerű pontfelhő miatt (11. ábra) – a mélységszámítás sok fúrás esetében

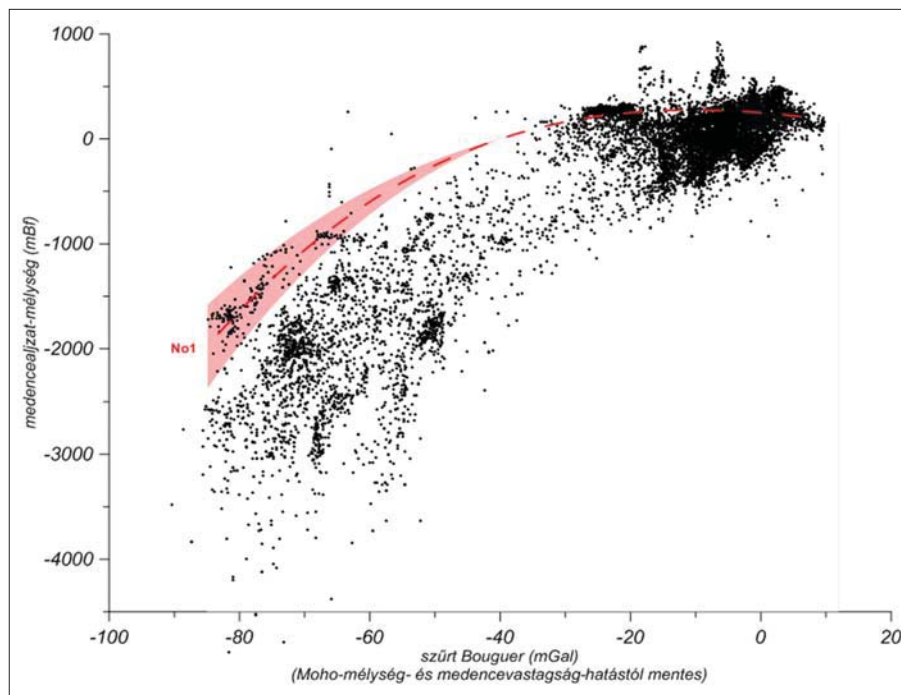
csak nagy hibával határozható meg. Több közelítő függvény alkalmazása megoldás lehet (12. ábra).

A pontfelhő leképzséhez legalább négyféle függvénykapcsolat szükséges, amely négyféle alapmodellt jelent-



**13. ábra** | Az (1) összefüggés képletének meghatározása görbeillesztéssel

**Figure 13** | Determination of the formula for Equation (1) by curve fitting



14. ábra | A No. 1-es modell görbéje  $\pm 20\%$ -os szóráshatárral

Figure 14 | Formula of the model No1 with a standard deviation of  $\pm 20\%$

het esetünkben. A vizuálisan meghúzott görbék segítségünkre vannak abban, hogy leválogassuk azokat a mélyfúrásokat, amelyek alapján automatikus görbeillesztéssel már viszonylag pontosan meghatározhatjuk az egyes korrelációs görbék képletét, például harmadfokú polinom illesztésével (13. ábra).

Ha megvan a harmadfokú polinom képlete, akkor viszonylag jó közelítést kapunk egy adott típusú kapcsolatrendszerre, amely a mélyfúrások medencealjzat-mélysége és a korrigált Bouguer-anomália között feltételezhető. A pontthalmazra ránézve rögtön szembeötlök, hogy a Bouguer-maximumok irányából a minimumok felé nő a mélységértékek szórása is. Kis mélységeknél kisebb hibával lehet meghatározni a mélységet, mint nagy mélységeknél, ami általános törvényszerűségnek látszik. Ezt érdemes figyelembe venni, amit a következőképpen érhetünk el.

Minden korrigált Bouguer-anomália-értékre harmadfokú polinom segítségével, analitikus úton meghatározzuk a mélység értékét (13. ábra), majd a mélységmeghatározásba az analitikus függvény szűk környezetét is bevonjuk ( $\pm 20\%$ -os szórás engedélyezésével). Ekkor

nem egyetlen érték rajzolódik ki, hanem egy értéktartomány (14. ábra). Így már nemcsak a függvénygörbe egyetlen pontját, hanem a görbe mentén egy mélység irányában szélesedő sávot használunk fel (14. ábra). Azok a fúrások, amelyek ebben a sávban vannak, nagy valószínűséggel azonos blokkhoz tartoznak, vagy annak peremi részein található. A vizuálisan meghatározott korrelációs görbékkel meghatározhatjuk az összes analitikus függvényt (1. táblázat), illetve azok  $\pm 20\%$ -os hibahatárát (15. ábra).

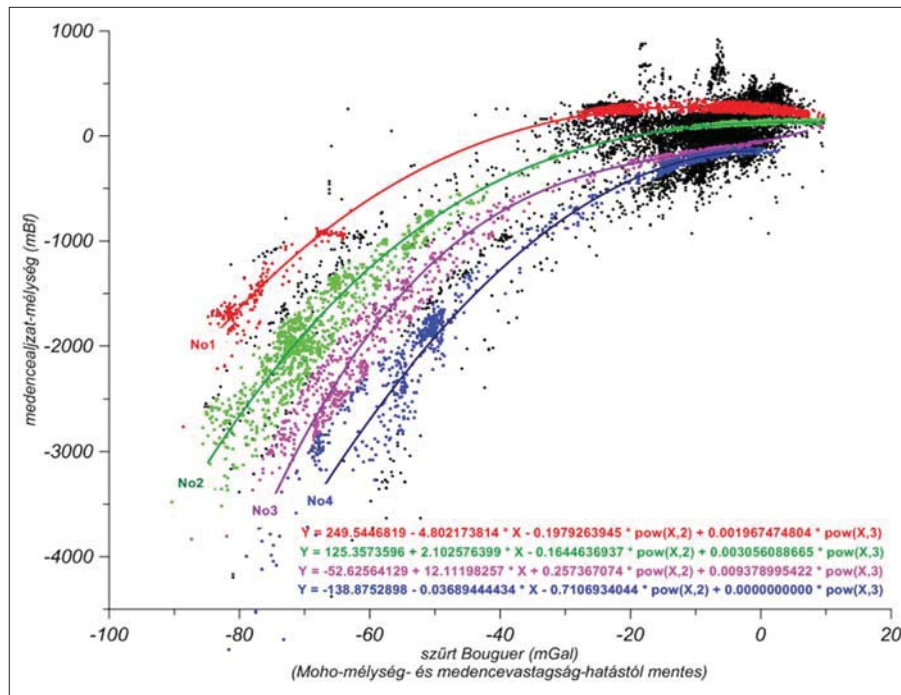
Az összes fúrási adatot átvizsgálva, megállapítható, hogy mely fúrások esnek bele az adott  $\pm 20\%$ -os hibahatárral meghatározott korrelációs sávba, illetve a sűrűségmodell szempontjából ugyanabba a blokkba. Ezekre a fúrásokra a korrigált Bouguer-anomália-értékekből medencealjzat-mélységet tudunk számolni. Térképen megjelenítve a fúrásokat remélhetően a blokk (modell típusok) egyes elemeinek vízszintes elterjedése is nyomon követhetővé válik.

