

# **G E O K E M I J S K A S T R U K T U R A Z E M L J E**

**UVOD - POJAM GEOKEMIJSKIH  
SFERA**



Temeljno otkriće u povijesti istraživanja geokemijske građe Zemlje je otkriće **lupinaste (ljuskaste, zonalne, sferične) građe Zemlje**. Iako se spoznaja o lupinastoj građi Zemlje veže za radove geofizičara - seizmologa, a osobito velikog hrvatskog znanstvenika Andrije MOHOROVIČIĆA, ona se za geokemiju prvi puta vežu u radovima SUESSA u 1875.. Pojam *ljuske* kao geokemijske jedinice (odnosno geokemijskog sustava) u građi Zemlje prvi puta je uveo veliki ruski geokemičar VERNADSKI početkom dvadesetog stoljeća. Tom vremenu pripada i termin *geosfere, geokemijske sfere ili geofaze* MURRAYA, koje preuzimaju RÔSLER i LANGE (slijedeći GOLDSCHMIDTA), a koji prepoznaju sljedeće geosfere :



**Atmosferu** : plinoviti omotač Zemlje ali također i plinoviti dio u hidrosferi i najgornjem dijelu litosfere;

**Biosferu** : (prema LAMARCKU, 1800., odnosno SUESSU, 1875.), sferu u kojoj postoji život zajedno sa svojim okolišem;

**Hidrosferu** : (prema SUESSU, 1875.), vodeni omotač Zemlje;

**Litosferu** : (prema SUESSU, 1875.), silikatna Zemljina kora (s pojavom globalne tektonike u litosferu se sa Zemljinom korom uključuje i dio gornjeg plašta);

**Halkosfera** : (prema GOLDSCHMIDTU, 1922. i 1933.), oksidno-sulfidna ljuska koja odgovara plaštu;

**Siderosfera** : (prema GOLDSCHMIDTU, 1922. i 1933.), nikalno - željezna jezgra Zemlje.

Uz ove **geosfere** BARREL je definirao tzv. *astenosferu*, kao ljusku ispod litosfere, a koja, prema današnjim shvaćanjima, odgovara zoni sniženih brzina ("low velocity zone" - u gornjem plaštu (iako nema kontinuirano protezanje u gornjem plaštu).



Koncept geokemijskih sfera ponovo je afirmiran u novije vrijeme u brojnim radovima kanadskih i nekih američkih geokemičara, koji uz taj pojam vežu i drugi pojam, tzv. *geokemiju krajolika* ("*landscape geochemistry*"). Ovaj pojam obuhvaća istraživanja kumulativnog efekta kemijskih elemenata u najgornjem dijelu Zemljine kore, u okolišu koji je pod utjecajem djelovanja čovjeka. Sljedbenici geokemije krajolika (koji svoje začetke nalaze u radovima ruskih geokemičara četrdestih godina ovog stoljeća) to svoje područje znanstvenog interesa također definiraju kao geokemijsku sferu.



U našim razmatranjima građe i sastava Zemlje mi ćemo, doduše samo kvalitativno, ali ipak pratiti podjelu na geosfere i to prije svega zbog jednostavnosti prikaza ne ulazeći u eventualne genetske implikacije takve podjele. Svaku ćemo geosferu shvatiti kao zasebni geokemijski sustav s njoj svojstvenim geokemijskim osobitostima.

**Geosfere - geokemijski sustavi**, koje ćemo mi promatrati su :  
**Zemljina kora, plašt i jezgra te, hidrosfera, atmosfera i biosfera.**



# GRAĐA I SASTAV ZEMLJE

Poznavanje sastava i stanja Zemlje preduvjet je razumijevanja cjelokupne geokemije. Taj se problem, očito, ne može riješiti samo direktnim opažanjima. Čovjek prodire bušenjem u Zemljinu koru ne dublje od 10 km. Vulkanska aktivnost donosi periodično materijal na površinu, ali samo približno, i ne sa sigurnošću, možemo govoriti o točnim dubinama iz kojih taj materijal dolazi. Zbog toga, da bi stvorili spoznaje o građi i sastavu Zemljine unutrašnjosti, služimo se indirektnim metodama. Služimo se znanjima geofizike, primjeni svojstava dijelova Zemlje, fizičkim zakonima gravitacije, propusnošću valova, toplinskoj vodljivosti, i drugim fenomenima. Glavni izvori informacija su :



1) *akceleracija gravitacije* na površini Zemlje i *gravitacijska konstanta* iz koje se može izračunati srednja gustoća Zemlje;

2) *seizmički podatci*, koji ukazuju na prisustvo diskontinuiteta unutar Zemlje iz kojih se može izračunati konstante elastičnosti materijala unutrašnjosti.

