

7.3 Az óceánfenék széttolódása

Az óceánok fenekének domborzatát nagy vonalakban már régebben ismerték, azonban a részletes feltérképezésük csak az 1950-es években kezdődött meg HEEZEN amerikai geofizikus vezetésével. Ezekben az időkben tárult teljes részletességgel a kutatók szeme elé az óceánok mélyén a 7.12 ábrán látható hatalmas méretű, egymáshoz kapcsolódó *hátságrendszer*, amely végighalad az Atlanti-, az Indiai-, és a Csendes-óceánon, valamint az Északi-Jeges-tenger alatt. Ez a Közép-óceáni – a továbbiakban röviden óceáni – hátságrendszernek nevezett, mintegy 60000 km hosszúságú, több száz km széles és az óceáni medencék 4800 m-es átlagos fenékmélysége fölé 1000-3000 m-rel kiemelkedő óriási, összefüggő szerkezet általában az óceánok középvonala mentén a partvonalakkal csaknem párhuzamosan halad. A hátságrendszer vonulatait számos, rá merőleges törés, ún. *transzform vetődés* szabdalja 200-2000 km hosszúságú darabokra. A térképezés során THARP fedezte fel, hogy a hátságok gerincvonalaiban vékony, mély hasadékszerű völgy található. Később megállapították, hogy ezen *középponti hasadékvölgy* mentén igen sok sekélyfészkü földrengés keletkezik. (A 7.13 ábrán, a Közép-Atlanti-hátság kinagyított képén jól kivehető a középponti hasadékvölgy és az említett transzform törések.)



7.12 ábra. Az óceánok fenekén végighúzódó világméretű hátságrendszer



7.13 ábra. A Közép-Atlanti-hátság

További érdekes eredményt szolgáltattak az abszolút kormeghatározások, ugyanis az óceánok alatti kőzetek feltűnően fiatalok; az óceáni medencékben sehol sem találtak 200 millió évesnél idősebb képződményeket. Ez azért meglepő eredmény, mert bizonyosan tudjuk, hogy óceánok már legalább 3 milliárd éve léteznek.

1960 körül – az addigi ismeretek birtokában – HESS és DIETZ a Pincertoni Egyetem kutatói felvették az óceánfenék mozgásának lehetőségét. A további kutatásokban

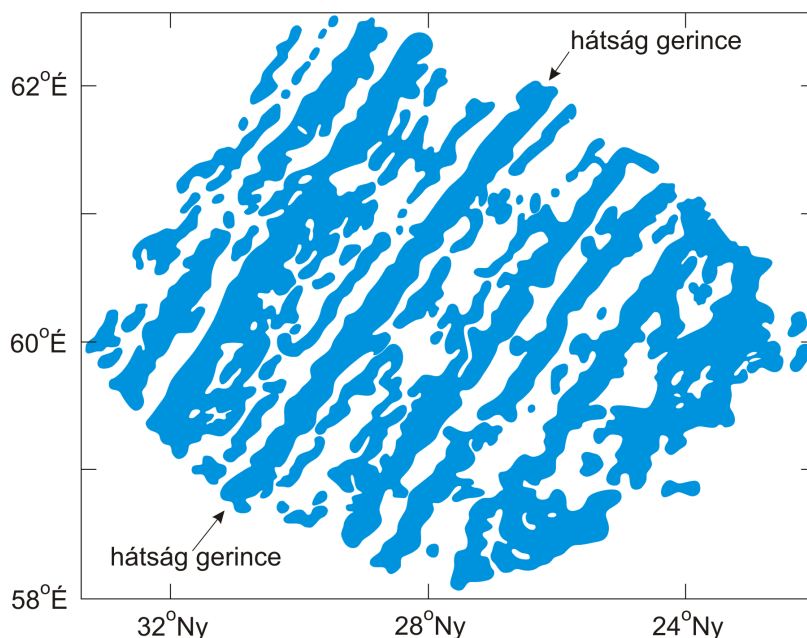
mérföldkövet jelentő cikküknek akkor még nem is minden alap nélkül a "Föld-költészet" címet adták. Ebben a publikációban találkozhatunk első ízben az "ocean-floor spreading" (az óceánfenék széttolódása) elnevezéssel. Elképzelésük szerint az óceáni hátságok középvonala mentén a Föld mélyéből anyag áramlik felfelé, amely az óceánok fenekét a kontinensek felé tolja. A széttolódó óceánfenék végül a kontinensek széleinél található mélytengeri árkokban "tűnik el". A mechanizmus mozgató erejét a kéreg alatti magmaáramlásokban sejtették.