A 15. ábra alapján látszik, hogy lehetnek fúrások, amelyek nem csak egy függvényhez kapcsolódhatnak a

1. táblázat | A 15. ábra grafikon pontfelhője alapján meghatározott függvénykapcsolatok

Table 1 | Functional relationships determined from the point cloud of the graph in Figure 15

Modell	Analitikus közelítés függvényei
No. 1	$y = 249,5446819 - 4,802173814x - 0,1979263945x^2 + 0,001967474804x^3$
No. 2	$y = 125,3573596 + 2,102576399x - 0,1644636937x^2 + 0,003056088665x^3$
No. 3	$y = -52,62564129 + 12,11198257x + 0,257367074x^2 + 0,009378995422x^3$
No. 4	$y = -138,8752898 - 0,03689444434x - 0,7106934044x^2 + 0,0000000000x^3$



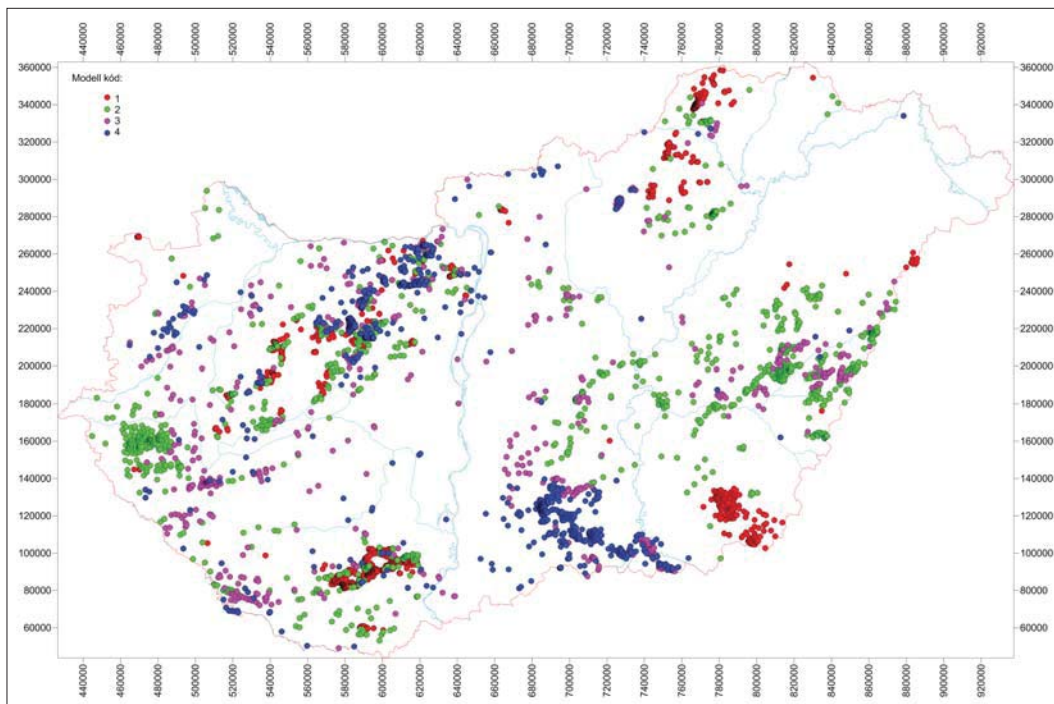
15. ábra | A korrigált Bouguer-anomália és a fúrások medencealjzat-mélysége között meghatározott analitikus függvénykapcsolatok képletei és görbéi ±20%-os hibahatáron belüli pontokkal (fekete pontok kimaradnak)

Figure 15 | Formulas and curves of analytical function relationships between corrected Bouguer anomaly and borehole depth with a ±20% error (black points are out of error limits)

±20%-os hibahatár miatt. Ez nem jelent gondot. Ez azt jelzi, hogy az adott mélyfúrás földtani szempontból két blokk közötti átmeneti területen van, a pontos mélység-meghatározás a két különböző mélység súlyozott átlagá-

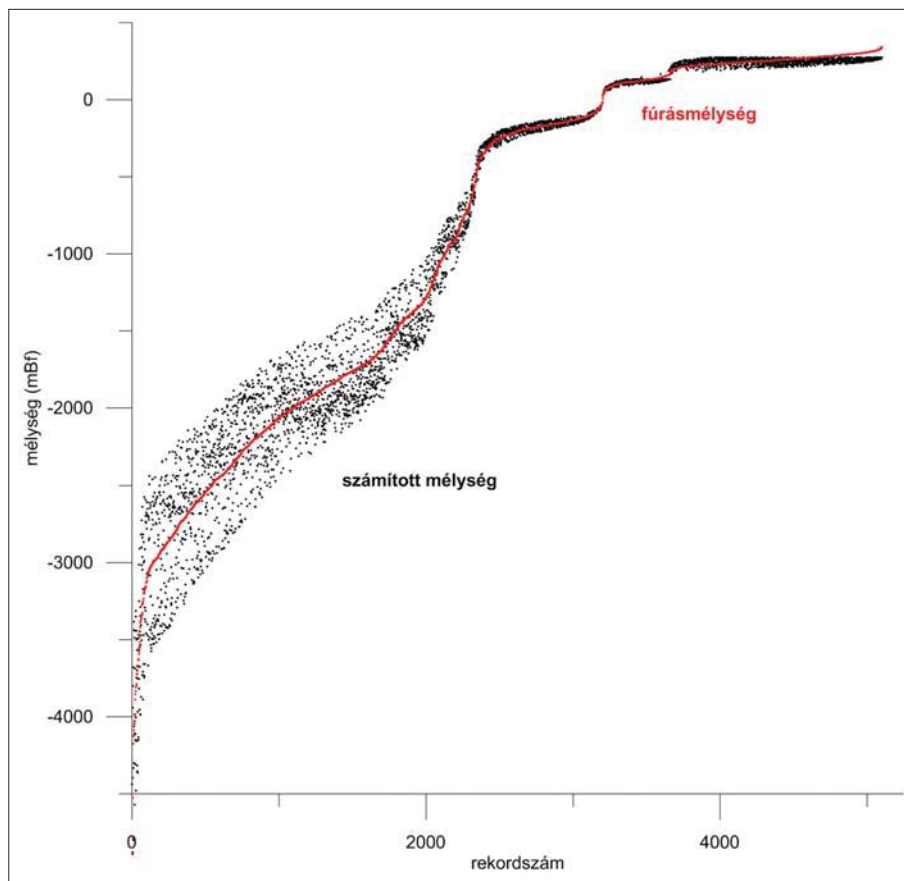
ból alakul ki (a súlyozás a függvénygörbétől való távolság alapján elvileg meghatározható).

A függvényközelítéses eljárás a nagy mélységű fúrások forrásadatait szinte teljes mértékben visszaadja (lefedti),



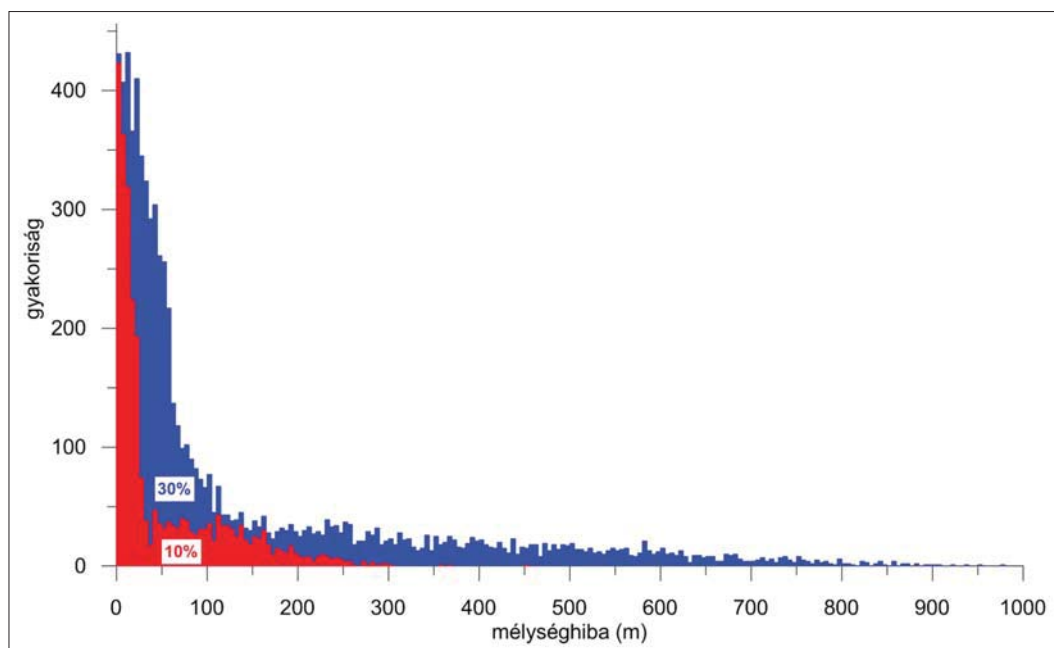
16. ábra | Az illesztett függvények (négyfélé harmadfokú polinom) alapján a mélyfúrások besorolása

