

# Državna izmjera & Fizikalna geodezija

(uvodno predavanje)

- geodezija u RH: jučer, danas, sutra -

prof. dr. sc. Tomislav Bašić



Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet

Zavod za geomatiku – Katedra za državnu izmjeru

Zagreb, 18. listopada 2006. godine

## Glavna literatura:

- Bašić, T.: Državna izmjera, skripta, Geodetski fakultet, 2006.
- Bašić, T.: Fizikalna geodezija, skripta, Geodetski fakultet, 2006.
- Torge, W.: Geodesy, deGruyter 2001 (engl.); Geodäsie, deGruyter Lehrbuch 2003 (njem.)
- Hofman-Wellenhof, B.; Moritz, H.: Physical Geodesy, Springer 2005.
- Torge, W.: Gravimetry, deGruyter 1989.

## Dodatna literatura:

- Državna geodetska uprava RH: Izvješća o znanstveno-stručnim projektima u 2000, 2001, 2002, 2003, 2004-2005.
- Državna geodetska uprava RH: dokumenti dostupni na [www.dgu.hr](http://www.dgu.hr) .
- Hrvatski geodetski institut: radovi (pdf.) na [www.cgi.hr](http://www.cgi.hr) .
- Znanstveni projekt Geomatica Croatica: radovi na <http://bib.irb.hr/> .
- Geodetski list: radovi objavljeni zadnjih godina.

# VAŽNA UVODNA ČINJENICA:

Vlada Republike Hrvatske donijela je na temelju članka 9. stavka 2. Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (N.N. br. 128/99) na sjednici održanoj 4. kolovoza 2004. godine

## ODLUKU

O UTVRĐIVANJU SLUŽBENIH GEODETSKIH  
DATUMA I RAVNINSKIH KARTOGRAFSKIH  
PROJEKCIJA REPUBLIKE HRVATSKE

Narodne novine, broj 110/2004.

# I. Položajni datum Republike Hrvatske

- Europski terestički referentni sustav za epohu 1989.0 (*European Terrestrial Reference System 1989*) - skraćeno ETRS89, utvrđuje se službenim nepromjenjivim i o vremenu neovisnim položajnim referentnim koordinatnim sustavom za Republiku Hrvatsku.
- Elipsoid GRS80 sa veličinom velike poluosi  $a = 6378137.00$  m i spljoštenošću  $\mu = 1/298.257222101$  određuje se službenim matematičkim modelom za Zemljino tijelo u Republici Hrvatskoj.
- Položajna mreža koju čini 78 osnovnih trajno stabiliziranih geodetskih točaka čije su koordinate određene u ETRS89, određuje se osnovom položajnog referentnoga koordinatnog sustava Republike Hrvatske.
- Položajnom referentnom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske u kojem su koordinate 78 osnovnih geodetskih točaka određene 1996. godine određuje se naziv Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55 - skraćeno HTRS96.

## II. Visinski datum Republike Hrvatske

- Ploha geoida koja je određena srednjom razinom mora na mareografima u Dubrovniku, Splitu, Bakru, Rovinju i Kopru u epohi 1971.5 određuje se referentnom plohom za računanje visina u Republici Hrvatskoj.
- Visinska mreža koju čine trajno stabilizirani reperi II. nivelmana visoke točnosti čije su visine određene u sustavu (normalnog) Zemljinog polja sile teže, određuje se osnovom visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske.
- Visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske određenom na temelju srednje razine mora određuje se naziv Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971.5 - skraćeno HVRS71.

# III. Gravimetrijski datum Republike Hrvatske

- Referentni sustav za određivanje ubrzanja sile teže čiju osnovu čini međunarodna gravimetrijska standardna mreža (*International Gravity Standardisation Network 1971*) - skraćeno IGSN71, određuje se gravimetrijskim referentnim sustavom Republike Hrvatske.
- Referentnim nivo-elipsoidom za određivanje normalnog polja ubrzanja sile teže u Republici Hrvatskoj određuje se GRS80 elipsoid s pripadajućim fizikalnim parametrima: geocentričnom gravitacijskom konstantom  $GM=398600.5 \times 10^9 \text{m}^3\text{s}^{-2}$  i kutnom brzinom Zemljine rotacije  $\omega=7.292115 \times 10^{-5} \text{rads}^{-1}$ .
- Osnovna gravimetrijska mreža koju čini 6 trajno stabiliziranih točaka apsolutne gravimetrijske mreže i 36 trajno stabiliziranih točaka gravimetrijske mreže I. reda, na kojima je ubrzanje sile teže određeno u IGSN71 određuje se osnovom gravimetrijskog referentnog sustava Republike Hrvatske.
- Gravimetrijskom referentnom sustavu Republike Hrvatske u kojem je ubrzanje sile teže na 42 točke osnovne gravimetrijske mreže određeno 2003. godine određuje se naziv Hrvatski gravimetrijski referentni sustav 2003 - skraćeno HGRS03.

## IV. Ravninske kartografske projekcije Republike Hrvatske

- Koordinatni sustav poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije - skraćeno HTRS96/TM, sa srednjim meridijanom  $16^{\circ} 30'$  i linearnim mjerilom na srednjem meridijanu 0.9999 određuje se projekcijskim koordinatnim sustavom Republike Hrvatske za područje katastra i detaljne državne topografske kartografije.
- Koordinatni sustav uspravne Lambertove konformne konusne projekcije - skraćeno HTRS96/LCC, sa standardnim paralelama  $43^{\circ} 05'$  i  $45^{\circ} 55'$  određuje se projekcijskim koordinatnim sustavom Republike Hrvatske za područje pregledne državne kartografije.
- Koordinatni sustavi kartografskih projekcija temelje se na hrvatskom terestričkom referentnom sustavu definiranom u točki 1. ove Odluke.
- Za potrebe Oružanih snaga Republike Hrvatske usvaja se projekcijski koordinatni sustav univerzalne poprečne Mercatorove projekcije (Universal Transverse Mercator - UTM) sukladno Sporazumu o standardizaciji "STANAG 2211", država članica NATO saveza, 5. izdanje od 15. srpnja 1991. godine.

# **UVODNO O GEODEZIJI**

## **(OSNOVNI POJMOVI)**



# Definicija geodezije (1)

- Klasična definicija s kraja 19. stoljeća (Helmert 1880.): **geodezija** (grč.  $\gamma\eta$ =zemlja i  $\delta\alpha\iota\omega$ =djelim) je znanost o izmjeri i kartiranju Zemljine površine.
- Klasična definicija s kraja 20. stoljeća (Torge 1991.): **geodezija** je znanost koja se bavi određivanjem oblika i vanjskog polja ubrzanja sile teže Zemlje i drugih nebeskih tijela kao vremenski promjenljivih veličina, kao i određivanjem srednjeg Zemljinog elipsoida na temelju opažanih parametara na i izvan Zemljine fizičke površine.
- Moderna definicija geodezije s početka 21. stoljeća (informatičko društvo): **geodezija/geomatika** je znanost koja se bavi modeliranjem i realizacijom prostornih sustava, definiranjem načina prikupljanja prostornih podataka, njihovim analiziranjem, vizualizacijom i interpretacijom.

# Definicija geodezije (2)

Geodezija se dijeli na (Torge 2001, "Geodesy"):

- **Globalna geodezija** (engl. **global geodesy**): uključuje određivanje oblika i veličine Zemlje, njene orijentacije u prostoru i njena vanjskog polja ubrzanja sile teže,
- **Geodetska izmjera** (engl. **geodetic survey**): obuhvaća određivanje Zemljine površine i njenog polja ubrzanja sile teže na području neke države ili više država (**državna izmjera**),
- **Izmjera u ravnini** (engl. **plane surveying**): obuhvaća određivanje detalja Zemljine površine na lokalnom nivou, pri čemu se njena zakrivljenost i utjecaj ubrzanja sile teže u pravilu zanemaruju (topografska izmjera, katastarska izmjera, inženjerska izmjera).

# Osnovni pojmovi (1)

Sukladno ISO/DIS 19111 (2000) Draft International Standard – Geographic information – Spatial referencing by coordinates (ICS 35.240.70), 1-42.

- **Datum** parametar ili skup parametara koji mogu poslužiti kao referenca ili osnova za izračunavanje drugih parametara; datum definira položaj ishodišta, mjerilo i orijentaciju osi koordinatnog sustava
- **Geodetski datum** datum koji opisuje vezu koordinatnog sustava u odnosu na Zemljino tijelo (u većini slučajeva uključuje definiciju elipsoida)
- **Koordinata** poredani niz N brojeva (N-torka) koji označavaju položaj točke u N-dimezionalnom prostoru
- **Koordinatni sustav** skup (matematičkih) pravila nužnih za definiranje kako se koordinate pridružuju točkama
- **Referentni koordinatni sustav** koordinatni sustav koji se prema stvarnom svijetu odnosi uz pomoć datuma
- **Geodetski (elipsoidni) koordinatni sustav** koordinatni sustav u kojem je položaj specificiran geodetskom (elipsoidnom) širinom, geodetskom (elipsoidnom) dužinom i (u trodimenzionalnom slučaju) geodetskom (elipsoidnom) visinom

# Osnovni pojmovi (2)

- **Elipsoid** površina oblikovana rotacijom elipse oko njene male osi
- **Velika poluos a** najdulji polumjer elipsoida (za elipsoid koji predstavlja Zemlju to je radijus ekvatora)
- **Mala poluos b** najkraći polumjer elipsoida (za elipsoid koji predstavlja Zemlju to je udaljenost od središta elipsoida do jednog od polova)
- **Spljoštenost  $\mu$  (f)** odnos razlike velike (a) i male (b) poluosi elipsoida prema velikoj poluosi;  $\mu=(a-b)/a$  (ponekad je umjesto toga zadana recipročna vrijednost spljoštenosti  $1/\mu$ )
- **Meridijan** presjek elipsoida ravninom koja sadrži malu poluos (b) elipsoida
- **Početni (nulti) meridijan** meridijan od kojega se kvantificiraju drugi meridijani
- **Greenwich-ki meridijan** meridijan koji prolazi kroz Greenwich, Velika Britanija (većina geodetskih datuma koriste Greenwich-ki meridijan kao početni)

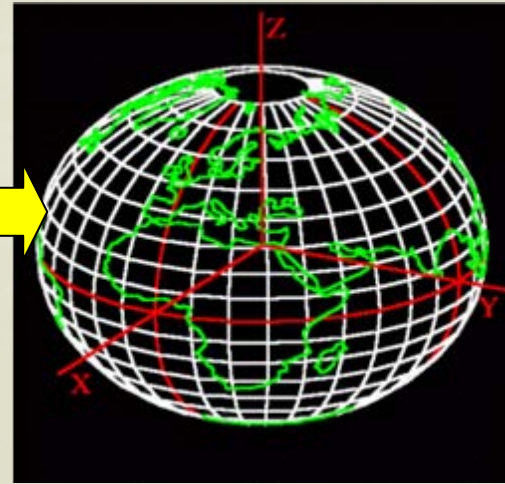
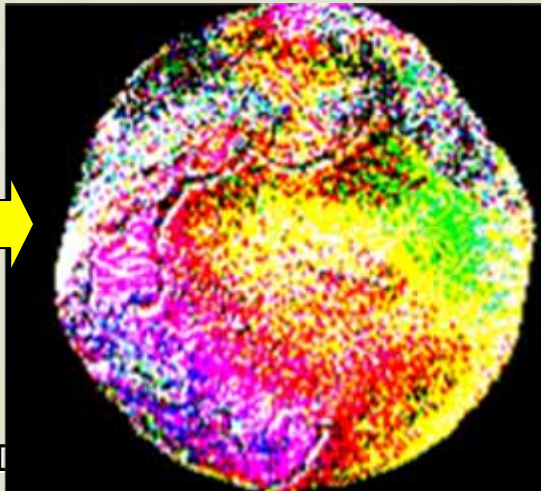
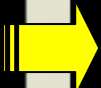
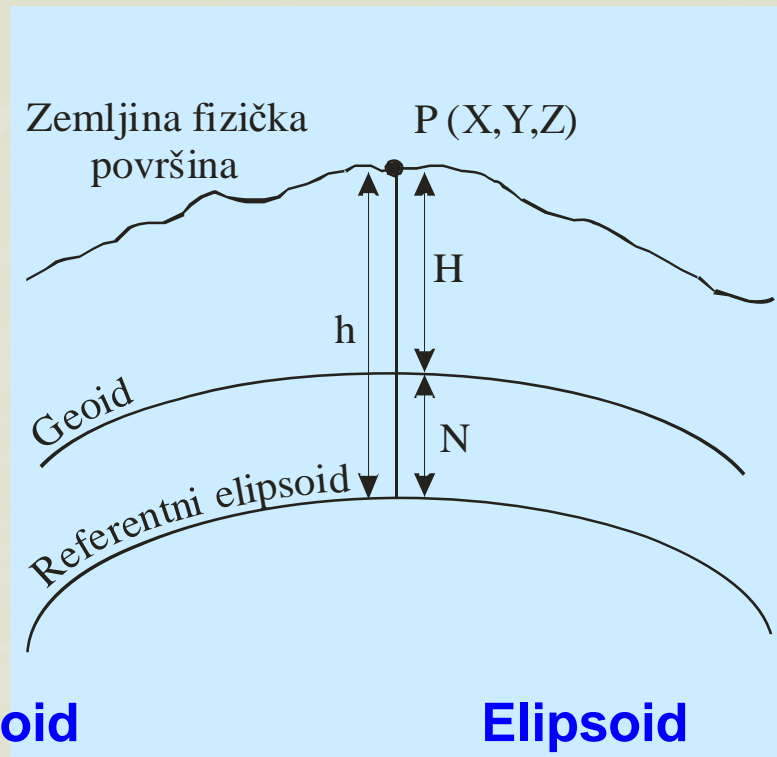
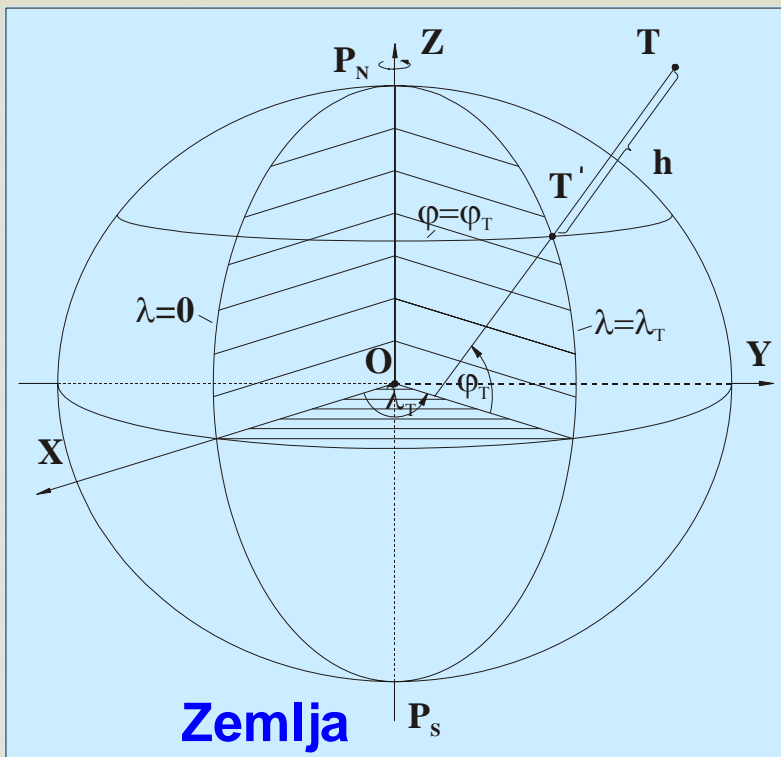
# Osnovni pojmovi (3)

- **Geodetska (elipsoidna) širina  $\varphi$**  kut između ekvatorijalne ravnine i normale (okomice) na elipsoid kroz zadanu točku, sjeverno od ekvatora se uzima kao pozitivna
- **Geodetska (elipsoidna) dužina  $\lambda$**  kut između ravnine početnog (Greenwichkog) meridijana i ravnine meridijana zadane točke, istočno od početnog meridijana se uzima kao pozitivna
- **Geodetska (elipsoidna) visina  $h$**  udaljenost točke od elipsoida mjerena duž normale (okomice) od elipsoida do te točke, prema gore ili izvan elipsoida se uzima kao pozitivna
- **Geoid  $N$**  nivoploha koja najbolje odgovara srednjoj razini mora bilo lokalno ili globalno (nivoploha je ekvipotencijalna ploha Zemljinog polja ubrzanja sile teže koja je svuda okomita na smjer ubrzanja sile teže)
- **Otklon težišnice (vertikale)  $\theta$**  kut između tangente na smjer ubrzanja sile teže (težišnice) i okomice na elipsoid (normale) u promatranoj točki; često se rastavlja na meridijansku komponentu  $\xi$  i komponentu u ravnini okomitoj na ravninu meridijana – ravnini prvog vertikala  $\eta$
- **Srednja razina mora** prosječna razina površine mora kroz sva stanja plime
- **Visina, nadmorska visina  $h$  ili  $H$**  udaljenost točke od izabrane referentne površine duž pravca okomitog na tu površinu, izvan te površine uzima se pozitivna

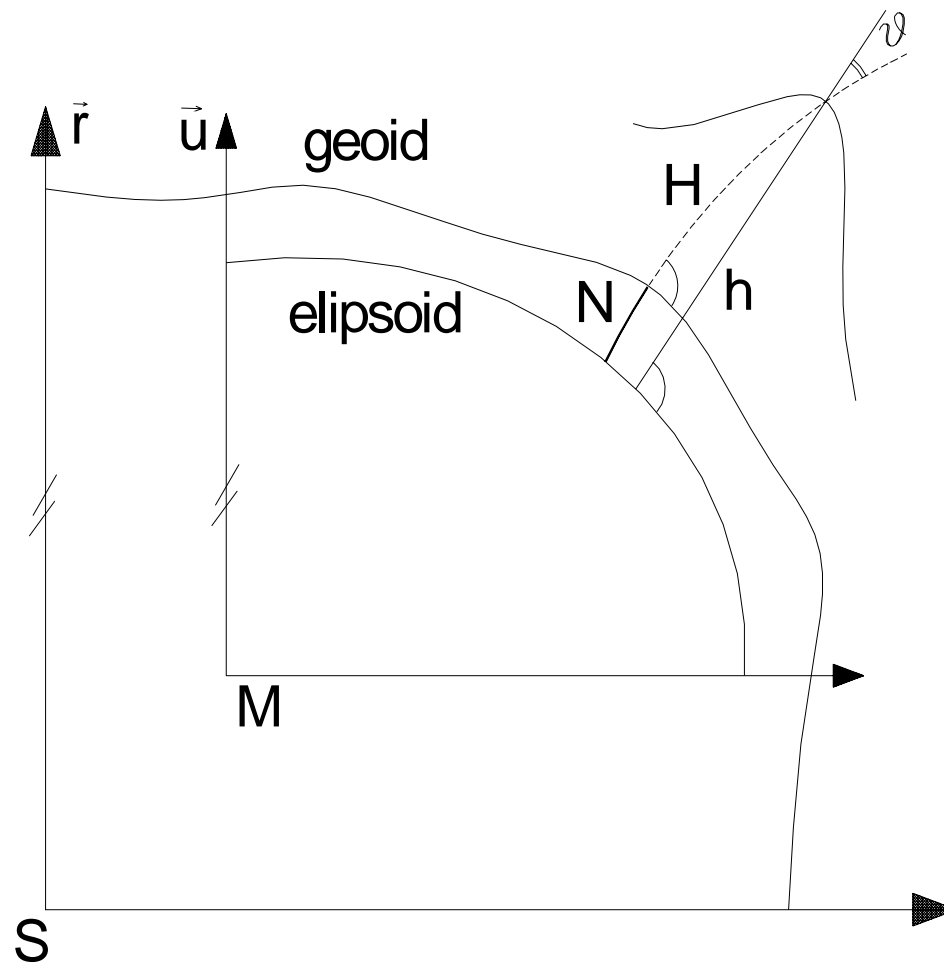
# Osnovni pojmovi (4)

- **Kartezijev koordinatni sustav** koordinatni sustav koji daje položaj točaka u odnosu na  $N$  međusobno okomitih osi (u geodeziji je najčešće  $N=1, 2$ , ili  $3$ )
- **Složeni referentni koordinatni sustavi** opis položaja uz pomoć dva neovisna referentna koordinatna sustava (primjer: jedan se referentni koordinatni sustav temelji na dvo- ili tro-dimenzionalnom koordinatnom sustavu, dok se drugi referentni koordinatni sustav temelji na visinskom sustavu koji se odnosi na Zemljino polje ubrzanja sile teže)
- **Konverzija koordinata** promjena koordinata na temelju odnosa jedan-prema-jedan, iz jednog koordinatnog sustava u drugi na temelju istog datuma (primjer: između geodetskog i Kartezijevog koordinatnog sustava)
- **Transformacija koordinata** promjena koordinata iz jednog referentnog koordinatnog sustava u drugi referentni koordinatni sustav uz pomoć odnosa jedan-prema-jedan i na temelju različitog datuma (transformacija koordinata koristi parametre koji se mogu izvesti empirijski uz pomoć niza zajedničkih točaka u oba referentna koordinatna sustava)

# Osnovni koordinatni sustavi i plohe u geodeziji



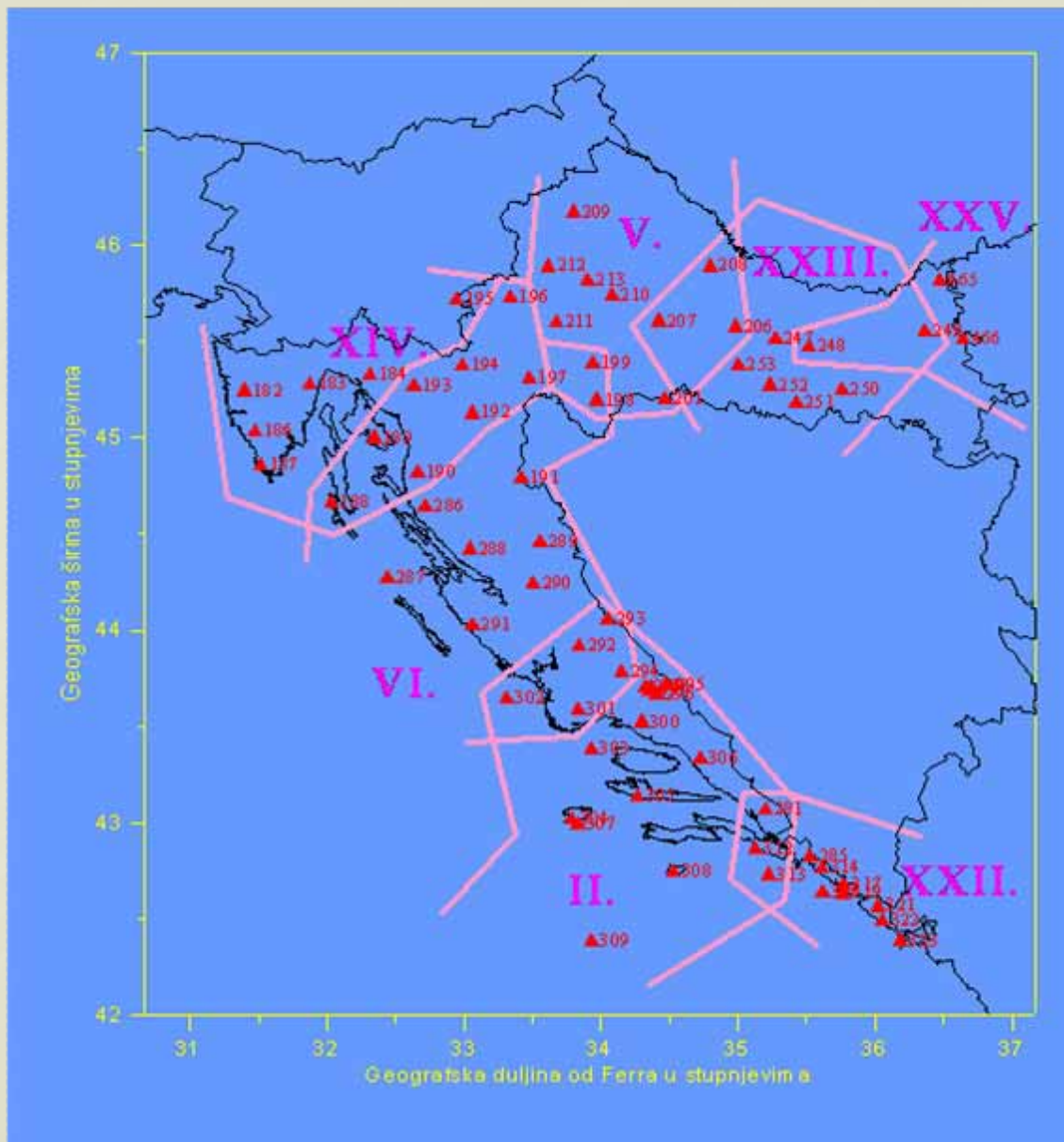
# Geodetski datum



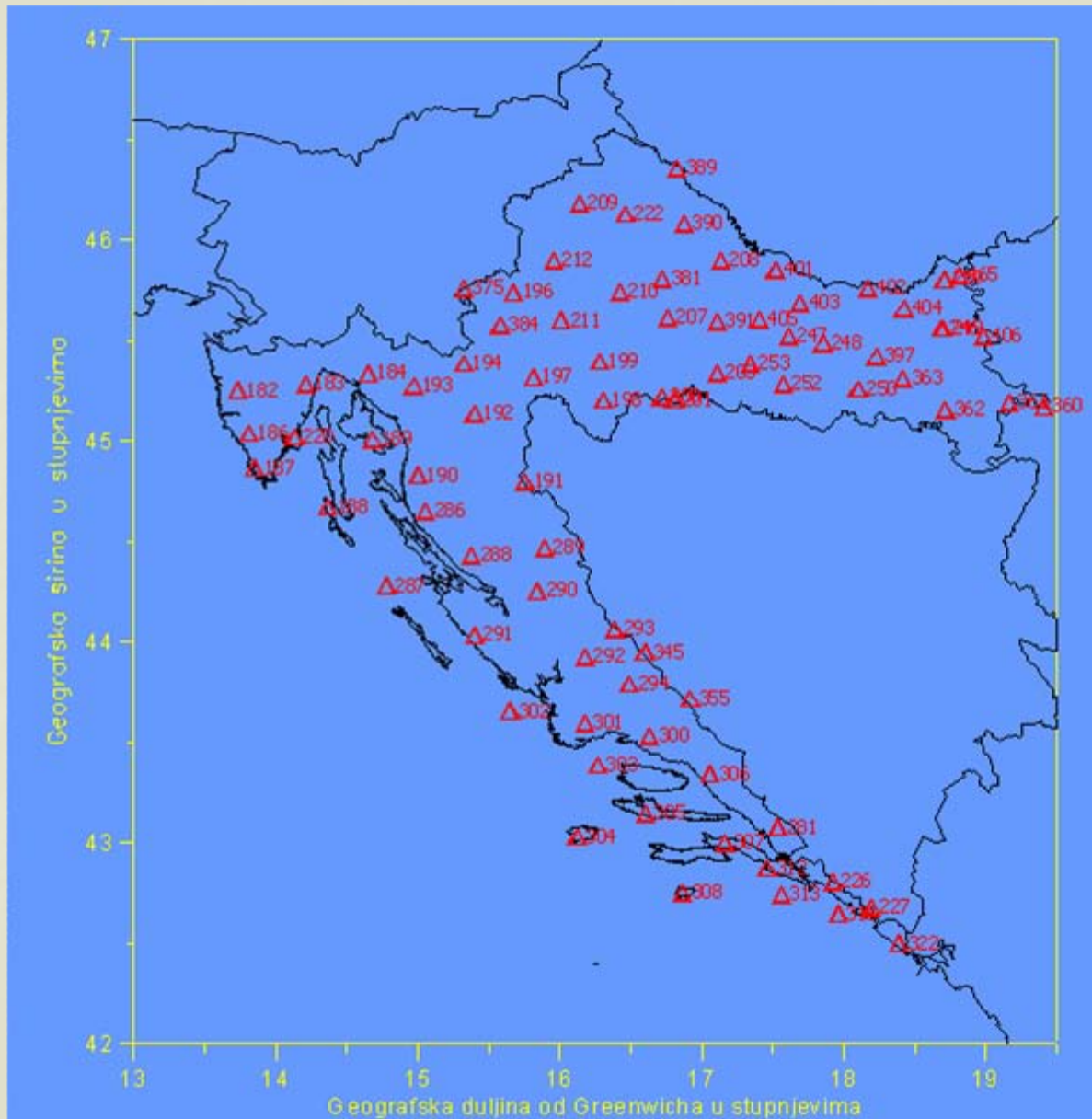


**Jučer: do 1990.**

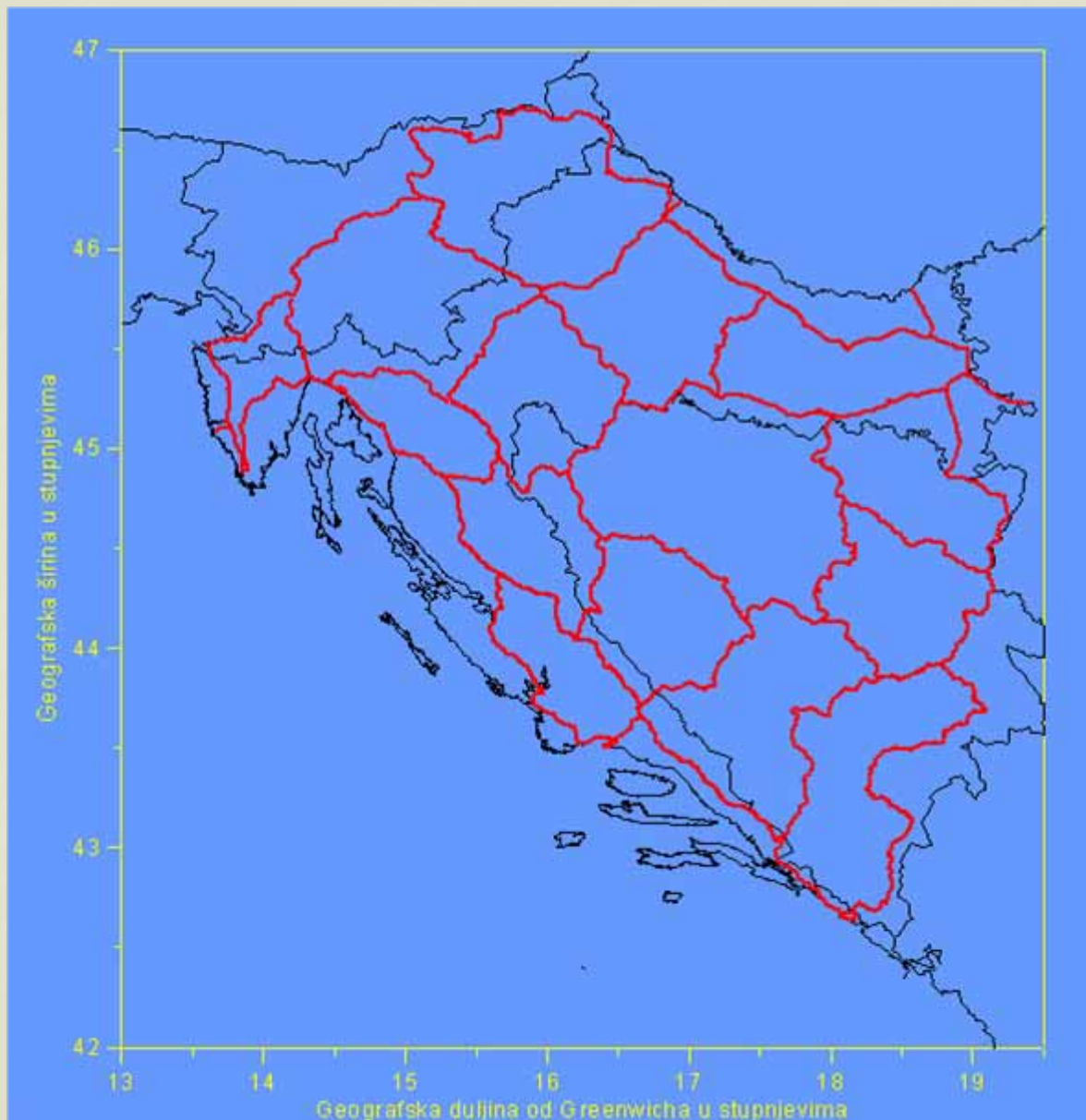
# Austro-Ugarska triang. mreža I. reda u Hrvatskoj