Az elgondolás rokonszenvesnek tűnt és felkeltette a legtöbb geofizikus, geológus és oceanográfus figyelmét, azonban bizonyítékokra volt szükség.

7.3.1 A tengeri mágneses mérések eredményei

Röviddel az 1960-as évek előtt erősen megnövekedett az érdeklődés az óceánok iránt. Ennek egyik következménye volt az óceánok felszínén elvégzett hatalmas mennyiségű földmágneses mérés, amelynek alapján ezekről a területekről igen részletes mágneses anomália-térképek készültek.

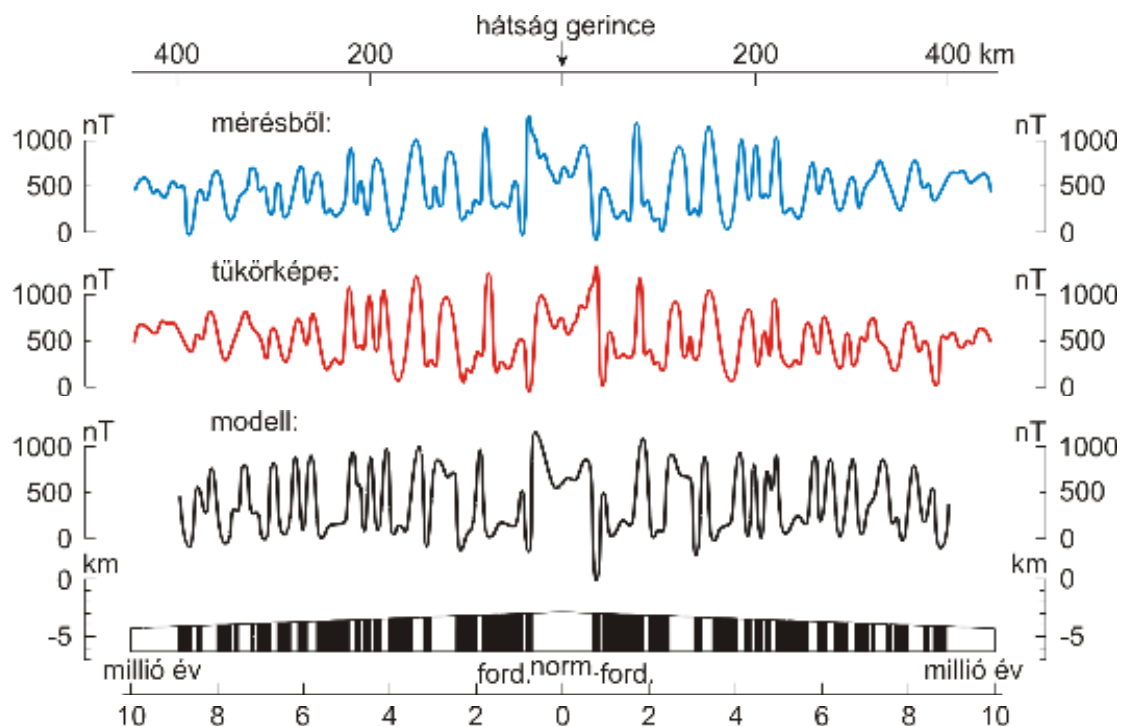
1961-ben a SCRIPPS Oceanográfiai Intézet kutatói felfedezték, hogy Észak-Amerika nyugati partjainál addig ismeretlen, erősen elnyúló, a partvonalakkal párhuzamosan futó mágneses anomaliasáv-rendszer húzódik; de semmiféle olyan szabályos geológiai szerkezetet nem sikerült találni, mely létrehozhatta volna ezeket. Az ilyenféle mágneses hatóknak (mágneses kőzetesteknek) az eredete néhány évig teljesen titokzatos maradt.