Figure 16 | Classification of deep wells based on fitted functions (four third degree polynomials)



17. ábra | A mélység alapján sorba rendezett megfúrt (piros) és a fúrásokra számított (fekete) mélységek ( $\pm 20\%$ -os hiba mellett)  
 Figure 17 | Drilled (red) depths in order and calculated (black) on the same points (with  $\pm 20\%$  depth error)

a sekély területek ( $-500 \text{ m} < h < 500 \text{ m}$ ) esetében már | ken a területeken sokkal több megbízható adatból el-  
 rosszabb a helyzet. Ez azonban nem tragikus, hiszen eze- | készített mélységtérképpel rendelkezünk, így itt nincs is



18. ábra | A számolt és fúrt medencealjzat-mélységek közötti eltérés (hiba) hisztogramja ( $\pm 10\%$  és  $\pm 30\%$  hibahatár mellett)  
 Figure 18 | Histogram of the difference (error) between the calculated and crossed depths (at  $\pm 10\%$  and  $\pm 30\%$  depth error limits)

szükség a mélységadatokra. A vizsgálódás éppen a nehezen kutatható ( $h < -500$  mBf) mély területek információhiányát akarja geofizikai adatfeldolgozásból származó adatokkal pótolni.

Az illesztő polinomok (illetve azok  $\pm 20\%$ -os tartománya) alapján modellekbe besorolt mélyfúrásokat mutatja a 16. ábra. Ezeknél a fúrásoknál ismerjük a  $h_{\text{mBf}} = f(dg_{\text{kor}})$  harmadfokú függvénykapcsolatot.

A függvénykapcsolat jellemzésére összevetettük a fúrásban harántolt mélységeket és a számított mélységeket, amihez kezdetben mélységi sorrendbe állítottuk a fúrási adatokat, majd ugyanebben a sorrendben a számított adatokat is megjelenítettük (17. ábra). A kapcsolat a kívánt eredményt adta: szorosabb kapcsolat a fúrt és számított mélység között, de a mélység növekedésével a számított mélység hibája is nő.

A 18. ábra piros színű hisztogramja a 10%-os tűrés melletti mélység hibát adja meg (0–300 m). Ha a tűréshatárt 30%-ra növeljük (kék hisztogram), akkor a pontok száma megnő, de a kapott hisztogram is szélesebb lesz (~1000 m). A vizsgálataink alapján a 20%-os tűréshatár alkalmazása lefedi a pontok jelentős részét, és viszonylag kis mélység hibát eredményez.

## Parametrikus interpoláció

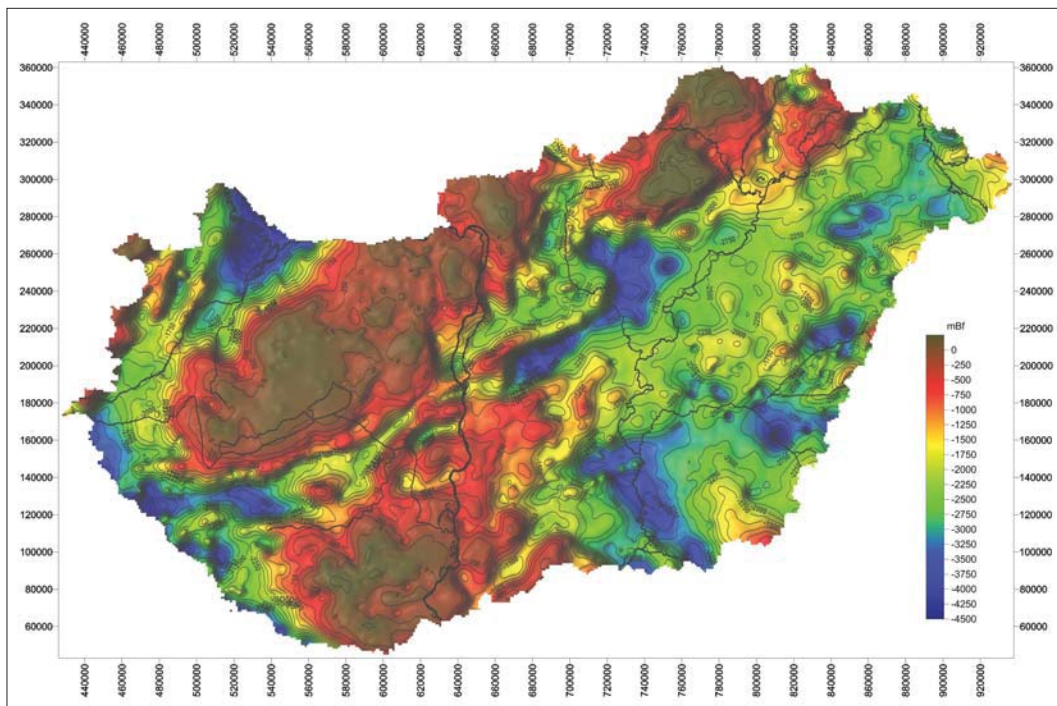
Azokon a területeken, ahol nem volt fúrásunk, illeszteni sem tudtunk, így a környező adatok alapján kell valahogy meghatározni egy függvénykapcsolatot. Ehhez alkalmazni fogjuk Detzky Gergely által a szeizmikus adatok feldol-

gozásához is használt parametrikus interpolációs eljárást (Detzky 2008).

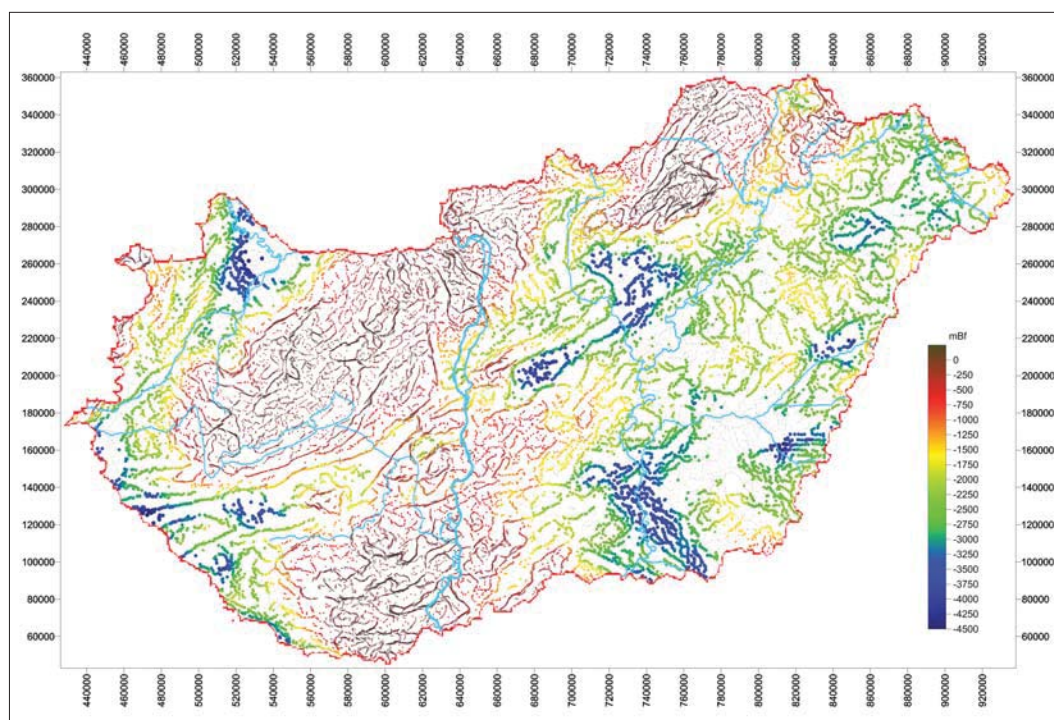
Az eljárás lényege, hogy ha egy területen szórványosan ismerjük a korrigált Bouguer-anomália-értékek és a megfúrt medencealjzat-mélységek közötti analitikus függvénykapcsolatot, amelyet mindenhol azonos típusú függvényre (harmadfokú polinommal), de eltérő koefficienssekkel lehet leírni, akkor a gravitáció és a mélység közötti összefüggés kiterjeszhető a pontok közötti térrészre is. Ezt a polinom koefficiensének interpolációjával érhetjük el. Egy  $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$  típusú harmadfokú polinom esetében az  $a$ ,  $b$ ,  $c$  és  $d$  koefficiensek interpolálása után a terület minden egyes pontjára meg tudjuk határozni a koefficiensek értékét, azaz meg tudjuk adni azt a harmadfokú függvényt, amelynek segítségével a korrigált Bouguer-anomália-értékből ki tudjuk számítani a medencealjzat-mélységet (19. ábra).