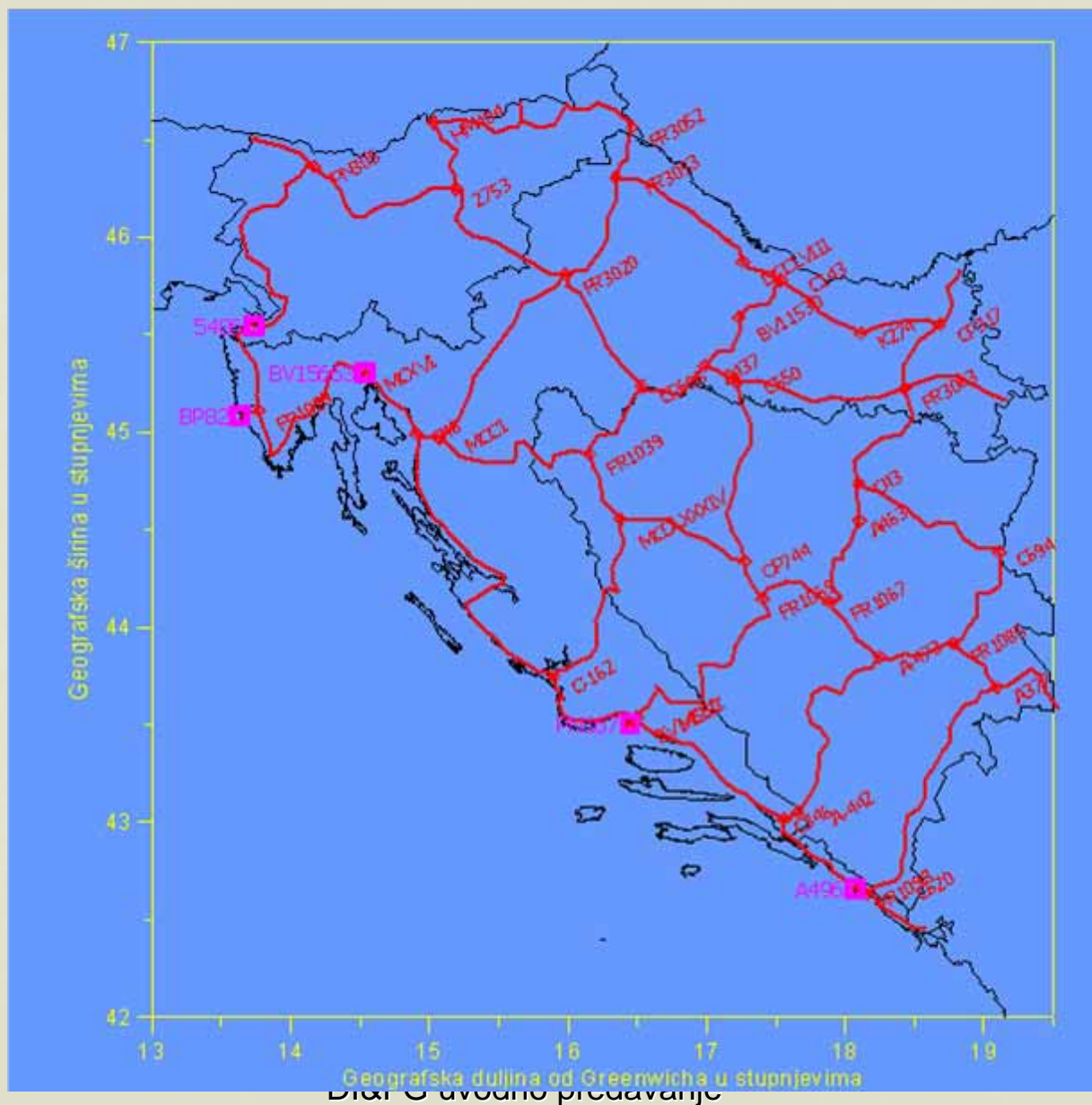
# Triang. mreža I. reda ex-Jugoslavije u Hrvatskoj



# I. NVT na području RH (SLO i BIH)



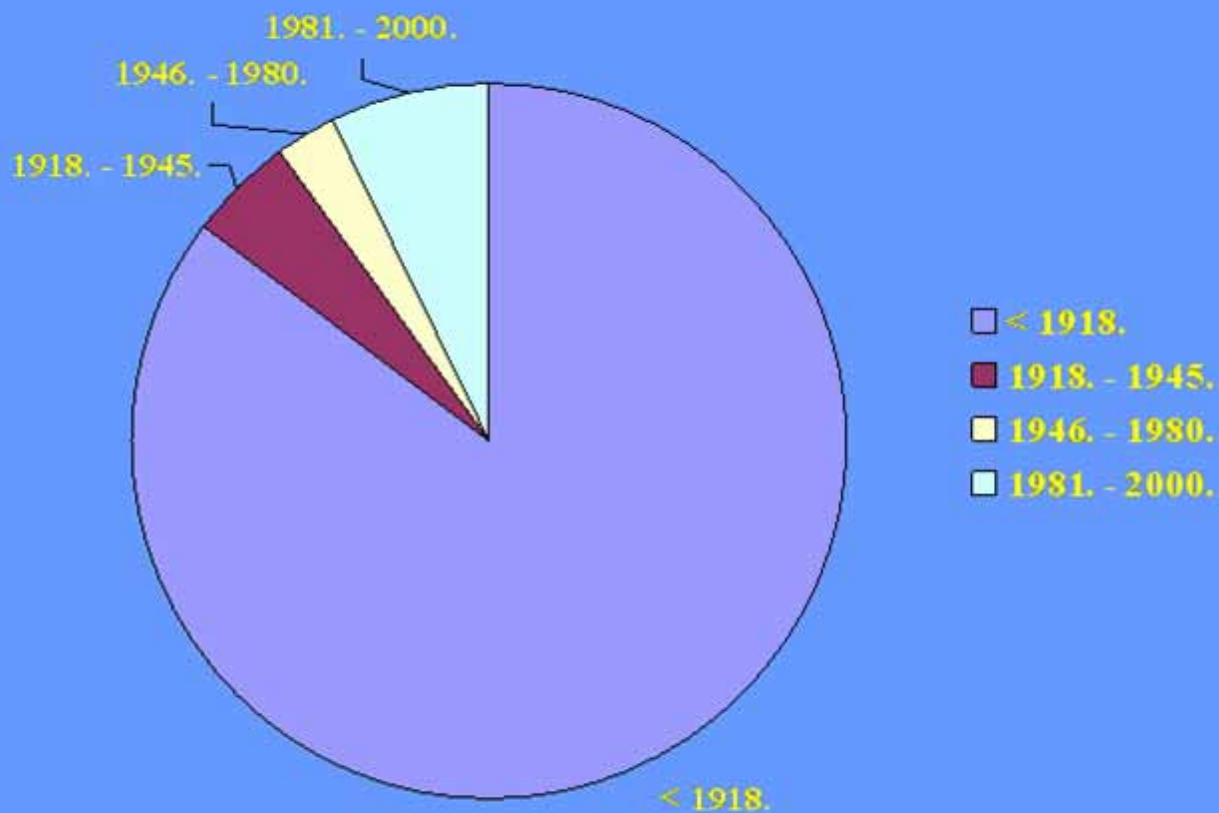
## II. NVT na području RH (SLO i BIH)



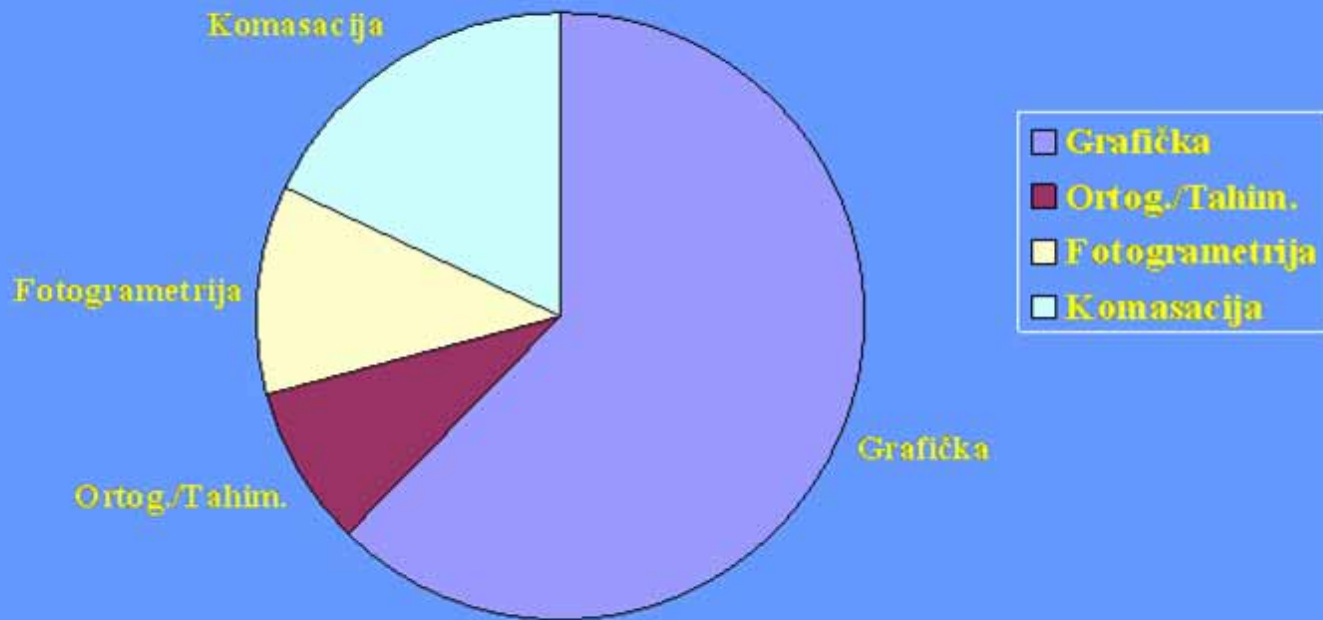
# Nasljeđeni geodetski datumi

- **Položajni datum:** izvorni Austro-Ugarske monarhije iz 1901. (HR1901, HDKS), lokalni datum, Besselov elipsoid, Gauss-Krügerova projekcija (1924.).
- **Visinski datum:** mareograf u Trstu, epoha 1875., normalne ortometrijske visine.
- **Gravimetrijski datum:** Potsdam, IGSN71.

# Starost izmjere u RH po razdobljima



# Broj listova u RH ovisno o načinu izmjere





**Od 1991. do danas**

# Državna izmjera (1)

- Počev od 1991., posebno od 1994., brojne GPS kampanje u RH kojima su definirane osnovne GPS mreže (0., I. i II. reda, brojne gradske GPS mreže).
- Izjednačenja I. i II. NVT-a, uvrštenje u UELN, visinsko povezivanje s Mađarskom – veza na Amsterdam
- Apsolutna gravimetrijska mjerenja na 6 točaka (Zagreb (2), Pula i Makarska 1996., te Dubrovnik i Osijek 1999./2000.) - Gravimetrijska mreža 0. reda RH.
- Relativna gravimetrijska mjerenja na 36 točaka (2003.) - uspostavljena Gravimetrijska mreža I. reda RH.
- Idejni projekt gravimetrijske mreže II. reda RH i izmjera mikrogravimetrijskih mreža (Osijek, Zagreb, Pula, Dubrovnik) – mreža Grada Zagreba izvedena (2006)

## Državna izmjera (2)

- Definiranje rješenja za apsolutno orijentirani nacionalni geoid ([HRG98](#), [HRG2000](#))
- Izrada dokumentacije neophodne za usvajanje novih službenih geodetskih datuma RH ([položajni](#), [visinski](#) i [gravimetrijski](#)) - [2004](#)
- Izrada uslužnih kompjutorskih programa za potrebe interpolacije službenog geoida ([IHRG2000](#)) i transformaciju koordinata ([DAT\\_ABMO](#)) – [2004](#), te najnovije ([T7D](#)) – [2006](#).

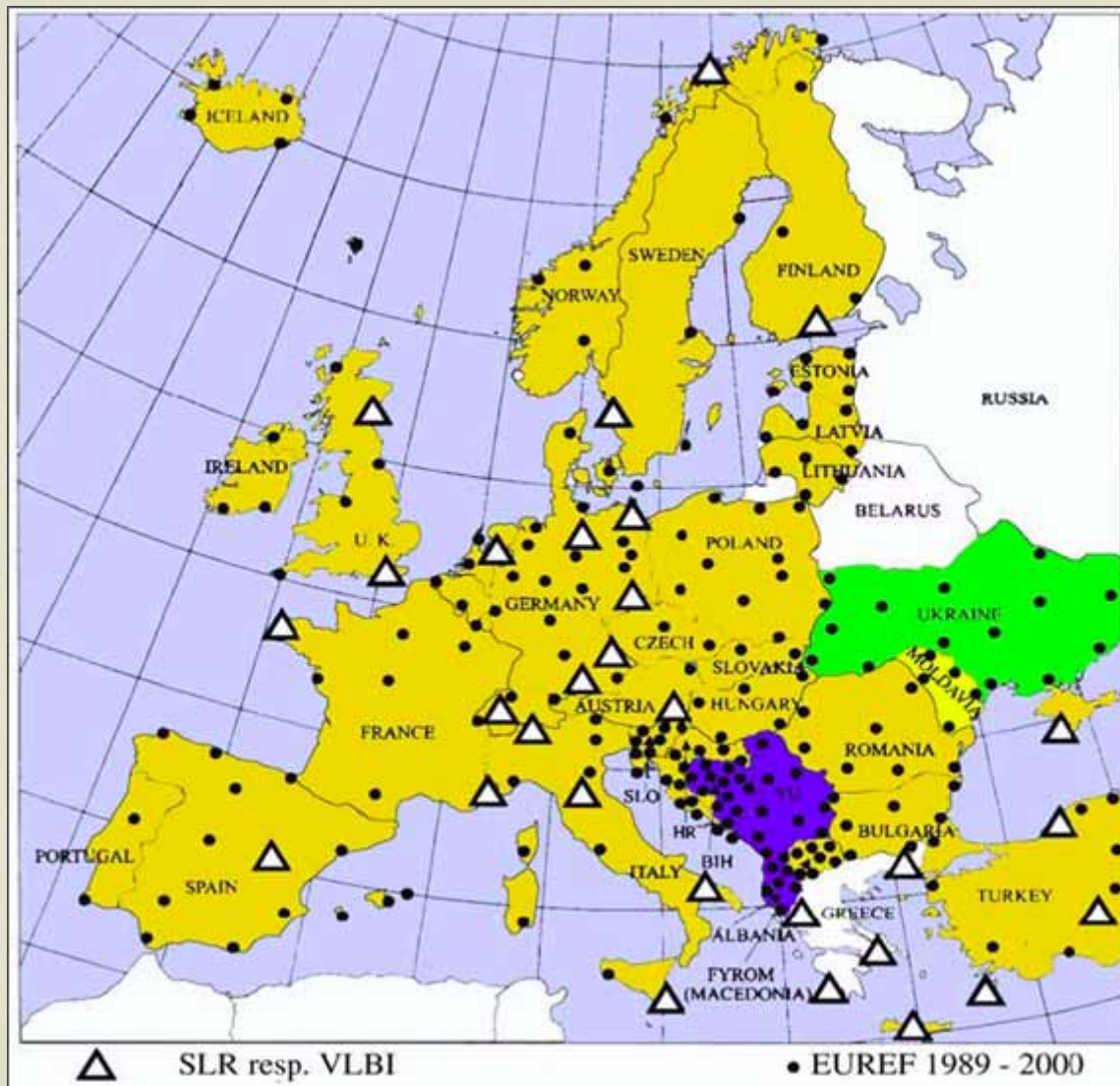
# EUREF'94



# CRODYN'94



# Pokrivenost europskog kontinenta s EUREF točkama



# CROREF'96



- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ■ Permanentne točke u CROREF 96 i CRODYN 96 kampanji | ● GPS točke opažane u fazi I   |
| ▲ Geodinamičke točke u 1996. - faza IV               | ● GPS točke opažane u fazi II  |
| △ Nove geodinamičke točke u 1996. - faza IV          | ● GPS točke opažane u fazi III |
| ● Geodinamičke točke opažane u fazi II               | TG Mareograf                   |

# Nova referentna GPS mreža Republike Hrvatske

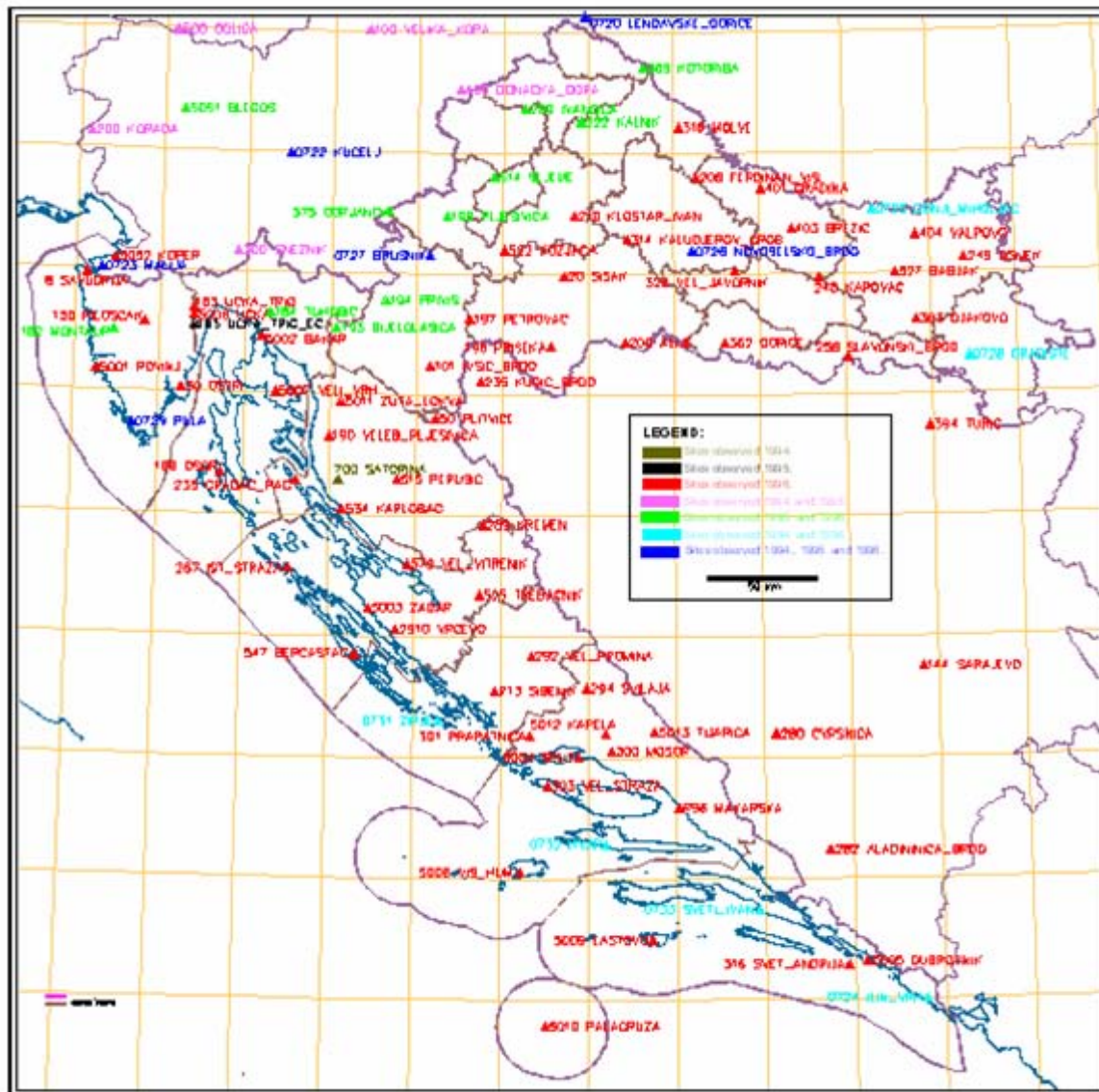
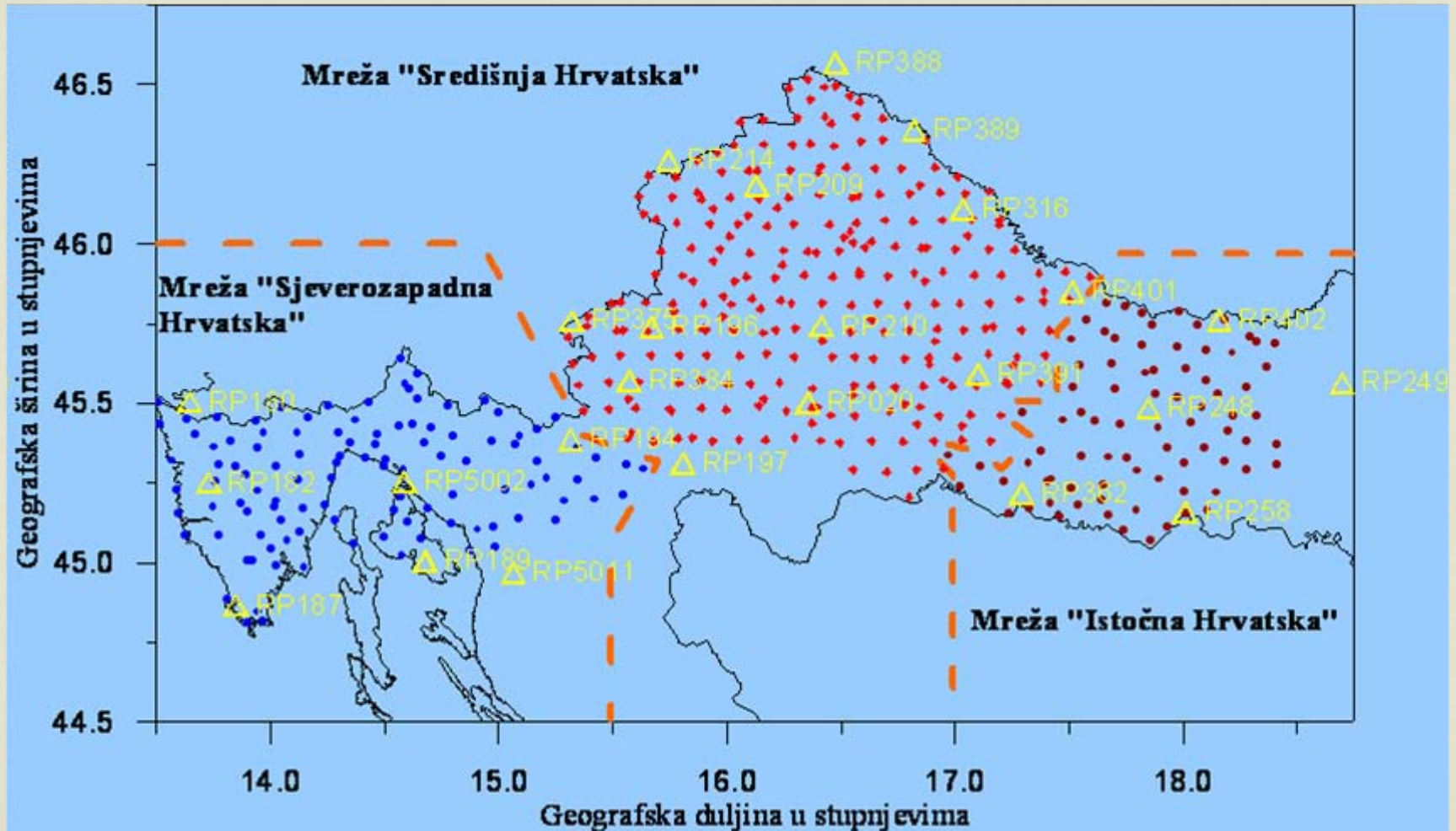


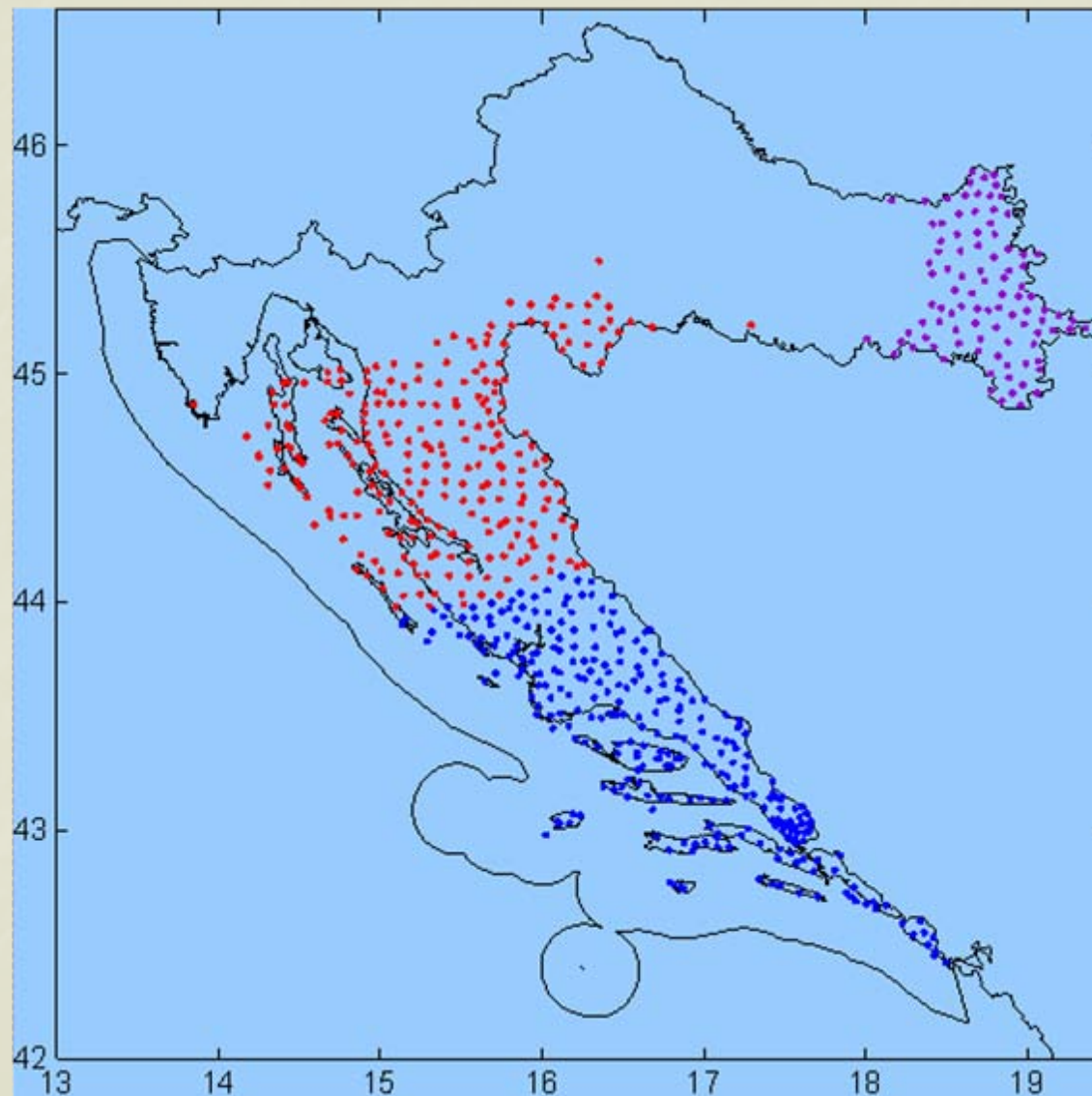
FIGURE 1: OBSERVED GPS SITES (SLOCRO-94, SLOVENIA-95/CROREF-95, CROREF-96)