7.14 ábra. Mágneses anomáliák változása Izland környékén

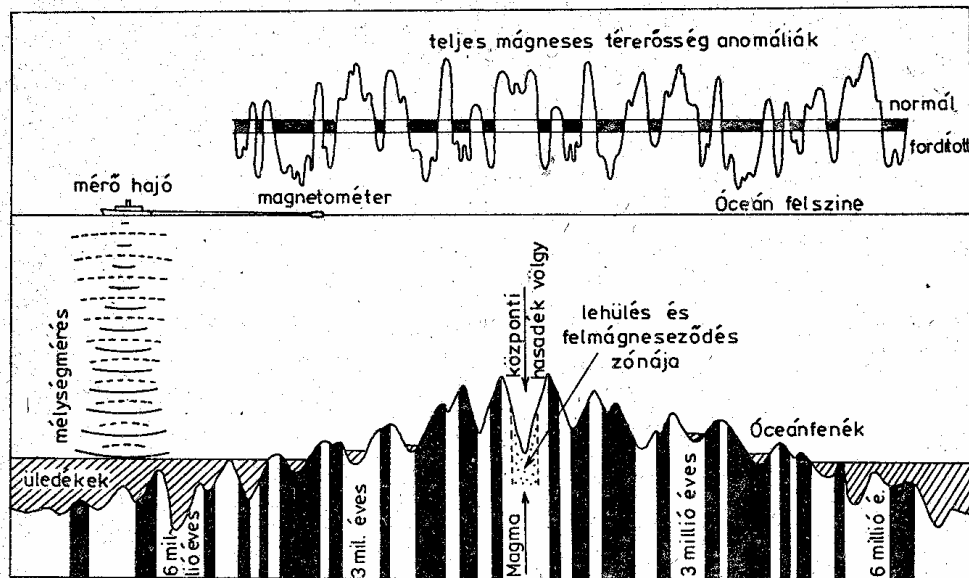
Közben más kutatók egészen hasonló mágneses anomaliasáv-rendszereket találtak az óceáni hátságok területén, ahol az anomália-térképek a hátságok gerincvonala feletti több száz km szélességű övben meglepő szabályosságot mutattak: a pozitív és a negatív mágneses anomáliák egymást szabályosan váltogatva, igen hosszú sávokban jelentkeztek.

E sávok hossz tengelyei egymással és az óceáni hátság gerincvonalával párhuzamosak, sőt az egész mágneses anomáliatér a hátság gerincvonalára szimmetrikus. Ezt szemlélteti a 7.14 ábra, amelyen a Közép-Atlanti-hátság egy Izlandhoz közeli része feletti mágneses anomáliák láthatók (feketével a pozitív, fehérrel a negatív anomáliákat jelöltük). Ugyanezt a feltűnő szimmetriát láthatjuk a 7.15 ábra felső részén, a Csendes-óceáni-hátság gerincére merőleges egyik szelvényben. A szimmetria kihangsúlyozása céljából a felső görbe alatt (amely mérési eredmény) feltüntettük ugyanennek a görbének a hátság gerincére vonatkozó tükörképét is.