Ti podatci, zajedno s laboratorijskim određivanjima konstanti elastičnosti različitih stijena, informacije o sadržaju elemenata, i slični podatci, temelj su za razmatranje unutarnje građe i sastava Zemlje.



Možda najvažniji podatci o unutrašnjosti Zemlje dolaze od analize potresnih valova. Neki potres proizvodi dvije vrste valova koji putuju različitim brzinama kroz isti medij. Brži valovi su oni koji se šire titrajima u smjeru prodora (analogno zvučnim valovima u zraku). Ti se valovi prvi registriraju seizmografima na značajnim udaljenostima od centra potresa i nazivaju se **primarni ili P-valovi**. Sporiji valovi šire se titrajima okomito na smjer prodora (analogno svjetlosnim valovima) i poznati su kao **sekundarni ili S-valovi**. Brzine P i S-valova variraju s gustoćom i konstantom elastičnosti materijala, a valovi su podložni lomu i refleksiji na plohama diskontinuiteta. Podatci proučavanja kretanja seizmičkih valova govore o heterogenoj građi Zemlje, ali o heterogenosti koja nije statistička već zonalna, ograničena na sferične zone, međusobno odvojene diskontinuitetima. Dva su glavna **diskontinuiteta prvog reda** (**ploha diskontinuiteta prvog reda je ploha na kojoj dolazi do *snažne* promjene brzine seizmičkih valova**) na osnovi kojih je Zemlja podijeljena u tri glavna dijela (zone, lupine, ljuske) :



1) ***koru***, od površine do prvog diskontinuiteta (**Mohorovičićev diskontinuitet**) debljine 6 km (ispod oceana - ***oceanska kora***) do preko 70 km (ispod kontinenta - ***kontinentalna kora***);

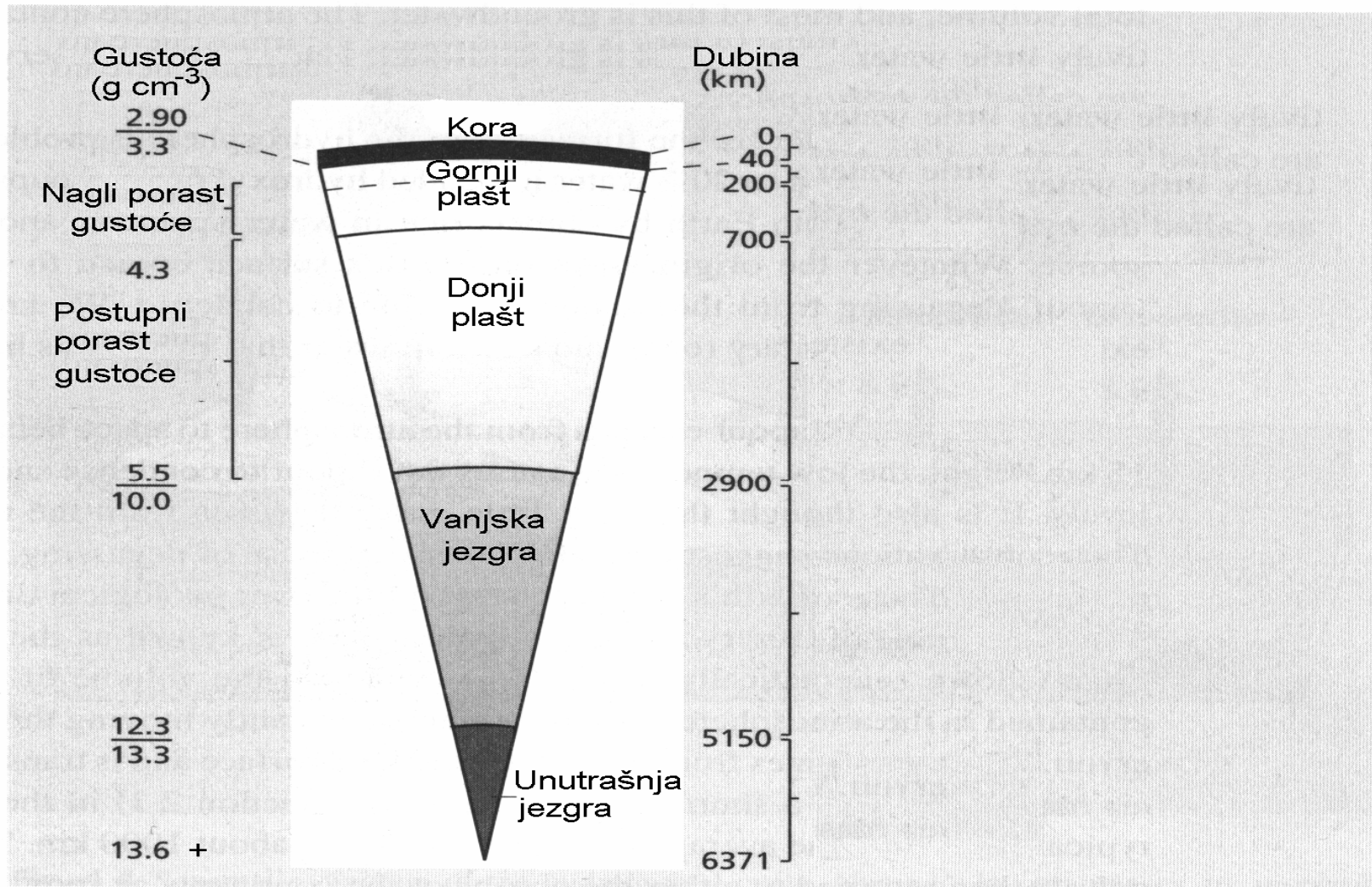
(2) ***plašt***, od baze kore do drugog glavnog diskontinuiteta koji je na dubini od 2.900 km (**Wiechert - Gutenbergov diskontinuitet**); i