## Dio 10-km GPS mreže opažan 1997. godine

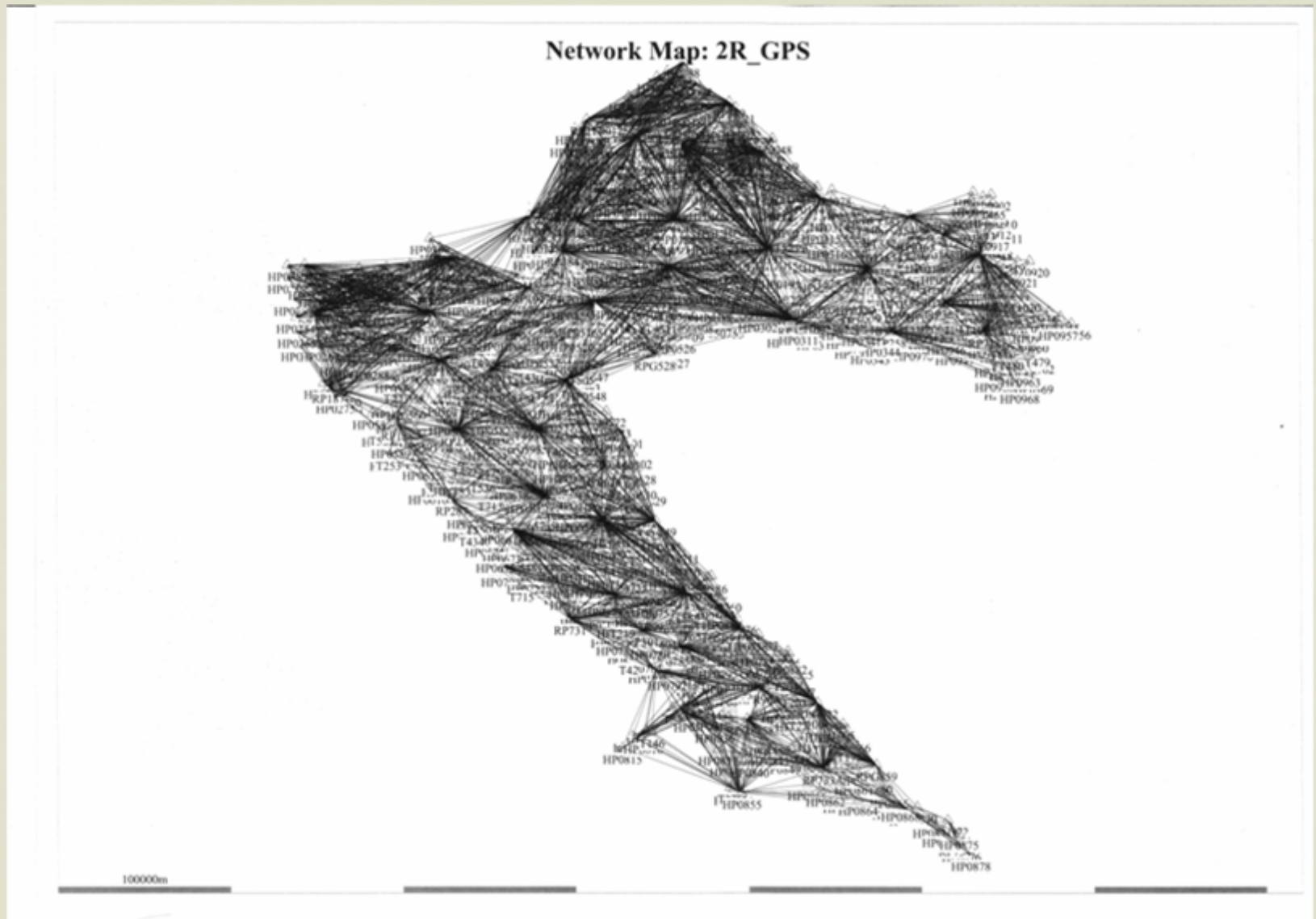




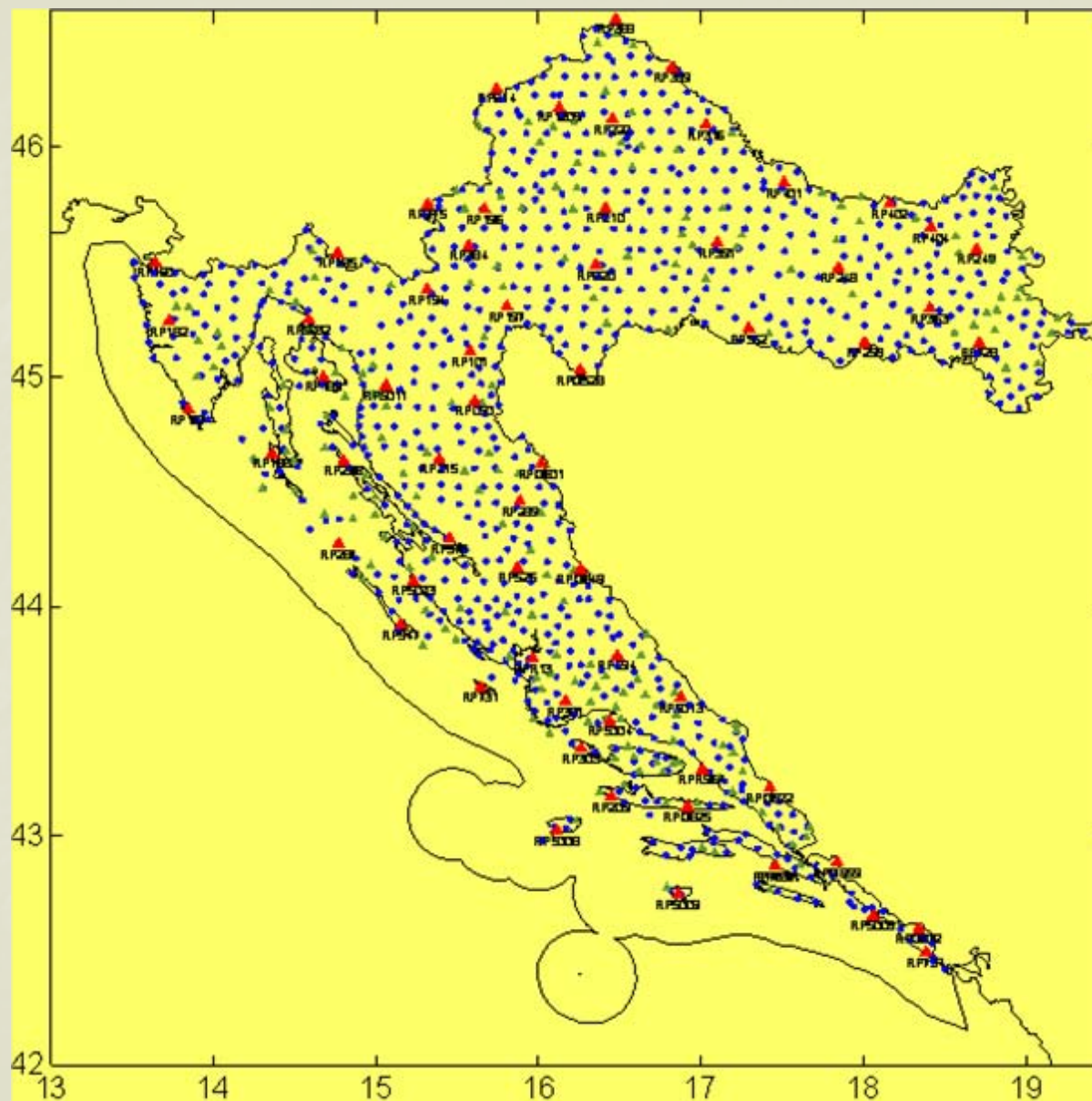
## Dio 10-km GPS mreže opažan 2001. godine



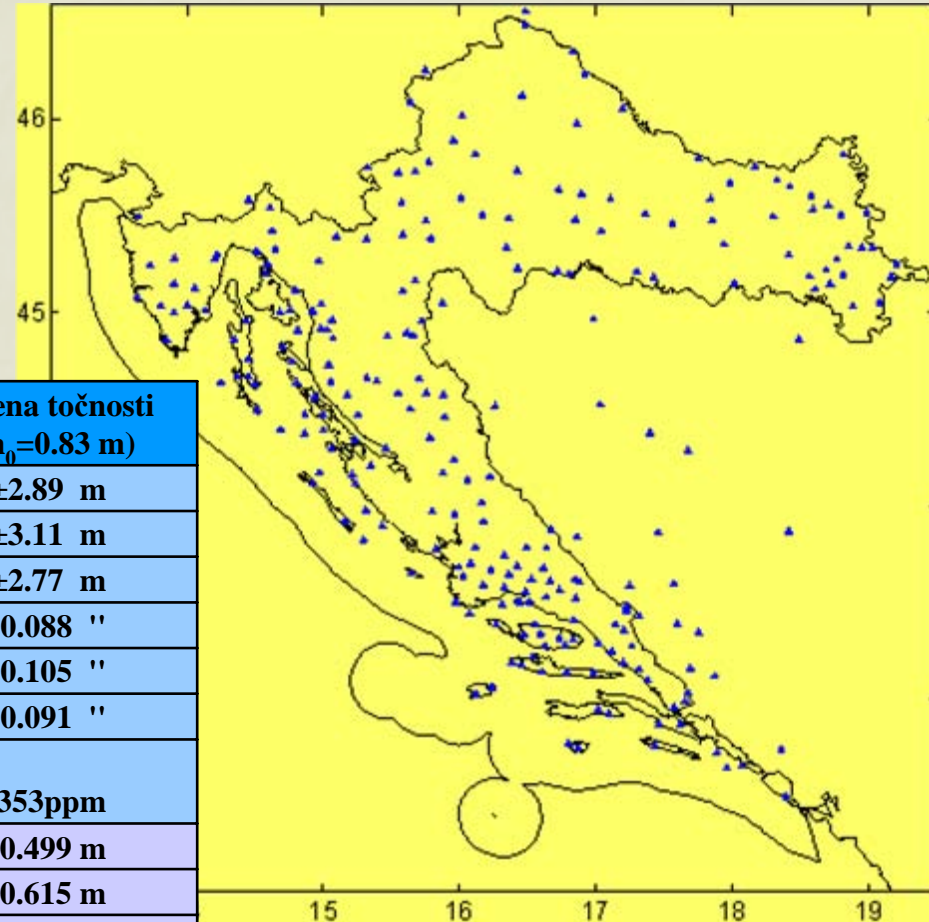
# Opažani vektori 10-km GPS mreže RH



# 10-km GPS mreža Republike Hrvatske (1054 točke)

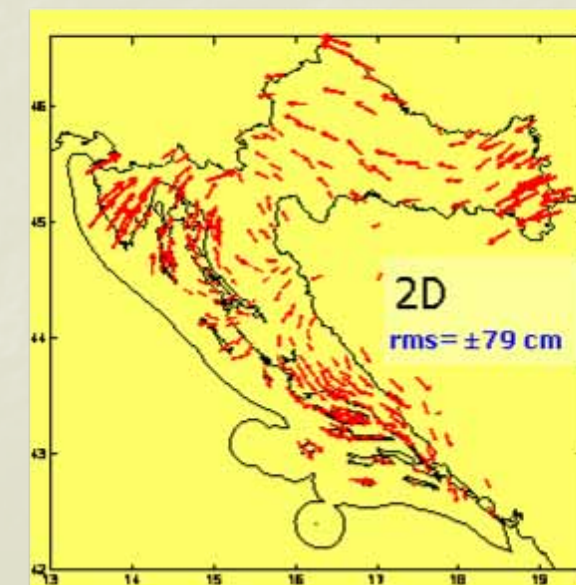
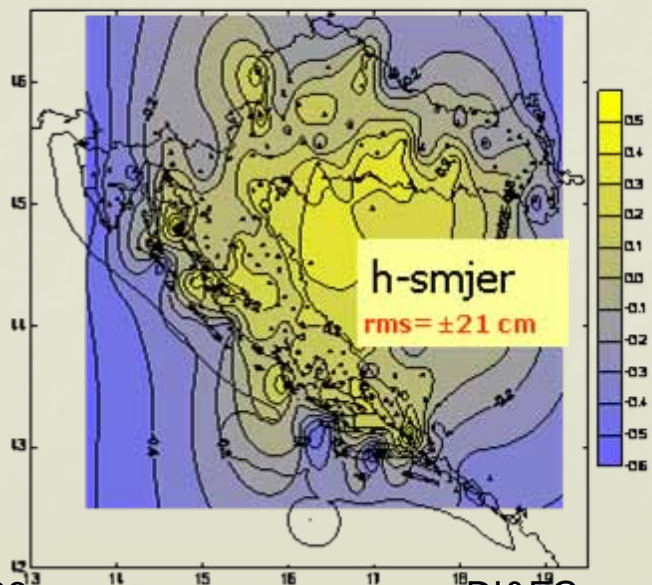
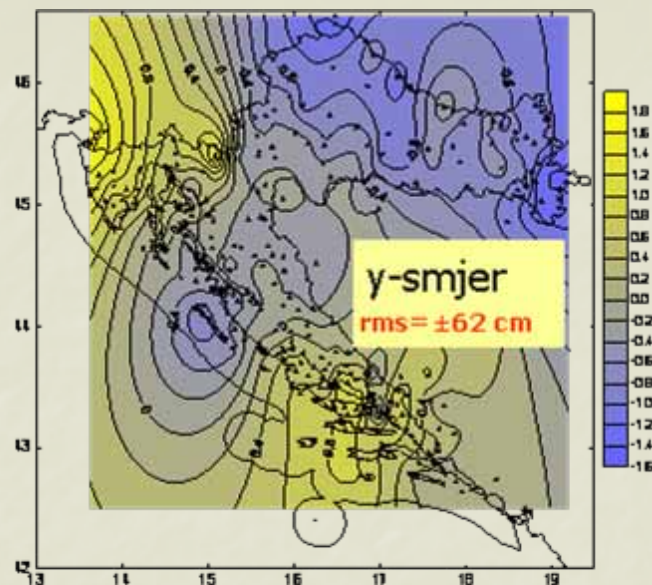
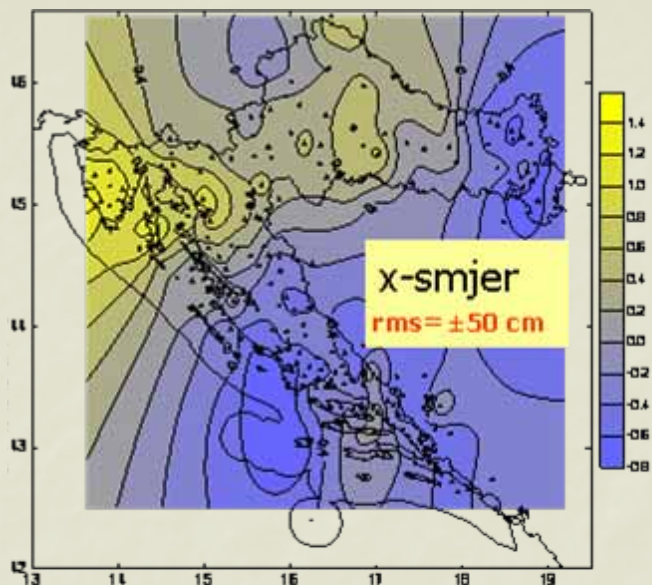


# Transformacija rezultata iz ETRS89 u HDKS (241 identična točka)

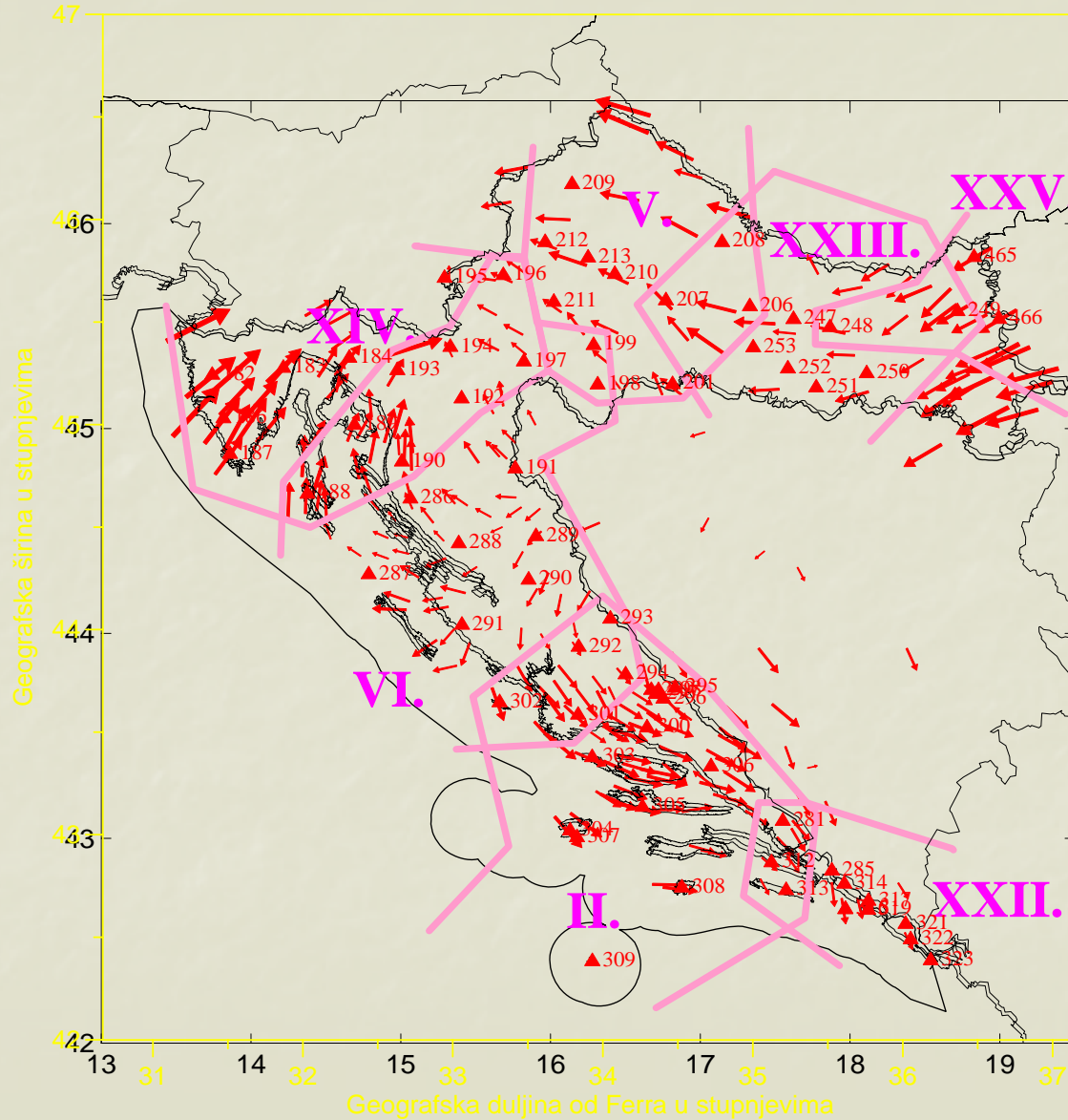


	Transformacijski parametri (korišten HRG2000)	Ocjena točnosti ( $m_0=0.83$ m)
Translacija: Tx	- 550.5670 m	$\pm 2.89$ m
Ty	- 164.6118 m	$\pm 3.11$ m
Tz	- 474.1386 m	$\pm 2.77$ m
Rotacija: Rx	5.976766 "	$\pm 0.088$ "
Ry	2.099773 "	$\pm 0.105$ "
Rz	- 11.495481 "	$\pm 0.091$ "
Mjerilo: $\mu$	5.447925 ppm	$\pm 0.353$ ppm
Točnost (rms): po $\varphi$	Ocjena točnosti na temelju reziduala u identičnim točkama	$\pm 0.499$ m
po $\lambda$		$\pm 0.615$ m
po h		$\pm 0.213$ m
Položajno (2D)		$\pm 0.792$ m
Trodimenzionalno (3D)		$\pm 0.820$ m

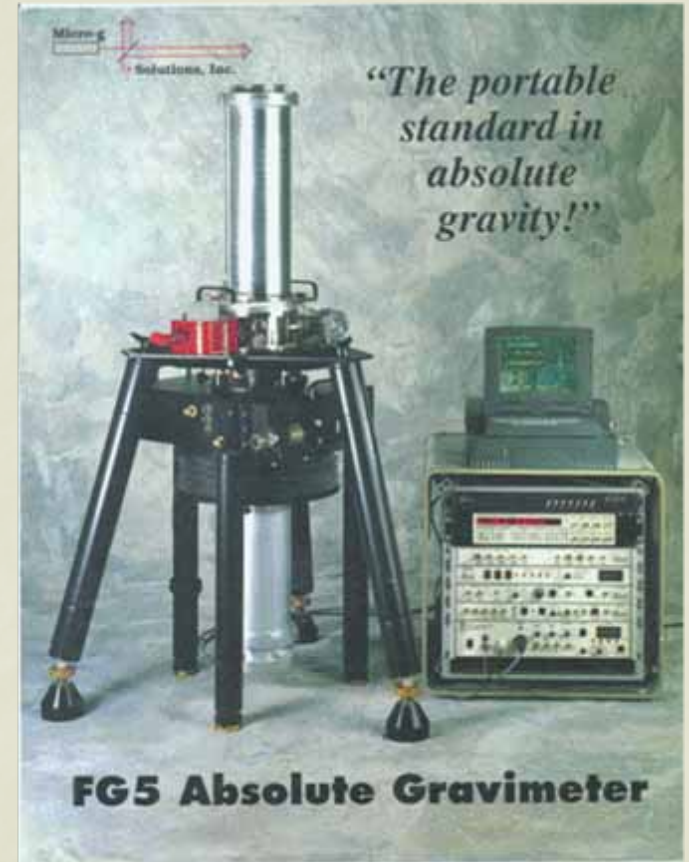
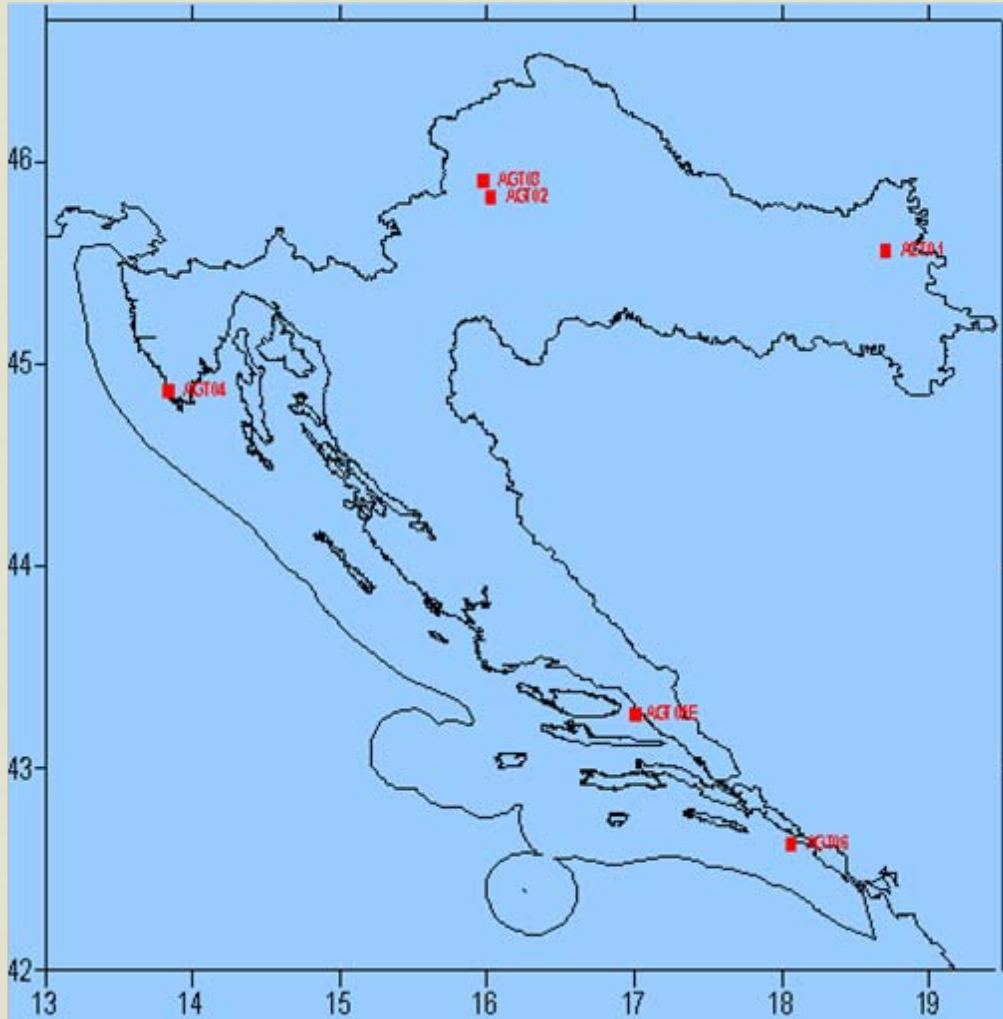
# Nehomogenosti HDKS-a s obzirom na 10-km GPS mrežu



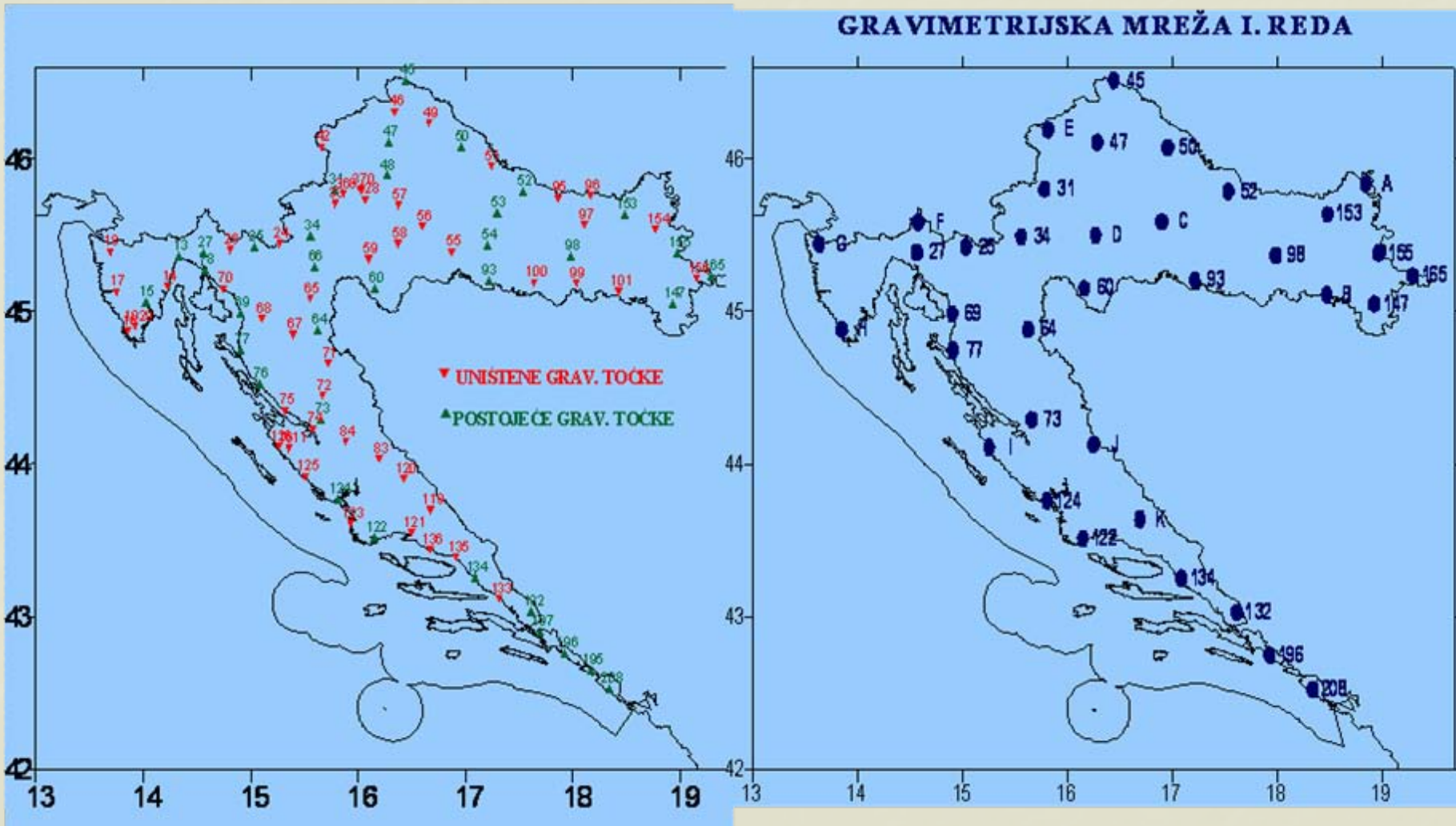
# Zašto nehomogenosti u HDKS-u?



# Gravimetrijska mreža 0-reda



# Revizija stare Gravimetrijske mreže I. reda (2000.)





# Relativni gravimetri Scintrex CG-3M i CG-5

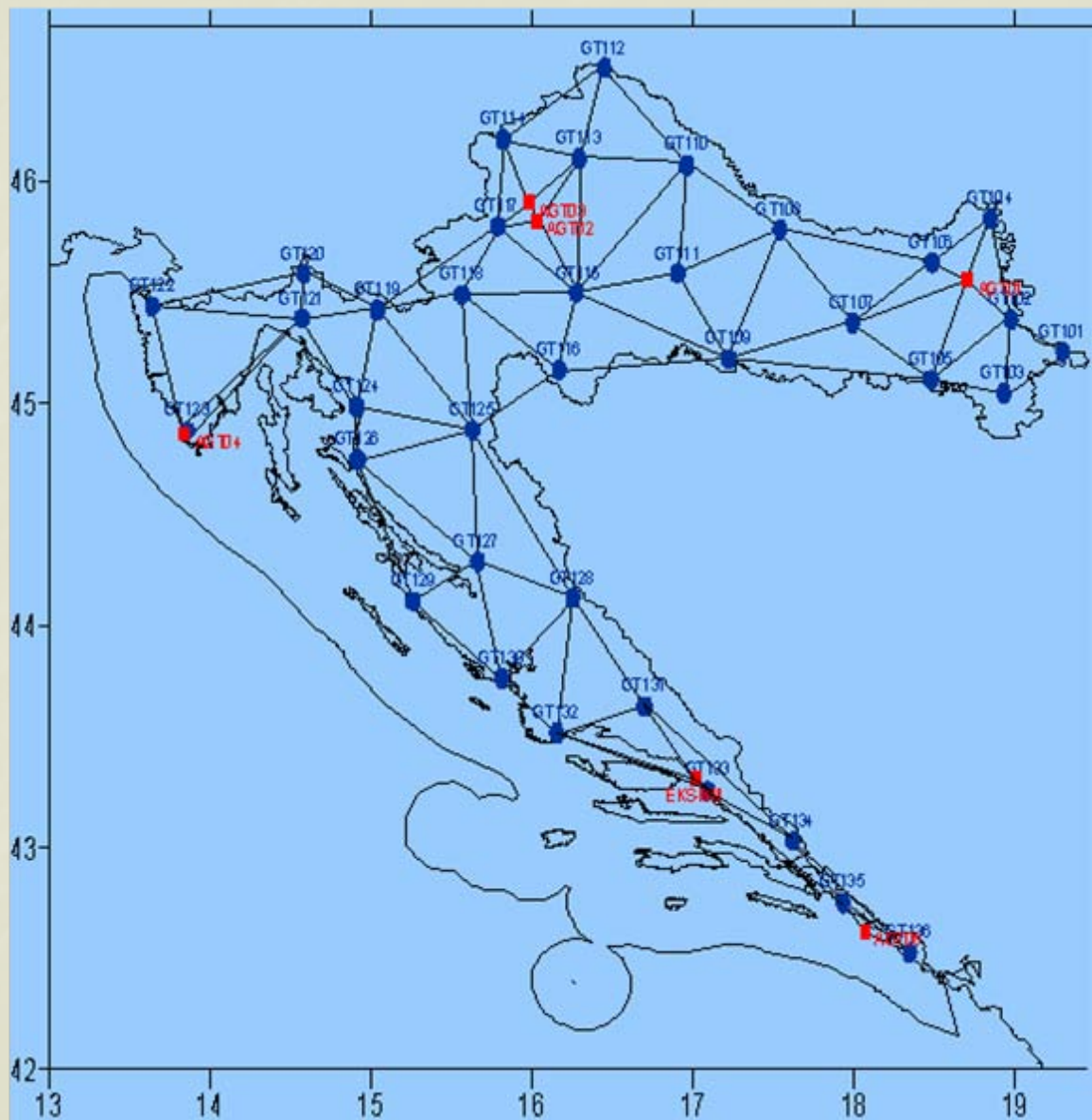


# Gravimetrijska mreža I. reda

Sastoji se od 36 točaka, pri čemu je 25 stabilizacija preuzeto iz Osnovne gravimetrijske mreže bivše države, dok je 11 novopostavljenih gravimetrijskih točaka. Stare su točke stabilizirane betonskim stupom dimenzija 50x50x100 cm ili uklesanim križem u živoj stijeni unutar uklesanog kvadrata dimenzija 50x50 cm, dok novu stabilizaciju čini betonski valjak 50x100 cm.



# Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske



# Zajedničko izjednačenje (HGI1+HGI2+CG5) OGM RH

<i>Redni broj</i>	<i>Ime točke</i>	$\frac{g}{(10^{-8} ms^{-2})}$	$\frac{\sigma_g}{(10^{-8} ms^{-2})}$	<i>Redni broj</i>	<i>Ime točke</i>	$\frac{g}{(10^{-8} ms^{-2})}$	$\frac{\sigma_g}{(10^{-8} ms^{-2})}$
1	AGT02	980662197.68	4.05	20	GT118	980638658.49	5.53
2	AGT05E	980405858.65	6.43	21	GT119	980515770.73	4.41
3	GT101	980642697.60	6.58	22	GT120	980487479.20	5.34
4	GT102	980643337.19	4.75	23	GT121	980493324.29	3.87
5	GT103	980614513.86	5.67	24	GT122	980641504.35	4.56
6	GT104	980680880.78	4.91	25	GT123	980608514.34	4.40
7	GT105	980607271.83	4.07	26	GT124	980563258.60	5.77
8	GT106	980651267.41	4.30	27	GT125	980463871.01	5.07
9	GT107	980626161.68	3.60	28	GT126	980507857.07	6.01
10	GT108	980657764.61	4.77	29	GT127	980284232.84	5.86
11	GT109	980592754.73	4.95	30	GT128	980382303.02	5.85
12	GT110	980681950.73	4.64	31	GT129	980536643.25	6.78
13	GT111	980657206.31	4.47	32	GT130	980495214.93	6.07
14	GT112	980717625.49	4.03	33	GT131	980293476.44	5.87
15	GT113	980689236.41	3.77	34	GT132	980464919.38	6.08
16	GT114	980682624.60	4.42	35	GT133	980343083.63	5.78
17	GT115	980642143.26	4.57	36	GT134	980397883.85	5.53
18	GT116	980562128.52	5.85	37	GT135	980320171.80	5.18
19	GT117	980658383.31	3.80	38	GT136	980355811.00	5.79

# Primjer starog i novog položajnog opisa GT

SAVEZNA GEODETSKA UPRAVA Oček. uzorak 10

**Osnovna gravimetrijska mreža** Gravimet. tačka **31**

5. Republika Hrvatska  
 Srez Zagreb  
 Općina Sarmobor  
 Selo-grad Sv. Nedelja  
 Zv. mesni Sarmoborska petlja

Skica položaja tačke, prema karti 1:50000 *Sarmobor 2*

Tačku je obeležio/a Savezna geodetska uprava (oslanjaci)

Opis položaja tačke

Obeležavanje tačke

Područni presjek izgled obilježja

Napomena: Betonski stub dimenzija 60x60x100cm

Trigonometrijska sekcija državnog koordinatnog sistema

Lid karti 1:25 000 prema međunarodnoj podjeli

**K o o r d i n a t e**

Gauss-Krigovalc k.	X =	Y =
Geografske k.	λ =	φ =
Apсолutna visina	H =	h =

Popravlke

Uzeto iz	Uzeto iz	Uzeto iz	Uzeto iz	Uzeto iz	Uzeto iz	Uzeto iz
1	2	3	4	5	6	7

Topografska popravka je određena

Normalna vrednost ubrzanja sile teže  $T_0 =$

Prethodne apsolutne vrednosti ubrzanja sile teže

Uzeto iz	m gal	Datum odred.	Uzeto iz	m gal
1	2	3	4	5

REPUBLIKA HRVATSKA

**PODACI O GRAVIMETRIJSKOJ TOČKI**

Zemlja	ZAGREBAČKA	TK 50	Ime tačke	Red	Broj G.T.
Naselje - grad	SAMOBOR				
Mesni	SVETA NEDJELJA	ZAGREB 2	SVETA NEDJELJA	1	GT117
Trulova	SAMOBORSKA PETLJA				

Kopija karte M 1:50000

**KOORDINATE**

HR 1901 (Bessel)

$\varphi = 45^{\circ}48'02,2575''$   
 $\lambda = 15^{\circ}46'51,4943''$   
 $H = 129,57$  m

Grav datum: IGSN71  
 Godina mj.: 2003

$g = 980658,39120 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-2}$

Detaljna skica položaja tačke

**GRAVIMETRIJSKI DATUM: POTSDAM**

Godina izmjene gravimeta	Tip gravimeta	Vrijednosti izmjene
1967	W-63	$\delta = 980673,27 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-2}$ $g^* = 10^{-3} \text{ ms}^{-2}$ $g^* = 10^{-3} \text{ ms}^{-2}$

**VEZA NA NIVELMAN**

Dr. veka:  Riser:

**PRIMJEDBE:**

- vrijednost  $g$  s.t. su određeni na visini tačke izmjene obavljeno u 06. i 08. rujnu 2003 god. sa 2 sistemima gravimetra HGI-1 i HGI-2, tipa Scintrex CG-3M
- opisat: mr. sc. Darko Markovinović

Stabilizacija

Signalizacija

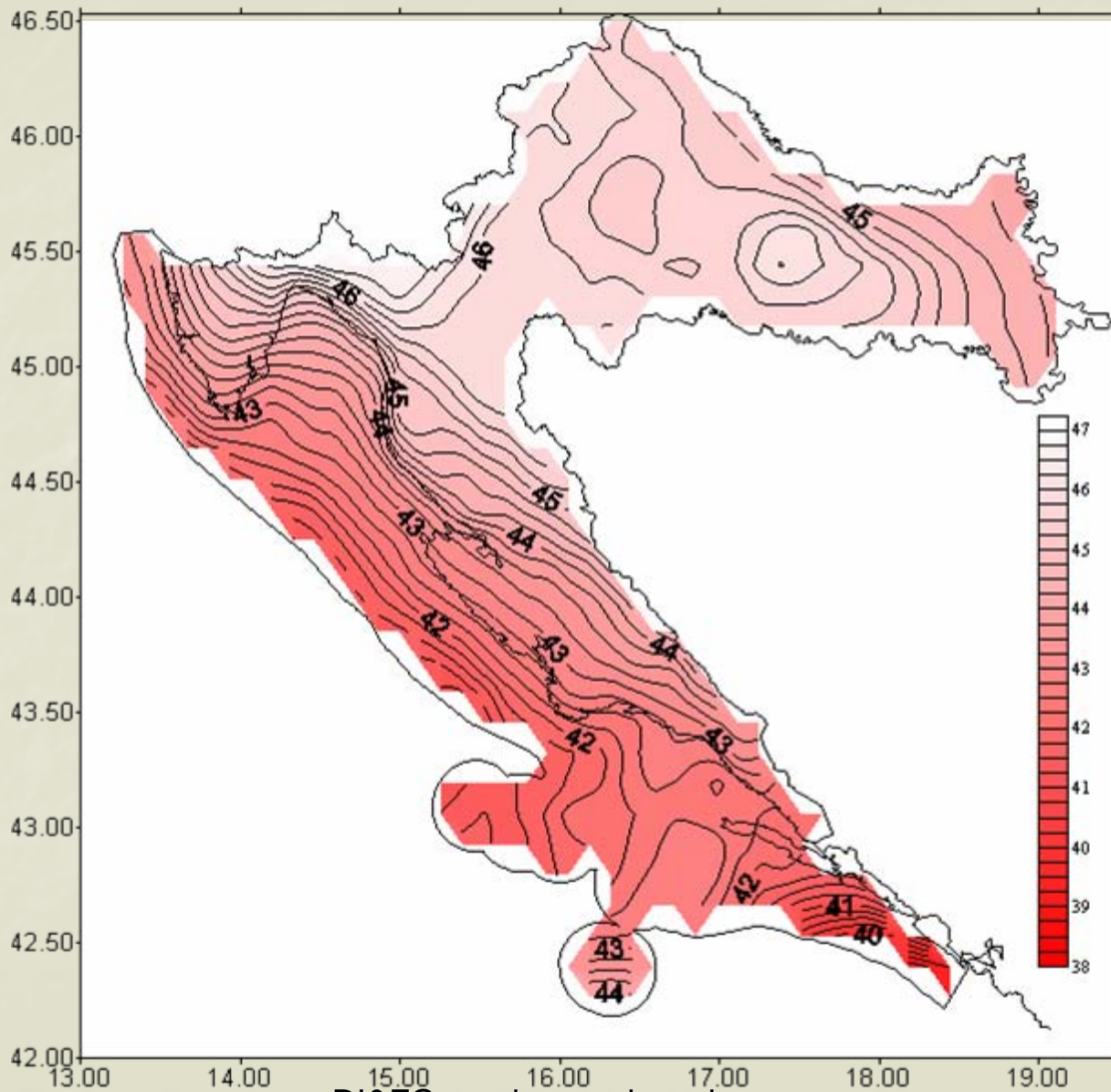
Postavio: A. Pankov  
 Opis izradio: Darko Markovinović

- položajne koordinate očitane s karte M 1 : 50 000
- visina tačke preuzeta iz starog položajnog opisa

# Istraživanja Zemljinog polja ubrzanja sile teže:

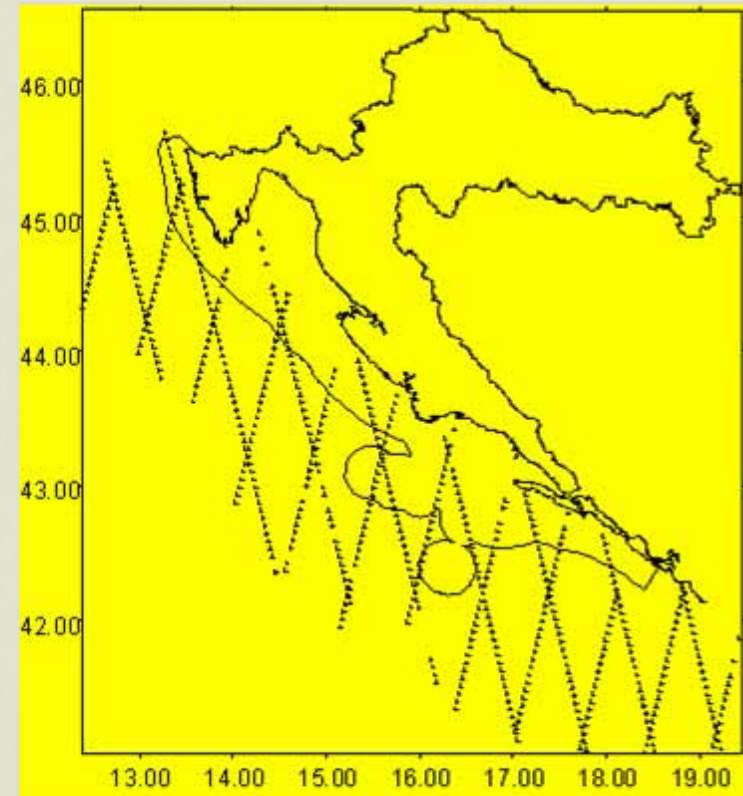
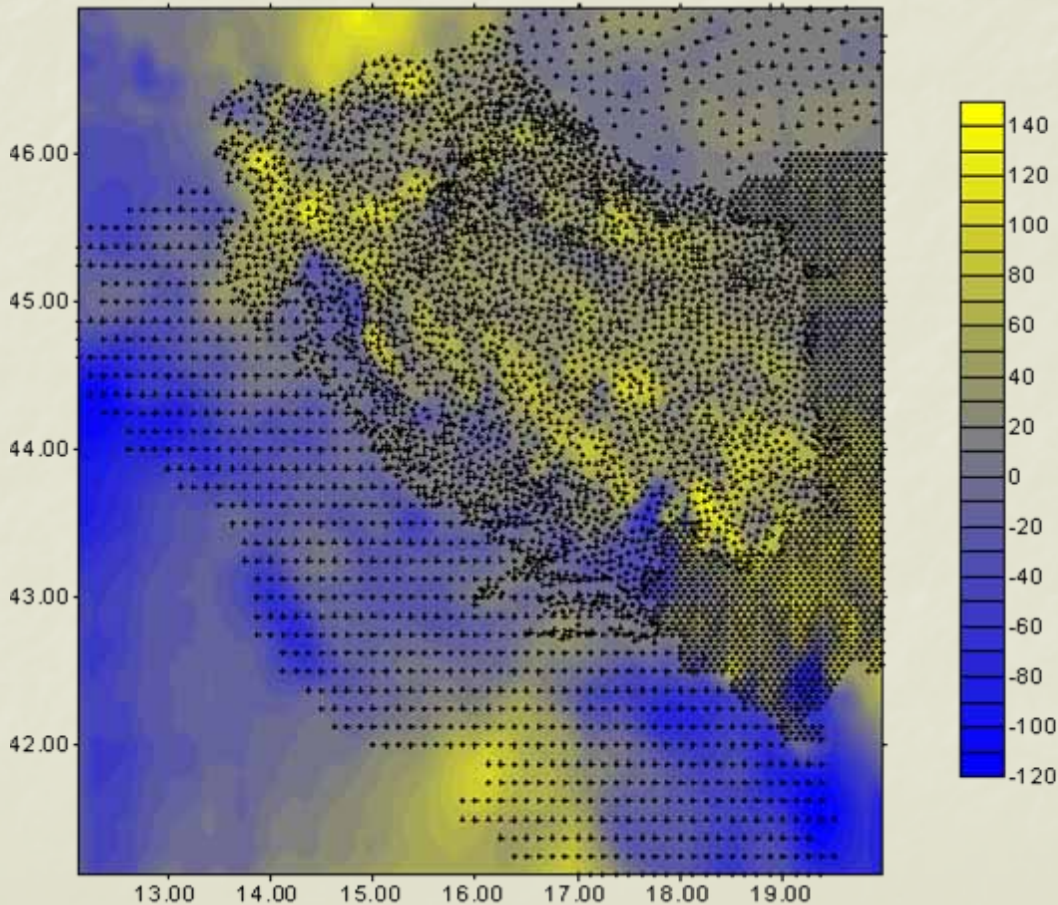
- Muminagić (1971): Astrogeodetski geoid ex-Jugoslavije
- Čolić i dr. (1992): Astrogeodetski geoid sjeverozapadne Hrvatske
- Bašić i Čolić (1993): Prvi gravimetrijski geoid RH (FFT)
- Bašić, Brkić, Sünkel (1998): HRG98 (EGS, Nica)
- Bašić, Brkić (1998): HRG98A (IGC&IGeC, Trst)
- Bašić (2001): HRG2000 službeni geoid RH (DGU, Zagreb)

# HRG98



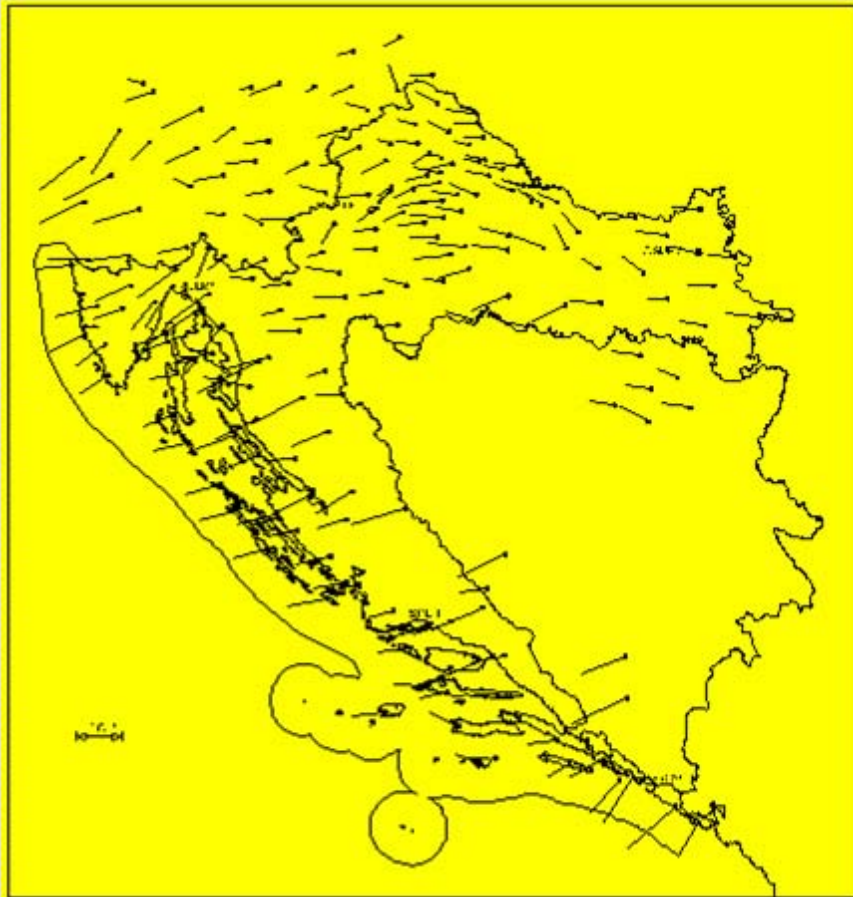
## Gravimetrijske točke i anomalije

## ERS-2, ciklus 10 satelitska altimetrija na Jadranu

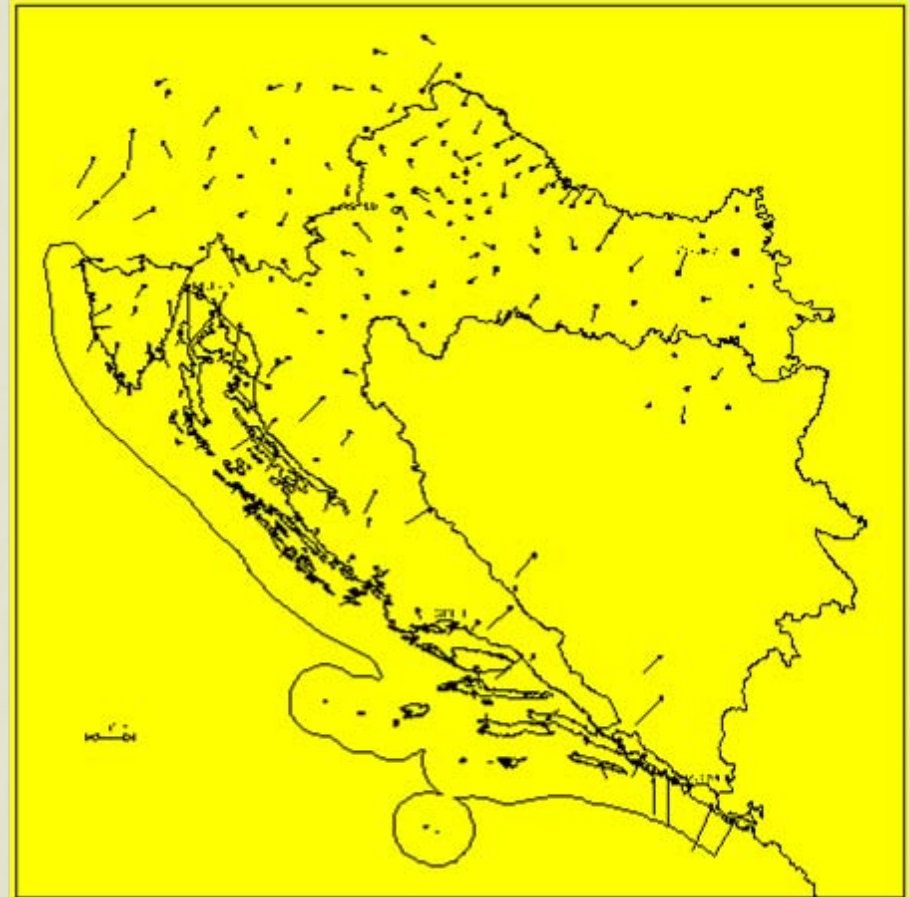




## Vektori odklona vertikalne (200)



Bessel



GRS80

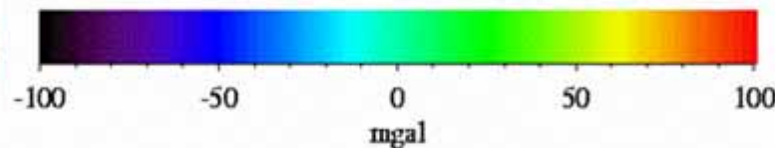
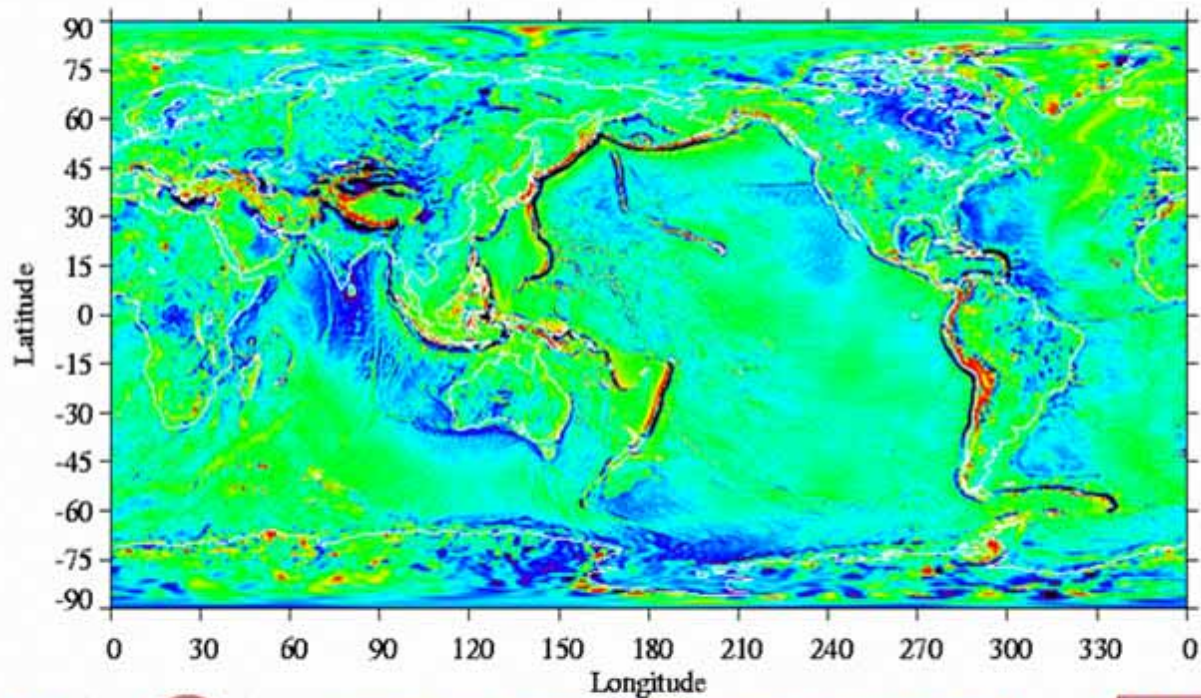
**DETALJNI MODEL GEOIDA**  
**REPUBLIKE HRVATSKE**  
**- H R G 2 0 0 0 -**

Tomislav Bašić  
Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet  
Zavod za geomatiku

**DGU, Javna prezentacija, Zagreb, 18. rujna 2001.**

# Globalni EGM96 geopotencijalni model

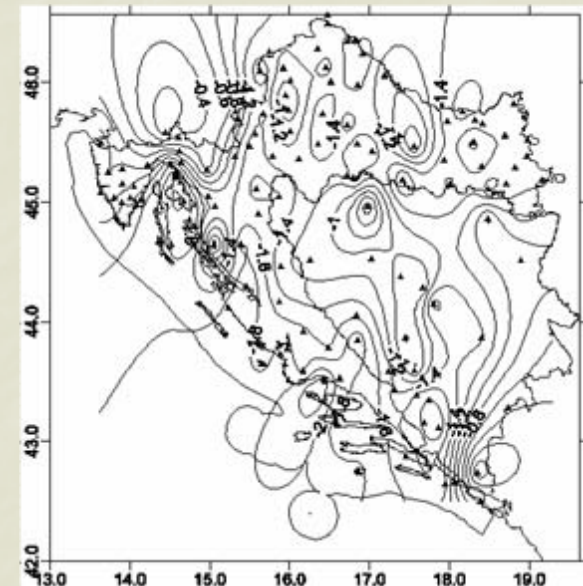
30' Mean Gravity Anomalies: EGM96 (Nmax=360)



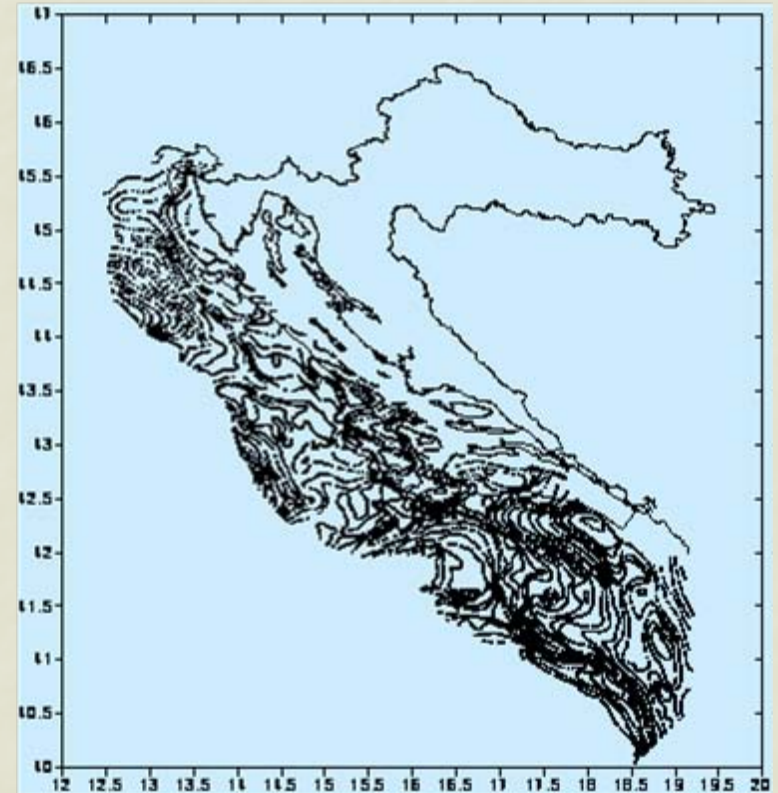
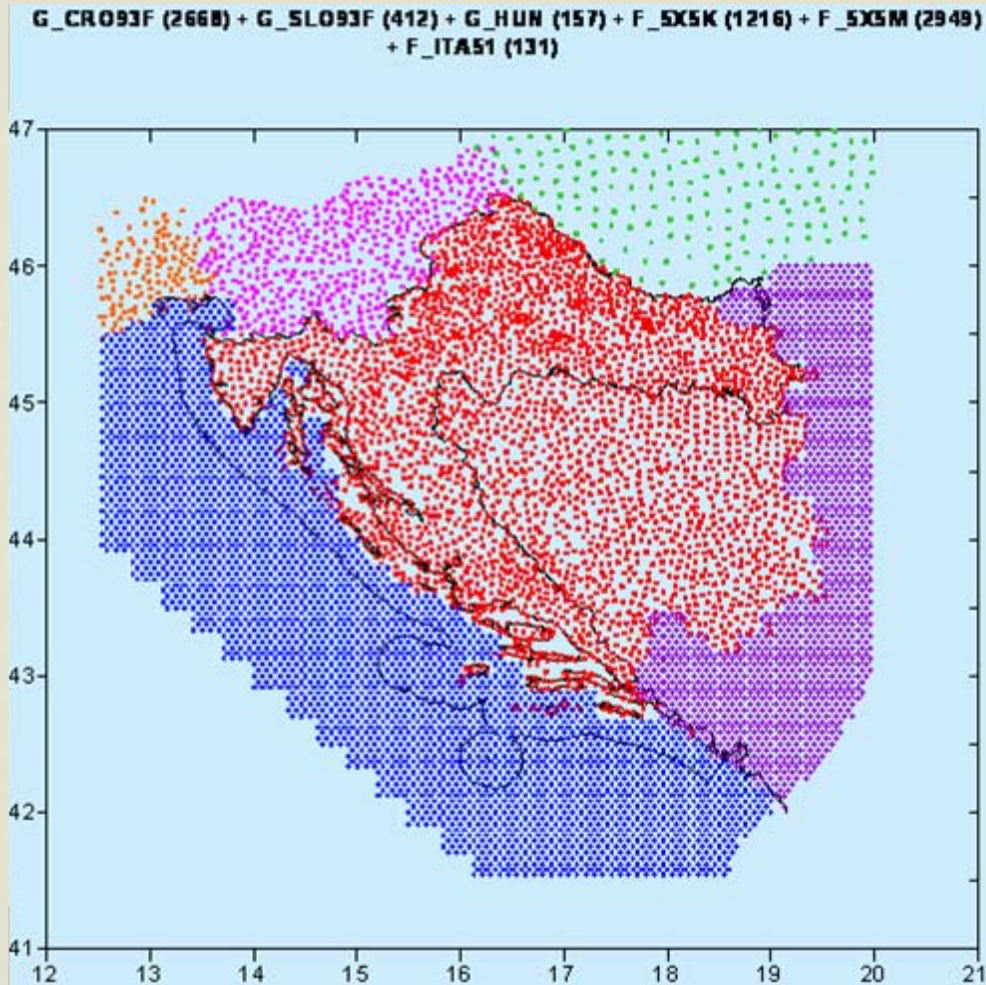
## Differences between GPS/leveling and different EGM geoid undulations (121 points, in m)

Model	Min	Max	Mean	St. Dev.
EGM96	-2.43	0.21	-1.33	0.44
GFZ97	-2.44	0.22	-1.21	0.47
OSU91A	-4.43	2.07	-0.62	1.16
IFE88E2	-3.42	1.41	-0.55	0.93
GFZ93A	-2.97	1.74	-0.62	0.85
GFZ93B	-3.08	1.67	-0.69	0.85
GPM2	-4.45	2.08	-0.80	1.47
GRIM4	-3.37	2.28	-0.53	1.14
GEM-T3	-4.21	0.76	-1.65	1.11
JGM-1S	-3.85	1.07	-1.99	1.00

