

# STOLETNICA ODKRITJA MOHOROVIČIČEVE DISKONTINUITETE (MEJA MED ZEMLJINO SKORJO IN PLAŠČEM) Centenary of the discovery of the Mohorovičić discontinuity (the boundary between the Earth's crust and its mantle)

Andrej Gosar\* UDK 550.83(091):929Mohorovičić A.

**Povzetek**  
Hrvaški seizmolog Andrija Mohorovičić je na podlagi analiz seizmogramov potresa, ki se je zgodil pred sto leti (9. oktobra 1909) v dolini Kolpe, prvi na svetu ugotovil pomembno hitrostno diskontinuiteto, ki ločuje Zemljino skorjo od njenega plašča in je pozneje dobila ime Mohorovičićeva diskontinuiteta. Ugotovil je, da so na seizmogramih potresnih opazovalnic, oddaljenih med 300 in 720 km od nadžarišča potresa, vidni dvojni prihodi P in S valov. Prvi na seizmogramih sta fazi Pn in Sn, ki ustrezata daljši, lomljeni, vendar hitrejši poti skozi vrhnji del plašča. Fazi Pg in Sg ustrezata neposrednemu valovanju, ki se razširja le v Zemljini skorji, za katero so značilne manjše hitrosti potresnega valovanja. Novejše raziskave so pokazale velike razlike v globini Mohorovičićeve diskontinuitete pod Slovenijo z nekaterimi presenetljivo skokovitimi prehodi.

**Abstract**  
Croatian seismologist Andrija Mohorovičić discovered an important velocity discontinuity between Earth's crust and mantle when he analyzed seismograms from an earthquake which occurred one hundred years ago (on 9 October 1909) in the Kolpa Valley. This boundary was later named the Mohorovičić discontinuity. He discovered two types of P and S waves arrivals at the epicentral distances between 300 and 720 km. First arrivals visible on seismograms are Pn and Sn phases, which correspond to longer, refracted, but faster paths through the upper part of the mantle. Later Pg and Sg phases correspond to direct waves propagating through the Earth's crust only; these are characterized by lower seismic velocities. More recent investigations have shown big differences in the depth of the Mohorovičić discontinuity below Slovenia with some surprising jumps in transition zones.

## Uvod

Letos mineva sto let od za seizmologijo in geofiziko zelo pomembnega odkritja meje med Zemljino skorjo in njenim plaščem. Hrvaški seizmolog Andrija Mohorovičić je pri analizi seizmogramov potresa, ki se je zgodil 9. oktobra 1909 v dolini Kolpe, ugotovil, da podatkov ni mogoče razložiti drugače, kakor da obstoja v globini okoli 50 km izrazit skok (diskontinuiteta) v hitrosti, ki ločuje zgornjo plast s hitrostjo longitudinalnega (P) potresnega valovanja okoli 7 km/s od spodnje plasti s hitrostjo okoli 8 km/s. Poznejše študije so pokazale, da ta hitrostna meja obstaja povsod po svetu. V čast njenemu odkritelju so jo poimenovali Mohorovičićeva diskontinuiteta ali na

kratko Moho. Leta 2007 je minilo tudi 150 let od rojstva tega pomembnega znanstvenika. Obe obletnici sta priložnost, da nekoliko podrobneje obravnavamo pomen tega odkritja.

## Andrija Mohorovičić

Andrija Mohorovičić (1857–1936) se je rodil 23. januarja 1857 v Voloskem pri Opatiji. Na praški univerzi je študiral matematiko in fiziko. Po diplomi je učil na gimnazijah v Zagrebu in Osijeku ter na pomorski šoli v Bakru. Leta 1892 je postal direktor Meteorološkega observatorija v Zagrebu. Naslednje leto je doktoriral na zagrebški univerzi, kjer je pozneje postal profesor geofizike in astronomije. Leta 1898 je postal redni član Jugoslovanske akademije znanosti in umetnosti. Bil je eden redkih hrvaških znanstvenikov mednarodnega ugleda, ki je svojo celotno kariero preživel v domovini. Podroben

\* izr. prof. dr., Ministrstvo za okolje in prostor RS, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, andrej.gosar@gov.si



Slika 1. Fotografija Andrije Mohorovičića iz leta 1926 (Herak in Herak, 2007)

Figure 1. Photograph of Andrija Mohorovičić taken in 1926.

Mohorovičićev življenjepis sta objavila Skoko in Mokrović (1982), skrajšanega pa Herak in Herak (2007), po katerem tudi povzeman opis njegovih najpomembnejših znanstvenih prispevkov.

Na začetku svoje poklicne poti se je Mohorovičić posvetil meteorologiji, in sicer različnim meteorološkim pojavom od dinamike atmosfere do opazovanja redkih dogodkov. Raziskoval je tudi podnebje Zagreba in zniževanje temperature z višino. Zaradi pomanjkanja inštrumentov za opazovanje kroženja v atmosferi je izdelal nefoskop, inštrument za opazovanje oblakov, podoben cameri obscuri. Ta opazovanja so bila podlaga za njegovo doktorsko disertacijo. Šele pred kratkim so odkrili njegov članek iz leta 1889, ki je bil objavljen v enem vodilnih meteoroloških časopisov tistega časa. Ta članek dokazuje, da je Mohorovičić prvi opisal atmosferske rotorje z vodoravno osjo, ki jih je odkril pri opazovanju burje v severnem Jadranu. Bil je tudi prvi na Hrvaškem, ki je objavljala vremensko napoved v dnevnikih časopisih.