7.15 ábra. Mágneses anomáliák a Csendes-óceáni-hátság egyik szelvényében

A földmágneses anomáliák ilyen mértékű szabályos eloszlása nem lehet a véletlen műve, tehát mindenképpen magyarázatot követel. A magyarázatot 1963-ban VINE és MATTHEWS, a Cambridge-i Egyetem kutatói adták meg [104]. Hipotézisük az 1.6.3 pontban leírt mágneses térfordulások jelenségére épült. Elképzelésük szerint az óceáni hátságok gerincvonalán mentén olvadt állapotú kőzetanyag áramlik a mélyből felfelé, mely a felszínre érve vagy a felszín közelében lehűl és az aktuális mágneses térnek megfelelően felmágneseződik, miközben mindkét oldalról hozzájárul a régi óceáni fenék anyagához (7.16 ábra). A folyamatos feláramlás következtében az óceáni hátságok gerince mentén állandóan új óceáni fenékanyag képződik, amely a régebbi kőzeteket a hátság gerincvonalától jobbra és balra széttolja. Ahogyan a korábban felszínre jutott kőzetanyag a hátságok gerincvonalára szimmetrikusan széttolódik, váltakozóan normál és fordított mágnesezettségű kőzetsávok alakulnak ki, annak megfelelően, hogy milyen polaritású volt a földmágneses tér az egyes kőzetrészek keletkezésének időpontjában. Az óceánok felszínén végzett magnetométeres mérésekkel ezeknek a normál és fordított mágnesezettségű kőzetteknek megfelelő mágneses tér mérhető, azaz ennek megfelelően jönnek létre az óceáni hátságok gerincvonalával párhuzamos és erre szimmetrikus pozitív illetve negatív mágneses anomáliásávok.



7.16 ábra. A mágneses anomaliasávok magyarázata

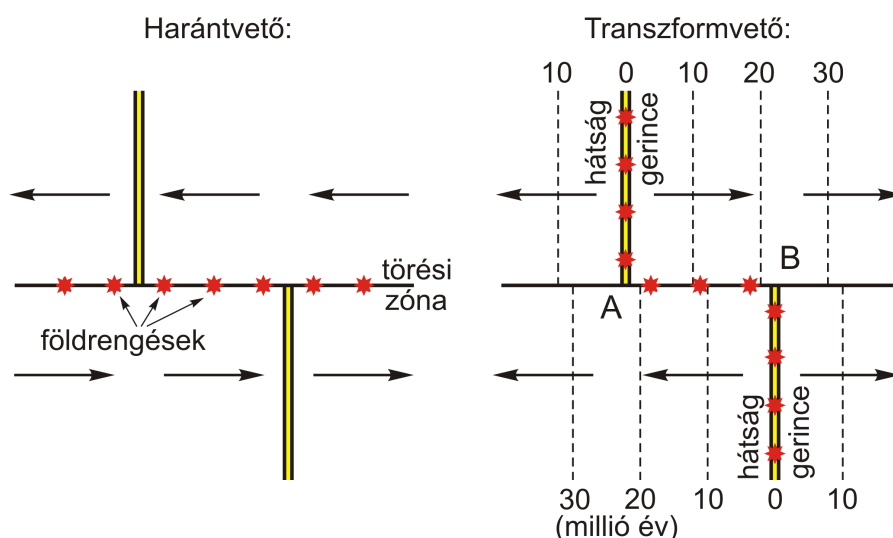
7.3.2 A Vine-Matthews-hipotézis igazolása

A Vine-Matthews-hipotézist nagymértékben alátámasztotta, hogy az időközben egyre gyarapodó tengeri mágneses mérések során az óceáni hátságok valamennyi szelvényében teljesen hasonló, szabályos mágneses anomaliasáv rendszereket találtak [13]. Ha az egyes szelvényekben a Vine-Matthews-hipotézisnek megfelelő váltakozó mágnesezettségű kőzetmodelleket veszünk fel, akkor az ezekre számított mágneses anomáliák jól megegyeznek a valóságban mért anomáliákkal. Jó példa látható erre a 7.15 ábrán. Az ábra alján felvett néhány *km*-es vastagságú óceáni fenéklemezen fehérrel a jelenlegi mágneses térnek megfelelő "normál" mágnesezettségű, feketével pedig a fordított mágnesezettségű kőzethasábokat jelöltük. A modell felett látható a felvett mágneses hatókra kiszámított "elméleti" görbe, amely szinte tökéletesen megegyezik a valóságban mért és az ábra felső részén látható görbével [13].

A főleg mágneses anomáliák alapján levezetett hátságmodell jó összhangban van más geofizikai mérések eredményeivel is.