A parametrikus interpoláció során 1 km-es grideket használtunk (19. ábra). A medencealjzatot ért fúrási adatrendszer nem egyenletes elhelyezkedésű, így az 1 km-es rácsméret nem a fúrási forrásadatoknak megfelelő (álanomáliák alakulhatnak ki a fúrásmentes területrészekben a koefficiensek interpolálása miatt), azaz a kapott grid csak vizsgálati eredményként kezelendő. Ha ennél nagyobb rácsmérettel dolgozunk, akkor például a tektonikus eredetű hirtelen kőzettani változások hatását elkenjük az interpolációval, ami növeli a kapott térkép pontatlanságát.

Az 1 km-es grid esetén még egy probléma merül fel. Az, hogy milyen interpolációs eljárást alkalmazzunk, mivel távoli referencia pontok esetén az interpolálás nagyon elviheti a koefficiensek értékét, ami túllövéseket (pl. na-



19. ábra | A korrigált Bouguer-anomália-térképből parametrikus interpolációval kiszámolt prekainozoos mélységtérkép  
 Figure 19 | Depth of Pre-Cenozoic basement calculated by parametric interpolation from the corrected Bouguer anomaly



20. ábra | A gravitációs hatóperemek (lineamensek) mélységi helyzete a prekainozoos mélységtérkép alapján  
 Figure 20 | Depth of gravity boundaries (lineaments) based on the depth of Pre-Cenozoic basement

gyobb medencealjzat-mélységet) okozhat. Célszerű itt egy olyan interpolációs eljárást alkalmazni, amely figyelembe veszi a felhasznált forrásadatok távolságát is (ilyen például az *inverse distance to a power* interpoláció), ez a távolságtól függően súlyozza az interpolálás során a forráspont adatát.

A fúrási és gravitációs adatokból származtatott mélységtérkép lehetővé teszi, hogy a gravitációs lineamenseket mélység szerint besoroljuk (20. ábra), feltételezve, hogy a lineamensek medencealjzat-szerkezetekkel vannak kapcsolatban (mivel a legnagyobb sűrűségkontrasztok a medencealjzat-képződmények és a medenceüledékek között jelentkeznek).

## Hibalehetőségek

Elsőként a kiindulási adatok hibájáról kell beszélni. Ilyen lehet a medencealjzat-képződmények beazonosításának pontatlansága vagy kormeghatározása. Nem zárható ki a gravitációs mérési adatok hibája sem, bár a közel 400 000 pont interpolációja esetén ennek a valószínűsége kicsi.

A származtatott adatok esetében a Moho-diszkontinuitás mélységének a meghatározása a domborzat (magasság) és Kilényi-féle (Kilényi et al. 1991) medencealjzat-mélység (amelyet most is keresünk) adatok<sup>5)</sup> felhasználásával az Airy-féle lokális izosztatikus modell alapján történt, a medencék esetében egy súlyozott átlagsűrűség érték figyelembevételével (l. Függelék, Kiss 2010, Kiss et al. 2015). A Moho és a medenceüledék relatív gravitációs hatásának a kiszá-

mítását háromdimenziós gravitációs modellezéssel (Parker 1973, Blakely 1981) pontról pontra változó sűrűség értékekkel végeztük (Kiss 2009, 2010, Kiss et al. 2015).

Az egységes számítás miatt a medenceüledék lokális változásait természetesen nem tudtuk figyelembe venni, csak a medencealjzat mélységétől függő – az ideális sűrűség–mélység összefüggés alapján meghatározható – változásokat vettük figyelembe. Ezek mindegyike hatással lehet a felhasznált korrigált Bouguer-anómália-térképre, rontva annak pontosságát, de felhívhatják a figyelmet a kiugró, durva hibákra is. A kapott medencealjzat-térkép és a meglévő medencealjzat-térképek együttes elemzése reményeink szerint meg fogják adni a kritikus területeket, ahol további földtani (fúrási) vagy geofizikai (pl. szeizmikus) adatra (kutatásra) van szükség a medencealjzat lefutásának pontosításához.

Parametrikus interpoláció során lehetséges hibát eredményezhet a ritka, kaotikusan elhelyezkedő forrásadat (a legnagyobb mélységű medencékben alig van fúrási adat). A koefficiensek kiterjesztésekor, az interpoláció miatt túllövéses jelentkezők a nagy adathiányos területeken. Az összes (10 153 db) fúráspontról 10%-os hibatoleranciával a pontok negyedét (2 633 db-ot), 20%-os esetén a felét (5 102 db-ot, lásd 16. ábra), 30% esetén a háromnegyedét (7 434 db fúrást) lehet felhasználni a parametrikus interpoláció során.

A medencealjzat-képződmények nem tekinthetők homogénnek, és a sűrűségük is változhat. Ezt a változó paramétert lehetett viselkedésében nyomon követni a parametrikus interpoláció segítségével. Ennek lehet régóta ismert szép példája a Battonyai-hátság, amely a medence-

aljzat-térképek alapján egy környezetéből kiemelkedő medencealjzat, míg a Bouguer-anomália-térképen egy „mély árok”-nak tűnik a mélybeli gravitációs hatók (Moho- vagy Conrad-határfelület lefutása) miatt. A Bouguer-anomália-térkép korrekciója és a parametrikus interpoláció segítségével a földtani ismereteknek megfelelő közelítő mélységeket kapunk a területre.

A regionális vagy országos szinten elvégzett feldolgozás nem válthatja ki a későbbi lokális kutatási területeken végzett alapos adatgyűjtést, azaz a pontos kiindulási földtani-geofizikai modell felállítását, majd mindezen paraméterek ismeretében inverziók és modellezések végzését. Ezek segítségével a gravitációs adatokból készített mélységbecslés tovább finomodhat.

## Összefoglalás

Az országos földtani-geofizikai adatbázisok kezelése mellett módszertani kutatásokat is végzünk az adatok jobb felhasználhatósága és az értelmezések pontosítása céljából. Az adott tanulmány erre mutat be példát, amelyben a mélyfúrási adatokat vetettük össze a potenciáltér-adatokkal, majd az adatok korrigálása (ismert földtani felületek gravitációs hatásának meghatározása és eltávolítása a Bouguer-anomália-térképből) után mélységmeghatározást végeztünk, azaz analitikus úton, a gravitációs mérésekből közvetve medencealjzat-mélységeket határoztunk meg. Itt nemcsak a mélyfúrásokban azonosított mélységadat jelenik meg számszerűen, hanem a négyféle modell (négy analitikus összefüggés) alapján a medencealjzatot felépítő földtani képződmények típusfüggő változékonysága is.