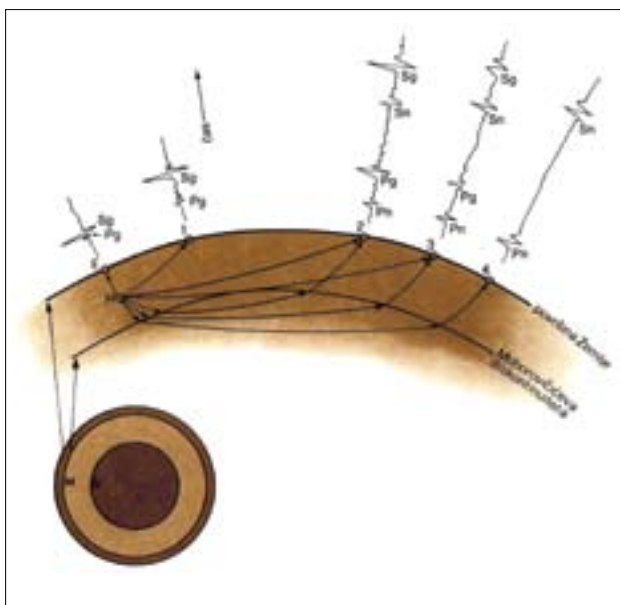
Na prelomu stoletja se je Mohorovičićev znanstveni interes skoraj v celoti preusmeril v seizmologijo, čeprav je še vedno namenjal precej časa tudi rutinskim meteorološkim opazovanjem. Razlogi za tak strokovni preobrat

niso znani, domnevajo pa, da ga je povzročila močna potresna dejavnost v okolici Zagreba konec 19. stoletja, saj je leta 1880 Zagreb prizadel rušilni potres. Mohorovičić je leta 1906 vzpostavil zagrebško potresno opazovalnico, ki jo je leta 1908 dopolnil z Wiechertovim vodoravnim seizmografom. Poleg odkritja diskontinuitete, ki se imenuje po njem in ga podrobneje opisujem v nadaljevanju, je Mohorovičićovo delo opazno tudi na drugih področjih seizmologije. Tako je razvil elegantno metodo za lociranje potresov, metodo za določitev celotnega trenja v mehanskih seizmografih, napravil načrte za povsem nov seizmograf, ki na žalost niso bili nikoli uresničeni, in izdelal številne izboljšane krivulje potovanja potresnega valovanja. Bil je tudi eden prvih, ki se je zavedal pomembnosti potresno odporne gradnje in postavil temelje zanjo. Mohorovičićovo daljnovidnost pri razumevanju takrat še zelo mlade vede seizmologije kaže tudi njegov zapis: »Naloga seizmologije je, da raziskuje notranjost Zemlje in nadaljuje tam, kjer se geologija neha. V modernih seizmografih ima ta veda neke vrste daljnogled, ki omogoča pogled v največje globine«.

Ime Andrije Mohorovičića bo za vedno ostalo zapisano v zgodovini seizmologije, saj se po njem imenuje ena najpomembnejših hitrostnih diskontinuitet v notranjosti Zemlje. Poleg odkritja meje med Zemljino skorjo in plaščem je pomembno prispeval tudi na drugih področjih seizmologije in meteorologije. Leta 1970 so po njem poimenovali enega od kraterjev na temni strani lune in leta 1996 asteroid številka 8422. Tudi meji med skorjo in plaščem, ki so ju odkrili na Luni in na Marsu, se imenujeta Mohorovičićeva diskontinuiteta.

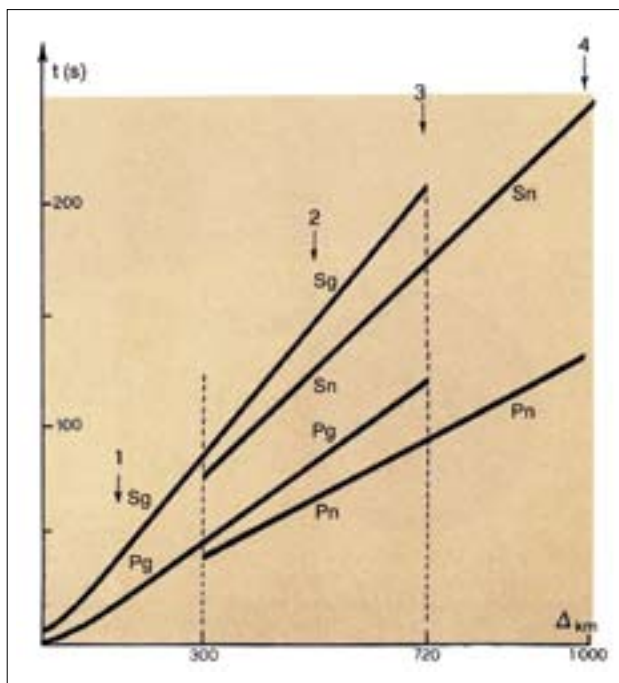
## Odkritje Mohorovičićeve diskontinuitete