A legszembetűnőbb – szinte matematikai szigorúságú – bizonyítékot az óceáni hátságok mentén keletkező gyakori földrengések epicentrumainak eloszlása szolgáltatja. Amint a 7.12 és a 7.13 ábrán is láthattuk; az óceáni hátságok gerince nem folytonos vonal, hanem törések és vetődések által mintegy 200-2000 *km* hosszúságú szakaszokra tagolt lépcsős futású szerkezet. Ezek a törések olyan pontokat kötnek össze, amelyek egykor egymás mellett voltak. A törések egyébként pontosan jelentkeznek a mágneses anomaliasávokban is, mivel ezek szorosan követik a hátság szétszabdalt gerincét. Mivel a hátságok elvetődött gerince felett mindig a jelenlegi normális mágnesezettségű kőzeteknek megfelelő anomaliasáv található, tőle szimmetrikusan két oldalra pedig a váltakozó előjelű sávok, ez arra utal, hogy a szétszabdalt hátsággerincek ma is "élnek", azaz folyamatosan termelik az új óceáni fenékanyagot. Ekkor viszont – mivel a hátságok

gerincvonala mentén mindenütt anyag áramlik szét – az elvetődött gerincrészek (a 7.17 ábra jobb oldalán látható *A* és *B* pont) között az óceáni fenékanyag egymással ellentétes irányban mozog. Ez az elmozdulás azonban nem folyamatos, hanem a jelzett *A* és *B* pont között a kőzetekben először rugalmas energia halmozódik fel, majd amikor ez eléri a kőzetek törési szilárdságát, az anyag a vetődési sík mentén eltörik, hirtelen elmozdulás lép fel és a rugalmas energia földrengéshullámok formájában szétterjed. A 7.17 ábra jobb oldalán világosan látszik, hogy az óceáni hátságok elvetődött gerincrészeit összekötő törési zónákban relatív elmozdulás kizárólag az *A* és a *B* pont között lép fel, ezen pontokon kívül a kőzetestek már együtt mozognak; tehát a törési zóna mentén földrengések is csak kizárólag itt keletkezhetnek. Ezt a típusú törést *transzform törésnek* nevezzük.



7.17 ábra. A földrengések kipattanási helyei

Ha most az eddigiektől függetlenül, csupán a morfológia alapján gondolkodnánk, a törésvonalat látva a geológiában már jól ismert egyszerű harántvetődést gyanítanánk és – feltételezve, hogy a vetődési folyamat még ma is tart – bizonyára arra a megállapításra jutnánk, hogy a törési zónának teljes hosszában szeizmikus aktivitást kell mutatnia. (Ezt az esetet a 7.17 ábra bal oldalán láthatjuk, ahol a szeizmikus aktivitás területét keresztekkel jelöltük.)

Az egyszerű harántvetődés és az óceánfenék széttolódását bizonyító transzform vetődés tehát szeizmológiai vizsgálatokkal pontosan elkülöníthető. Mivel az óceáni hátságok mentén a földrengések epicentrumainak eloszlása teljesen egyértelműen a vetődések transzform jellegét igazolja, ez tehát nem egyéb, mint a spreading (az óceánfenék szétterjedés) bizonyítása. Ugyancsak a széttolódást bizonyítja óceáni hátságok mentén kipattanó földrengések fészekmechanizmusa [13].

A Vine-Matthews-hipotézist egyéb geofizikai és geológiai vizsgálatok eredményei is alátámasztják. A geotermikus vizsgálatok során pl. – amint már korábban a 4.4 fejezetben említettük – azt tapasztalták, hogy az óceáni hátságok gerincvonala közelében lényegesen magasabb hőáram értékek mérhetők, mint az óceáni medencék bármely egyéb területén. A gravitációs rendellenességek tanulmányozása alapján viszont arra következtethetünk, hogy a hátságok gerince alatt relatív tömeghiány lép fel. Mindkét eredmény arra mutat, hogy a hátságok alatt néhányszor tíz *km* vastag és több száz *km* széles olvadt állapotú kőzetanyag feltételezhető. (Ennek létezését egyébként megerősítik a szeizmikus vizsgálatok is.)

