

5. A FÖLD BELSŐ SZERKEZETE A RENGÉSHULLÁMOK ALAPJÁN

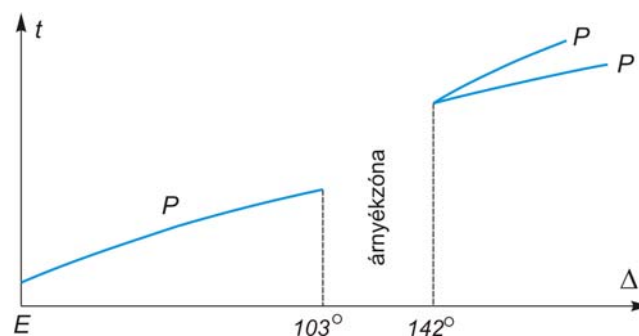
A Föld belső szerkezetének, anyagának, az anyag fizikai állapotának, esetleg kémiai összetételének a megállapítása olyan mélységekben, ahol a közvetlen megfigyelés lehetetlen, rendkívül nehéz feladat. A kézbe vehető kőzetminták legfeljebb 9-10 km mélységből származnak, mivel a jelenlegi fúrési technikával ennél mélyebbre még nem sikerült lehatolni. Geológiai folyamatok – elsősorban a vulkáni kitörések – ennél nagyobb mélységekből is a felszínre juttatnak kőzetanyagot, azonban ezek is legfeljebb a Föld felső köpenyének egy részéből hoznak némi információt. A Föld mélyebb részeinek megfigyelésére csak közvetett úton van lehetőségünk. Ez magyarázza, hogy a Föld belső felépítésére vonatkozóan napjainkig sok felfogás látott napvilágot és, hogy ezek a felfogások több alapvető kérdésben eltérnek egymástól.

A kutatásokban döntő jelentőségű a földrengéshullámok tanulmányozása, mivel ezek a hullámok miközben áthaladnak a Föld belső részein – szinte átröntgenezve a mélyebb részeket – tájékoztatnak minket a harántolt részek szerkezetéről, anyagáról és lehetséges fizikai állapotáról.

Amennyiben valamely földrengés fészkeiben megfelelő energiájú rengés pattan ki, akkor bizonyos idő után a Föld valamennyi obszervatóriumában regisztrálni lehet a rugalmas hullámok beérkezését. Minél nagyobb epicentrális távolságban tudjuk regisztrálni a rugalmas hullámokat, a Földnek annál mélyebb részeiről kapunk információkat. Mivel a rengéshullámoknak terjedési sebessége különböző anyagokban más-más értékű, ezért a hullámok beérkezési idejéből a sebességre és így közvetve annak a közegnek a fizikai tulajdonságaira (esetleg anyagi összetételére) következtethetünk, amelyeken a hullámok áthaladtak.

A Föld gömbhéjas szerkezete

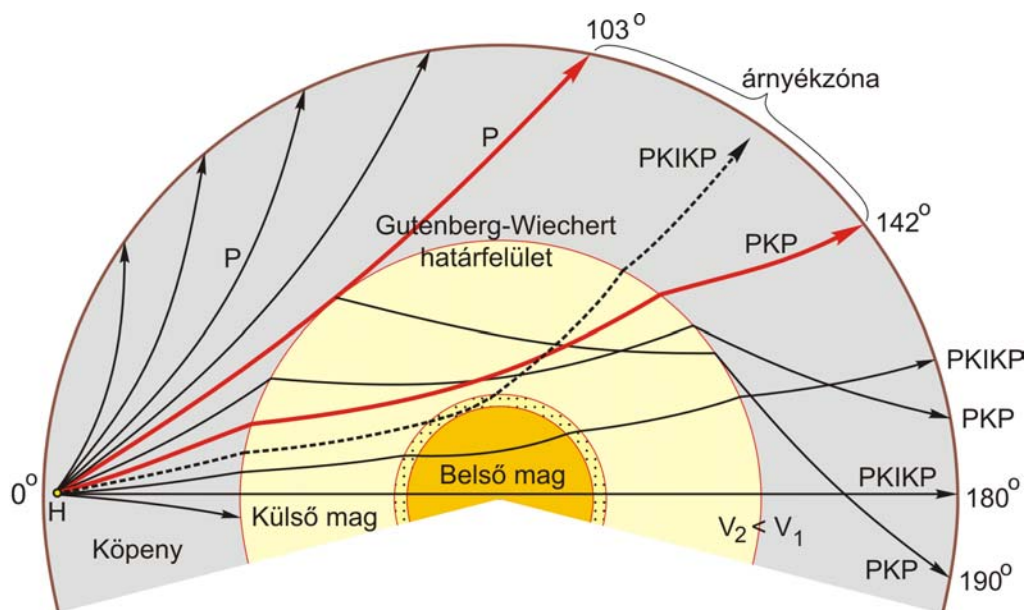
A földrengéshullámokat elemezve kiderült, hogy a Föld belsejében határfelületek vannak, amelyek különböző fizikai tulajdonságú *övek*re (gömbhéjakra) osztják a Földet. (Megjegyezzük, hogy az öv kifejezés a szokásos, de ugyanakkor helytelen; helyesen: a Föld *gömbhéjas* felépítésű.)



1. ábra. Az árnyékvóna a menetidőgörbéken

A kezdeti megfigyelések azt mutatták, hogy a rugalmas hullámok terjedési sebessége a mélységgel növekszik. Azonban OLDHAM már 1906-ban felfigyelt arra, hogy a Földön a földrengések fészkeivel átellenes oldalon fekvő szeizmológiai obszervatóriumokba a P hullámok a vártnál lényegesen később érkeznek be, ezért ebből arra következtetett, hogy mivel ezek a hullámok áthaladnak a Föld középső részein, ott egy kisebb sebességű tartománynak kell elhelyezkednie. A jelenséget egészen részletesen GUTENBERG vizsgálta meg 1914-ben.