A feldolgozási lépések a következők voltak:

- Az országos adatbázisokból leválogattuk a prekainozoos medencealjzatot ért mélyfúrásokat és a gravitációs adatokat összevetés céljából (1. ábra).
- Megjelenítettük a mélyfúrásokat kor (3. ábra) és mélység (7. ábra) szerint, bemutattuk a kapcsolatot a gravitációs (4. ábra) és mágneses hatóperemekkel (5. ábra), ha úgy tetszik, lineamensekkel. Ilyen megjelenítés korábban nem volt, azért, „hogymások is láthassák”, érdekes volt elkészíteni és bemutatni ezeket az ábrákat.
- Földtani-geofizikai háttér-információk (1. Függelék) alapján az üledékes medence eltérő vastagságából és a Moho-diszkontinuitás felszínének hullámszerűségéből származó gravitációs anomáliákat direkt modellezéssel

meghatároztuk, és eltávolítottuk a Bouguer-anomália-térképből (Kiss 2009, 2010, Kiss et al. 2015). A kapott korrigált gravitációs anomália-térkép és a mélyfúrások prekainozoos medencealjzat-mélysége között sokkal szorosabb korrelációt tapasztaltunk (9. ábra).

- Meghatároztuk a korrigált gravitációs értékek és a mélyfúrások közötti kapcsolatokat négy harmadfokú polinomfüggvény segítségével (1. táblázat).
- Parametrikus interpolációval a pontszerűen rendelkezésre álló analitikus összefüggéseket (15., 16. ábra) kiterjesztettük az egész ország területére (a polinomkoefficiensok interpolálásával).
- A korrigált gravitációs anomália-térkép minden egyes rácspontjára az analitikus összefüggések paramétereire alapján kiszámoltuk a medencealjzat-mélységet (19. ábra).
- Végül a számítások hibalehetőségeit vizsgáltuk, mivel nem független paraméterek is felhasználásra kerültek a feldolgozás menete során.

A korábbi évek vizsgálatai a különböző szűrések (pl. maradékanomália-térképek) és élkimelések (pl. Bouguer-anomália + maradékanomália) csak minőségileg javították a gravitációs térképeket és az értelmezéseket, de nem adták meg a hatások mélységet, így csak pontos földtani ismeretek mellett lehetett ezeket érdemben felhasználni. Spektrálanalízissel a gravitációs hatások mélysége is legalább becslhetővé vált, amiről több korábbi publikációnk is szólt (Kiss 2014, Kiss, Vértesy 2020, Kiss et al. 2019).

A most alkalmazott eljárás ettől különböző, a mélyfúrási adatok információit próbáltuk a gravitációs adatokkal megtámasztva országosan kiterjeszteni, elsősorban az ismeretlen medencealjzat-mélységű területekre, ahol hasznos lehet ez a jövőbeli földtani kutatások számára, megkönnyítve a tervezést a prekainozoos medencealjzat becslés mélységének megadásával. A forrásadatok, például a fúrási adatrendszer bővülése vagy más geofizikai módszer, megbízható mélységadatai is beépíthetők a rendszerbe, és az bármikor újraszámítható.

A geofizika egyik legfontosabb feladata: „háttér-információkat szolgáltatni a mélybeli geológiai felépítésről a földtani, földtudományi kutatások számára”. A módszerrel, eljárásokkal, számításokkal és algoritmusokkal kapcsolatos további részletek a hivatkozott forrásművekben érhetők el.

## Függelék

### A nem konszolidált, üledékes kőzetek sűrűsége

A porozitás a laza üledékek esetében a mélység növekedésével exponenciális csökken (Athy 1930), aminek következtében az üledékek sűrűsége exponenciális növekszik a mélységgel. Ez azt jelenti, hogy minél mélyebben vagyunk, annál kisebb a porozitás és annál nagyobb a sűrűség. Ugyanez a növekedés figyelhető meg a hullámterjedési sebesség esetében is.

Korábbi évek belső jelentései és publikációi (Szabó 1993, Szabó, Páncsics 1999a, Mészáros, Zilahi-Sebess 2001) már foglalkoztak országos szinten az üledékes összletek sűrűségével és annak tömörödési trendjével, azaz a mélységfüggő exponenciális sűrűsénövekedéssel, és meg is adták azokat az összefüggéseket, amelyek ezt analitikusan a legjobban leírják. Az összefüggések és az adatok felhasználása néhány ritka kivételtől (Szabó, Páncsics 1999b, 1999c, Kiss 2010, 2015, Kiss 2017) eltekintve azonban nem terjedt el.

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

$$\sigma = a - b \cdot e^{-cz}, \quad (1)$$

ahol

$a$  – az üledékek maximális sűrűsége (országos szinten  $a = 2,70 \text{ g/cm}^3$ );

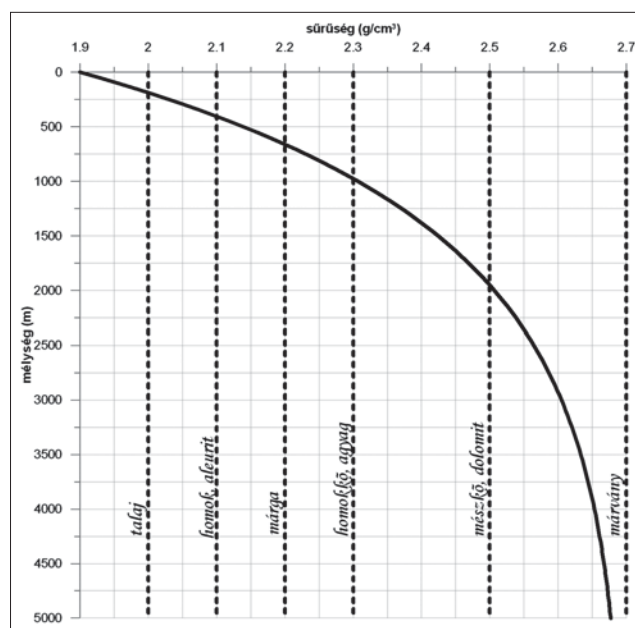
$b$  – a felszínre extrapolálás paramétere (országos szinten  $b = 0,80$ );

$c$  – a növekedés mértékét jellemző paraméter (országos szinten  $c = 0,00071$ ),

$z$  – a mélység (méterben).

Az (1) összefüggéssel meghatározott sűrűséggörbét a felső 5 km-es mélységre (magyarországi medence mélység) a 21. ábra mutatja. Ez a grafikon a tömörödés (pórustérfogat elvesztése, diagenezis stb.) hatására a mélységgel arányosan bekövetkező sűrűsénövekedést mutatja, azaz az üledékek általános mélységi tömörödési trendjét.

Az 21. ábrán ugyanerre a grafikonra az üledékes kőzetek felszíni átlagos sűrűségét<sup>(6)</sup> (Znamenszkij 1980 alapján) is feltettük. Látszik, hogy a felszíni sűrűségeik alapján az eltérő litológiájú (szemcse nagyságú) kőzetek sűrűsége is eltérő. A grafikon alapján azt is mondhatnánk, hogy az üledékes kőzetek csak annyiban különböznek egymástól, amennyiben a kőzetmárix, illetve a diagenezis során kialakult pórustérfogat eltérő. A pórustérfogatbeli eltérés a szemcseméret, szemcseösszetétel és a nyomás függvénye. A homokkő tehát egy olyan homoknak tekinthető, amely már megjárta a 700 m-es mélységet, és az ottani nyomásviszo-



21. ábra A sűrűség mélységfüggése Mészáros és Zilahi-Sebess (2001) alapján és az üledékes kőzetek átlagos sűrűségértékei Znamenszkij (1980) alapján

Figure 21 Depth dependence of density based on Mészáros and Zilahi-Sebess (2001) and the average density of sedimentary rocks based on Znamensky (1980)