(3) ***jezgru***, od Wiechert - Gutenbergovog diskontinuiteta do središta Zemlje (6.377 km).

Unutar kore, plašta i jezgre uočeni su i **diskontinuiteti drugog reda** (ploha diskontinuiteta drugog reda je ploha na kojoj dolazi do promjene ***načina kretanja seizmičkih valova***), ali općenito ne postoje potpuna slaganja o njihovom položaju i broju i sigurno nisu toliko sigurni kao što su to diskontinuiteti prvog reda.



# Struktura Zemlje - podjela na lupine (geosfere)

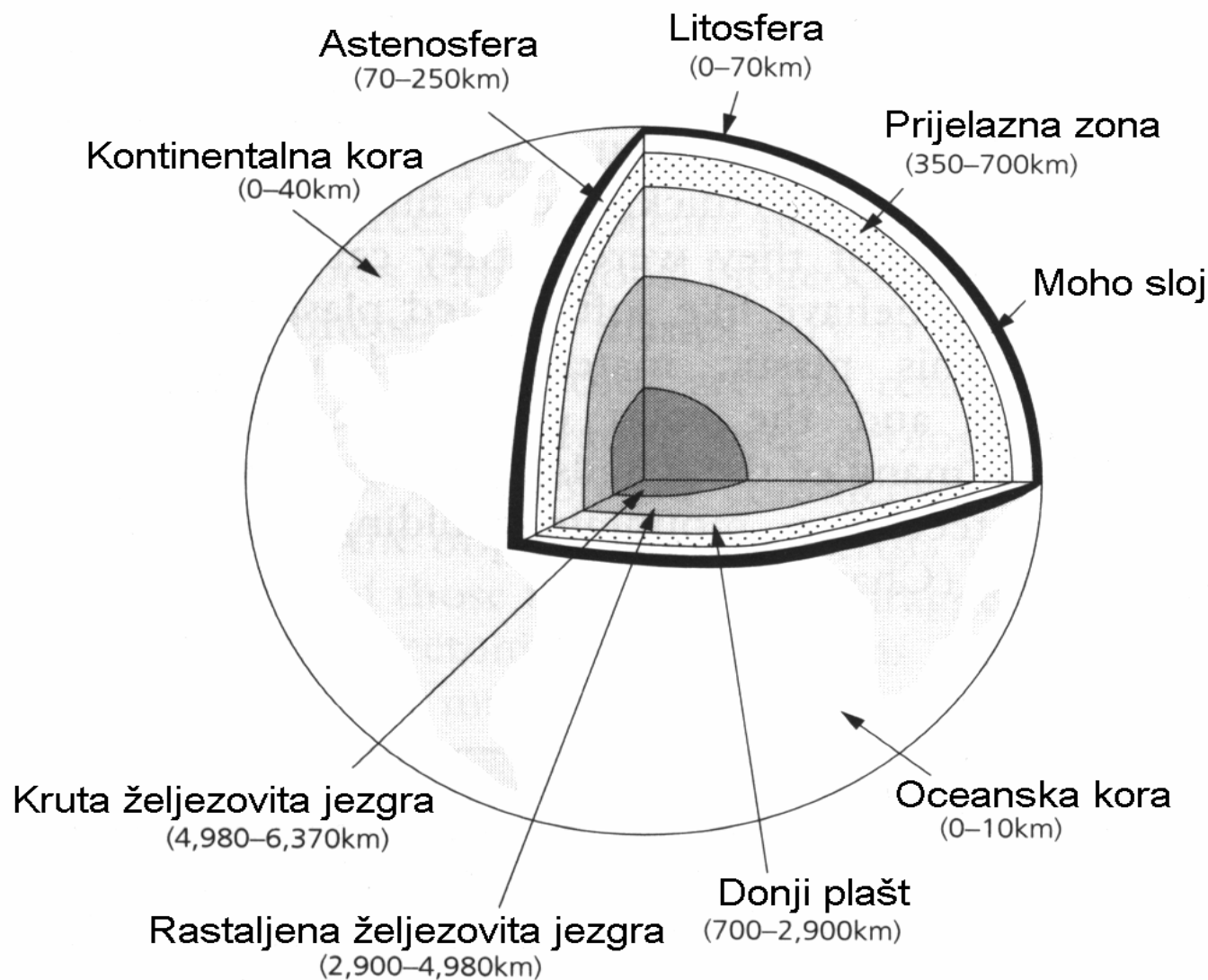




Iako ova podjela Zemlje jasno razlučuje osnovne geokemijske sfere, postavljajući granice između njih na strogo određenim dubinama i prema tome je od neprocjenjivog značaja prije svega u deskriptivnom i kvalitativnom smislu, za geologa i to poglavito petrologa, ipak je značajnija druga podjela koja, u gornjem bližepovršinskom dijelu, razlikuje litosferu ispod nje astenosferu (sl.6-1b). Po toj podjeli litosfera je hladni kruti pripovršinski dio koji obuhvaća dio gornjeg plašta i krovinsku koru, srednje debljine od oko 70 km, a koji "pliva" na djelomično rastaljenoj astenosferi koja se, pak, proteže do dubine od oko 250 km (neki autori, prije svega fizički geografi, tu granicu postavljaju na 350 km bez objašnjavanja kriterija za takav zaključak).