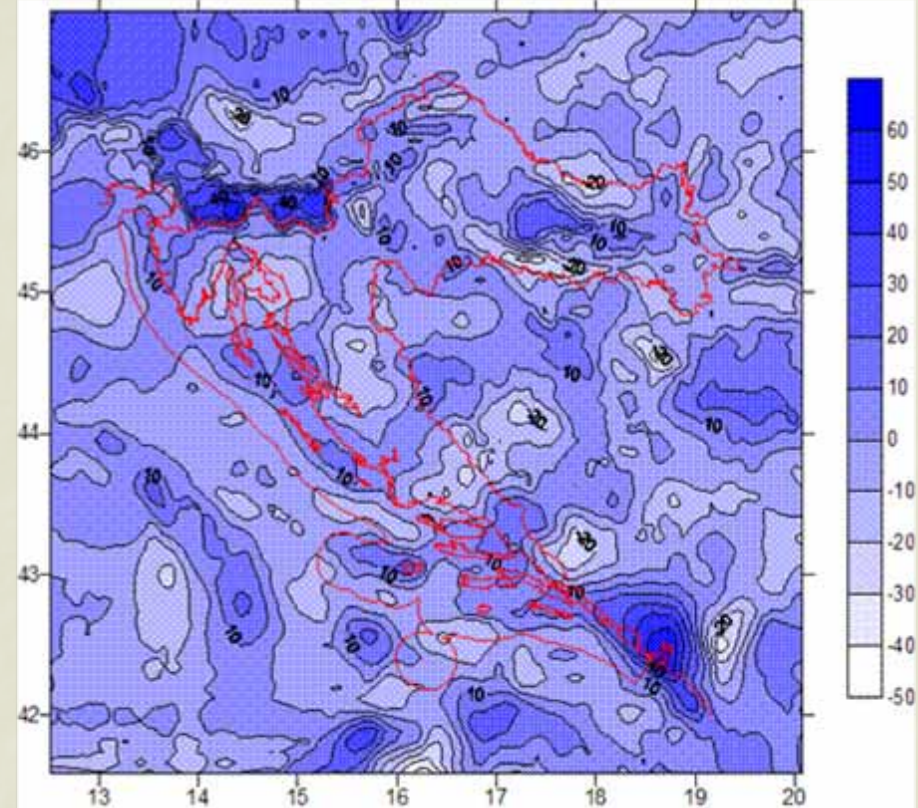
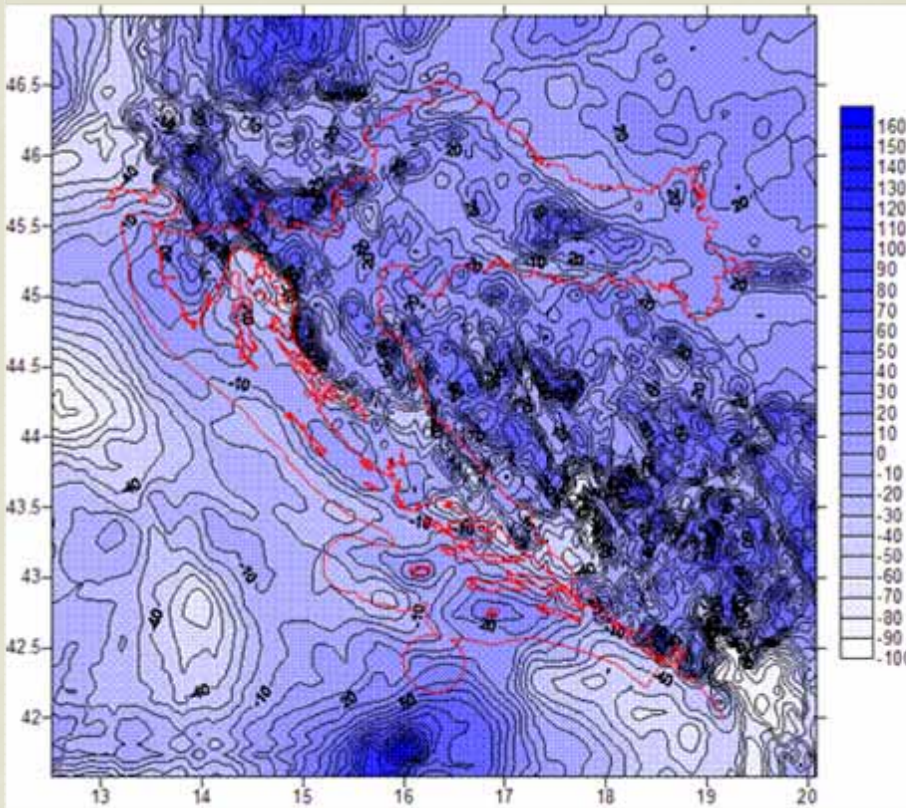
GPS/lev.-EGM96



# Gravity data base used (~7500)

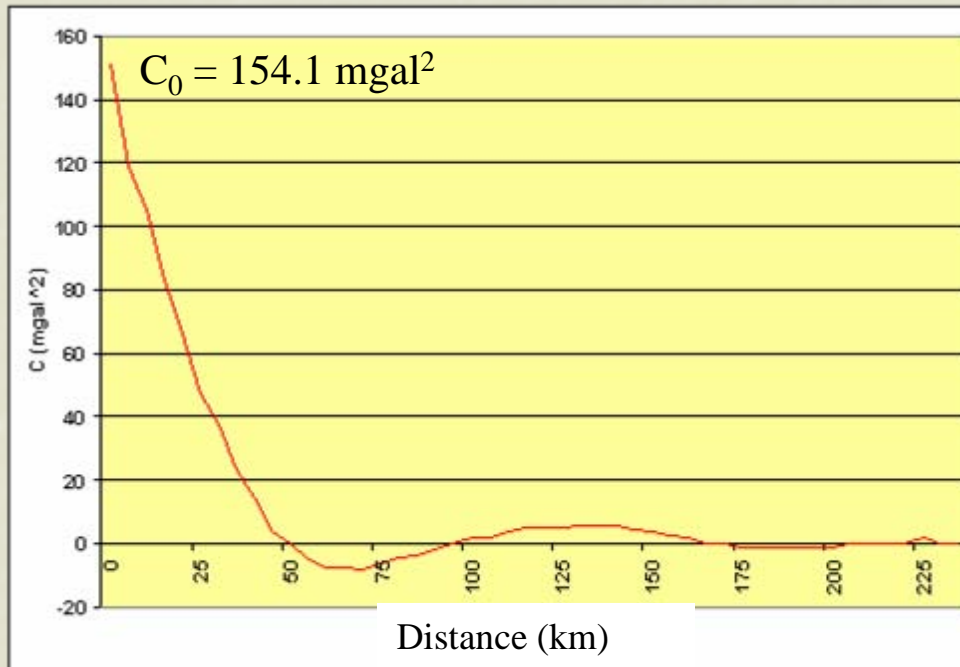


# Free-air gravity anomalies and their residuals ( $10^{-5}\text{ms}^{-2}$ )



	$\Delta g_{\text{OBS}}$	$\Delta g_{\text{EGM96}}$	$\Delta g_{\text{RTM}}$	$\Delta g_{\text{RES}}$
Mean	8.70	14.27	-6.04	0.47
St.Dev.	34.53	29.15	20.21	12.40
Min	-103.07	-95.59	-119.35	-47.04
Max	180.14	109.33	106.80	64.31

# LSC, empirical covariance function



Reduced observations (restore):

$$x_i = L_i(T) - L_i(T_{EGM}) - L_i(T_{RTM}) + n_i \quad (1)$$

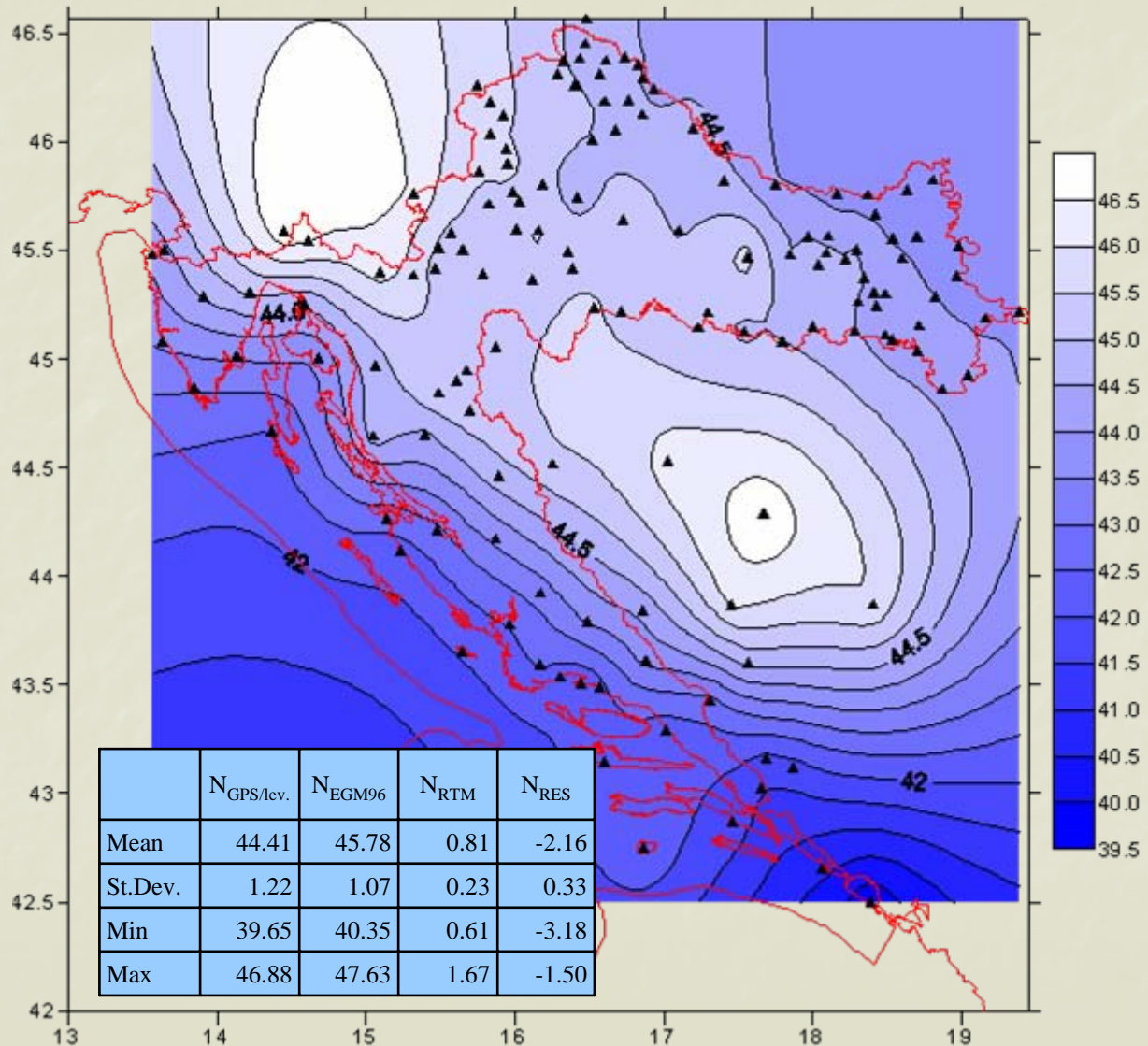
LSC determines approximation:

$$\tilde{T}'(P) = C_P^T (C + D)^{-1} \mathbf{x} \quad (2)$$

Results (restore):

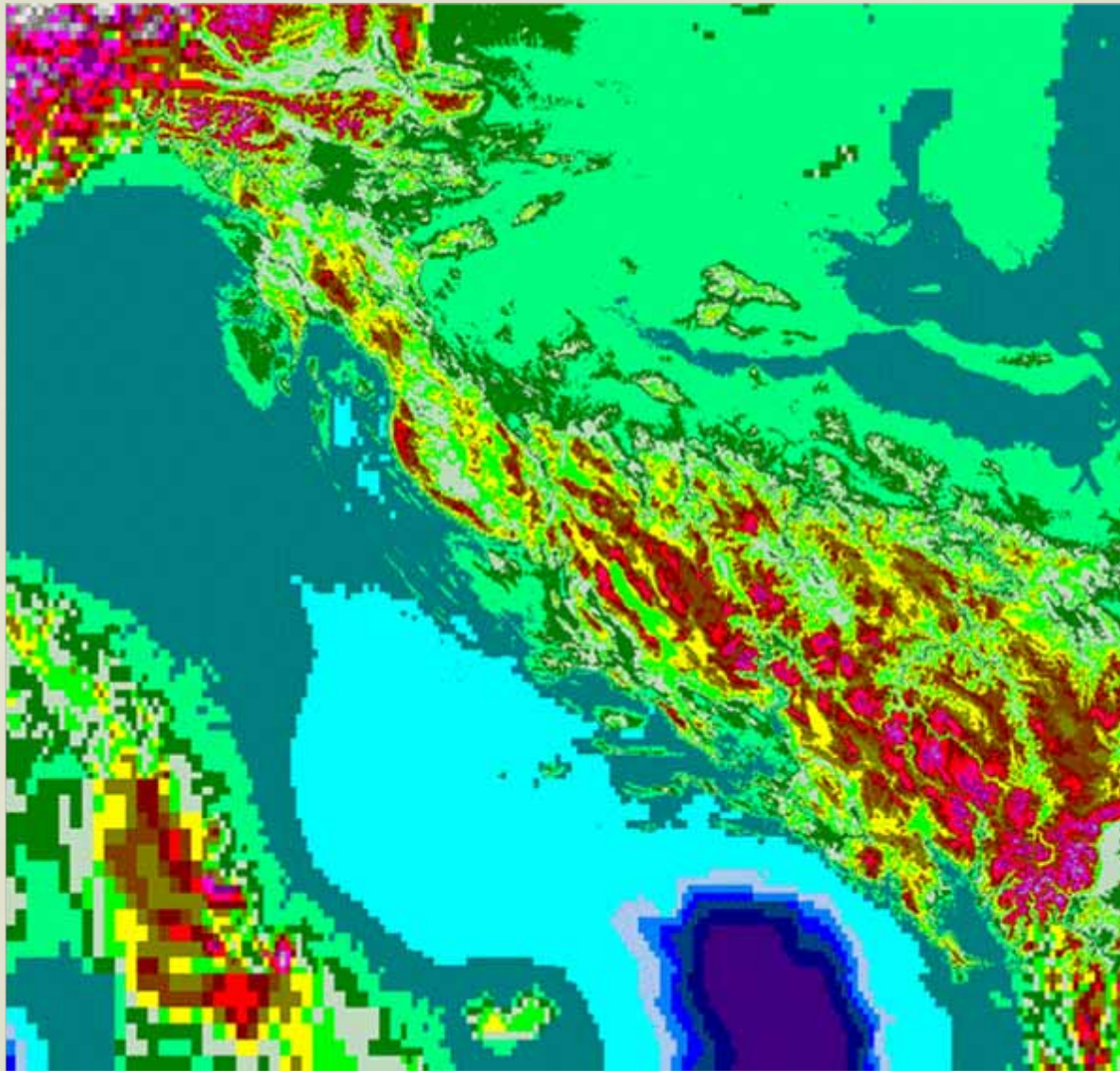
$$L_j(\tilde{T}) = L_j(\tilde{T}') + L_j(T_{EGM}) + L_j(T_{RTM}) \quad (3)$$

# GPS/leveling points (138)

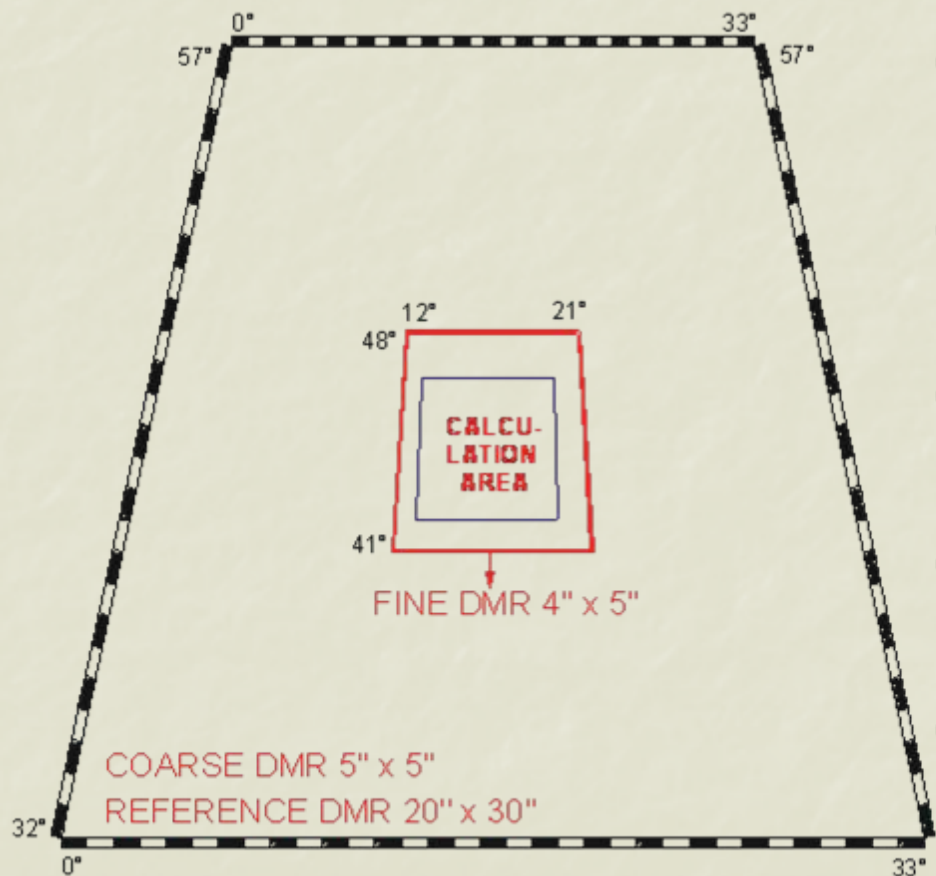




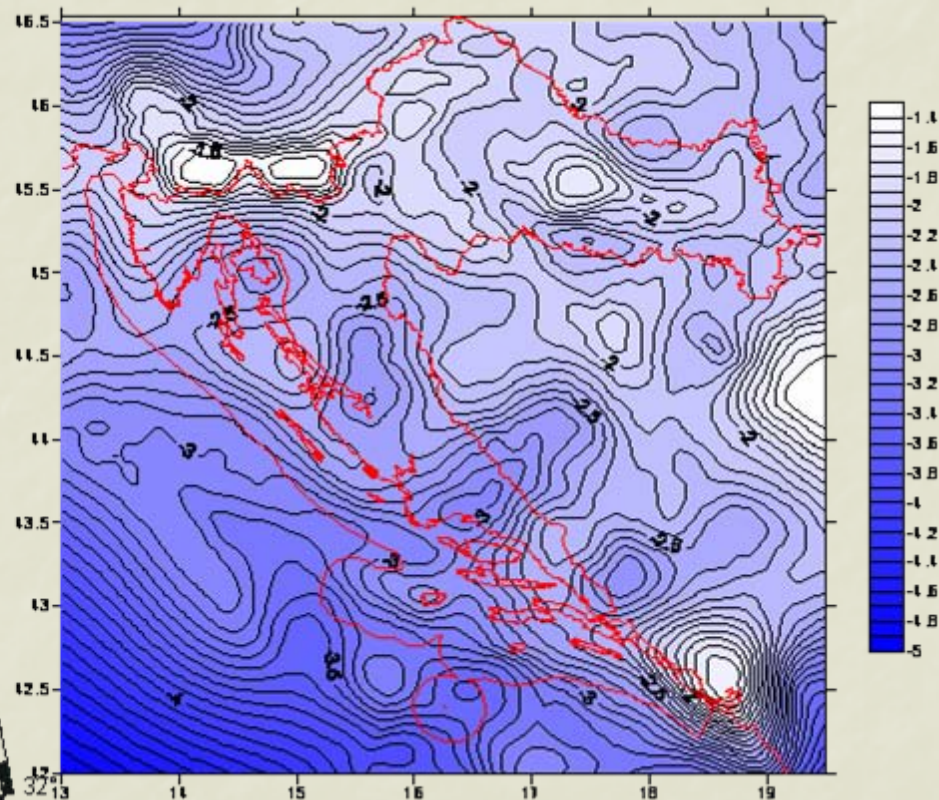
## Fine 4"x5" DTM



## Integration area

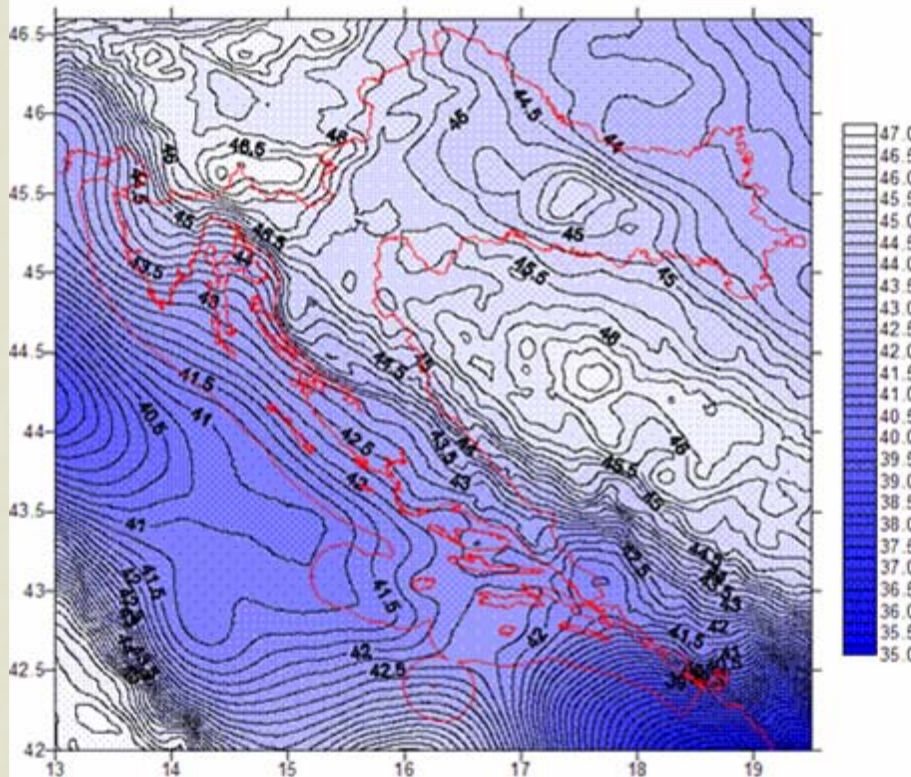


## Predicted geoid residuals (m)

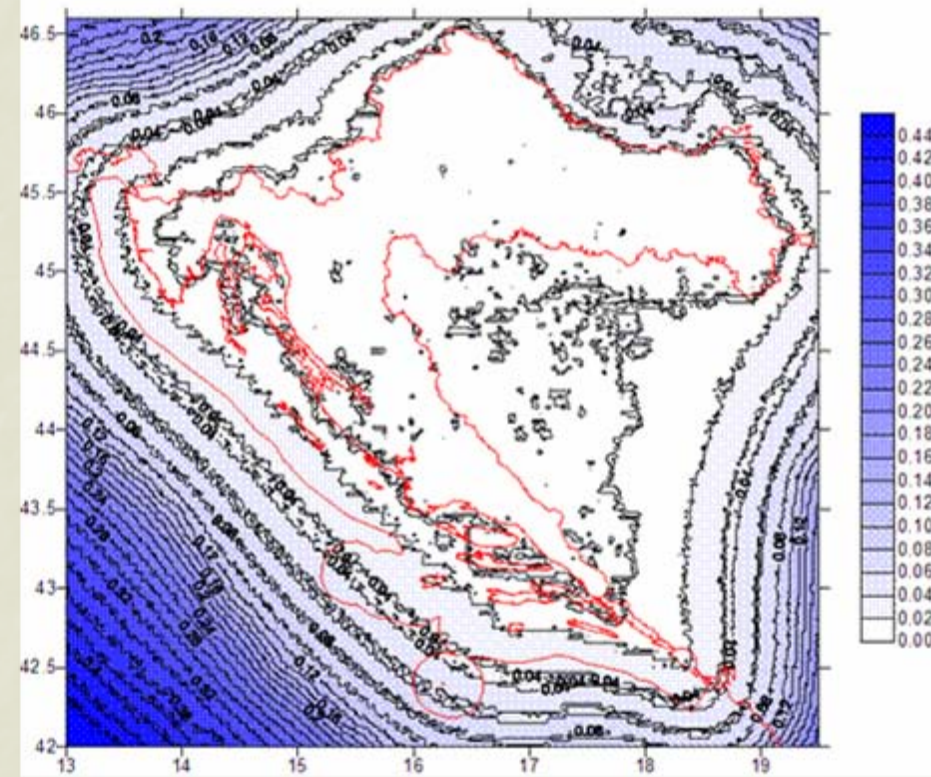


# Restored HRG2000 geoid surface (m)

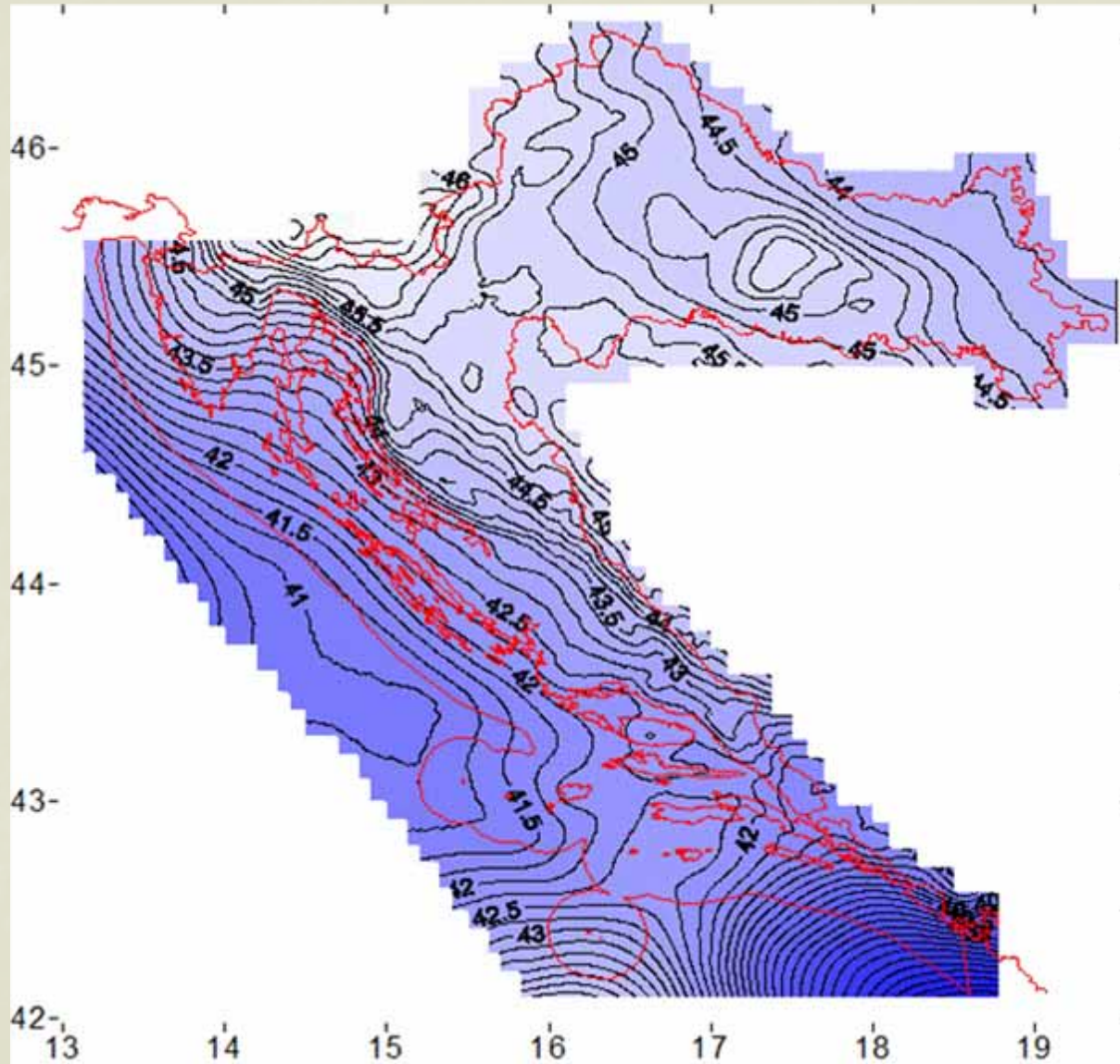
HRG2000 geoid u 60"x90" rasteru (72297)



Točnost HRG2000 geoida u 60"x90" rasteru (72297)



## Selected HRG2000 geoid surface (m)



# Program za interpolaciju: IHRG2000

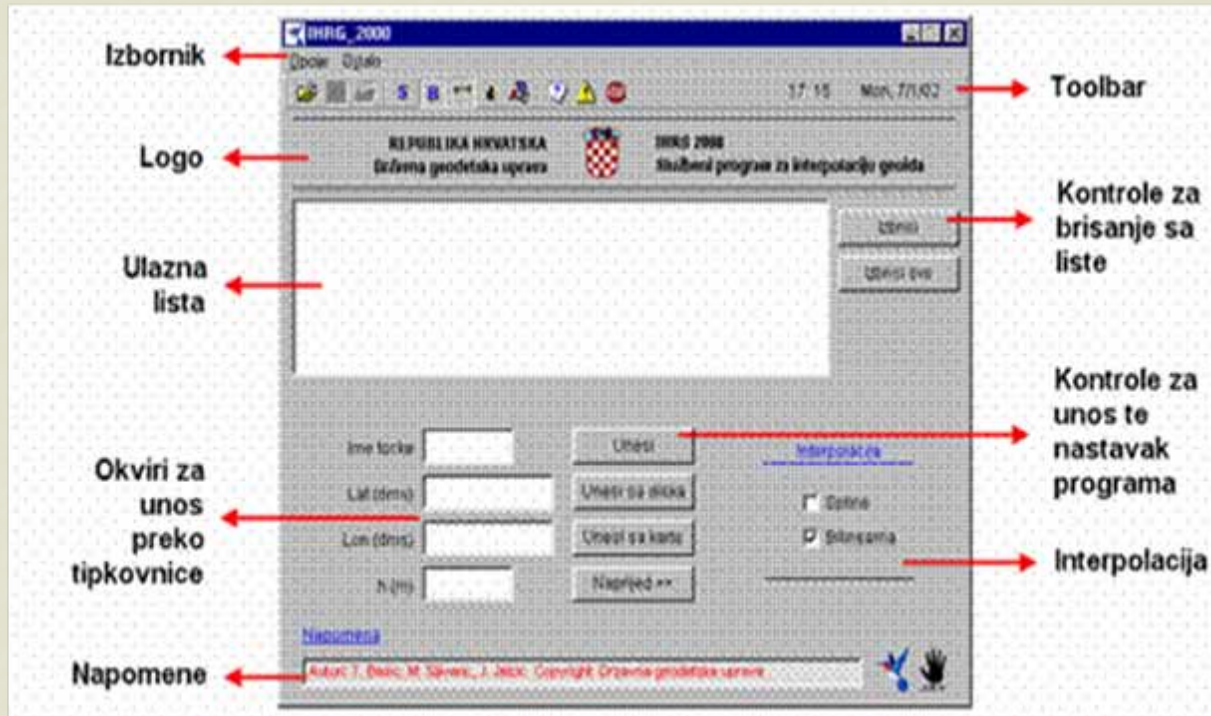
Increasing number of GPS-technology users.