Végül a széttolódás igazolása szempontjából nagy jelentőségű mélyfúrásokról kell röviden szólnunk. 1968-ban a *Glomar Challenger* kutatóhajóval mélytengeri fúrási program kezdődött el, amelynek során rendkívül értékes eredmények születtek. A fúrási magminták tanúsága szerint az óceáni hátságok gerincvonalának közvetlen közelében egyáltalán nem, vagy alig találhatók üledékek és a bazaltos kőzeteken erózió (víz alatti lepusztulás) nyomai nem figyelhetők meg. A hátságok gerincvonalától távolodva az egyre inkább lepusztult bazaltos alapkőzeteken fokozatosan növekszik az üledékrétegek vastagsága; az üledékek vastagsága és kora a hátság gerincvonalától mért távolság függvénye és az idősebb üledékek minden esetben a hátságoktól távolabb találhatók. Ugyanakkor az egyre mélyebben fekvő üledékrétegek kora is egyre nagyobb. Az üledékek alatt mindenütt megtalálható a bazaltos alapkőzet, amelynek kora és mágnesezettsége pontosan megegyezik az előre számítható értékkel. Amint már korábban említettük, a mélyfúrások során az óceánok fenekén egyetlen helyen sem találtak 200 millió évesnél idősebb kőzeteket.

Az eddigi eredményeket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a Vine-Matthews-hipotézis; az óceánfenék széttolódásának elmélete teljes egészében bizonyított elméletnek tekinthető.

A világ óceánjain áthaladó hatalmas méretű hátságrendszer Földünknek az a különös helyszíne, ahol a földkéreg állandóan születőben van. A felszínre ömlő és szétterjedő kéreg alatti olvadt kőzetanyag eredményezi az óceánok alatti ismert bazaltvulkánosságot és hozza létre a mágneses anomaliasávokat. Ugyancsak ez magyarázza a hátságok magas hőáramát és a rendszerint pozitív gravitációs Faye-anomáliákat, valamint a negatív Bouguer-anomáliákat. A hátságrendszer mentén keletkező földrengéseket pedig a szétszakadó és a transzform vetődések vonalán elmozduló – közben egymással súrlódó – kőzettestek okozzák.