# Struktura Zemlje - petrološka podjela





Podjela od najveće važnosti za petrologiju i tektoniku dijeli vanjskih nekoliko stotina kilometara Zemlje u **litosferu i astenosferu**. Ova je podjela značajna i jasna bez obzira na razlike u mineralnom sastavu i gustoći unutar same litosfere. Primjerice, razlike u srednjim gustoćama kreću se od  $3,0 \text{ g cm}^{-3}$  u litosferskoj kori pa sve do  $3,5 \text{ g cm}^{-3}$  u litosferskom plaštu. Međutim značaj ove podjele prije svega veže se za dokaze prema kojima su gotovo sve magmatske stijene nastale taljenjem unutar vanjskih 250 km tj. unutar kore i gornjeg plašta.



**Litosfera** je kombinacija najgornjeg omotača i kore. Ukupna debljina litosfere je općenito oko 70 km u oceanskim područjima (od čega je 60 km *litosferskog plašta*) i oko 125 km ispod kontinenata (80-90 km *plašta*), ali se litosfera značajno stanjuje sve do nulte vrijednosti u centrima širenja na srednjooceanskim hrptovima, gdje je astenosfera gotovo na površini. Razlike između oceanskih i kontinentalnih područja su i obzirom na njihovu starost. Mlada litosfera je tanka, a stara je deblja, sve do debljine od oko 125 km.