Potres 8. oktobra 1909 v dolini Kolpe je nastal 39 km jugovzhodno od Zagreba. Mohorovičić je uspel zanj pridobiti podatke skoraj vseh evropskih potresnih opazovalnic. Ko je hotel te podatke analizirati po do takrat uveljavljenih postopkih, je naletel na nesoglasja. Najprej mu ni uspelo enoznačno določiti globine žarišča potresa, potem pa je na nekaterih seizmogramih našel po dva prihoda (ali fazi) longitudinalnega (P) in transverzalnega (S) valovanja, čeprav bi po takratnem vedenju o notranji zgradbi Zemlje morala biti samo po ena taka faza. Zato je predpostavil hitrostno diskontinuiteto na globini okoli 54 km, ki ločuje Zemljino skorjo od njenega plašča. Nad njo je hitrost P-valov okoli 5,68 km/s, pod njo pa 7,75 km/s. Ustrezni hitrosti S-valov sta 3,32 km/s nad in 4,18 km/s pod diskontinuiteto. Tako je lahko pojasnil, zakaj prideta do potresnih opazovalnic, ki so oddaljene od 300 do 720 km, po dve fazi (Pg in Pn ter Sg in Sn) za vsako vrsto valovanja (sliki 2 in 3). Fazi, katerih potresno valovanje se je širilo samo v skorji, je imenoval individualni fazi (Pg in Sg), fazi valovanja, ki se je širilo tudi skozi plašč, pa normalni fazi (Pn in Sn). Pri tem se valovanje na hitrostni meji zaradi velike hitrostne razlike izrazito lomi. Zaradi



Slika 2. Prerez Zemljine skorje in plašča s potmi potresnega valovanja in značilnimi seizmogrami na različno oddaljenih potresnih opazovalnicah (Skoko in Mokrović, 1982)

Figure 2. Cross-section through Earth's crust and mantle with travelpaths of seismic waves and characteristic seismograms for seismological stations with different epicentral distance.



Slika 3. Diagram odvisnosti časa potovanja potresnega valovanja od razdalje za različne poti, ki so prikazane na sliki 2 (Skoko in Mokrović, 1982)

Figure 3. Graph of travel times versus distance for different travelpaths shown in Figure 2.

večje hitrosti širjenja v plašču valovanje normalnih faz na dovolj veliki razdalji prehiti valovanje individualnih faz, čeprav je njegova pot daljša. Pojav normalnih faz je opazil na potresnih opazovalnicah oddaljenih več kakor 300 km (točka 2 na slikah 2 in 3). Na razdalji, večji od 720 km, hitrostna razlika preprečuje potovanje individualnih faz. Pri oddaljenih potresnih opazovalnicah tako vidimo le še fazi Pn in Sn (točka 4 na slikah 2 in 3). Prav tako pri opazovalnicah, ki so bližje od 300 km, vidimo le prihode faz Pg in Sg (točka 1 na slikah 2 in 3). Druga njegova predpostavka je, da hitrost v Zemljini skorji narašča z globino, kar povzroča ukrivljenost valovnih žarkov proti površju Zemlje. Poleg tega je izpeljal preprost postopek, po katerem je na podlagi podatkov bližnjih potresnih opazovalnic lahko nedvoumno določil globino žarišča, ki je bila za potres v dolini Kolpe okoli 25 km.

Svoja opažanja in zaključke je objavil v letnem poročilu zagrebškega meteorološkega observatorija (Mohorovičić, 1910) v hrvaškem in nemškem jeziku. Angleški prevod tega dela je objavljen v Mohorovičić (1992). Gre za kar 56 strani dolgo delo, v katerem izčrpno opisuje opažanja, poskuse, zamisli, dvome in pomisleke. Število tem, ki jih obravnava v tem članku, je vredno občudovanja, saj obsega:

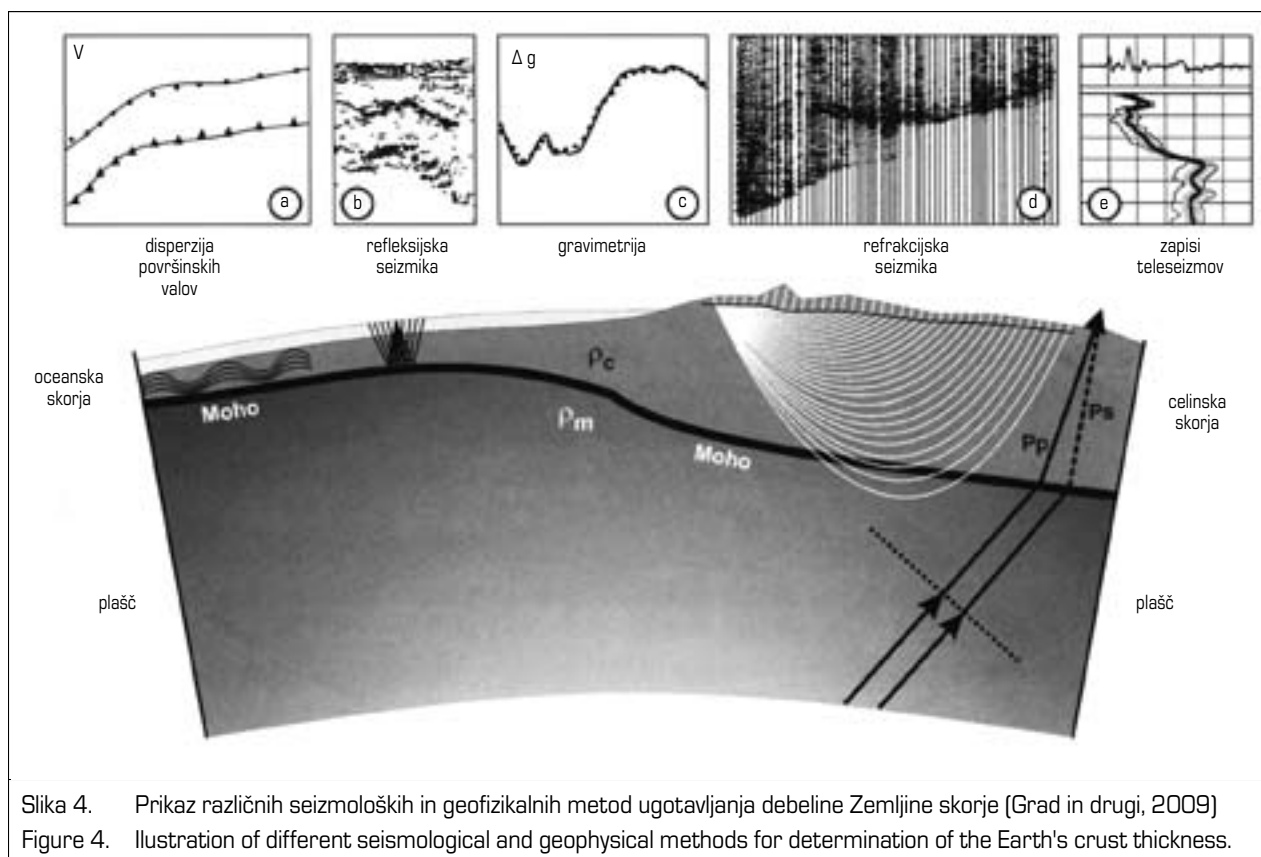
- makroseizmično analizo potresa v dolini Kolpe,
- dokaz obstoja hitrostne diskontinuitete s celotno teorijo širjenja potresnega valovanja v novem modelu zgradbe Zemlje,
- modelne parametre, pridobljene z inverzijo podatkov (P in S hitrost, globina meje, eksponentno povečevanje hitrosti z globino - Mohorovičićev zakon),