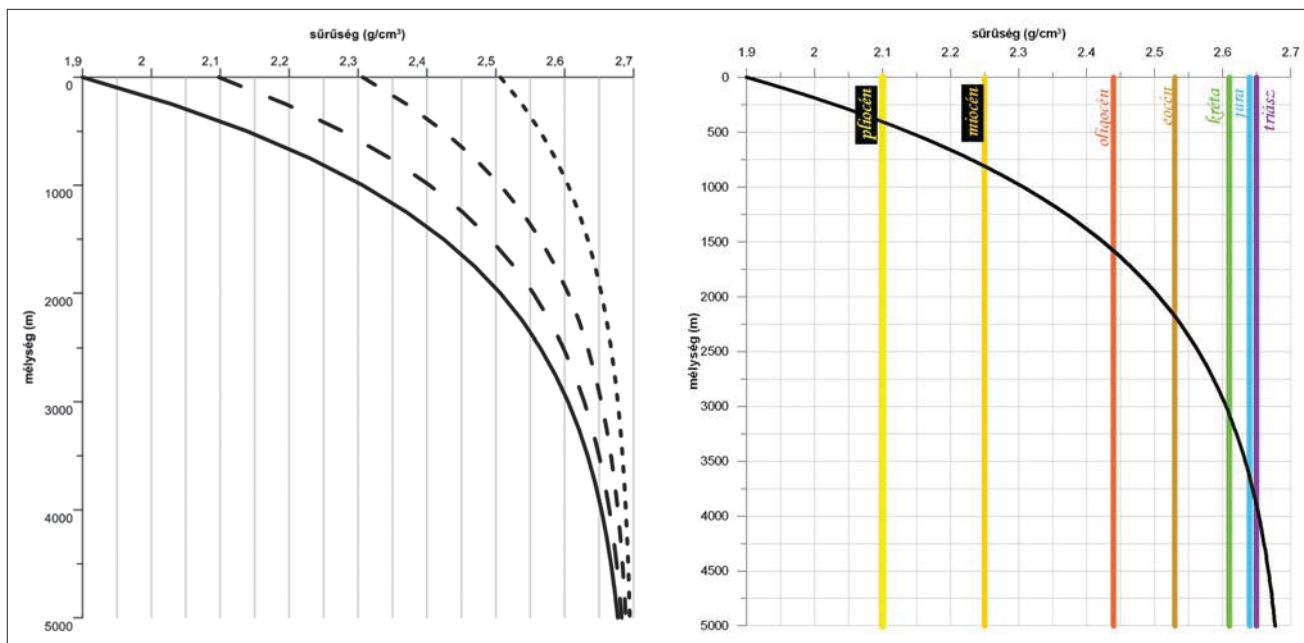
nyoknak megfelelően átalakult (vagy másodlagosan cementálódott), s a sűrűsége megnőtt.

Az üledékes kőzetek sűrűségét a pórustérfogat elvesztése mellett az ásványtani összetétel és a cementáció mértéke is befolyásolja. Normál üledékképződés esetén minél idősebb a kőzet, annál nagyobb mértékű diagenezisen esett át, illetve annál nagyobb a cementáció mértéke is.

A különböző litológiájú üledékes képződményeket elhelyezhetjük az átlagos sűrűségük alapján a kapott mélységfüggést ábrázoló grafikonon. Ez a grafikon azt mutatja, hogy a felszínen található földtani képződmény a sűrűsége alapján a tömörödési sor melyik részéhez sorolható be, ami meghatározza azt is, hogy az alatta elhelyezkedő képződmények sűrűsége várhatóan milyen értéktől fog kezdődni.

Kisebb-nagyobb eltérések természetesen lehetnek. Földtanilag ez azt jelenti, hogy egy szarmata mészkő alatt megjelenő oligocén homoknak a sűrűsége nem az átlagos  $2,1 \text{ g/cm}^3$  lesz, hanem a szarmata mészkő sűrűségéhez közel álló, de valószínűleg annál nagyobb érték. Ez az érték a homokos üledékek tömörödési trendje alapján 1500–2000 m körüli települési mélységben jelenik meg. Azaz a tömörödési görbét a felszínen talált képződmény sűrűségéből indítva kell figyelembe venni, így az eredmény más lesz a homokra, agyagra vagy éppen a mészkőre (22. ábra). Ezeknek a törvényszerűségeknek gyakorlati haszna lehet a gravitációs mérési adatok értelmezésekor.

A 22. ábra mutatja a különböző korú üledékek átlagos sűrűség paramétereit és a tömörödési trend görbét. Az ábra alapján látszik, hogy a medencealjzat-képződmények maximális sűrűséggel jelentkeznek, tehát a grafikon végét



22. ábra A sűrűség mélységfüggése (Mészáros és Zilahi-Sebess 2001) különböző kezdő értékről indítva a görbét (balra) és a különböző korú üledékek átlagos sűrűsége az alapgörbével (jobbra)

Figure 22 Depth dependence of density curves (Mészáros and Zilahi-Sebess 2001) starting from different values (left) and the average density of sediments of different ages with the base trend line (right)

jelzik. E képződmények sűrűsége már nagyon nem fog változni a mélységgel, a mészkőből kristályos mészkő lesz, majd adott nyomás és hőmérséklet felett márvány. A fiatalabb képződmények valahol a görbe mentén, de feljebb a kisebb sűrűségek tartományában találhatóak. A kor szerepe tehát hasonló, mint a litológiáé, minél idősebb a kőzet, annál nagyobb a sűrűsége.

A gravitációs anomáliát részben a képződmények sűrűségének különbsége (sűrűségkontraszt) okozza, ami attól függ, hogy az adott képződmény milyen messze van a másik képződménytől, például a sűrűség skála kezdő 1,9 g/cm<sup>3</sup> értéktől vagy végső 2,7 g/cm<sup>3</sup> értéktől. A gravitációs mélységinverzió során ezt a sűrűségkontraszt-értéket használjuk fel a medencealjzat felületének leképzésekor.

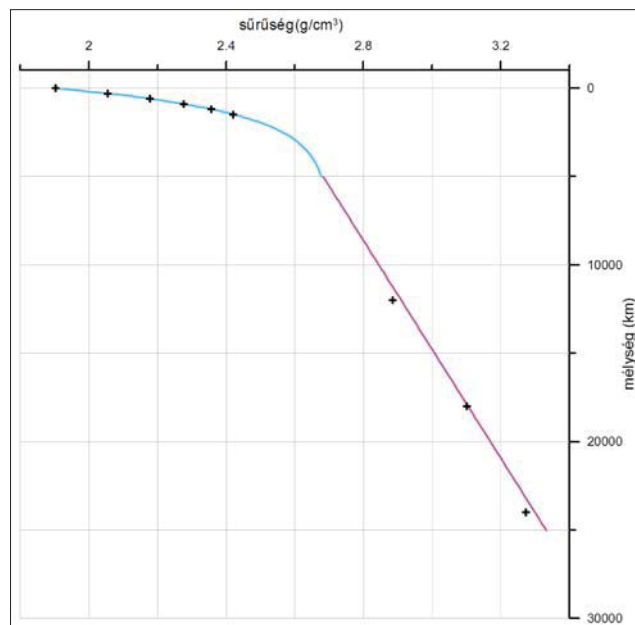
Az ábráról leolvasható például, hogy az oligocén medencék (csak oligocén üledékekkel kitöltve) esetén a sűrűségkontraszt-maximum  $\Delta\sigma = 0,2 - 0,3 \text{ g/cm}^3$ , míg a csak neogén üledékekkel kitöltött medencék esetén ez az érték  $\Delta\sigma = 0,4-0,5 \text{ g/cm}^3$  körüli lesz a triász medencealjzathoz képest. Lásd például a Vértes-hegység két oldalának különbségét, paleogén és neogén medencék miatt.