The basic purpose of the program:

- interpolation of HRG2000 geoid
- presentation of the results on screen
- storage of the results on a disc and print out

The licensing system of the program by the State Geodetic Administration provides the uniqueness and official character for this computer program, as well as for the data processed and realized using this program.

# IHRG2000: Initial form and input



The most important input:

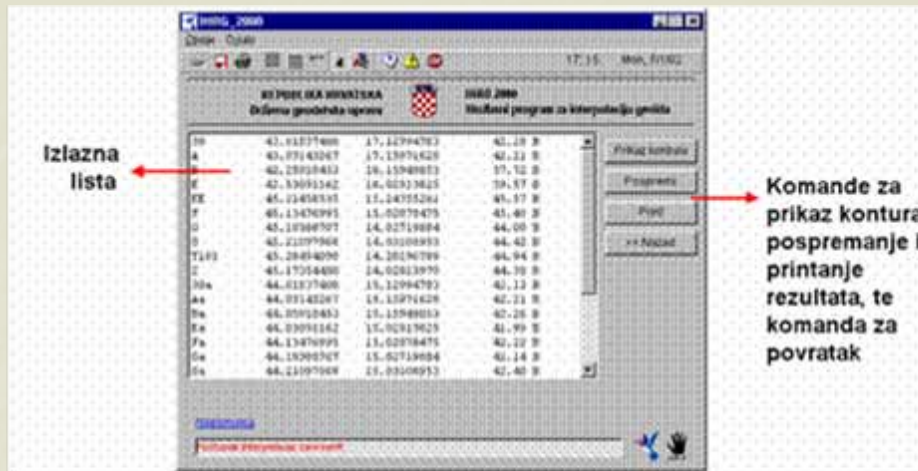
latitude and longitude in DEG or DMS

3 ways entering:

by keyboard, from disc, and from a map.

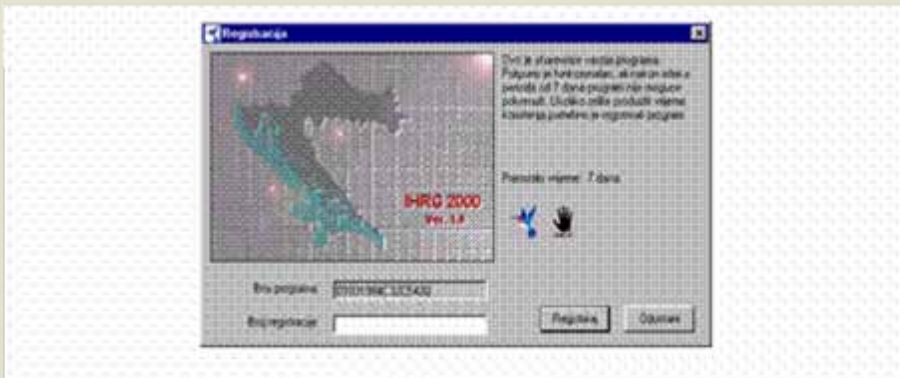
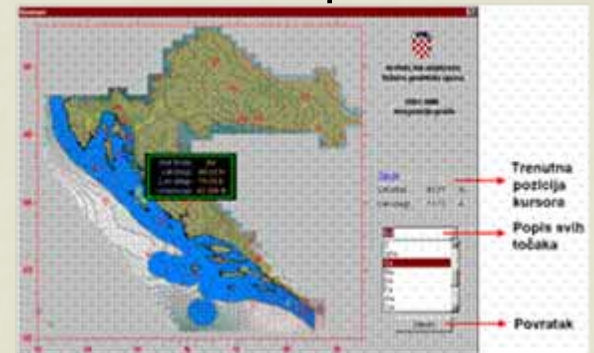


# IHRG2000: Output and licensing



The results can be:  
 saved onto the disc or some other medium  
 printed as output list  
 seen on contour presentation

## IHRG2000



A user sends 'Serial number' by electronic mail to the SGA and receives back the "Registration number" (evaluation term is one week).

# New Croatian Datums:

- **Positional Datum (3D):** ETRS89 with the realization EUREF 94-95-96 (combined solution; Marjanović & Bačić 2001), HTRS96
- **HRG2000** geoid is a part of this datum
- **Transformation:** global parameters published (Tromso Proceedings), ...
- **Vertical Datum:** MSL defined through 5 tide gauges at the Adriatic Sea, HVRS71
- **Map projection:** Gauss-Krüger 1 zone (large scale) and Lambert conformal conical (small scale)
- **Gravimetric Datum:** IGSN71, based on absolute gravimetry

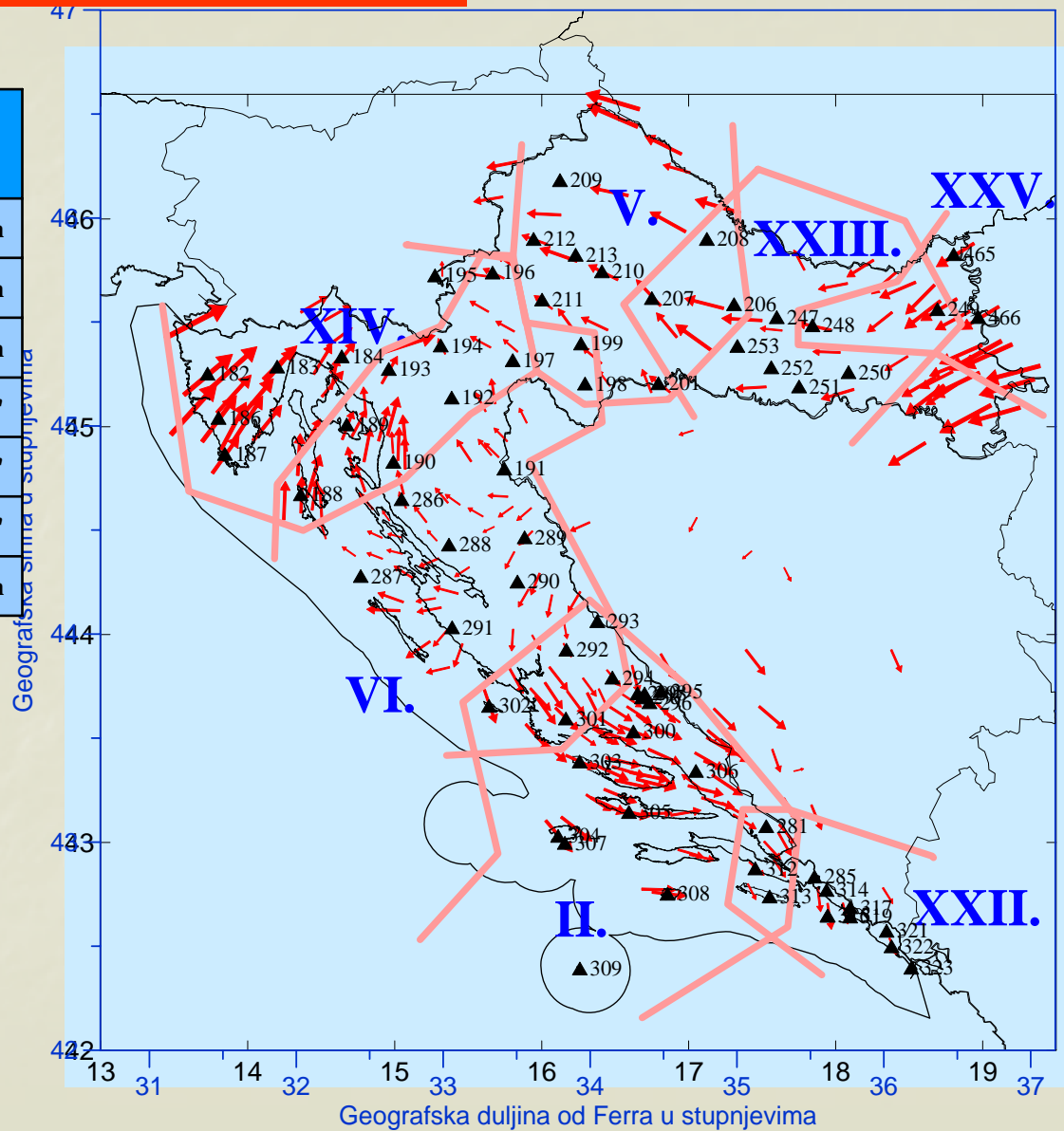


# T7 (Dat\_ABMO)

<b>N=241</b>	<b>Transformacijski parametri (HRG2000)</b>	<b>Ocjena točnosti (<math>m_0=0.83</math> m)</b>
Translacija: Tx	- 550.5670 m	$\pm 2.89$ m
Ty	- 164.6118 m	$\pm 3.11$ m
Tz	- 474.1386 m	$\pm 2.77$ m
Rotacija: Rx	5.976766 "	$\pm 0.088$ "
Ry	2.099773 "	$\pm 0.105$ "
Rz	- 11.495481 "	$\pm 0.091$ "
Mjerilo: $\mu$	5.447925 ppm	$\pm 0.353$ ppm

## Dat\_ABMO

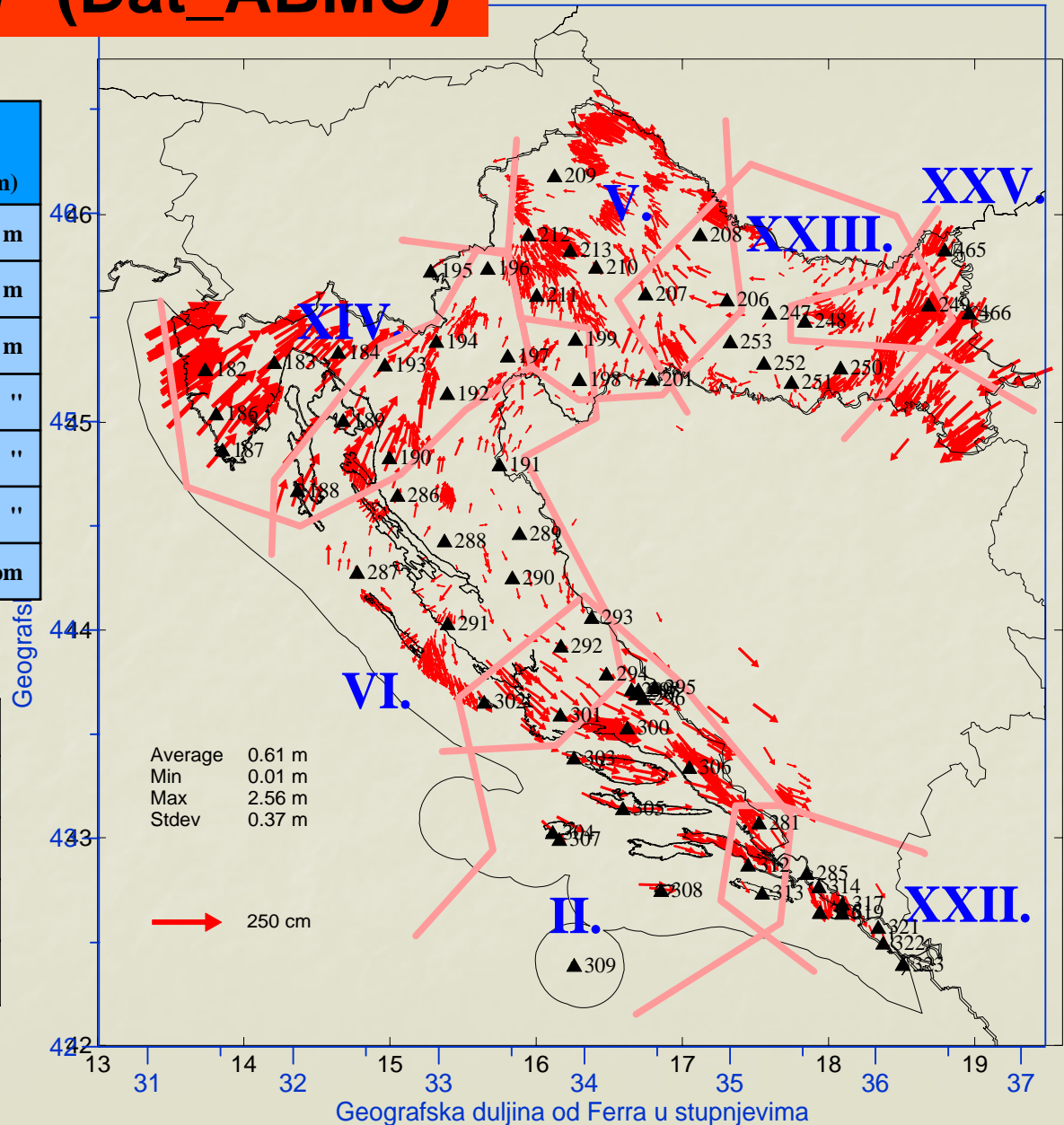
Točnost (rms): po $\varphi$	$\pm 0.50$ m
po $\lambda$	$\pm 0.62$ m
po h	$\pm 0.21$ m
Horizontalno (2D)	$\pm 0.79$ m
Trodimenzionalno (3D)	$\pm 0.82$ m



# T7 (Dat\_ABMO)

<b>N=1780</b>	<b>Transformacijski parametri (HRG2000)</b>	<b>Ocjena točnosti (<math>m_0=0.74</math> m)</b>
<b>Translacija: Tx</b>	- 550.4985 m	$\pm 0.91$ m
<b>Ty</b>	- 164.1161 m	$\pm 1.15$ m
<b>Tz</b>	- 475.1416 m	$\pm 0.89$ m
<b>Rotacija: Rx</b>	5.809672 "	$\pm 0.032$ "
<b>Ry</b>	2.079016 "	$\pm 0.032$ "
<b>Rz</b>	- 11.623857 "	$\pm 0.032$ "
<b>Mjerilo: <math>\mu</math></b>	5.541764 ppm	$\pm 0.120$ ppm

<b>Točnost (rms): po <math>\varphi</math></b>	$\pm 0.49$ m
<b>po <math>\lambda</math></b>	$\pm 0.52$ m
<b>po h</b>	$\pm 0.20$ m
<b>Horizontalno (2D)</b>	$\pm 0.71$ m
<b>Trodimensionalno (3D)</b>	$\pm 0.74$ m

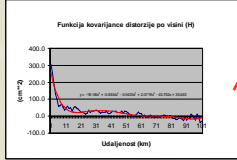
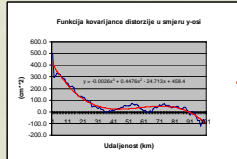
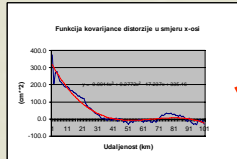


<b>Translacija: Tx</b>	- 550.4985 m
<b>Ty</b>	- 164.1161 m
<b>Tz</b>	- 475.1416 m
<b>Rotacija: Rx</b>	5.809672 "
<b>Ry</b>	2.079016 "
<b>Rz</b>	- 11.623857 "
<b>Mjerilo: <math>\mu</math></b>	5.541764 ppm

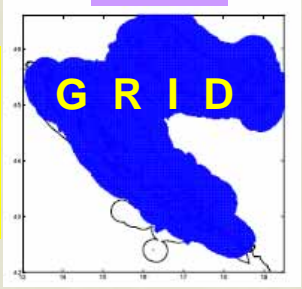
**T7D**

**T7**

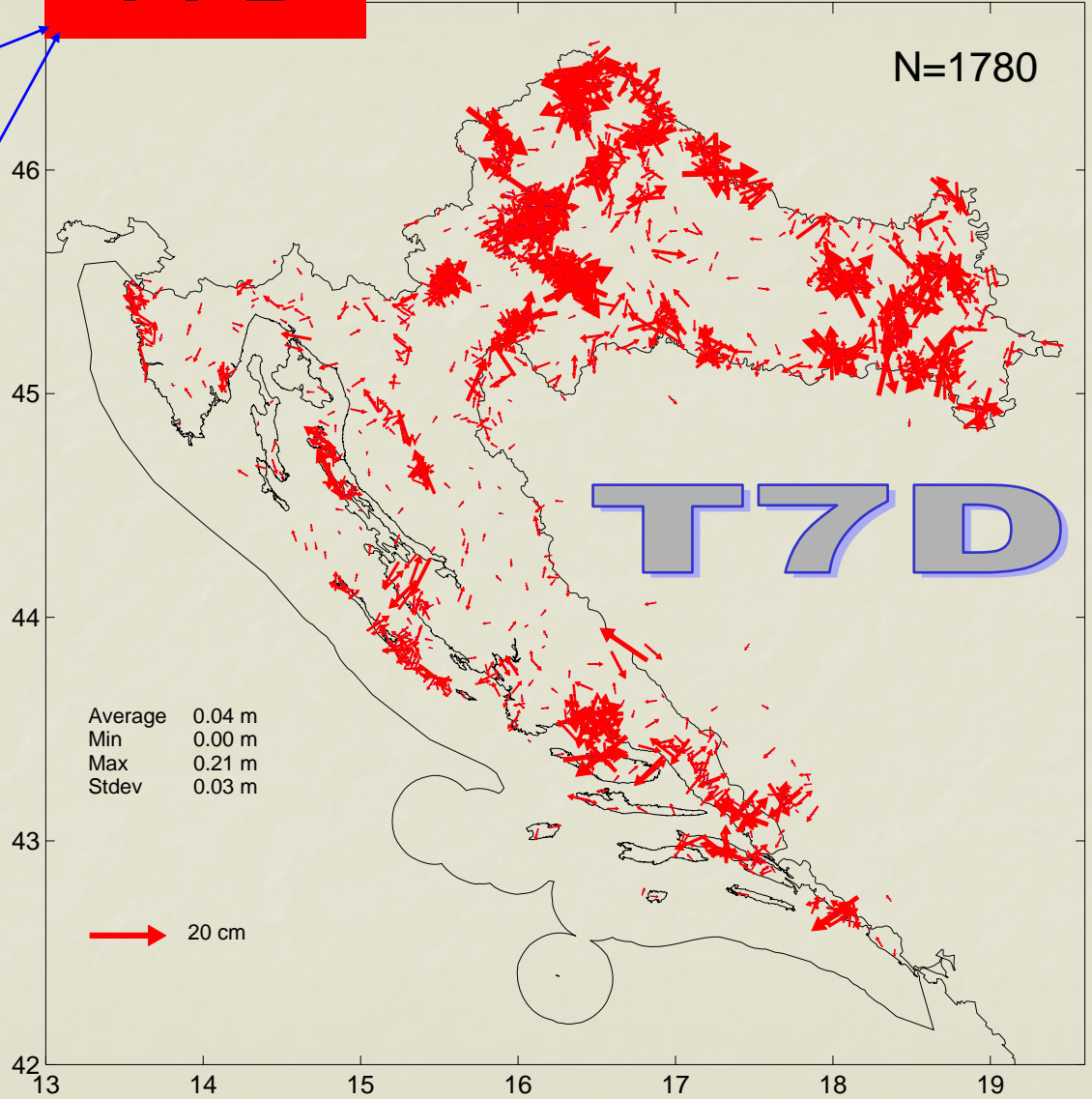
**D**



**L  
S  
C**



<b>Točnost (rms): po <math>\phi</math></b>	<b><math>\pm 3.5</math> cm</b>
<b>po <math>\lambda</math></b>	<b><math>\pm 3.5</math> cm</b>
<b>po h</b>	<b><math>\pm 5.0</math> cm</b>
<b>Horizontalno (2D)</b>	<b><math>\pm 5.0</math> cm</b>
<b>Trodimenzionalno (3D)</b>	<b><math>\pm 7.1</math> cm</b>



Average 0.04 m  
Min 0.00 m  
Max 0.21 m  
Stdev 0.03 m

→ 20 cm

# S u t r a :

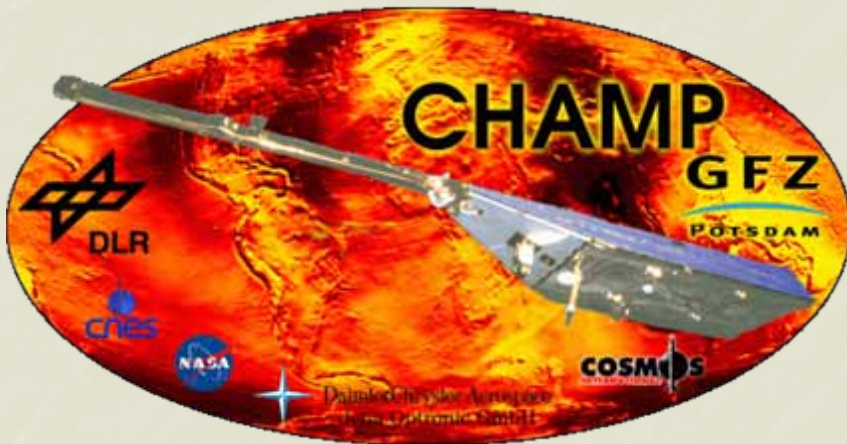
# Towards new geoid solution (HRG2006?)

In 2004 the work was continued with following efforts:

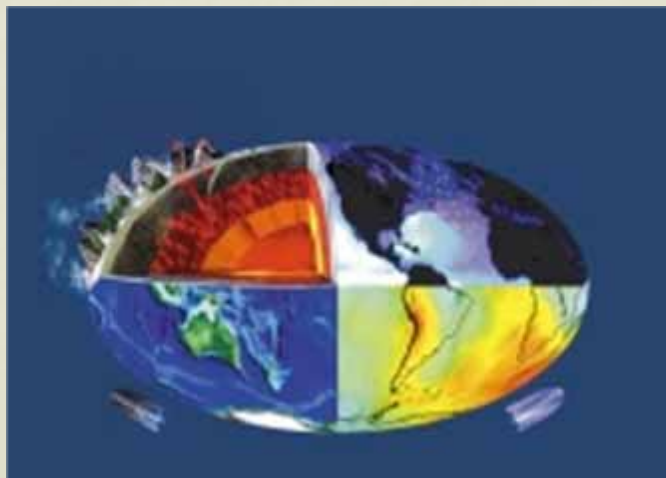
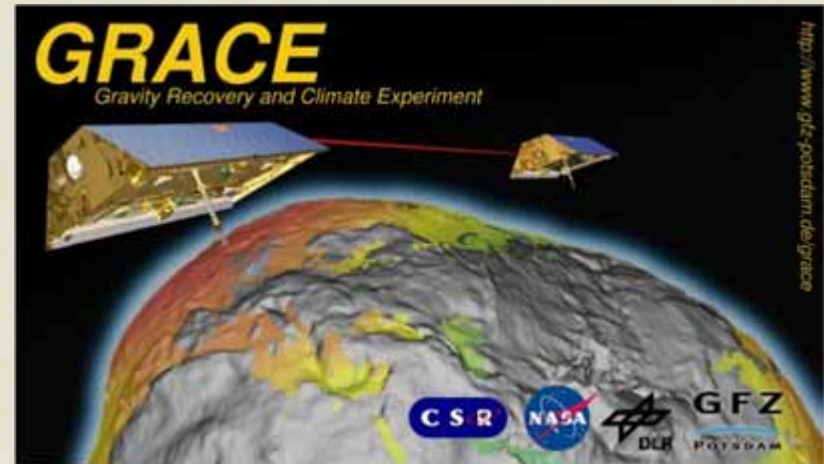
- the analysis of CHAMP and GRACE geoid solutions,
- DTM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) was used for computing topographic effects,
- new basic Gravimetric Network was established
- the situation in collecting of the new gravity data has been significantly improved,
- first quality control of new data has been made.

# Nove svemirske misije

## The CHAMP Mission CHALLENGING Minisatellite Payload (2000)

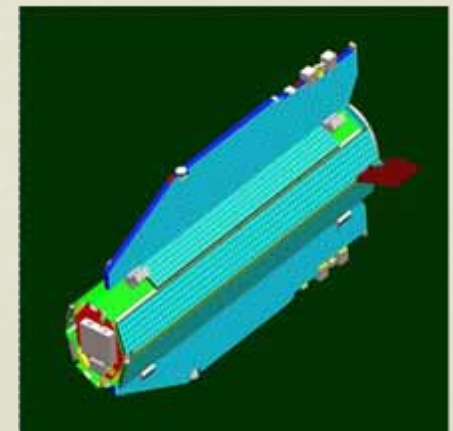


## The GRACE Mission Gravity Recovery And Climate Experiment (2002)

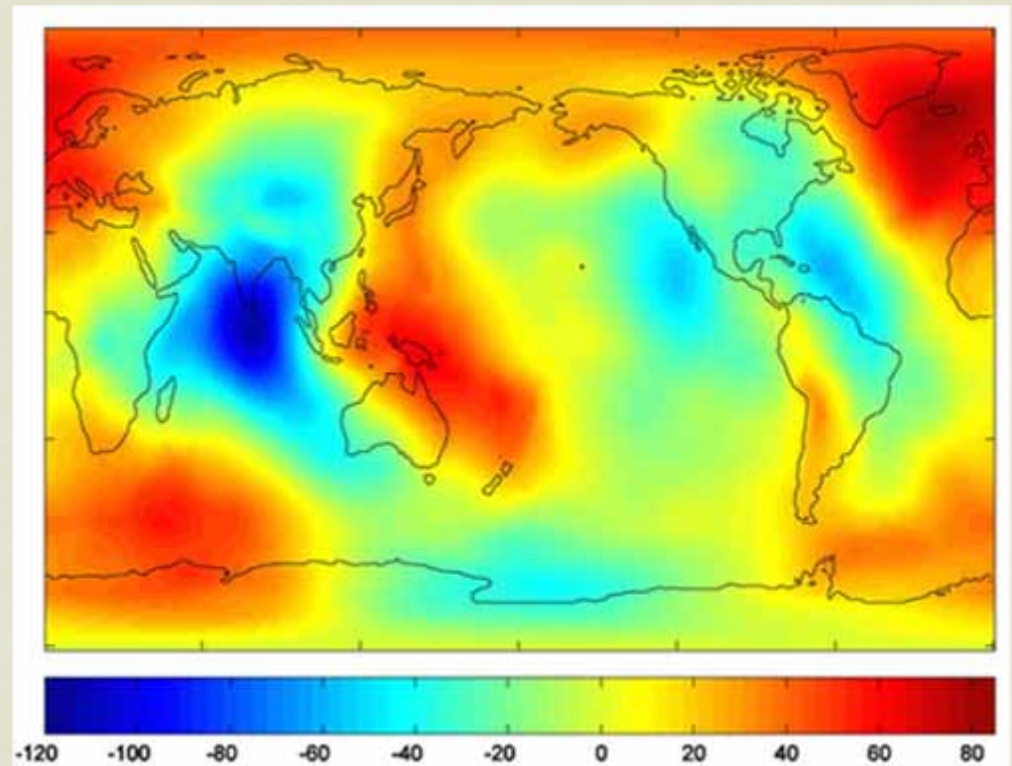
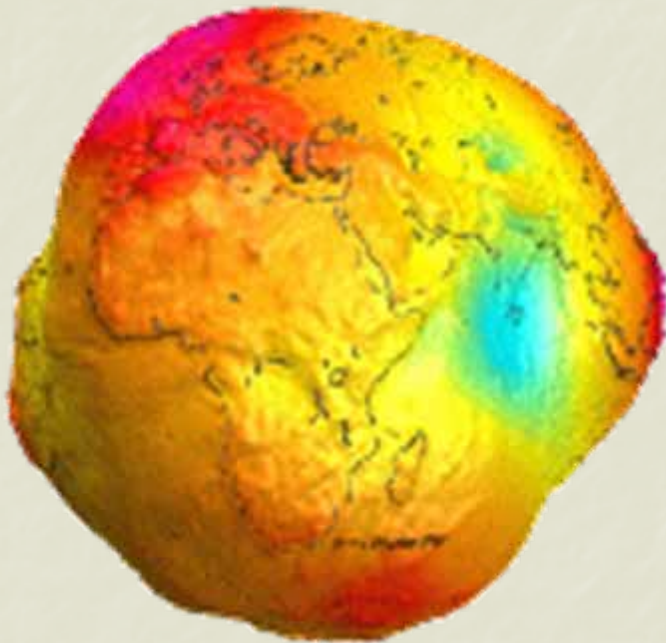


## The GOCE Mission Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (2006)

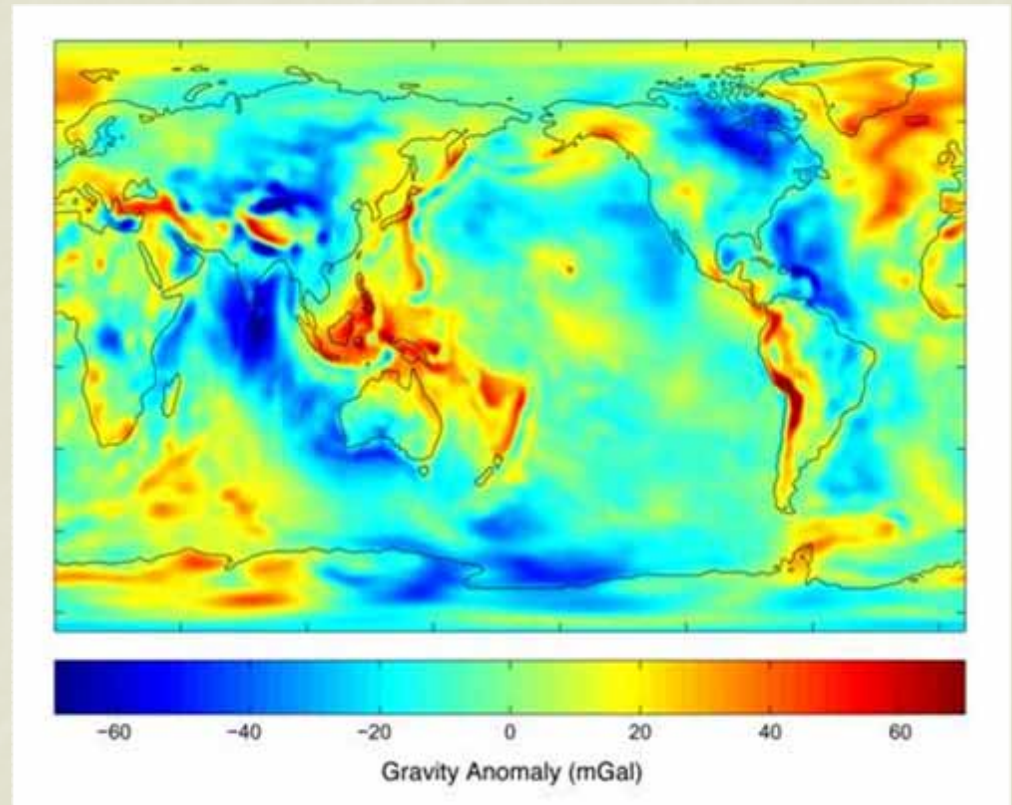
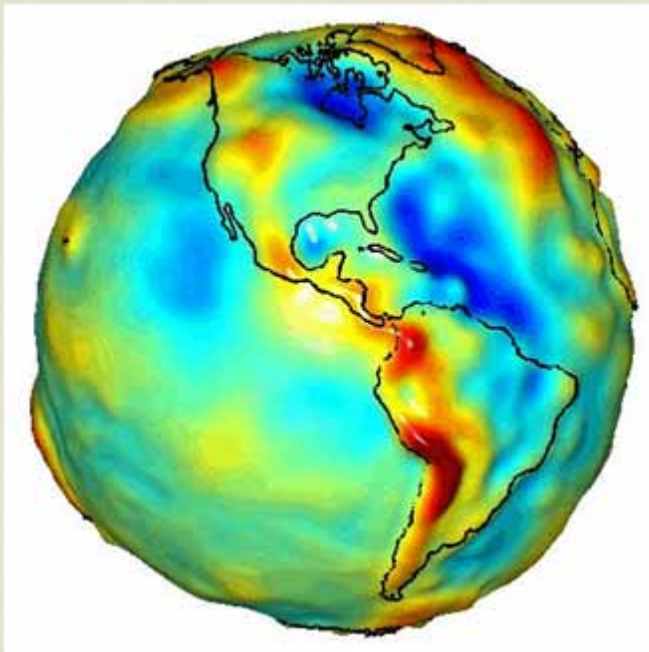
**Mission objectives**  
To determine the gravity-field anomalies  
with an accuracy of 1 mGal  
and the geoid of 1-2 cm.  
To achieve the above at a spatial resolution  
better than 100 km.