GUTENBERG azt tapasztalta, hogy a P hullámok menetidőgörbéje az 1. ábrán látható módon 0° -tól 103° epicentrális távolságig folyamatosan növekszik, majd ettől egészen 142° -ig a longitudinális hullámok teljesen kimaradnak. Ezt követően a görbe 142° -tól két részre válik; mivel az első P hullám után közvetlenül egy másik P hullám is a felszínre érkezik. A 103° és a 142° közötti ún. *árnyékvonalat* GUTENBERG számításai szerint az idézi elő, hogy a Föld belsejében kb. 2900 km mélységben olyan határfelület van, amelyen áthaladva a földrengéshullámok sebessége ugrásszerűen lecsökken. Ez az ún. *Gutenberg-Wiechert-féle határfelület* a Föld belsejét két részre osztja: a *köpenyre* és az alatta levő *magra*. Az árnyékvonal kialakulása és a P hullámok 1. ábrán bemutatott menetidőgörbéje a 2. ábrán látható hullámterjedési viszonyokkal magyarázható. Az ábrán a földrengés a H pontban pattan ki, és a rengéshullámok az epicentrális távolság növekedésével egyre hosszabb utakat tesznek meg, miközben egyre mélyebbre merülnek a köpenyben.



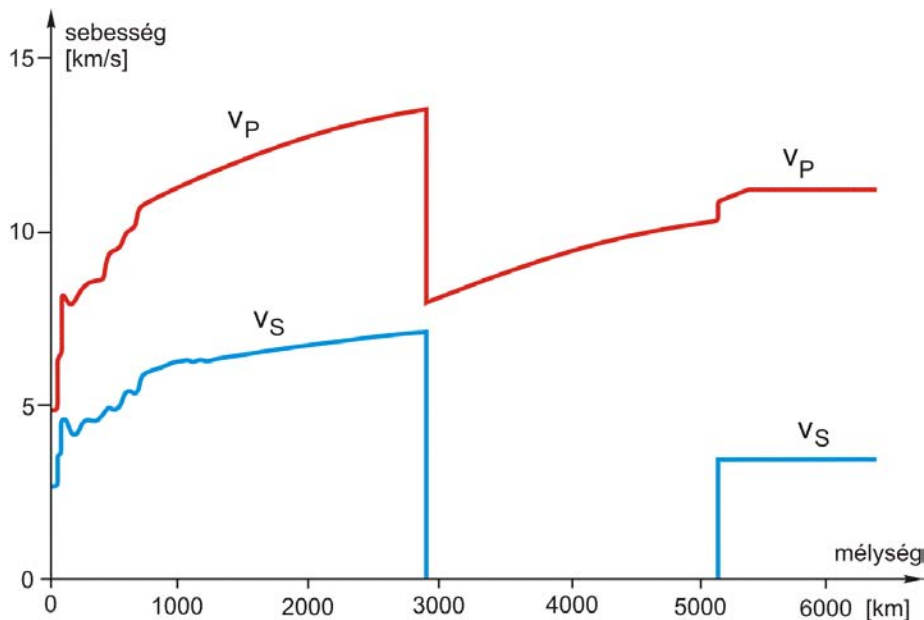
2. ábra. Az árnyékvonal magyarázata

A 103° epicentrális távolságban beérkező hullám még éppen elhalad a mag mellett, viszont a következő hullám már beleütközik a magba és mivel a magban kisebb a terjedési sebesség, ezért a beesési merőleges felé törik. Ugyanez a hullám a magon való áthaladás után ismét elérve a maghatárt most a beesési merőlegestől törik és a rengés

epicentrumától kb. A 190° távolságban éri el a felszínre. A soron következő – a mag határára egyre kisebb szöggel beeső – hullámok hasonló utat járnak be, de egyre kisebb epicentrális távolságnál bukkannak a felszínre. A legkisebb epicentrális távolság 142° . Ha a rengéshullámok beesési szöge tovább csökken, akkor a hullámok ismét egyre nagyobb epicentrális távolságban érik el a Föld felszínét.

LEHMANN további részletes vizsgálatai szerint az árnyékszóna sem teljesen mentes a P hullámoktól, igen gyenge longitudinális hullámok itt is regisztrálhatók. LEHMANN ebből arra következtetett, hogy a mag nem homogén, hanem külső és belső részre osztható. A belső magban a P hullámok terjedési sebessége jóval nagyobb, mint a mag külső részében, ezért (ahogyan a 2. ábrán szaggatott vonallal ábrázoltuk) a megfelelő szögben érkező hullámok úgy törnek meg, hogy az árnyékszóna területén érik el a Föld felszínét. A külső és a belső mag határfelületének meghatározása nehéz feladat, mivel ez a határ nem olyan éles mint a köpeny és a mag közötti választóvonal. Egyes szeizmológusok a határfelület helyett itt inkább egy átmeneti övet feltételeznek, amelynek vastagsága legalább 100 km. Ez az ún. *Lehmann-öv* választja el egymástól a *külső és a belső földmagot* a felszíntől számítva kb. 5100 km mélységben.

A Föld legkülső és egyben legismertebb öve a földkéreg. Elsőként MOHOROVICIC horvát geofizikus jelezte 1909-ben, hogy a Balkán félsziget alatt kb. 50 km-es mélységben olyan határfelület húzódik, amely alatt ugrásszerű sebességnövekedés tapasztalható. A későbbi szeizmológiai vizsgálatok bebizonyították, hogy ez a felület az egész Földön megtalálható, átlagos mélysége 33 km és a felfedezőjéről *Mohorovicic* (rövidítve *Moho*) felületnek nevezték el. Ez a felület tekinthető a *földkéreg* alsó határának, a kéreg és a köpeny határfelületének.