Ezek az értékek csak jó kiindulási értékeket jelentenek, mivel a földtani felépítés sokszor ismeretlen, vagy a medencék kitöltő anyaga vegyes, különböző vastagságú és litológiájú képződményekből áll. Az átlagos vastagság és az átlagos litológiai összetétel alapján azonban a fedő összlet sűrűsége becsülhető.

Nagyobb mélységek irányában kevés adattal rendelkezünk, de van néhány stabil alapinformáció. Az egyik, hogy a köpenyképződmények 3300 kg/m<sup>3</sup> sűrűségtől kezdődnek, ez Magyarországon 25–35 km körüli mélységben várható. A bazaltos alsó kéreg (SiMa öv) 3000–3300

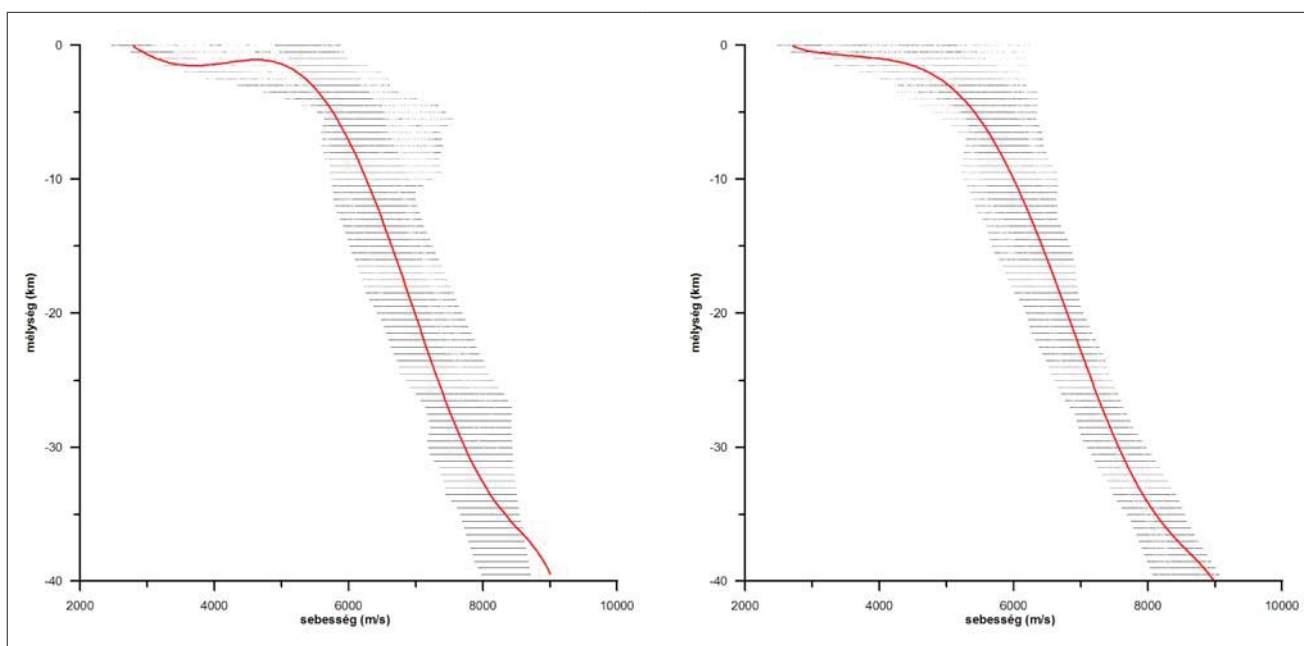
kg/m<sup>3</sup> sűrűségű, és a gránitos felső kéreg 2700–3000 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű. A sűrűség változása tehát összetétel- és mélységfüggő, de alapvetően a mélységgel arányosan növekszik.

A laza törmelékes összletek tömörödési trendje 1900 kg/m<sup>3</sup>-tól 2600–2700 kg/m<sup>3</sup>-ig exponenciálisan nő,



23. ábra A sűrűség–mélység várható menete nagyobb mélységekre kiterjesztve (a kék görbe Mészáros és Zilahi-Sebess (2001) képlete alapján)

Figure 23 Expected trend of density extended to larger depths {based on the formula of Mészáros and Zilahi-Sebess (2001) for the blue curve}



24. ábra A CEL-07 és CEL-08 szelvények sebesség–mélység trendje az adatok (fekete pontok) és a polinomközelítés (piros görbe) alapján (Kiss 2005, 2009)

Figure 24 Velocity-depth trend based on data of sections CEL-07 and CEL-08 (black dots) and their polynomial approximation (red curve) (Kiss 2005, 2009)

utána pedig egyenletes (lineáris) sűrűsénövekedést feltelegezhetünk a medencealjzat kristályos kőzeteitől egészen a köpenyképződményekig (23. ábra). Mivel pontos információink nincsenek, így ez a megközelítés elfogadhatónak tűnik.

A CELEBRATION szeizmikus tomográfiaszelvények invertált sebességeloszlását vizsgálva (24. ábra) meghatároztuk az átlagos sebesség–mélység összefüggéseket (pl. Kiss 2005, Kiss 2021) a kéregben, ezek a sűrűséghez nagyon hasonló mélységi trendet mutattak, mert a sebesség- és a sűrűségértékek korrelálnak.

Ezek a görbék megerősítették a korábban nagy mélységekre felvázolt sűrűség-trend elképzelést. Megállapítható tehát, hogy az exponenciális sűrűség- és sebesség-növekedés a kristályos medencealjzat szintjéig tart. Ha ismerjük a medencealjzat mélységét, akkor durván meg tudjuk határozni analitikusan (egy exponenciális és egy lineáris összefüggéssel) a sűrűség–mélység vagy a sebesség–mélység menetet az ország bármely pontjára. Ennek fontos szerepe lehet a kéregkutatásban, pl. a spektrálisan szűrt görbék alapján kiszámolt relatív sűrűségmetaszetek (Kiss, Vértesy 2020) elkészítésekor, amikor az egyik be-menő paraméter a tömörödésből származó sűrűség-trend.

### Az üledékes medence átlagsűrűsége

Az üledékes medence átlagsűrűségének (gravitációs hatásának) meghatározása több szempontból is fontos. Egyrészt a mély üledékes medencék az izosztázia alapján köpenykiemelkedést okoznak (Kiss 2010), s ennek meghatározásához a modellezés során szükségünk van az üle-

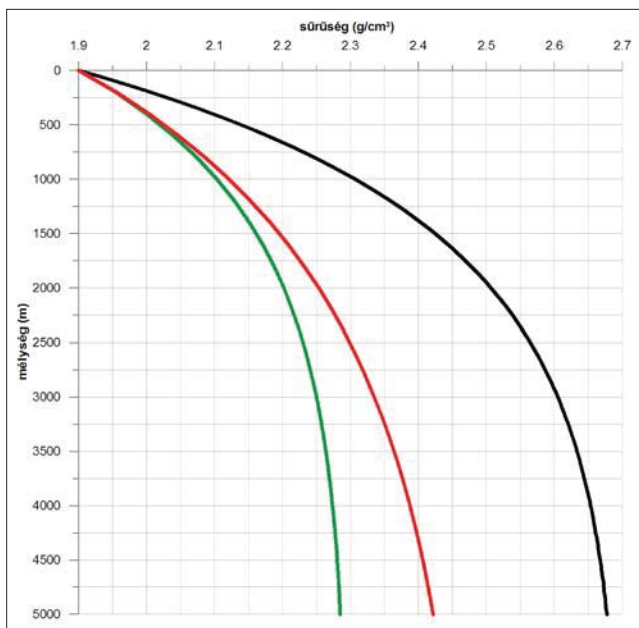
dékes medencét felépítő kőzetek átlagsűrűségére. Másrészt, ha a medencealjzat inhomogenitását akarjuk megvizsgálni (Kiss 2015), akkor minél pontosabban ismerünk kell az üledékes medence gravitációs hatását.