## EIGEN GRACE CG03C geoid model (n,m=360)



# EIGEN GRACE CG03C gravity anomaly model (n,m=360)





# CHAMP and GRACE geoid models

Recent CHAMP and GRACE satellite missions define new standards in modeling gravity field of the Earth.

To estimate how well CHAMP and GRACE geopotential models fit gravity field in Croatia, the comparison of 7 CHAMP and 3 GRACE models with GPS/leveling undulations (121 points) has been made (diff.: GPS/lev. - models).

Model	Min	Max	Mean	St. Dev.
EIGEN-2	-4.70	2.30	-1.34	1.35
EIGEN-3p	-3.40	1.89	-1.07	1.04
TUM-1S	-3.74	1.57	-1.26	1.15
TUM-2Sp	-4.16	1.98	-0.62	1.29
ITG-CHAMP01E	-3.50	1.88	-0.91	1.07
ITG-CHAMP01S	-4.11	1.72	-0.89	1.13
ITG-CHAMP01K	-4.13	1.69	-0.88	1.16
GRACE01S	-2.51	1.13	-1.08	0.80
GGM01S	-2.59	1.33	-1.06	0.82
GGM01C	-2.02	0.17	-1.00	0.45

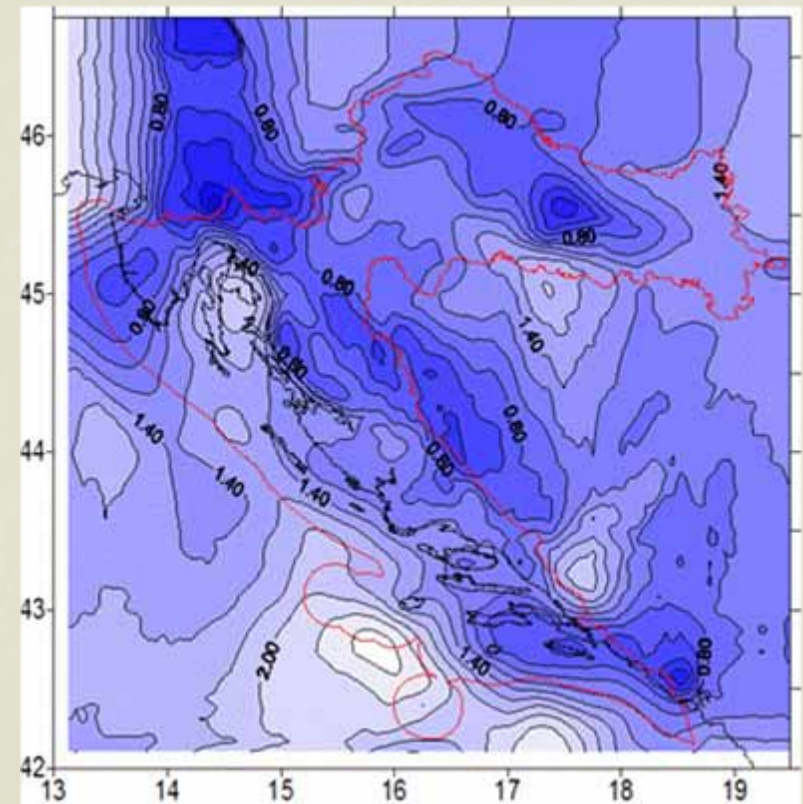
# CHAMP and GRACE geoid models

and...

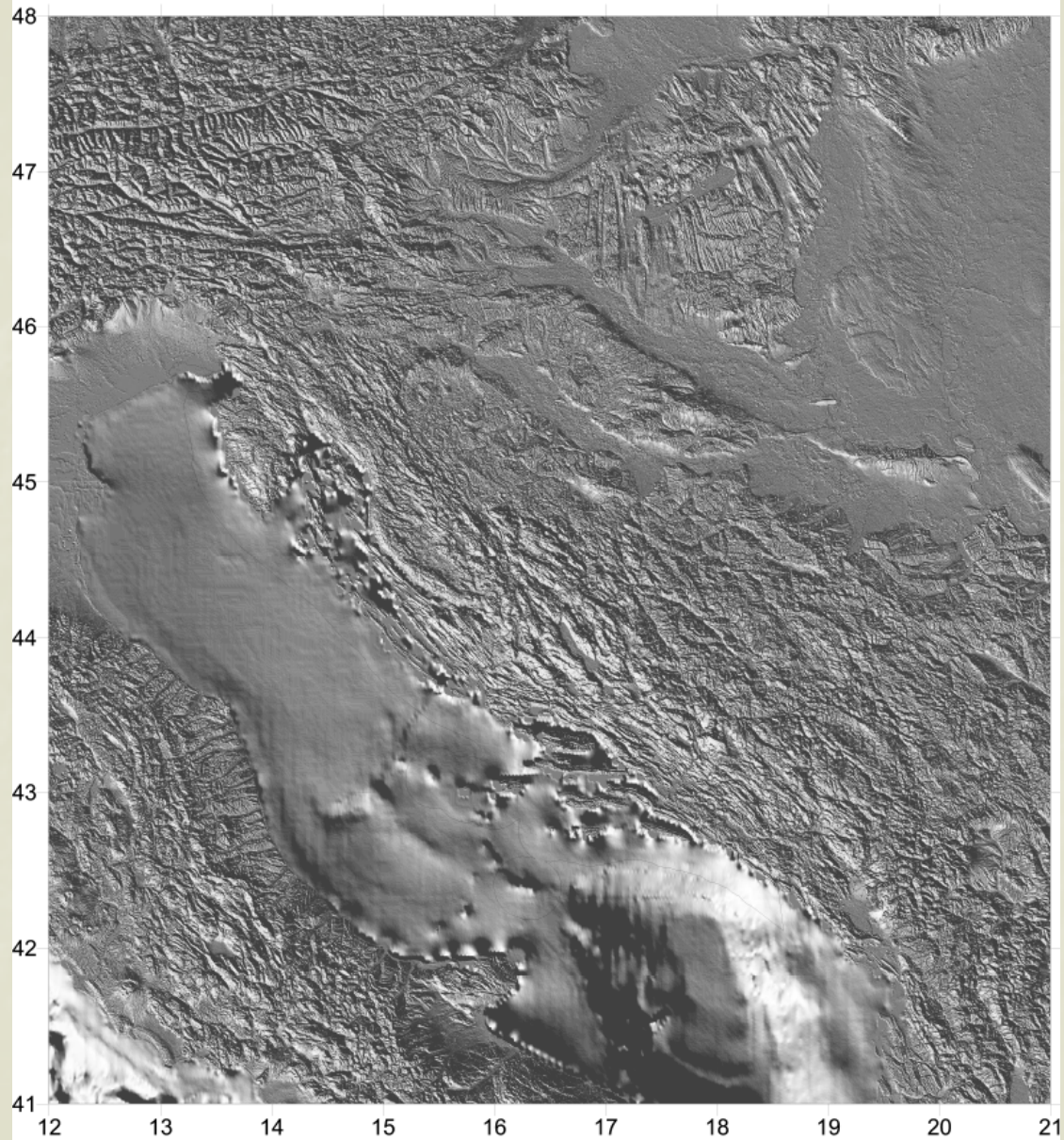
the comparison of 7 CHAMP and 3 GRACE models with HRG2000 geoid in 1'x1' raster has been made.

GGM01C - HRG2000 (m)

	Min	Max	Mean	St. Dev.
EIGEN2 - HRG2000	-0.51	5.74	2.54	1.61
GRACE01S - HRG2000	-0.99	3.38	1.23	0.78
GGM01S - HRG2000	-1.20	3.72	1.18	0.83
GGM01C - HRG2000	-0.29	2.50	1.20	0.46



# DTM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 3"x3")

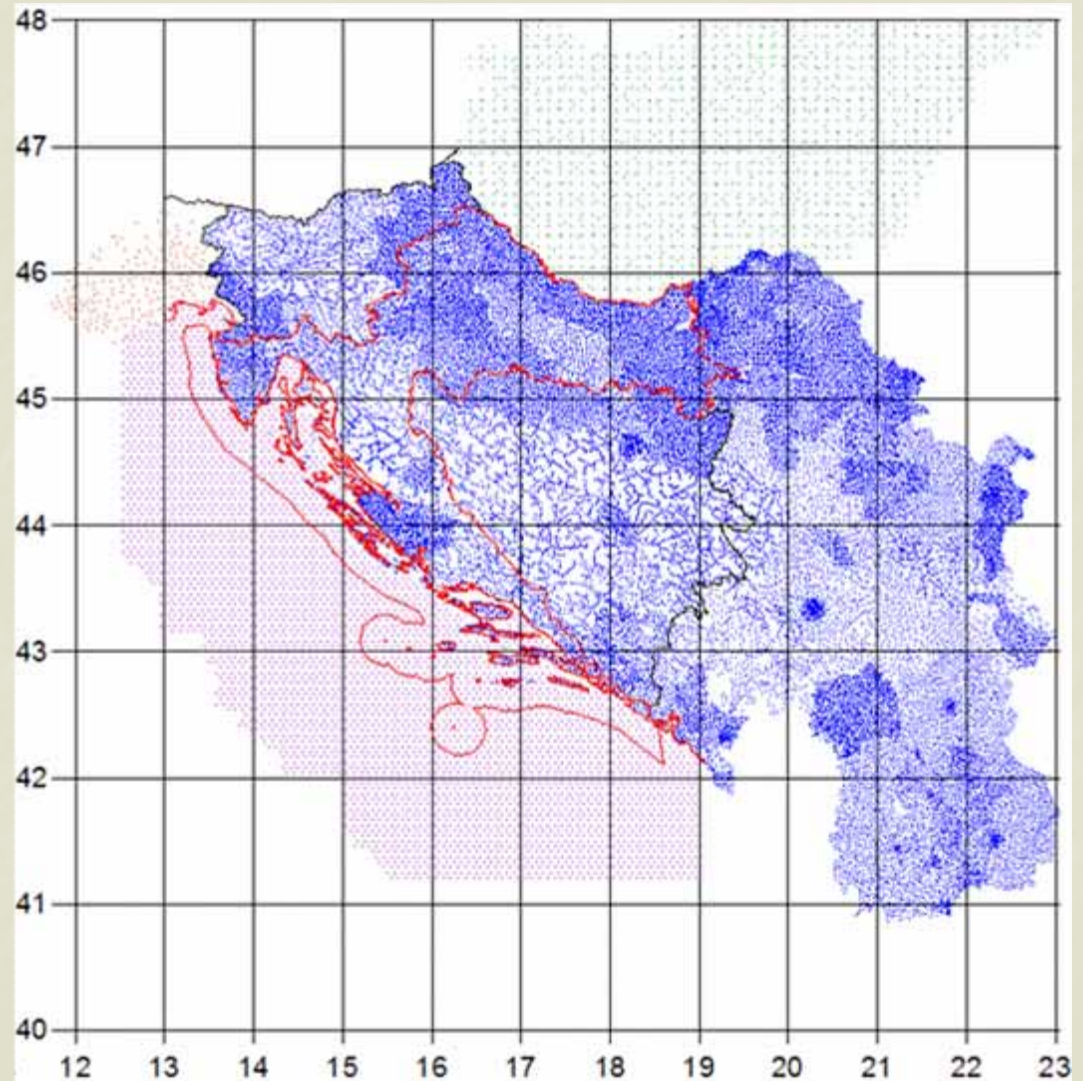


# New Gravity Data Base

In the meantime, a **new data basis** with over 46500 items has been established.

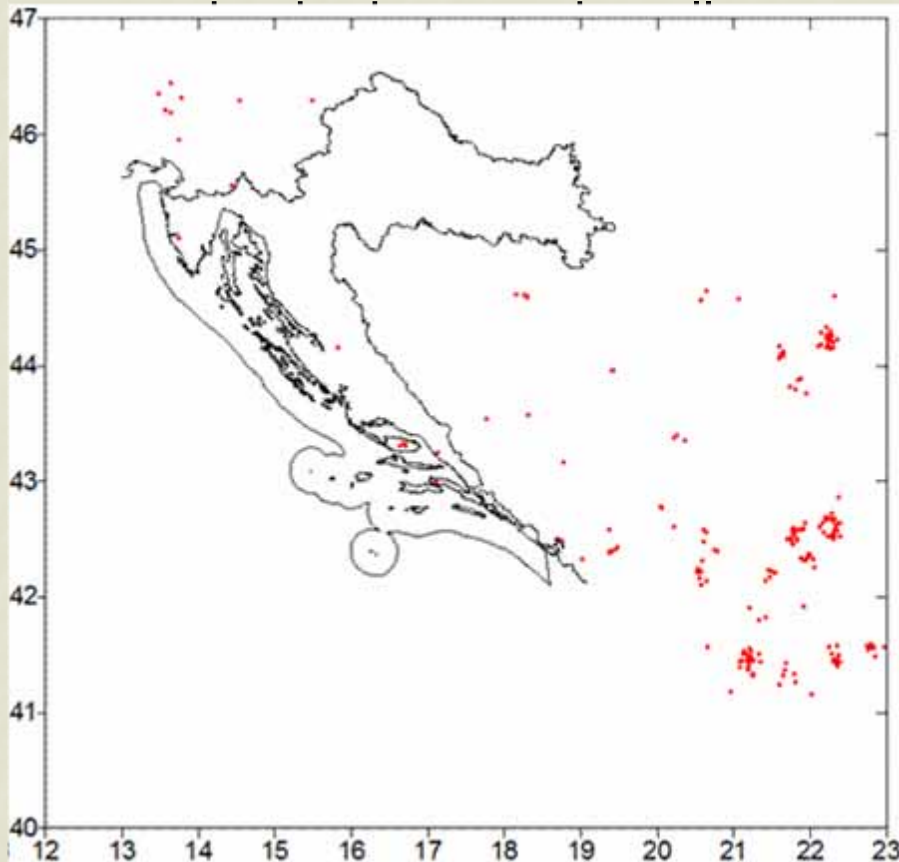
Over 41000 point wise gravity values cover the land part of former Yugoslavia

Essentially larger number of available gravity data than it has been the case so far (more than **10 times**).

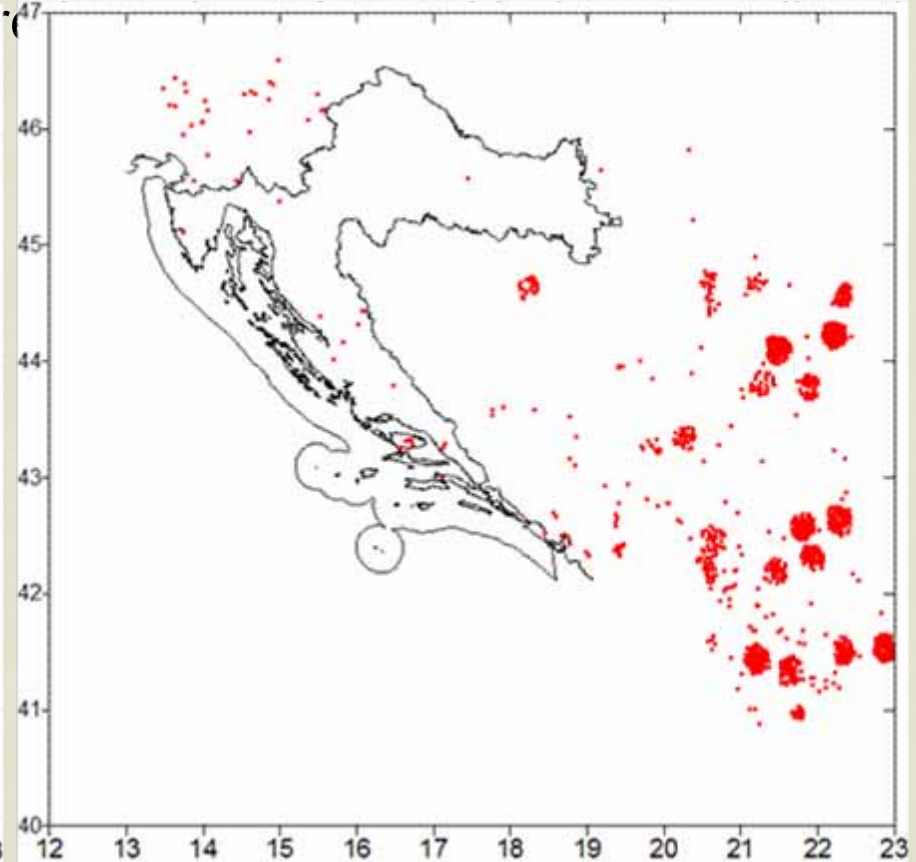


# New Gravity Data - quality check

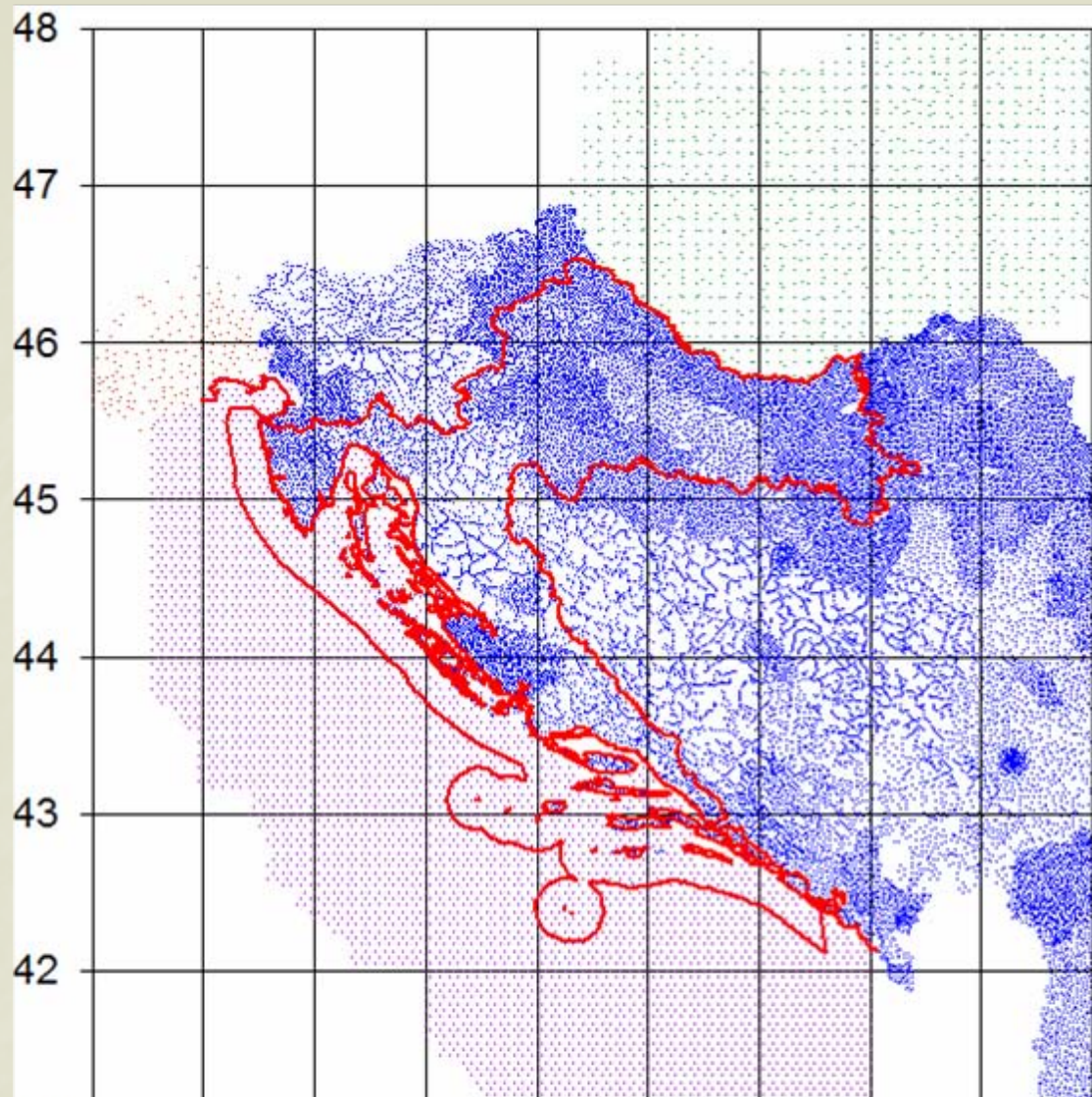
Using the method of least squares prediction, the quality of these data



Differences between measured and predicted gravity anomalies (206 diff.  $> 3$ -std from prediction)



Differences between measured and predicted gravity anomalies (1373 diff.  $> 2$ -std from prediction)



**Department for Geomatics, Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Croatia**  
**EGGP Regional Data and Computing Center for southeast Europe**

# Geodesy of Croatia

- Geodetic and Geodynamic Research in Croatia -

Tomislav Bašić



University of Zagreb – Faculty of Geodesy  
Department of Geomatics

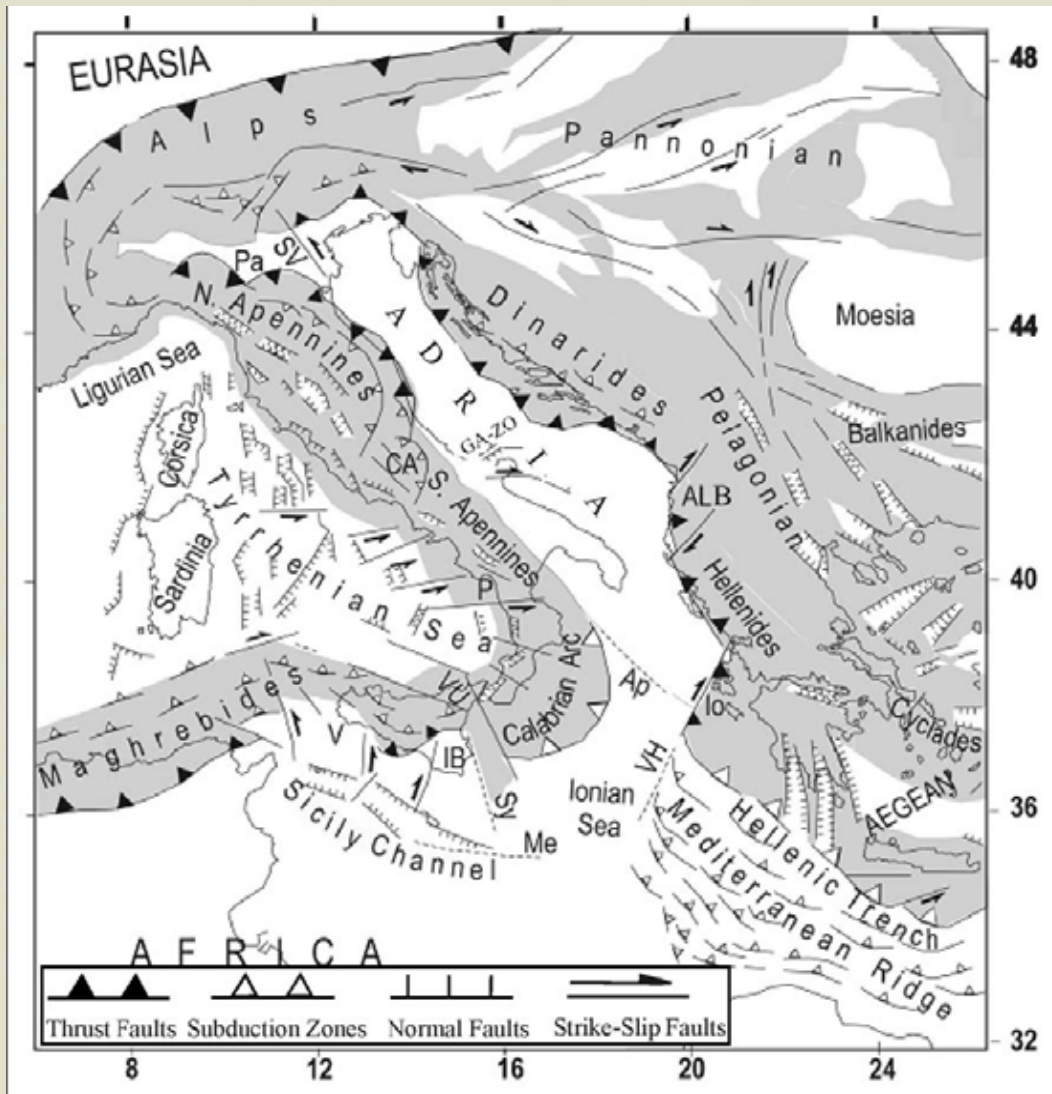
RETREAT Workshop Hvar, 2nd Oct. 2005

# CRODYN GPS PROJECT ('94, '96, '98)





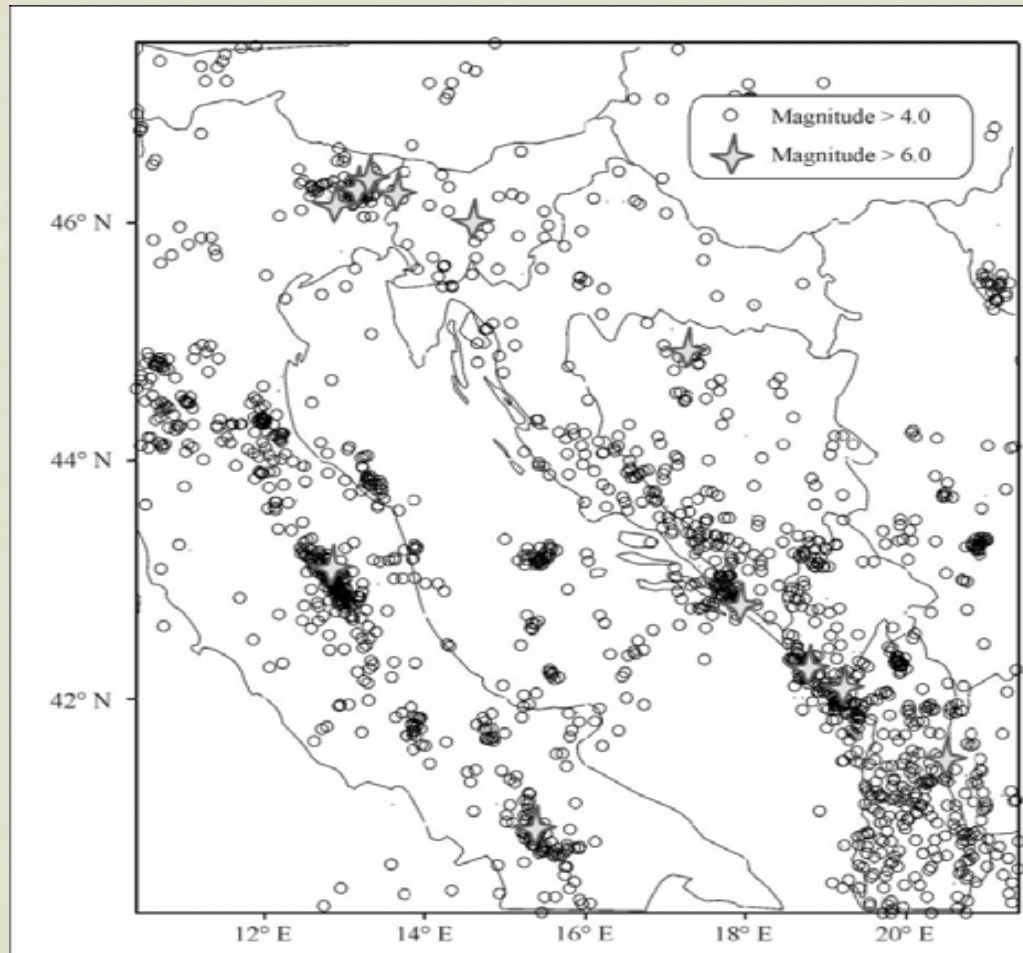
# Tectonic features in the Central Mediterranean



After Mantovani et al., 2005:

Grey area indicates the orogenic belts. Ap=Apulian escarpment; ALB=Albania; CA=Central Apennines; GA-ZO=Gargano zone; IB=Iblean block; Io=Ionian islands; Me=Medina fault; P=Palinuero fault; Pa=Padanian region; SV=Schio-Vicenza fault system; Sy=Syracuse escarpment; VH=Victor Hensen fault system; V=Ventura block; VU=Vulcano fault.