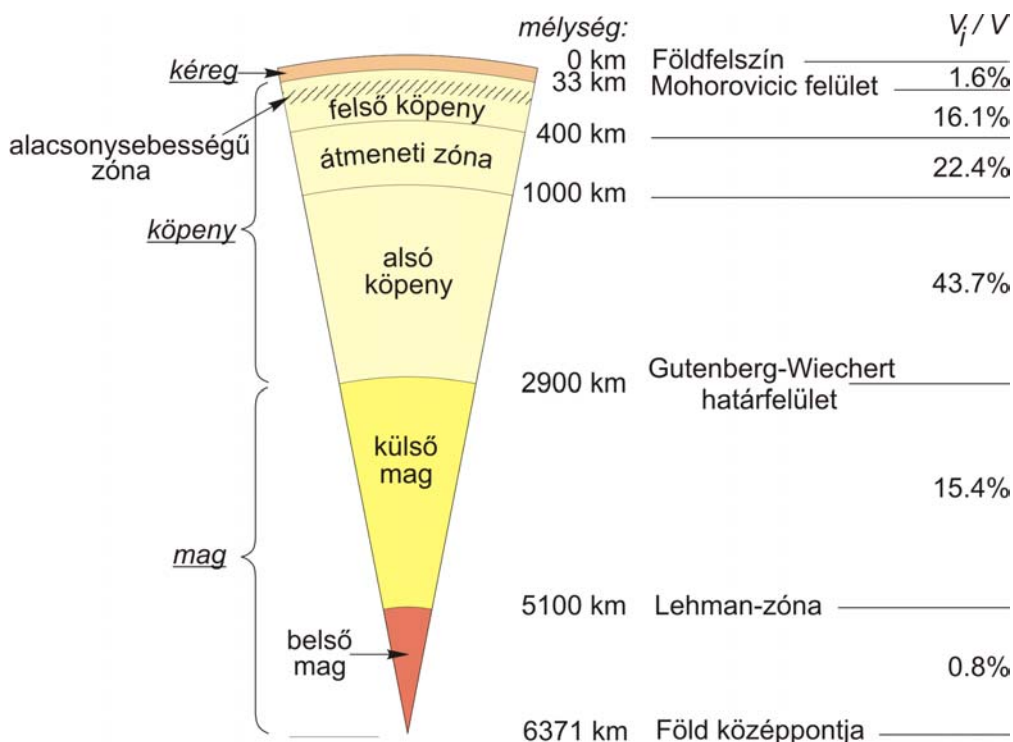


3. ábra. A P és az S hullámok terjedési sebessége a Földben

Az eddigiek alapján megállapítható tehát, hogy a Föld belsejében két olyan felület van, amelyen áthaladva a földrengéshullámok terjedési sebessége ugrásszerűen meg-

változik. Ezek a Moho- és a Gutenberg-Wiechert-féle felület, amelyek a Földet három fő részre: a *kéregre*, a *köpenyre* és a *magra* osztják. Bár a három öv egyikében sincs további sebességugrás, a rugalmas hullámok terjedési sebessége egyik övön belül sem állandó, hanem folytonosan változik.

Korábban már láttuk, hogy a homogénnek feltételezett Föld különböző mélységeiben a P és az S hullámok terjedési sebessége a felszíni látszólagos sebesség és a hullámok bemelegítési mélységének ismeretében a (2.12) összefüggés alapján számítható ki. Mivel az egyre nagyobb epicentrális távolságban felbukkanó rengéshullámok a Földnek egyre mélyebb részeibe merülnek le, így a P és az S hullámok terjedési sebessége tetszőleges mélységben meghatározható. Ilyen sebesség-mélység függvényeket korábban GUTENBERG és JEFFREYS határoztak meg.



4. ábra. A Föld gömbhéjas felépítése

A sebesség-mélység függvény ismerete alapján meghatározhatjuk a gömbhéjas felépítésű Föld legfontosabb paramétereit. A 4. ábrán összefoglaltuk a különböző Föld-övek (gömbhéjak) elhelyezkedését, az egyes határfelületek mélységét és elnevezését, valamint az egyes gömbhéjak relatív térfogatát. A különböző földöveket első és másodrendű törésfelületek (diszkontinuitások) választják el egymástól. Az elsőrendű törésfelületek mentén maga a sebesség-mélység függvény-, a másodrendű törésfelületeknél viszont a függvény deriváltja változik meg ugrásszerűen. Elsőrendű törési felületek a Mohorovicic és a Gutenberg-Wiechert-féle felület, amelyek a Földet 3 fő részre: a kéregre, a köpenyre és a magra osztják.

A Föld belsejének fizikai paraméterei

A Föld belső állapotának és anyagának megismerésére akkor lehet reményünk, ha minél több fizikai paraméterét meg tudjuk határozni a mélység függvényében. Sajnos jelenleg a rugalmas hullámok sebessége szinte az egyetlen fizikai paraméter, amelynek a mélység-függését a felszínről meg tudjuk határozni. A sebesség-mélység függvény ismerete alapján azonban viszonylag pontosan meg tudjuk határozni néhány egyéb fizikai paraméter mélység-függését is. Ezek a sűrűség, a nehézségi gyorsulás, a nyomás és a rugalmassági paraméterek.