A sűrűséget a litológia (anyag és kifejlődés), valamint a mélység határozza meg. A magmás és metamorf kőzetek esetében a litológia az elsődleges tényező, a törmeléken üledékes és vulkántörmelék esetében a nyomás és hőmérséklet hatására bekövetkező diagenezis miatt a pillanatnyi vagy egykori mélységi elhelyezkedésnek is közel hasonló szerepe van.

A kőzetek mélységgel növekvő sűrűsége és a felszíni sűrűségek alapján pontról pontra előállíthatjuk a medencemélységtől függő átlagos medencesűrűséget az egész ország területére. Mivel azonban a sűrűség–mélység összefüggés nemlineáris, így a minimális és maximális értékből képzett számtani átlag nem jó, egy olyan – nem túl bonyolult – képletet kell alkalmazni, amely jobban figyelembe veszi az exponenciális mélységfüggést. Ilyen lehet például a (2) súlyozott átlagolás. Meghatározva először minden pontra az adott mélység maximális, valamint a félmélységhez tartozó sűrűségét, majd ezek után a minimális (felszíni), a maximális és a félmélységbeli sűrűségértékeknek a súlyozott átlagát képezve megkapjuk a medence keresett átlagsűrűségét (25. ábra) minden egyes pontban (a rácsméretnek megfelelő oszlopos hasáb átlagsűrűségét, amelyet a direkt feladat megoldásakor használunk), ahol a medencealjzat mélysége ismert:

$$\sigma = (1/4)[\sigma_{h_{\min}} + 2\sigma_{h_{\text{half}}} + \sigma_{h_{\max}}]. \quad (2)$$

Az átlagsűrűség meghatározásánál kényszerfeltételeket alkalmaztunk, mint például az ideális üledékciklus



25. ábra Normál tömörödési trend görbe (fekete) és a medenceüledékek számtani (zöld), illetve a súlyozott átlagsűrűsége (piros) görbéik az adott mélységig

Figure 25 Curves of normal compaction (black) and the arithmetic (green) and weighted average density (red) of the basin sediments up to the given depth

meglétét, a felszíni legfiatalabb képződményektől a medencealjzatig folyamatos üledékképződést és az ennek megfelelő, folyamatosan növekvő sűrűségértékeket. (A medencealjzat sűrűségét átlagos kéregsűrűségűnek tekintjük.) Erre azért van szükség, hogy mindenhol ugyanúgy járjunk el a sűrűség meghatározása során. Természetesen a földtani felépítés általában nem ilyen egyszerű, de ha rendelkezünk részletes felszíni földtani térképpel (azaz ismerjük a felszíni litológiát), akkor az (1) tömörödési trend alapján ezt figyelembe vehetjük változtatva a kezdősűrűség értékét (22. ábra, bal oldala).

### A tanulmány szerzői

Kiss János, Gulyás Ágnes, Paszera György

### Jegyzetek

- <sup>1)</sup> A munka az MBFSZ GOFO-06 „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel” c. téma keretében végzett munkát (Kiss et al. 2018) és annak módosított, újabb eredményeit mutatja be.
- <sup>2)</sup> Az alaptérképek elérhetőek az MBFSZ térképszerverén: <https://map.mbfisz.gov.hu/>.
- <sup>3)</sup> A GeoBank nevű adatbázis a Magyarországon mélyült fúrások adatait, valamint a MÁFI/MFGI/MBFSZ által a terepi felvételezések és a fúrások dokumentálása során elkülönített és a földtani térképeken és fúrási adatbázisában alkalmazott földtani egységek adatait és jelkulcsát tartalmazza: <http://srv-sql/geobank>
- <sup>4)</sup> Ehhez az izosztatikus modell alapján meghatározott, szeizikus adatok alapján korrigált izosztatikus Moho-mélységet (Kiss et al. 2015) és a Kilényi és szerzőtársai (1991) szerkesztésében megjelent medencealjzat térkép adatait használtuk fel.

- <sup>5)</sup> Az izosztatikus feldolgozásokat 2009–2010-ben végeztük amikor az újabb prekainozoos medencealjzat-mélységtérkép (Haas et al. 2010) még nem állt rendelkezésre.
- <sup>6)</sup> Az ELGI Földfizikai és Obszervatóriumi Főosztályán 1966–1970 között voltak kutatások az országos földtani alapképződmények sűrűségének meghatározására laboratóriumi mérésekkel (Szabó, Páncsics 1994). Az adatok felhasználásakor az üledékes képződményekre megadott statisztikai átlagértékek szisztematikusan nagyobbak voltak a gyakorlatban tapasztaltaknál. Ennek valószínűleg az volt az oka, hogy a statisztikai feldolgozás során a mélységfüggés nem lett figyelembe véve, azaz korrigálva, pedig nem mindegy, hogy a laza üledékes kőzet milyen mélységből származik! Egy következő publikációban a mélységi trendek is meghatározásra kerültek (Szabó, Páncsics 1999c).

### Hivatkozások

- Athy L. F., (1930): Compaction and oil migration. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 14, 25–35.
- Blakely R. J. (1981): A program for rapidly computing the magnetic anomaly over digital topography. Open-File Report, 81-298.
- Cordell L., Henderson R. G. (1968): Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer, Geophysics, 33, 596–601.
- Detzky G. (2008): Parametric interpolation of seismic velocity field. Geophysical Transactions, 45/3, 157–177.
- Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrad Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. (Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500000). A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- Kilényi É., Kröll A., Obernauer D., Sefara J., Steinhäuser P., Szabó Z., Wessely G. (1991): Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. Geophysical Transactions, 36/1–2, 15–36.
- Kiss J. (2005): A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebesség-anomália” fogalma. Magyar Geofizika, 46/1, 25–34.
- Kiss J. (2006): Magyarország gravitációs lineamenttérképe, első eredmények. Magyar Geofizika, 47/2, 1001–1010.
- Kiss J. (2009): A CEL-08 szelvény geofizikai vizsgálata. Magyar Geofizika, 50/2, 59–74.
- Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. Magyar Geofizika, 54/2, 89–114.
- Kiss J. (2014): Magyarország Bouguer-anomália térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése, Magyar Geofizika, 55/4, 163–178.
- Kiss J. (2015): A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. Magyar Geofizika, 56/1, 21–42.
- Kiss J. (2017): Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel. Kézirat, MBFSZ adattár
- Kiss J., Prácer E. (2016): Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL-08 vonalon. Magyar Geofizika, 57/2, 69–87.
- Kiss J., Vértessy L. (2020): A potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetszetek. Magyar Geofizika, 61/1, 8–18.

- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á. (2017): Földmágneses esettanulmányok a Balaton-felvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről. *Magyar Geofizika* 57/4, 126–151.
- Kiss J., Vértesy L., Rádi K., Takács E., Detzky G., Füsi B., Gulyás Á., Paszera Gy., Deák Zs. V., Bauer M. (2018): Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel (GKFO–06). Kézirat, MBFSZ Adattár, p. 89.
- Mészáros F., Zilahi-Sebess L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions*, 44/1, 21–48.
- Parker R. L., (1973): The rapid calculation of potential anomalies, *Geophysical Journal*, 31, 447.
- Szabó Z. (1993): Magyarország üledékhatással javított gravitációs térképe. Kézirat, ELGI adattár, p. 14.
- Szabó Z., Páncsics Z. (1994): A Pannon medence kőzetfizikai paraméterei I.–III. kötet. Kézirat, ELGI Adattár
- Szabó Z., Páncsics Z., (1999a): Magyarország változó sűrűséggel korrigált Bouguer-anomália-térképe. *Geofizikai Közlemények*, 42/1–2, 29–40.
- Szabó Z., Páncsics Z., (1999b): Magyarország medencehatástól mentesített gravitációs térképe. *Geofizikai Közlemények*, 42/1–2, 41–54.
- Szabó Z., Páncsics Z., (1999c): Kőzetsűrűségek a Pannon medence magyarországi részén. *Geofizikai Közlemények*, 42/1–2, 5–28.