- prve empirične in teoretične hodohrone (krivulje časa potovanja) za faze Pg, Sg, Pn, Sn in številne odbite faze v skorji, ki vključujejo celo pretvorbo P v S valove,
- navodila, kako izračunati nadžariščno razdaljo iz več faz na seizmogramih,
- nov postopek določitve globine žarišča,
- napoved seizmogramov potresov z žariščem v Zemljinem plašču, ki jih takrat še niso poznali,
- predlog, da je »maksimalna faza« (faza Lg ali Airyjeva faza) tesno povezana z ujetimi nadkritično odbitimi S valovi v skorji tudi pri oddaljenih potresih.

Poznejše študije so pokazale, da hitrostna diskontinuiteta, ki jo je odkril Mohorovičić, obstaja povsod po svetu in so jo zato poimenovali Mohorovičićeva diskontinuiteta. Pomeni osnovno definicijo meje med Zemljino skorjo in njenim plaščem. Druge opredelitve razlike med skorjo in plaščem obsegajo gostoto, vrsto kamnin, mineraloško in kemično sestavo.

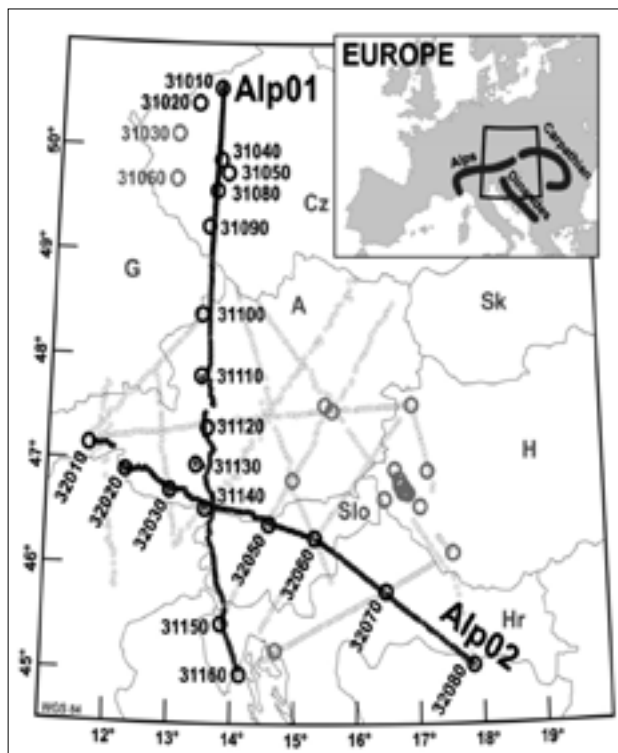
## Raziskave debeline Zemljine skorje

Danes vemo, da se hitrost P valov na Mohorovičićevi diskontinuiteti skokovito spremeni od 6,5 do 7,2 km/s v spodnjem delu skorje na 7,8–8,5 km/s v vrhnjem delu plašča. To so vrednosti, ki so nekoliko večje od tistih, ki jih je napovedal Mohorovičić. Tudi gostota kamnin se na tej meji znatno poveča — od 2,9 g/cm<sup>3</sup> na 3,3 g/cm<sup>3</sup>.



Mohorovičičeva diskontinuiteta se pod celinami nahaja v globini med 25 in 40 km, pod oceanskim dnom pa med 5 in 8 km globoko. Pod nekaterimi gorskimi verigami (Alpe, Himalaja) doseže celo globino med 50 in 60 km. Na širšem območju Slovenije, kjer Alpe prehajajo v Dinaride, Panonski bazen in Jadransko morje, se debelina Zemljine skorje izrazito spremeni na razmeroma majhni razdalji. Poznavanje debeline skorje je pomembno za razumevanje tektonskih in geodinamičnih procesov, toplotnega polja in za lociranje potresov. Skorja tvori skupaj z vrhnjim delom plašča litosferske plošče, ki so debele okoli 100 km in se stalno premikajo (teorija tektonike plošč). Najbolj burna geološka dogajanja, kakršna so potresi, vulkani in nastajanje gorovij, so povezana s stiki teh plošč, ki se lahko razmikajo, podrivajo ali drsijo druga ob drugi. V zadnjih desetletjih potekajo zato po celem svetu intenzivne raziskave Zemljine skorje. Danes raziskujemo debelino Zemljine skorje oz. globino do Mohorovičičeve diskontinuitete z različnimi geofizikalnimi metodami, ki so shematsko predstavljene na sliki 4 (Grad in drugi, 2009). Najučinkovitejše so seizmične metode, ki so lahko pasivne (opazovanje naravnih potresov) ali aktivne [potresno valovanje prožimo z močnimi eksplozijami]. Seizmične metode uporabljajo različne vrste potresnega valovanja od prostorskega (P in S) do površinskega. Vsaka vrsta ima značilne frekvence in valovne dolžine, kar se odraža v ločljivosti in natančnosti izračunanih modelov.