A sűrűség és a rugalmassági állandók

A Föld közepes sűrűsége (átlagsűrűsége) tömegének és térfogatának a hányadosa. A Föld térfogatát a geodéziai mérések alapján ma már igen pontosan ismerjük, a tömegét pedig kozmikus geodéziai mérésekből (a természetes, valamint a mesterséges holdak pályaelemeinek változásából) tudjuk meghatározni. Ezek felhasználásával a Föld átlagos sűrűsége: $\bar{\rho} = 5514 \text{kgm}^{-3}$. Mivel a fölfelszínen található kőzetek átlagos sűrűsége 2700kgm^{-3} , nyilvánvalóan a Föld mélyében jóval nagyobb sűrűségű anyagoknak kell elhelyezkedni.

Ugyancsak ezt támasztják alá a csillagászati megfigyelések, amelyekből tudjuk, hogy a Föld tehetetlenségi nyomatéka $0.33 Ma$ (M a Föld tömege, a pedig a sugara), ugyanakkor a Földdel azonos tömegű és sugarú homogén sűrűségeloszlású testnek a forgástengelyére vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka $0.4 Ma$ lenne. Ez is arra utal, hogy a Föld középpontja környezetében nagyobb sűrűségű anyag helyezkedik el. Ennél azonban többet is tudunk mondani, ha képezzük a Föld $H=(C-A)/C$ dinamikai lapultságának és a gravitációs erőtér potenciáljának (5.8) gömbfüggvény sorában szereplő $J_2 = (C - A) / Ma^2$ tömegfüggvény hányadosát:

$$\frac{J_2}{H} = \frac{C}{Ma^2}$$

ahol C a Föld főtehetetlenségi nyomatéka a forgástengelyére. A mesterséges holdak pályaelemei közül a csomóvonal precessziós mozgásából: $J_2 = 1.0827 \cdot 10^{-3}$ és a Föld luniszoláris precessziójából: $H = 3.275 \cdot 10^{-3}$: így tehát $C / Ma^2 = 0.331$. Ez igen fontos számérték, mivel megmutatja, hogy a Föld tömege milyen erősen koncentrálódik a középpontja felé. Az *I. táblázatban* olyan földmodellre vonatkozó arányokat adunk meg, amely esetében a gömb alakú Földet az a sugarának a felénél (tehát a köpeny és a mag határának közelében) egy gömbfelülettel két részre osztottuk. Ha a külső gömbhéj feltételezett sűrűsége J_1 , a belső gömb sűrűsége pedig J_2 , akkor a különböző ρ_1 / ρ_2 arányokhoz a táblázatban látható C / Ma^2 számértékek tartoznak. A táblázat értékei alapján a Föld magjának átlagsűrűsége valamivel több mint háromszorosa kell legyen a külső héjak átlagsűrűségének.

1. táblázat. C / Ma^2 értékek adott földmodellek esetén

sűrűség arány	C / Ma^2
1 : 2	0.367
1 : 3	0.340
a Föld esetén	0.331
1 : 4	0.318

A sűrűség-mélység függvény pontosabb meghatározására az *Adams-Williamson-féle differenciálegyenlet* nyújt lehetőséget, amely kémiaiilag homogén, hidrosztatikus egyensúlyi állapotban levő anyagra adja meg a sűrűség gradiensét a rengéshullámok terjedési sebessége alapján:

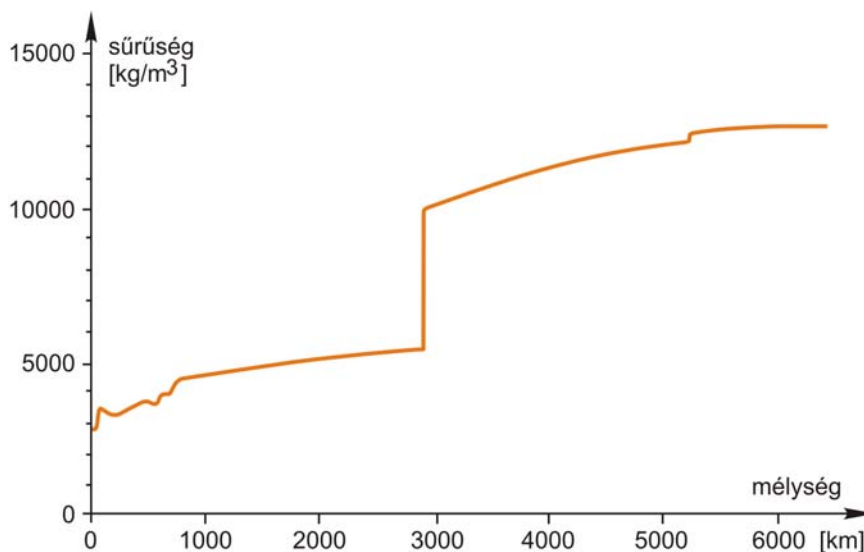
$$\frac{d\rho}{dr} = \frac{-kM_r\rho_r}{r^2\left(v_P^2 - \frac{4}{3}v_S^2\right)} \quad (1)$$