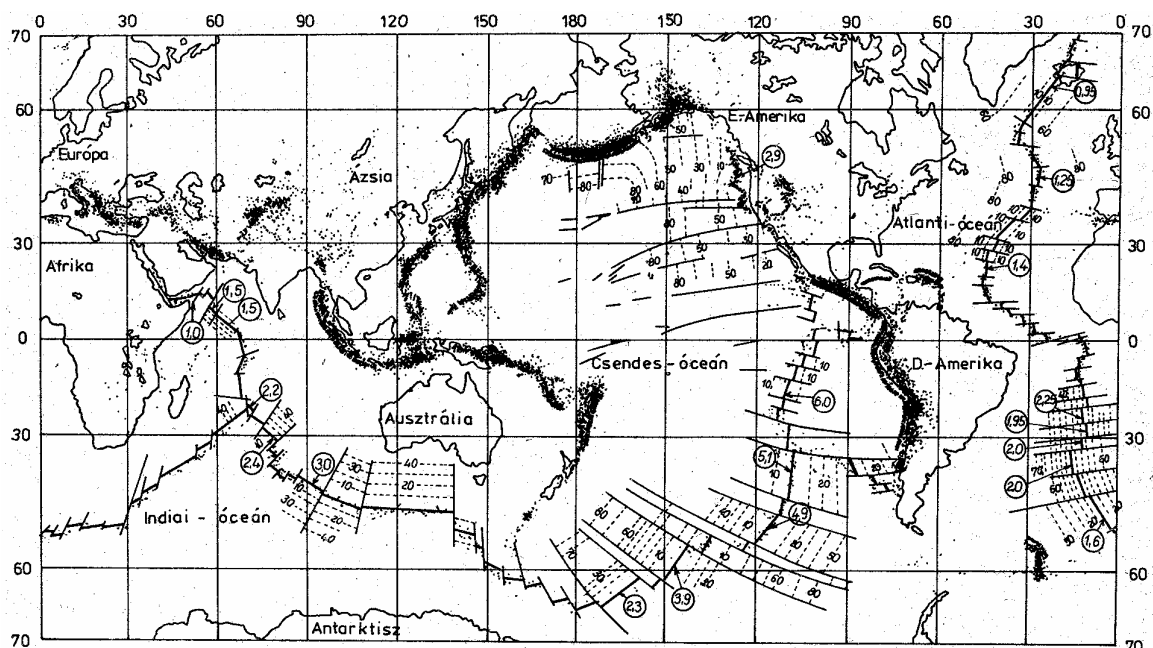
7.3.3 A széttolódás mértéke

Az 1.6.3 pontban ismertetett földmágneses időskála birtokában igen egyszerűen meghatározható az ún. *spreading-sebesség*, azaz az óceánfenék kőzeteinek távolodási sebessége az óceáni hátságok gerincvonalától a különböző hátságrészeknél. Mindössze meg kell mérnünk a mágneses anomaliasávok távolságát a hátság gerincvonalától és az 1.20 ábráról – a már meghatározott időskáláról – le kell olvasnunk az egyes anomaliasávokat okozó kőzetek korát. A spreading-sebességet e két adat hányadosa szolgáltatja. Az eredmények tanúsága szerint a spreading-sebesség a különböző hátságrészek mentén más és más. Legnagyobb a Csendes-óceáni-hátság egyenlítői vidékén (6 cm/év) és viszonylag kicsi a Közép-Atlanti-hátság északi részén, ahol alig 1 cm/év . – Természetesen a hátságoknál az évente termelődő új fenékanyag a spreading-sebesség kétszeresével (azaz magával a *széttolódási sebességgel*) arányos, mivel az óceáni hátságok gerincvonala mentén szimmetrikusan mindkét oldalon távolodnak az óceánfenék kőzetei.

HEIRTZLER és munkatársai az itt vázolt módszerrel az óceáni hátságok hatalmas területén végeztek spreading-sebesség meghatározásokat [13]. Vizsgálataik során arra a következtetésre jutottak, hogy az utóbbi 50-80 millió évben az óceánfenék széttolódása közel azonos sebességgel, megszakítás nélkül történt. (Ez egyébként azt jelenti, hogy pl. az utóbbi 80 millió évben 1 és 6 cm/év közötti spreading-sebességek esetén az óceáni

hátságoknál 1600-9600 km széles új óceáni fenékanyag képződött.) HEIRTZLER és munkatársai tehát térben és időben jelentősen kiterjesztették az óceánfenék széttolódásának folyamatát. Számítási eredményeiket a 7.18 ábrán foglaltuk össze. A hátságok gerincét a vastag folytonos vonalak, az ezeket megszakító töréseket (transzformvetőket) vékony vonalak jelölik. A hátságok gerincvonalával párhuzamos vékony szaggatott vonalak olyan ún. izokronok, amelyek megadják, hogy jelenleg hol található a 10, 20, 30, ... , 80 millió éve képződött óceáni fenékanyag; míg a hátságok gerincvonalának közelében látható bekarikázott számok a spreading-sebességeket mutatják $cm/év$ dimenzióban, a megfelelő hátságszakaszra vonatkozóan. Végül a fekete pontok a 2.30 ábrán is látható, 1961-67 közötti periódusban kipattant jelentősebb földrengések epicentrumai.

HEIRTZLER és munkatársai térképét és eredményeit a már említett óceáni mélyfúrások adatai is igazolták. A fúrások során felszínre hozott bazaltok és a felettük levő üledékek kora jól megegyezik a számított és a 7.18 ábrán látható értékekkel.



7.18 ábra. Az óceánfenék széttolódásának mértéke