Disperzija dolgovalovnega površinskega valovanja (z nihajnim časom 10–100 s), ki nastane pri plitvih regionalnih potresih, omogoča inverzijo v globinsko poraz-



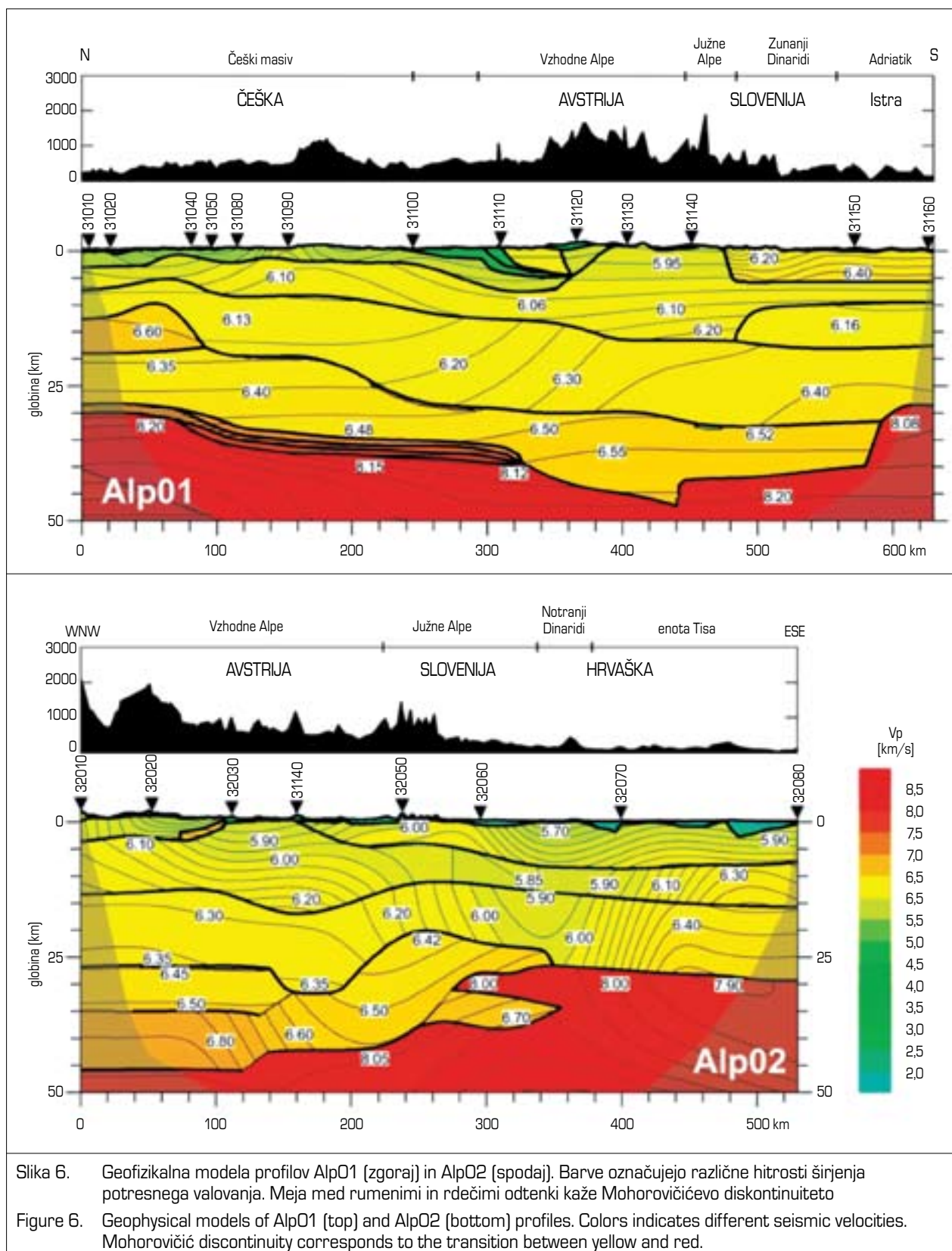
Slika 5. Karta profilov globokih seizmičnih raziskav v okviru projekta Alp2002. Večji krogi označujejo točke močnih eksplozij, manjši pa lokacije seizmografov

Figure 5. Position map of deep seismic investigations in the frame of Alp2002 project. Large circles represent explosions and small circles locations of seismographs.



delitev seizmičnih hitrosti in tomografijo površinskega valovanja (slika 4a). Na ta način lahko raziščemo obsežna območja z bočno ločljivostjo reda velikosti 50–100 km in natančnostjo določitve globine Mohorovičićeve diskontinuitete  $\pm 4\text{--}5$  km. Zato se ta metoda uporablja predvsem za raziskave oceanske skorje, kjer je zelo malo potresnih opazovalnic ali možnosti za aktivne seizmične meritve.