ahol k a gravitációs állandó, ρ_r a sűrűség a Föld középpontjától r távolságban, M_r az r sugárral meghatározott gömbön belül levő földtömeg, v_P és v_S pedig a longitudinális és a transzverzális hullámok terjedési sebessége a kérdéses mélységben. Az (1) differenciálegyenletből a $\rho(r)$ sűrűség-mélység függvény numerikus integrálással kapható meg. A megoldáshoz meg kell adni a kezdeti feltételeket: esetünkben az $r = r_0 = a$ kiindulási szinten az ismert sűrűségérték $\rho = \rho_0$. Ezután a (2.23) jobb oldalán szereplő valamennyi változó helyére beírjuk az adott $r=r_0$ kiindulási szintre vonatkozó számértékeket és így megkapjuk a sűrűség gradiensét a kiindulási szintre vonatkozóan. Ha ezt megszorozzuk valamely tetszőlegesen kicsire választott dr távolság-értékkel, akkor megkapjuk ezen dr távolságra a $d\rho$ sűrűségváltozást. Ezek után a Föld középpontjától $r_1 = r_0 - \Delta r$ távolságra az új sűrűség $\rho_1 = \rho_0 + \Delta\rho$. Ebben az új mélységben ismét beírhatjuk az (1) jobb oldalán szereplő változók helyére a következő mélységre vonatkozó számértékeket és megkapjuk az új sűrűséggradiens értékét. Mindez addig folytatható, amíg a sűrűség változása folytonos, – ahol ugyanis a sűrűség ugrásszerűen változik az (1) nem alkalmazható. Itt más módszerrel, részben a korábbi megfontolások alapján kell meghatározni a sűrűségugrás legvalószínűbb értékét, majd az új értékkel indulva számíthatjuk tovább az (1) segítségével a sűrűség-mélység függvényt.

Az így meghatározott sűrűség-mélység függvény helyességére és a felvett sűrűségugrás (esetleg sűrűségugrások) értékére két ellenőrzési lehetőségünk van. Egyrészt a kapott sűrűségeloszlású Föld össztömegének azonosnak kell lenni a Föld ismert tömegével, másrészt a kapott modell tehetetlenségi nyomatékának is egyezni kell a megfigyelt értékkel.

A gyakorlati számításokban a földkérget a nagyfokú inhomogenitásai miatt kihagyjuk és az (1) alkalmazása során a kiindulási szint a felső köpeny teteje, ahol $r_0 = 6340 \text{ km}$ és $\rho_0 = 3300 \text{ kgm}^{-3}$. Ilyen módon pl. BULLEN és BIRCH, valamint CLARK és RINGWOOD határoztak meg különféle modelleket.

Újabbán a sűrűségeloszlás meghatározásához a Föld sajátrezgéseit is felhasználják, amelyek periódusa elsősorban a belső sűrűségeloszlástól és a rugalmassági paraméterek értékétől függ. Mivel azonban a szabadrezgések alapján a különböző fizikai paraméterek mélységfüggésének egyértelmű meghatározása nem lehetséges; ezért a feladatot fordított sorrendben oldják meg: először, felvesznek több lehetséges földmodellt, amelyekben a sűrűség és a rugalmassági paraméterek a mélységgel különbözőképpen változnak, majd kiszámítják az egyes modellekhez tartozó sajátrezgés periódusokat és más ismert fizikai paramétereket. Nyilvánvalóan a felvett modellek közül azt kell elfogadnunk, amelynél a kiszámított szabadrezgések periódusai, a modell össztömege és tehetetlenségi nyomatéka, valamint a P és az S hullámoknak a modellre számított sebesség-mélység függvénye megegyezik a valóságban megfigyelt értékekkel. Tekintettel a lehetséges esetek igen nagy számára, a probléma csak modern számítógépek segítségével oldható meg.



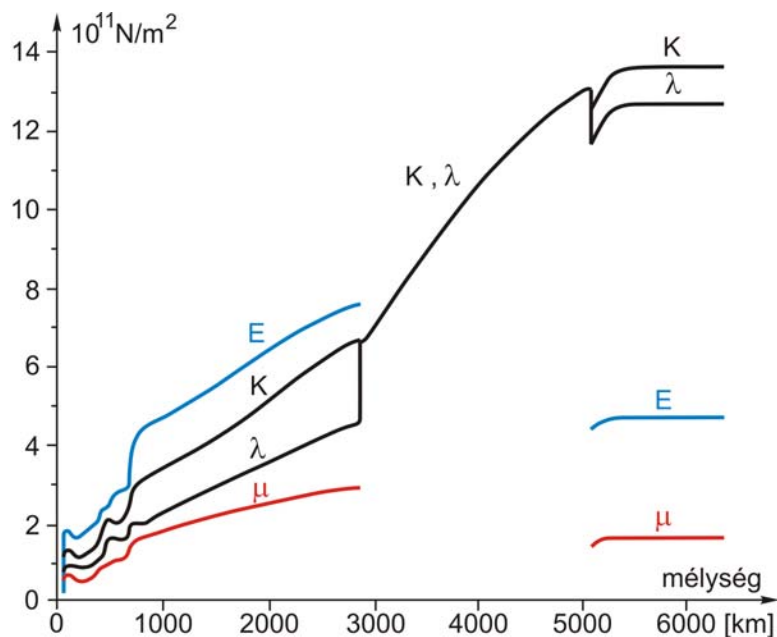
5. ábra. A sűrűség változása a Föld belsejében

Az 5. ábrán ANDERSON és HART már említett modelljének sűrűség-mélység függvénye látható. Az ábra tanúsága szerint a felső köpeny tetején a sűrűség értéke kb. 3400 kgm^{-3} , amely a Gutenberg-csatornában kb. 100 kgm^{-3} értékkel lecsökken. Ezt követően először egyenetlenül és gyorsan, majd kb. 670 km mélységtől egyenletesebben és lassabban emelkedik a köpeny-mag határáig, ahol 5530 kgm^{-3} értéket ér el. A Gutenberg-Wiechert-felületen áthaladva a sűrűségugrás értéke 4430 kgm^{-3} , így a külső mag felső részénél a sűrűség már 9960 kgm^{-3} . A külső magban a sűrűség tovább növekedik, a belső mag határánál pedig ismét van egy kisebb ugrás: 12120 kgm^{-3} -ről 12300 kgm^{-3} -re. A belső magban a sűrűség már csak igen lassan növekedik, a maximális értéke a Föld középpontjában 12580 kgm^{-3} .