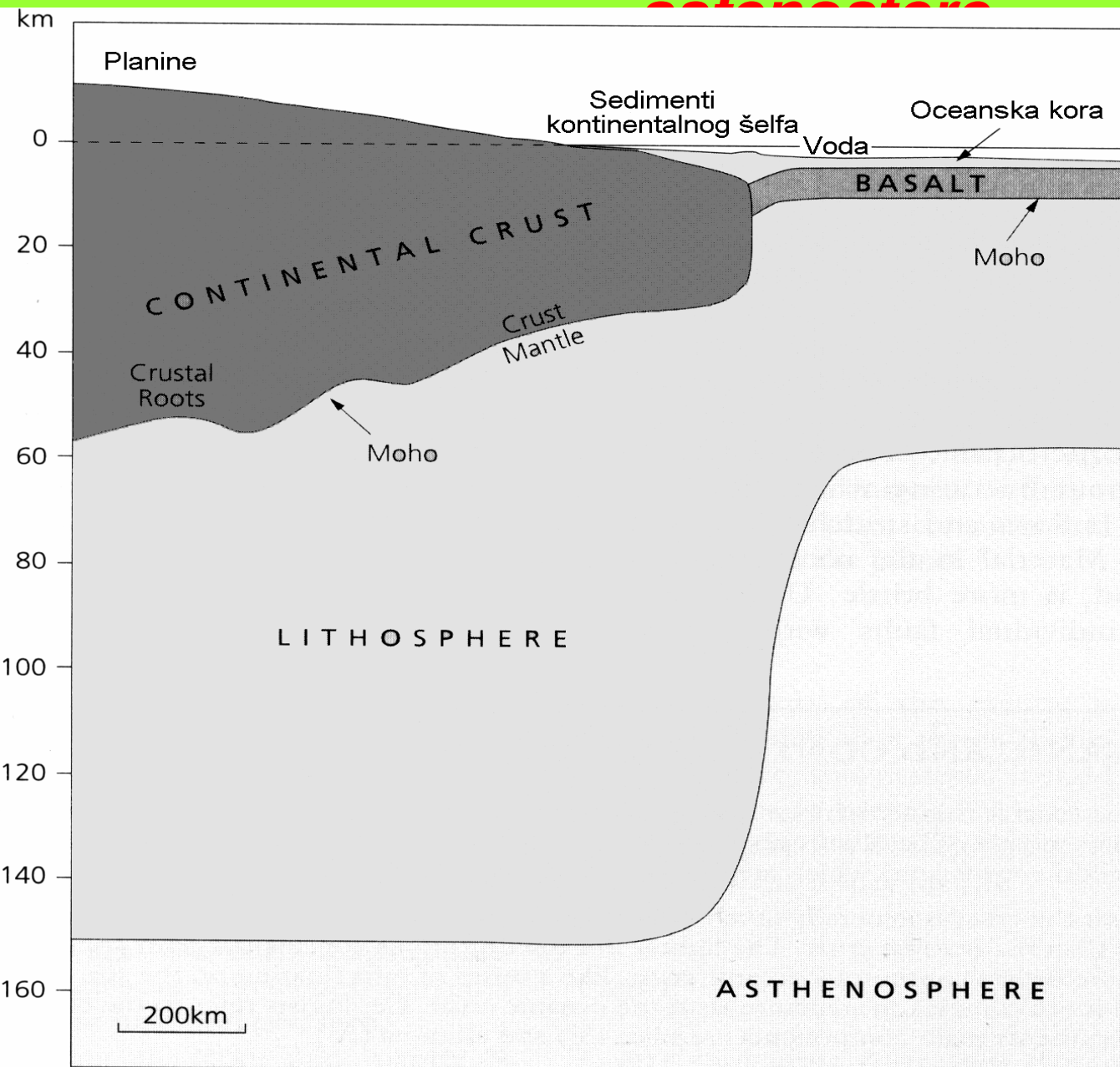
Na dubini od 70 km ispod oceanske kore odnosno nešto preko 100 km ispod kontinentalne kore, seizmičke brzine naglo opadaju i ostaju niske u zoni zvanoj **astenosfera** (od grčke riječi *astheneia* - *nemoć, slabost*- doslovno, "*sfera slabosti*" ili "*sfera oslabljenja*"), ili *zona sniženih brzina* (eng. "*low velocity zone*"). **Astenosfera je sama debela oko 50 - 150 km i proteže se do oko 250 km dubine** (iako, kao što je spomenuto, ima i drugačijih mišljenja). Smatra se da astenosfera posjeduje niže brzine zbog smanjene stijenske gustoće izazvane prisustvom nekoliko volumnih postotaka intersticijske taljevine.



**Geofizički modeli sugeriraju da je astenosfera mehanički manje čvrsta i od litosfere (plitki plašt i kora) i od dubljeg plašta. Manji volumen intersticijske magme koja uzrokuje smanjene seizmičke brzine također proizvodi taj mehanički efekt. Moderne teorije geofizike i tektonike ploča stavljaju fokus na astenosferu, više nego na Moho sloj, jer se u takvoj podjeli lakše objašnjavaju osnovni fenomeni teorije ploča. Zemljine pokretne tektonske ploče sastavljene su od krute litosfere, koja leži iznad podatne rastaljene astenosfere.**



# Struktura Zemlje - Odnosi litosfere i astenosfere



Ispod astenosfere, prema ovoj podjeli, leži kruta **mezosfera** koja prostorno odgovara preostalom dijelu plašta, sve do granice s jezgrom.