Najboljšo ločljivost imajo refleksijske seizmične raziskave (slika 4b), ki uporabljajo kratkovalovno prostorsko valovanje (z nihajnim časom 0,02–0,1 s), kar omogoča podrobno opredelitev globokih struktur Zemljine skorje. Zaradi potrebe po zelo gosti razporeditvi eksplozij in sprejemnih geofonov vzdolž merskih profilov so to najdražje raziskave, ki se zato uporabljajo le v omejenem



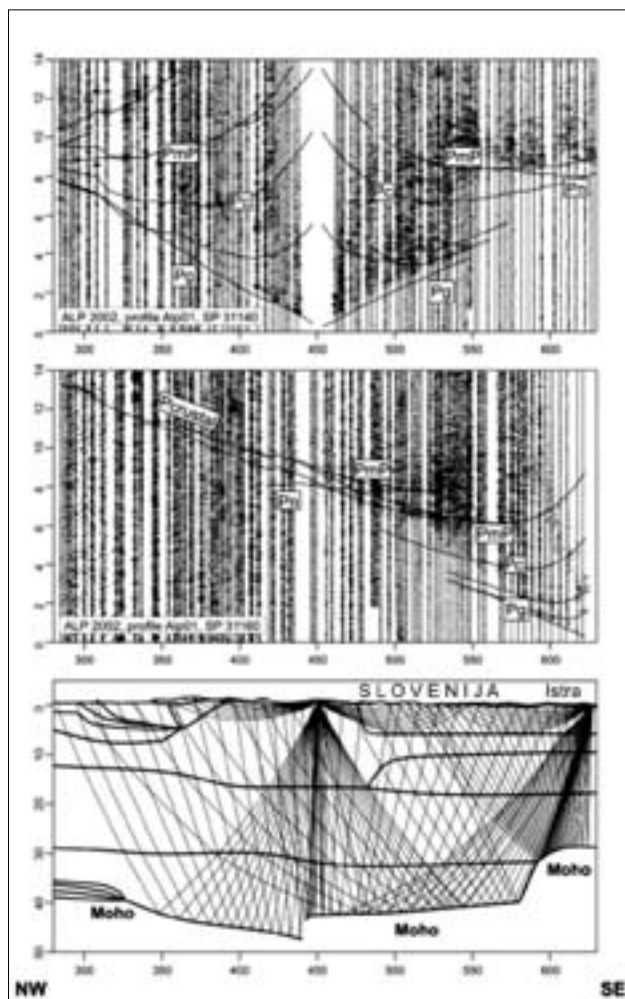
obsegu. Za pojasnitev zelo zapletene strukturno-geološke zgradbe Alp so bili do sedaj preko njih izmerjeni trije globoki refleksijski profili; najvzhodnejši (Transalp) poteka med Benetkami in Münchenom.

Precejšnja razlika v gostoti med kamninami skorje in plašča omogoča raziskave debeline skorje z gravimetrijo (slika 4c), in sicer z zelo natančnimi meritvami razlik v Zemljinem težnem pospešku, ki so posledica bočnih razlik v gostoti. Gravimetrični modeli temeljijo danes predvsem na rezultatih seizmičnih raziskav, njihov pomen pa je predvsem v boljši litološki opredelitvi kamnin.

Globoko seizmično sondiranje (slika 4d) uporablja seizmično valovanje, ki se lomi (refrakcija) na Mohorovičičevi diskontinuiteti ali od nje odbija (širokokotna refleksija). Pri teh raziskavah so potrebne zelo močne eksplo-

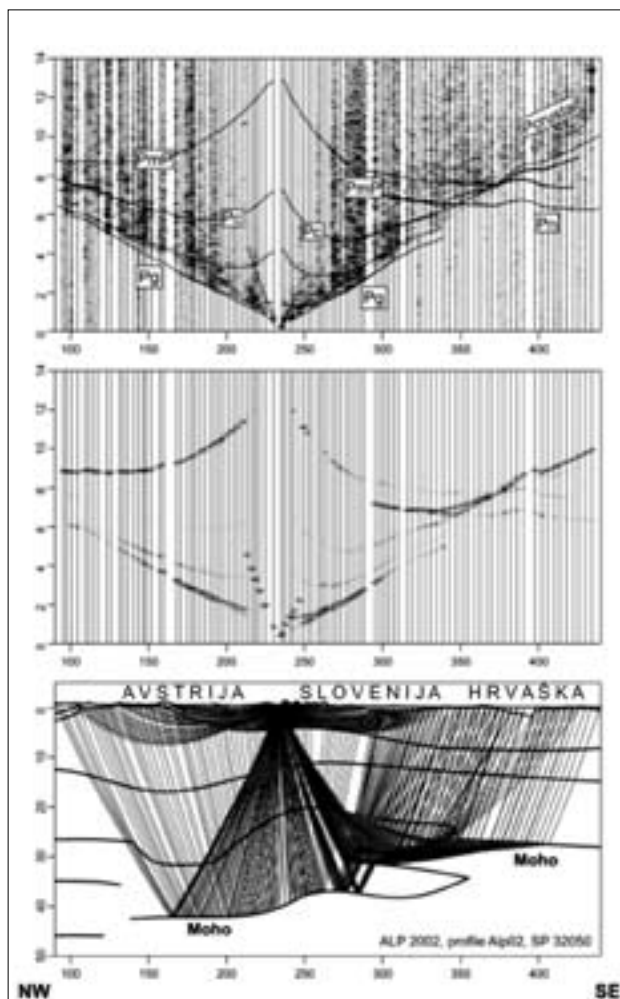
zije (več sto kilogramov eksploziva) in porazdelitev sprejemnih seizmografov do oddaljenosti več sto kilometrov od seizmičnega vira. Uporabljena valovanja so srednjih valovnih dolžin (nihajni čas okoli 0,1 s), kar omogoča natančnost določitve globine reda velikosti  $\pm 1-2$  km. Ta metoda je najbližja metodi, ki jo je uporabil že Mohorovičič, s to razliko, da je za razliko od naravnega potresa položaj in trenutek eksplozije znan in zato natančnost določitve večja.