A bemutatott sűrűség-mélység függvényen kívül a 6. ábrán a szóban levő földmodell rugalmassági paramétereinek mélységfüggését is bemutatjuk. Az ábrán E a Young-modulusz, K a térfogati rugalmassági tényező vagy inkompresszibilitás, λ és μ pedig a

Lammé-féle állandók. A korábbi megállapításainkkal összhangban a külső magban az E és a μ értéke zérus, mivel itt az anyag folyadékszerű állapotban van.

Végül megemlítjük, hogy a különböző fizikai paraméterek megbízhatósága a mélység növekedésével egyre csökken és a belső magban a legkisebb. Itt a nagy bizonytalanság oka többek között az, hogy belső mag térfogata a 4. ábra tanúsága szerint a Föld teljes térfogatának mindössze 0.8%-a, ezért itt például viszonylag nagy sűrűségváltozás is csak igen kicsi értékkel változtatja meg a Föld össztömegét és tehetetlenségi nyomatékát, amiket viszont a sűrűség-mélység függvény ellenőrzéséhez használunk.



6. ábra. A rugalmassági paraméterek változása a Föld belsejében

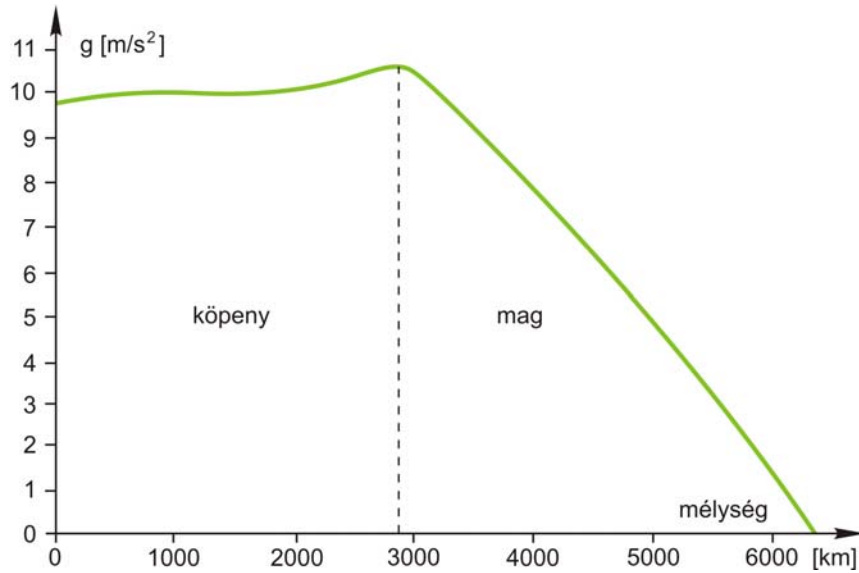
A tömegvonzásból származó gyorsulás a Föld belsejében

A sűrűség-mélység függvény ismeretében egyszerűen meghatározható a tömegvonzásból származó gyorsulás értéke is a Föld különböző mélységeiben. A Föld belsejének bármely pontjában, a középponttól r távolságban:

$$g_r = k \frac{M_r}{r^2}$$

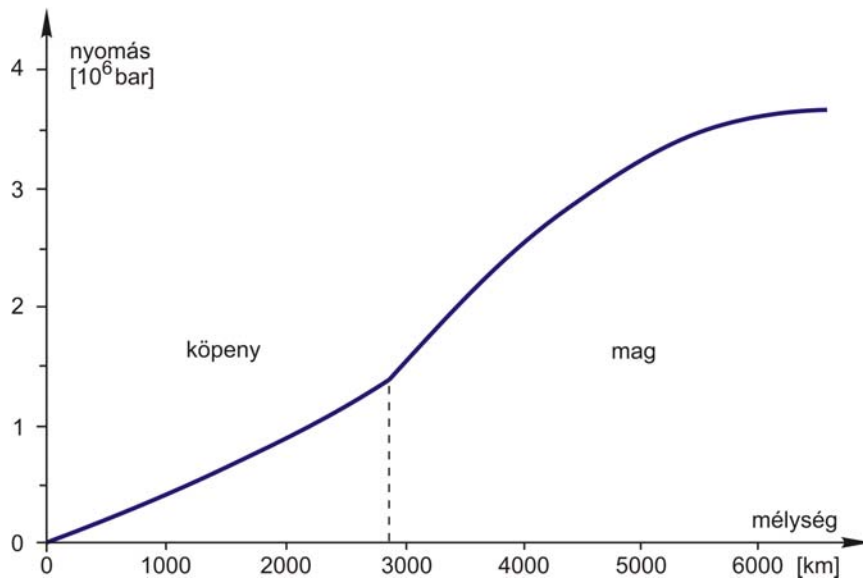
ahol k a gravitációs állandó, M_r pedig az r sugarú gömb tömege, ami a belső sűrűségeloszlás ismeretében egyszerűen kiszámítható. A vizsgált pontot tartalmazó r sugarú gömb felületén kívül eső tömegek hatása a vizsgált pontban zérus, mivel bármely homogén gömbhéj belsejében a gravitációs gyorsulás értéke nulla. A 7. ábrán az előző pontban közölt sűrűség-mélység függvény alapján meghatározott gravitációs gyorsulás-mélység függvény látható. A függvény érdekessége, hogy kezdetben a g a felszíni értékhez ké-

pest kissé növekszik, majd a köpeny-mag határon határozott maximuma van; itt $g = 10.7 \text{ms}^{-2}$. Innen az értéke csaknem lineárisan csökken és a Föld középpontjában zérussá válik.



7. ábra. A gravitációs gyorsulás változása a Föld belsejében

A nyomás a Föld belsejében



8. ábra. A nyomás változása a mélység függvényében

A Föld belső részeiben uralkodó nyomás a sűrűségeloszlás és a gravitációs gyorsulás-mélység függvény ismeretében a

$$p = \int_R^r g \rho dr$$

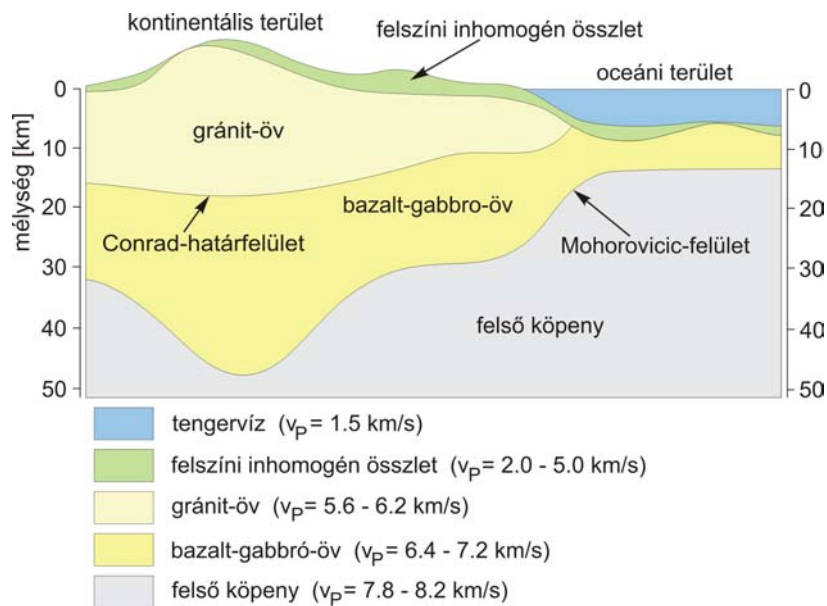
összefüggés alkalmazásával határozható meg. Mivel a nyomás additív, ezért a mélység növekedésével folytonosan növekszik és a 8. ábrán látható módon a Föld középpontjában éri el a $3.6 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ (3 600 000 bar) maximális értéket. Az ábrán az is látható, hogy a Földünk belsejében kb. 2300 km mélységtől már millió bar-os nagyságrendű nyomás uralkodik.

A Föld belső felépítése

Ebben a részben részletesebben megvizsgáljuk, hogy a mai tudásunk szerint milyen a Föld belső szerkezete, mely összhangban van a megismert fizikai paraméterekkel.

A földkéreg szerkezete

Földkéregnek a Föld legkülső övét tekintjük, amely a felszín és a Mohorovicic-diszkontinuitás között helyezkedik el. A földkéregnek az óceánok által nem takart része már évezredek óta az emberiség vizsgálatának tárgya; így ez a Föld legismertebb tartománya. A földkéreg távolról sem tekinthető homogén övnek, azonban a felépítésére mégis jellemző néhány szabályszerűség. Az alábbiakban ezeket tekintjük át.



9. ábra. A földkéreg szerkezete óceánok és kontinensek alatt

Korábban említettük, hogy a földkéreg alsó határát jelentő Mohorovicic-diszkontinuitásnak a felszíntől számított átlagos mélysége 33 km. Ez azonban az egész

Földre vonatkozó átlagos érték, a kéregvastagság kb. 10 és 70 km között változik. A kéreg különböző vastagsága nem ötlepszerű, hanem szigorú szabályszerűséget mutat: szoros korreláció tapasztalható a kéreg vastagsága és a Föld felszíni topográfiája között. A 9. ábrán látható módon egészen más a kéreg vastagsága és szerkezete a kontinensek és más az óceánok alatt.

A földkéreg vastagságát az *izosztázia* törvénye szabályozza. Az *AIRY-féle* izosztatikus modell szerint ugyanis a Föld szilárd kérgé az alatta, levő nagyobb sűrűségű felső köpeny anyagában közelítőleg úszási egyensúlyi állapotban van. Ez azt jelenti, hogy ha a kéreg különböző magasságú egységeit független hasáboknak fogjuk fel, ezek addig merülnek a köpeny viszkózusabb anyagába, amíg a rájuk ható felhajtó erő egyenlő nem lesz a súlyukkal. Ennek megfelelően a kontinentális területeken a magasabb hegy-ségek alatt a kéreg vastagsága elérheti a 40-80 km értéket, ugyanakkor pedig az óceánok alatti kéreg vastagsága alig 5-10 km. Természetesen a Föld kérgé nincs mindenütt izosztatikus egyensúlyi állapotban, de ezeken a területeken a függőleges földkéreg-mozgások többnyire az egyensúlyi állapot elérése felé irányulnak.

A földkéreg finomszerkezetének tanulmányozását a modern szeizmikus módszerek és műszerek megjelenése tette lehetővé. A legjelentősebb felfedezés az volt, hogy a földkéreg a kontinentális területek alatt egy meglehetősen éles szeizmikus határfelülettel két részre osztható. Az erre vonatkozó vizsgálatokat elsőként CONRAD végezte. JEFFREYS ezeket tovább finomította és megállapította, hogy a *Conrad-féle törésfelület* a felszín alatt általában 5-20 km-es (átlagosan 15 km-es) mélységben található. Igen érdekes, hogy a Conrad-féle törésfelület kizárólag a kontinentális területek alatti kéregben mutatható ki és a Moho-felülethez hasonlóan általában ez is ellentétes értelemben, követi a felszíni topográfiát.