Potresne valove zelo oddaljenih potresov (teleseizmov) uporablja metoda sprejemnikove funkcije (*receiver function*). Na Mohorovičičevi diskontinuiteti se del P valov teh potresov pretvori v S valove, ki nato potujejo počasneje skozi Zemljino skorjo kakor P valovi (slika 4e). Zapoznitev faze  $P_s$  za fazo  $P_p$  je odvisna od debeline skorje in hitrosti S valov v njej. Natančnost določitve debeline skorje s to metodo je okoli  $\pm 3$  km.



Slika 7. Modeliranje s sledenjem seizmičnih žarkov na profilu Alp01. Največja debelina Zemljine skorje (47 km) je pod severozahodno Slovenijo. Pod Istro je viden skok Mohorovičičeve diskontinuitete iz globine 40 km na 28 km

Figure 7. Raytracing modelling on Alp01 profile. The greatest thickness of Earth's crust (47 km) is below NW Slovenia. A clear jump on Mohorovičič discontinuity from 40 km to 28 km is visible under Istra.



Slika 8. Modeliranje s sledenjem seizmičnih žarkov na profilu Alp02. Pod vzhodno Slovenijo je viden klinasto oblikovani skok Mohorovičičeve diskontinuitete iz globine 38 km na 27 km

Figure 8. Raytracing modelling on Alp02 profile. A wedge shaped jump of Mohorovičič discontinuity from 38 km to 27 km is visible under East Slovenia.

## Globina Mohorovičićeve diskontinuitete pod Slovenijo

Pred letom 2002 je bil v okviru raziskav na območju nekdanje Jugoslavije preko Slovenije izmerjen le en globok seizmični profil med Puljem in Mariborom (Aljinović in drugi, 1987), na katerem sta bili sproženi le dve eksploziji. Izdelana je bila tudi karta globin Mohorovičićeve diskontinuitete (Dragašević in drugi, 1990), ki je bila zaradi redko razporejenih profilov in eksplozij precej nenatančna. Tudi za območje vzhodnih Alp so bile na voljo le zelo približne karte debeline Zemljine skorje, izdelane na podlagi redkih raziskav v letih 1970–85. Zato je leta 2002 mednarodna skupina raziskovalcev iz devetih držav, zbrana v projektu Alp2002 (slika 5) pod vodstvom dunajske univerze, izvedla obsežne seizmične raziskave na širšem območju vzhodnih Alp (Gosar, 2002; Gosar, 2003; Brückl in drugi, 2007)

Pri modeliranju dveh glavnih profilov projekta Alp2002 smo ločili več plasti različnih seizmičnih hitrosti (slika 6). Vrhnja plast s hitrostjo potresnega valovanja 3,0–3,3 km/s ustreza terciarnim in kvartarnim sedimentom, ki le ponekod dosežejo debelino več kilometrov. Sledi zgornji del Zemljine skorje z debelino med 12 in 20 km, ki ga sestavljajo karbonati ter kisle magmatske in metamorfne kamnine, v katerih je hitrost potresnega valovanja 5,6–6,3 km/s. Spodnji del Zemljine skorje, ki se začne v globini med 15 in 20 km, ustreza bazičnim

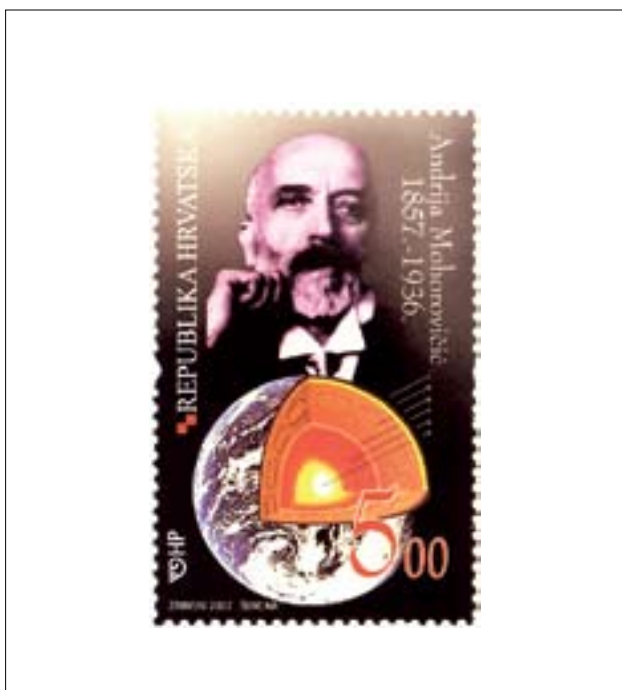
magmatskim in metamorfnim kamninam in ima seizmično hitrost 6,2–6,8 km/s. V vrhnjem delu Zemljinega plašča, tik pod Mohorovičićevo diskontinuiteto, pa je hitrost 7,9–8,2 km/s.