A földköpeny szerkezete

A földköpenyt két elsőrendű diszkontinuitás határolja: a kéreg felőli oldalon a Mohorovicic-, a mag felőli oldalon pedig a Gutenberg-Wiechert-féle törésfelület. Amint ismeretes, a kéreg-köpeny és a köpeny-mag határ mentén a földrengéshullámok terjedési sebessége ugrásszerűen változik, ezért ezeken a helyeken a sűrűségnek is ugrásszerűen kell megváltoznia. A sűrűség viszont két esetben változhat meg ugrásszerűen: vagy az anyagi összetétel éles megváltozása miatt, vagy pedig fizikai fázisátalakulás következtében. A kéreg-köpeny határon uralkodó hőmérséklet és nyomás értékek mellett fizikai fázisátalakulás nem képzelhető el, ezért itt az anyagi összetétel viszonylag éles megváltozásával kell számolnunk. Más azonban a helyzet a köpeny-mag határon; ahol már millió bár nagyságrend-nyomás és – amint a későbbiekben látni fogjuk – több ezer C° hőmérséklet uralkodik. Nagy hibát követnénk el, ha itt elvetnénk a fizikai fázisátalakulás lehetőségét. A 3. ábrán látható sebesség-mélység függvényt tanulmányozva feltűnő, hogy amíg az alsó köpenyben a sebességgörbék folytonosan és simán emelkednek, addig a felső köpenyben meglehetősen erősen és szabálytalanul változik a sebesség. Ebben egyrészt az tükröződhet, hogy a nagyobb mélységekben egyre kevésbé ismerjük a sebességváltozások "finomszerkezetét", másrészt viszont ha elfogadjuk, hogy a sebesség-mélység függvény a valóságban is ilyen, akkor ez is alátámasztja azt a ma már egyre inkább elfogadott felfogást, miszerint kb. 800-1000 km mélység alatt sincs jelentékeny anyagi

differenciáció, tehát a mag elemi összetétele lényegében nem különbözik a köpenytől. Ekkor viszont a Gutenberg-Wiechert-felületen jelentkező éles törést nem kémiai változás, hanem fizikai fázisátalakulás okozza. A köpeny szerkezetére és anyagi felépítésére vonatkozóan többek között BIRCH és RINGWOOD végzett érdekes vizsgálatokat. BIRCH pl. kimutatta, hogy a köpeny mintegy 900 km mélységtől egészen 2900 km mélységig, tehát a Föld magjának határáig homogén összetételű.

A föld belső felépítése az asztrofizikai földmodell szerint

Az asztrofizikai földmodell abból indul ki, hogy a Föld középpontja felé haladva az anyagi differenciáció egyre kisebb, mivel nincs megfelelő ok ahhoz, hogy az övek szerinti anyagi szétválás létrejöjjön. Ennek megfelelően a Gutenberg-Wiechert-felület és a Lehman-öv jelenlétét az elmélet fizikai fázisátmenettel magyarázza.

Az asztrofizikai földmodell fizikai alapját a csillagok belső felépítésének tanulmányozása adta. Vannak olyan típusú csillagok (pl. az ún. fehér törpék), amelyekben a nagy anyagsűrűség miatt az anyag nem molekuláris felépítésű, hanem ún. *elfajult állapotban* van. Az elfajult (vagy más néven degenerált) állapot kvantummechanikai fogalom valamely rendszer bizonyos energiaállapotainak megjelölésére. Egyes elméleti vizsgálatok szerint az anyag elfajult állapotba történő átmenete megfelelően nagy nyomás esetén viszonylag alacsonyabb hőmérsékleten is bekövetkezhet. Az elfajult állapot eléréséhez az szükséges, hogy az anyag atomjai valamilyen okból olyan közel kerüljenek egymáshoz, hogy a különböző atomok külső elektronjai a Pauli-féle kizárási elv megtartása mellett kölcsönhatásba lépjenek egymással. A fenti elképzeléseknek a bolygókra történő alkalmazhatóságával SCHOLTE foglalkozott.

Az asztrofizikai földmodell szerint a földköpenyben az atomok elektronhéj-szerkezetük segítségével veszik fel a nyomást. A nagy nyomás rácsos szerkezetbe kényszeríti őket és így minden egyes atomnak a környezetéhez viszonyított helyzete meghatározott. Ha a részecskéket valamilyen erőhatás, pl. földrengéshullám ebből a helyzetéből kimozdítja, a rákényszerített rácsszerkezet miatt fellépő erőhatások nyíróerők formájában visszakényszerítik őket az eredeti helyzetükbe. Ennek következtében az egész földköpenyben mindenütt terjednek a transzverzális hullámok. A Gutenberg-Wiechert-féle diszkontinuitás olyan kritikus nyomásértékű felület, ahol az anyag elfajult állapotba kerül és a részecskék között csak a Coulombe-féle elektrosztatikus erők lépnek fel amíg a nyomás egy adott értéket nem lép túl. Az elfajult állapot térfogatcsökkenéssel jár, ezért növekszik meg ugrásszerűen a sűrűség; és ugyancsak az elfajult állapot okozza a nyírófeszültségek kimaradását. A nyomás növekedésével azonban a Föld középpontja felé haladva a nyomás és a sűrűség is tovább nő és a részecskék ismét annyira közel kerülnek egymáshoz, hogy a nyomás felvételéhez elfajult állapotuk ellenére is rácsszerű elrendeződésbe kényszerülnek. Ilyen rácsszerű elrendeződésnek azonban a nyíróerők fellépése a következménye. Az elmélet szerint a belső mag határa éppen ennek a kritikus nyomásértéknek az elérését jelzi.