Najzanimivejše na obeh profilih so spremembe debeline Zemljine skorje oziroma globine do Mohorovičićeve diskontinuitete. Na podlagi prejšnjih raziskav se je domnevalo, da je pod Slovenijo največja debelina Zemljine skorje na območju Julijskih Alp in Notranjske, in sicer do 43 km. Od tam naj bi se skorja enakomerno tanjšala proti severovzhodu, kjer bi bila na meji z Madžarsko debela le še 28 km, in proti Jadranskemu morju, kjer bi bila v Tržaškem zalivu debela okoli 35 km (Gosar, 2005). Tokratne precej podrobnejše raziskave so pokazale, da so prav na širšem območju Slovenije prehodi med debelejšo skorjo, značilno za Alpe in Dinaride, ter tanjšo skorjo, značilno za Panonski bazen in Jadransko morje, zelo strmi, celo skokoviti. Največja debelina Zemljine skorje (47 km) je ugotovljena pod severozahodno Slovenijo (slika 7). Pod Istro je viden skok Mohorovičićeve diskontinuitete iz globine 40 km na 28 km. Pod vzhodno Slovenijo je viden klinasto oblikovan skok Mohorovičićeve diskontinuitete iz globine 38 km na 27 km (slika 8). Ker so skokovite spremembe globine Mohorovičićeve diskontinuitete dokaj presenetljive in značilne predvsem za robove litosferskih plošč, bodo ti podatki spremenili razumevanje odnosov med velikimi tektonskimi enotami, ki se stikajo na tem območju.

## Sklepne misli

Mohorovičićevo odkritje hitrostne diskontinuitete med Zemljino skorjo in plaščem je bilo zelo pomembno za nadaljnji razvoj seizmologije in geofizike. Pravi pomen tega odkritja se je pokazal šele mnogo pozneje, ko so v šestdesetih letih dvajsetega stoletja oblikovali teorijo tektonike plošč. Takrat so tudi spoznali, da je razumevanje globalnih tektonskih procesov ključ za razumevanje geološke zgradbe strukturno zapletenih sistemov, kakršni so Alpe, Andi ali Himalaja. V iskanju energetskih virov in mineralnih surovin je človek posegal tudi vedno globlje v Zemljino skorjo. Hkrati je razvoj aktivnih geofizikalnih metod omogočil, da so se po celem svetu začele intenzivne raziskave globokih delov skorje in oblike Mohorovičićeve diskontinuitete, ki trajajo še danes. Na območju Srednje Evrope in Slovenije smo obliko Mohorovičićeve diskontinuitete podrobneje raziskali s seizmičnimi metodami šele pred nekaj leti. Zelo zanimivi rezultati so velika spodbuda za nadaljevanje raziskav.

Stroka se je Andriji Mohorovičiču za njegovo odkritje oddolžila na najboljši mogoč način tako, da je po njem poimenovala mejo med Zemljino skorjo in plaščem, ki jo je odkril. Na Hrvaškem, kjer se je rodil in deloval, so leta 2007 ob 150-letnici rojstva na rojstni hiši v Voloskem odkrili njegov doprski kip, Hrvaška pošta pa je obletnico obeležila s posebno znamko (slika 9).



Slika 9. Ob 150. obletnici rojstva Andrije Mohorovičiča leta 2007 je Hrvaška pošta izdala priložnostno znamko

Figure 9. On the occasion of the 150th anniversary of the birth of Andrija Mohorovičić in 2007, Croatian Post published the commemorative stamp.

## Viri in literatura

1. Aljinović, B., Prelogović, E., Skoko, D., 1987. Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji. *Geološki vjesnik*, 40, 255–263.
2. Brückl, E., Bleibinhaus, F., Gosar, A., Grad, M., Guterch, A., Hrubcova, P., Keller, G.R., Majdański, M., Šumanovac, F., Tiira, T., Yliniemi, J., Hegedüs, E., Thybo, H., 2007. Crustal structure due to collisional and escape tectonics in the Eastern Alps region based on profiles Alp01 and Alp02 from the ALP 2002 seismic experiment. *Journal of Geophysical Research*, 112, B06308, 1–25.
3. Dragašević, T., Andrić, B., Joksović, P., 1990. Strukturna karta Mohorovičićevog diskontinuiteta Jugoslavije 1 : 500.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
4. Gosar, A., 2002. Seizmične raziskave litosfere na območju jugovzhodnih Alp - projekt ALP 2002. *Ujma*, 16, 220–225.
5. Gosar, A., 2003. Raziskave litosfere jugovzhodnih Alp s 3D refrakcijsko seizmiko (projekt Alp 2002) - meritve v Sloveniji. *Geologija*, 46/1, 101–111.
6. Gosar, A., 2005. Seizmične raziskave litosfere v srednji Evropi in debelina Zemljine skorje v Sloveniji. *Potresi v letu 2003*, 99–110, Agencija RS za okolje.
7. Grad, M., Tiira, T., ESC Working Group, 2009. The Moho depth map of the European plate. *Geophysical Journal International*, 176, 279–292.
8. Herak, D., Herak, M., 2007. Andrija Mohorovičić (1857-1936) - On the occasion of the 150th anniversary of his birth. *Seismological Research Letters*, 78/6, 671-674.
9. Mohorovičić, A., 1910. Potres od 8. X 1909. Godišnje izvješće Zagrebačkog meteorološkog opservatorija za godinu 1909, 9/4, 1–56.
10. Mohorovičić, A., 1992. Earthquake of 8 october 1909 [translation]. *Geofizika*, 9, 3–55.
11. Skoko, D., Mokrović, J., 1982. Andrija Mohorovičić. *Školska knjiga*, 147 str., Zagreb.