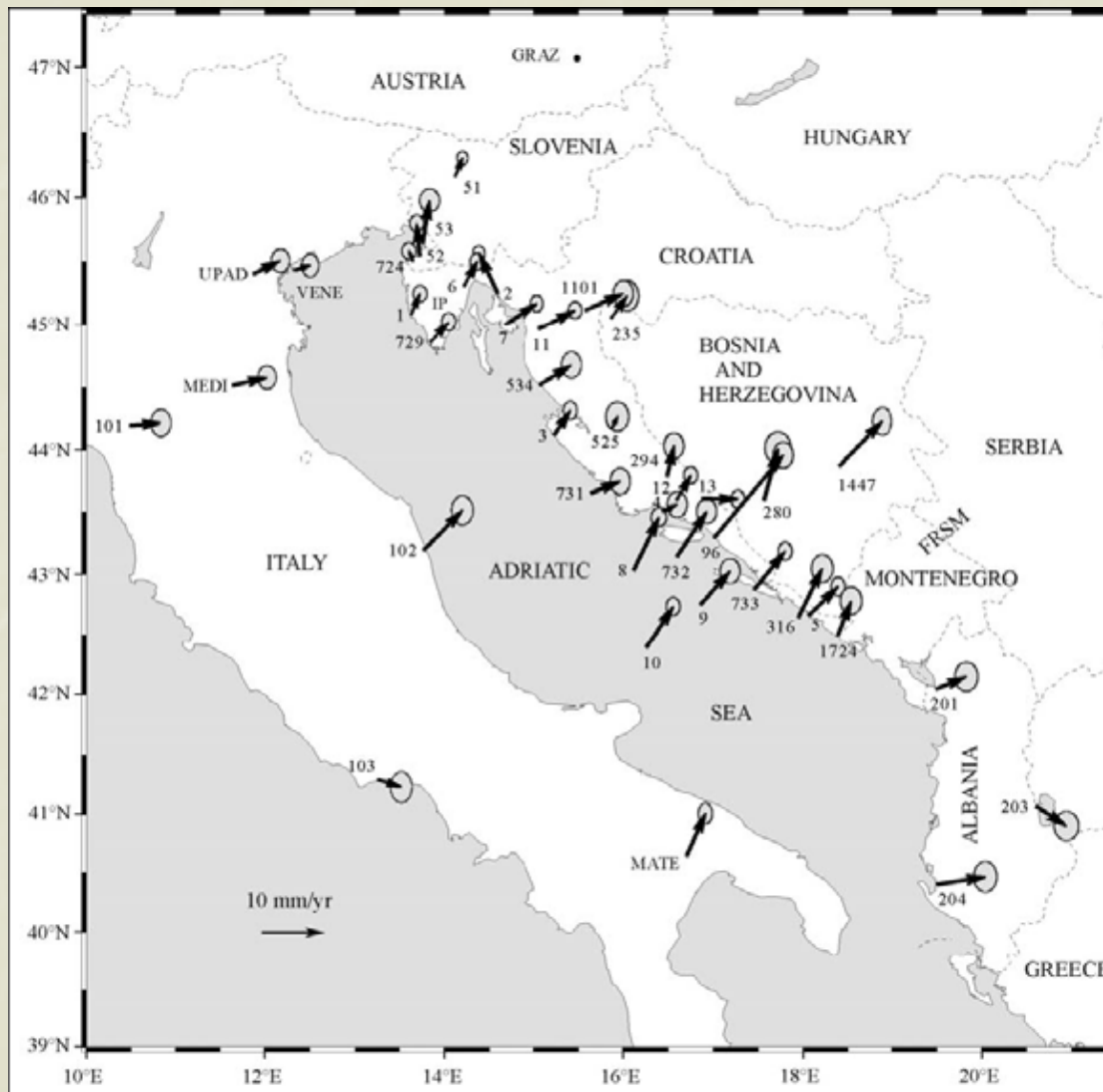
# Recorded earthquake epicentres



The seismic activity is concentrated mostly in the onshore areas. Most of earthquakes in the offshore area, occur between the Gargano zone and central Dinarides.

(<http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/catalog-search.html>).

# Horizontal velocities (1994-1996-1998)



The confidence ellipses with a probability of 95 % for normal distribution of observations.

Except the stations Malija (724), Trebacnik (525), Terracina (103), and VENE the horizontal velocities of stations are significant !!!

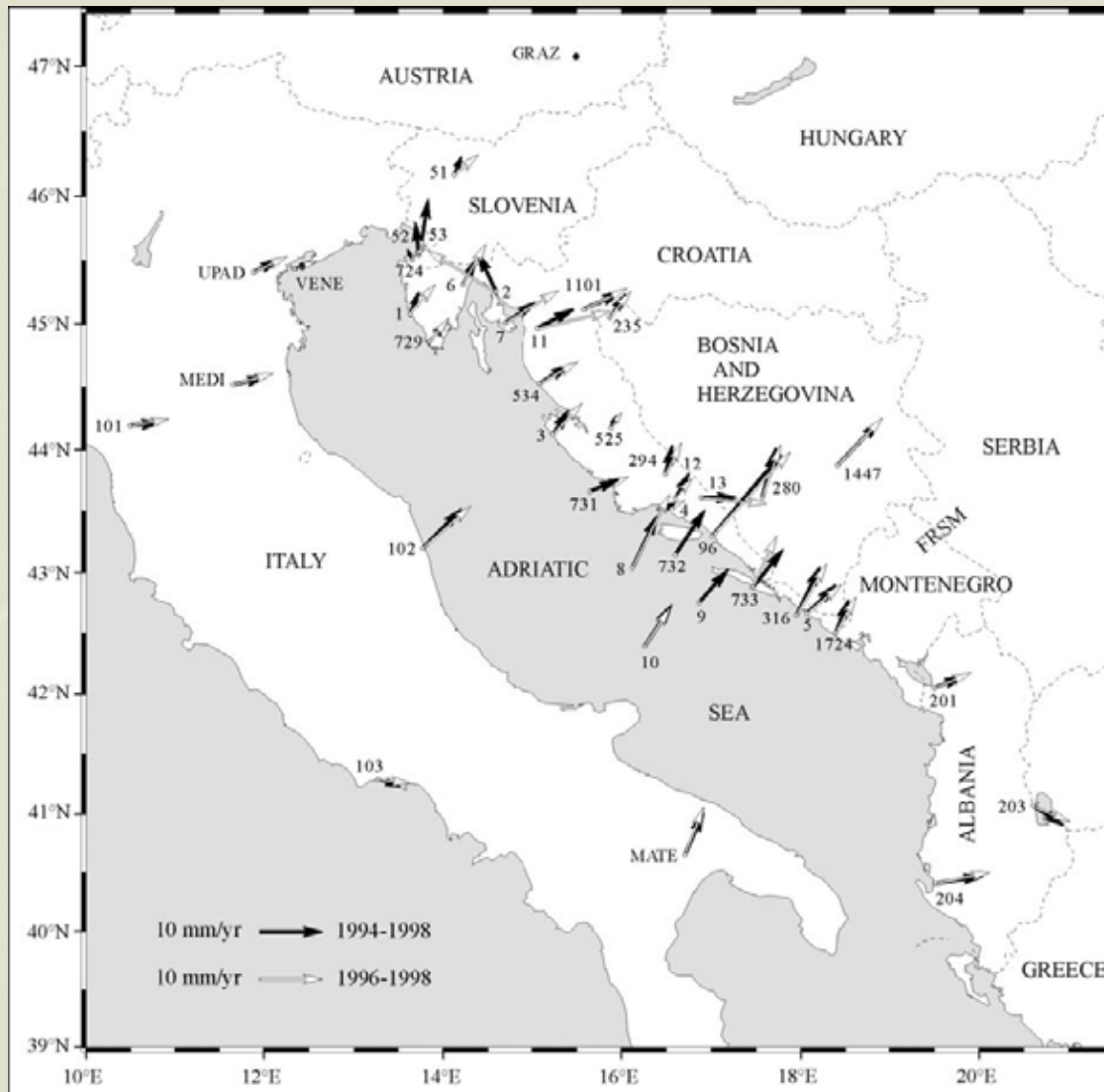
# Horizontal velocities of the IGS/ITRF stations



POTS and WTZR in Germany, PENC in Hungary, and BOR1 in Poland with their confidence ellipses of a probability of 95 %.

The horizontal movement of these stations is not significant !!!

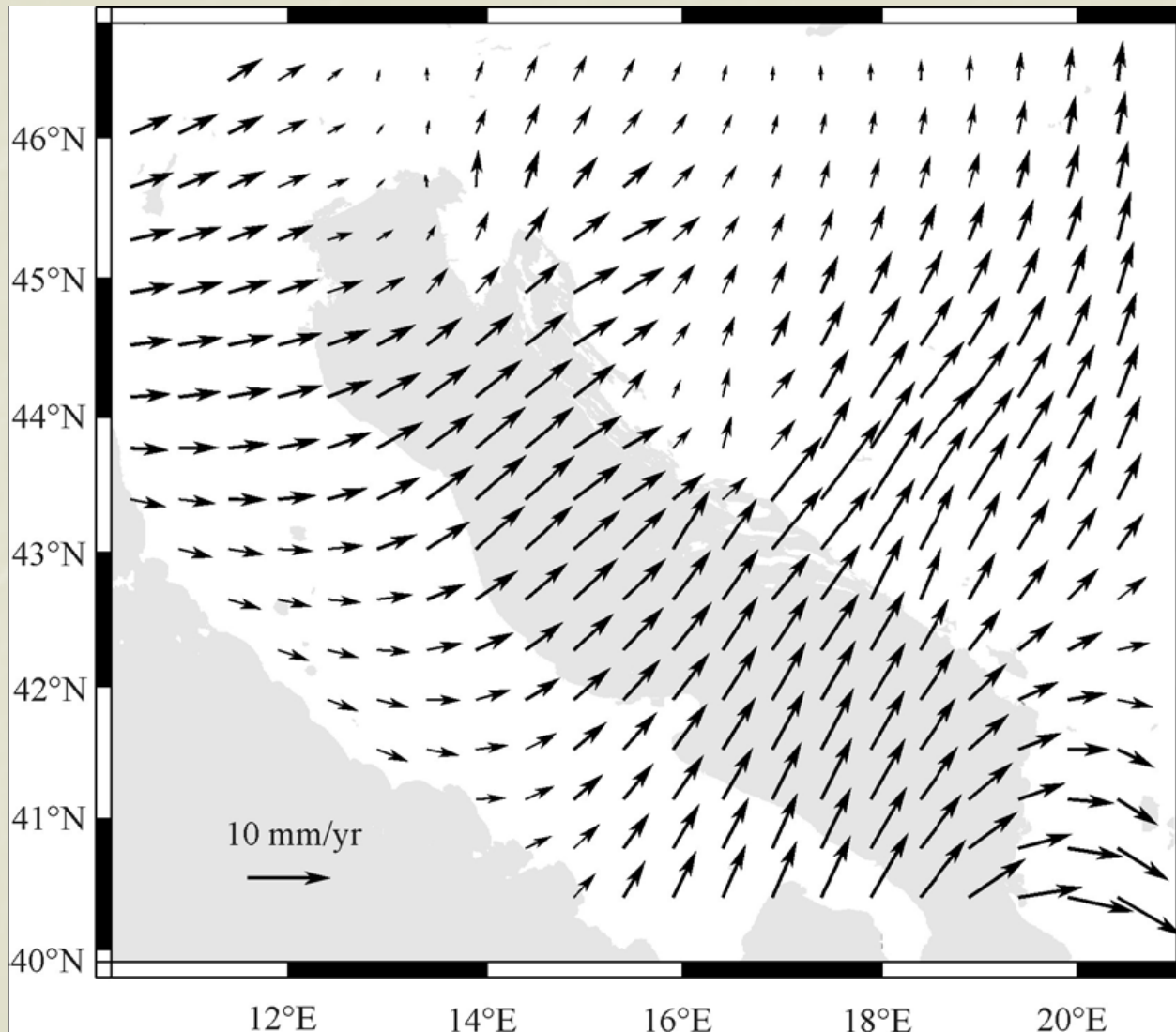
# Comparison of horizontal velocities



Arrows in black indicate the solution from three GPS campaigns 1994–1996-1998) and arrows in white the solution from the last two GPS campaigns 1996–1998 (the uncertainties of velocities are at the same level for both solutions).

The magnitude and direction of velocity of station 2 Bakar differs at both solutions, so that a local movement for this station has been assumed (or ?).

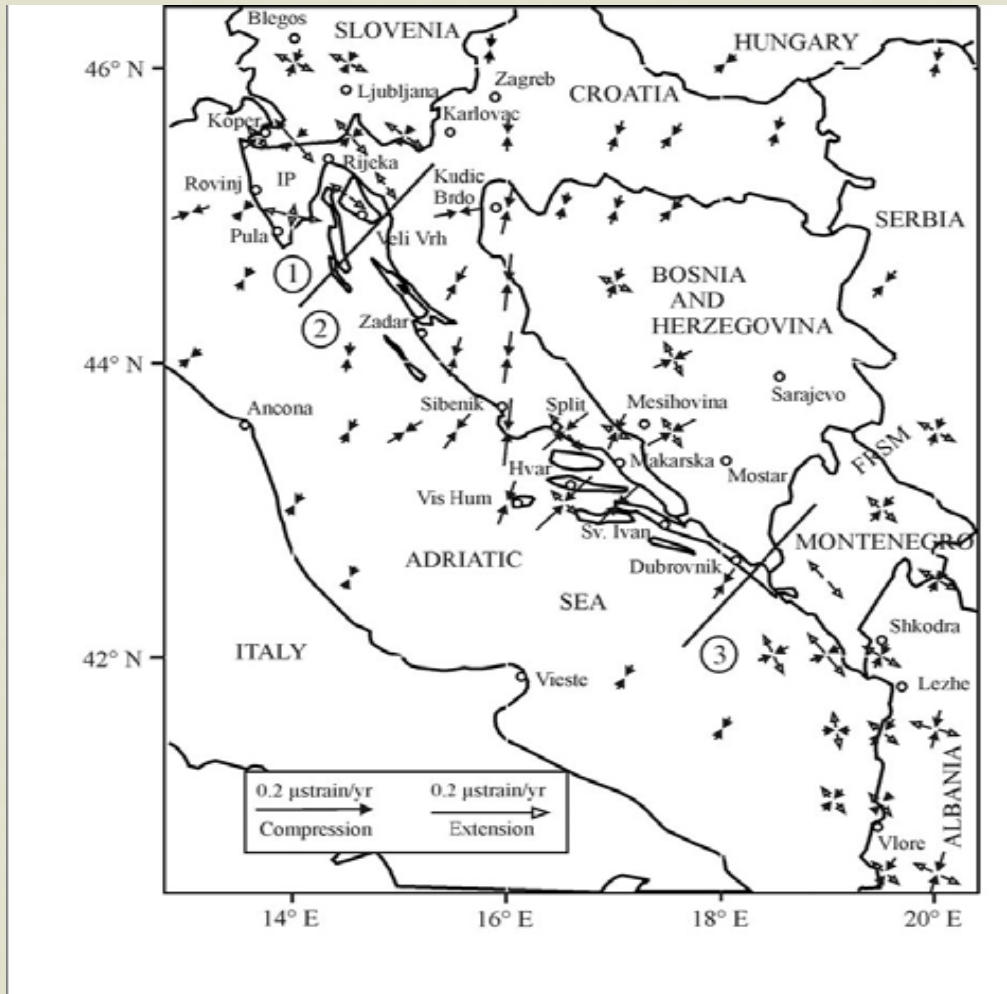
# Velocity field model using spline interpolation



According to the horizontal velocities in and around the Adriatic plate, the area between the Gargano zone and central Dinarides is the most active tectonic region.

A fragmentation of Adria into sub-blocks cannot be clearly proved.

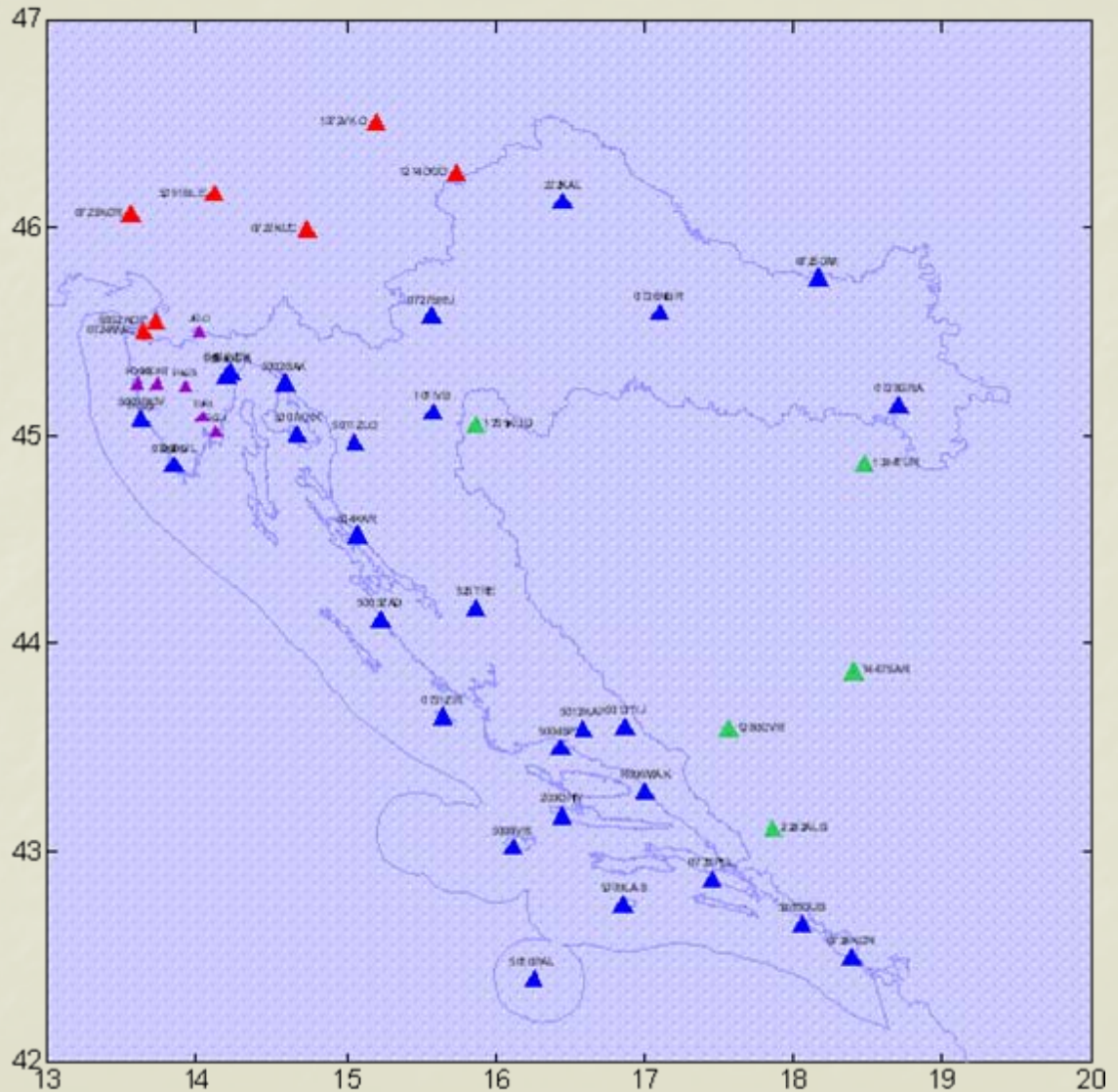
# Principal strain rates



1, 2, and 3 express the numbers of different deformation zones detected.

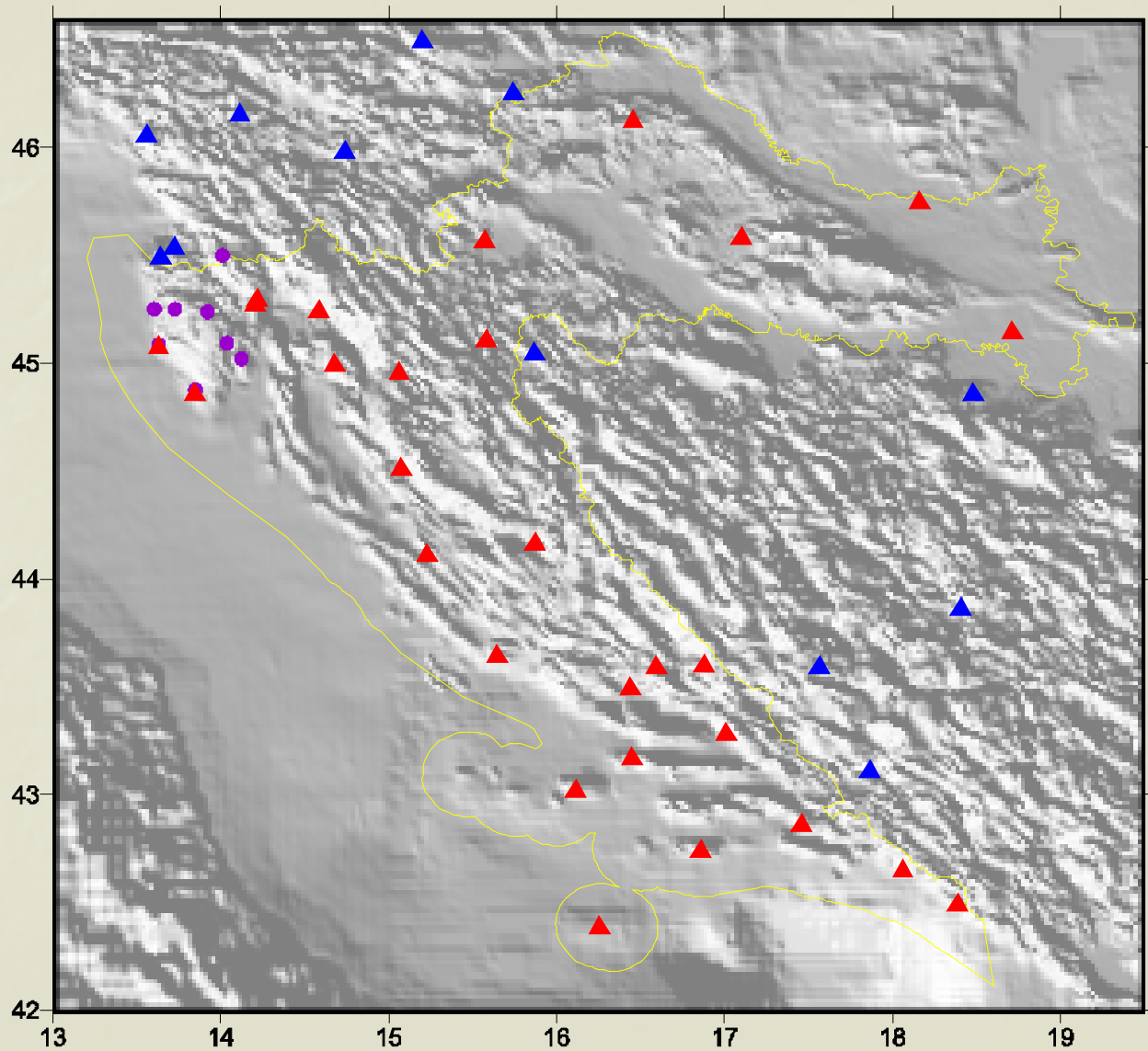
Strong compressions takes place in central Dinarides around Sveti Ivan, Hvar, Makarska, Split, and Sibenik. The northeastern part of the study area is compressed from northeast and extends in northwest-southeast. The southeastern part subject to a north-east-southwest compression with a predominant northsouth and northwest-southeast oriented extension.

# CROREF-CRODYN GPS PROJECT 2005





# CROREF-CRODYN GPS PROJECT 2005



21-23 Sep. 2005

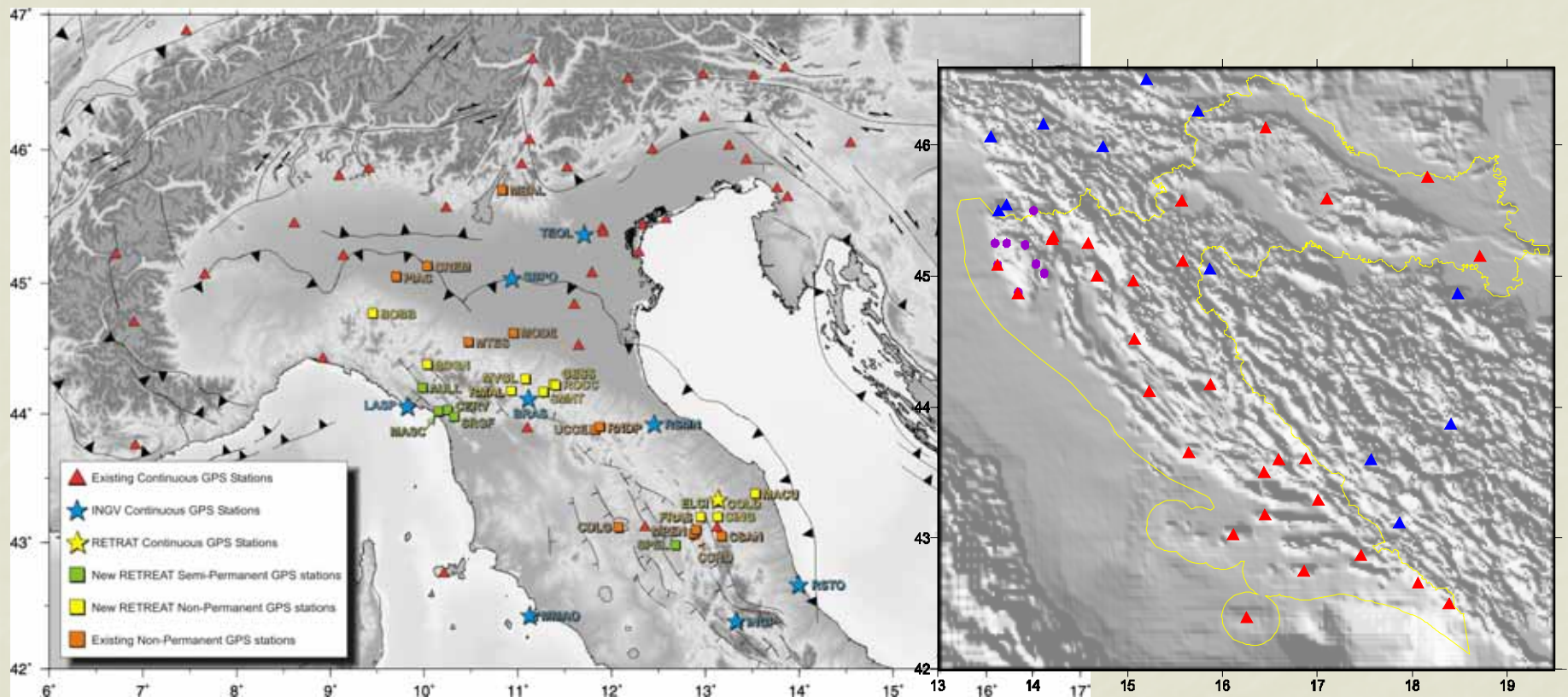
CRO: 28 (+8)

SLO: 7

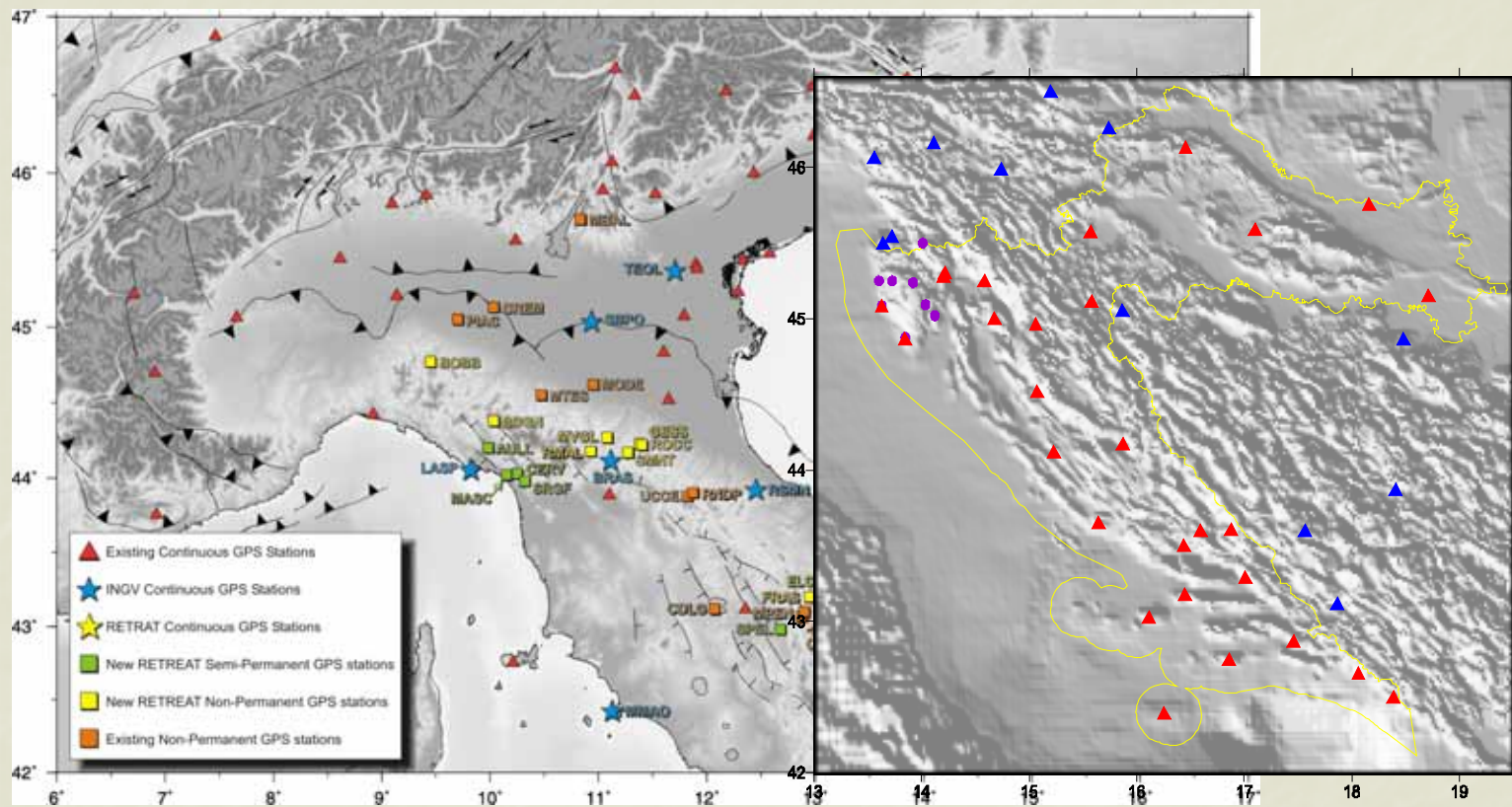
BIH: 5

-----  
40 (48)

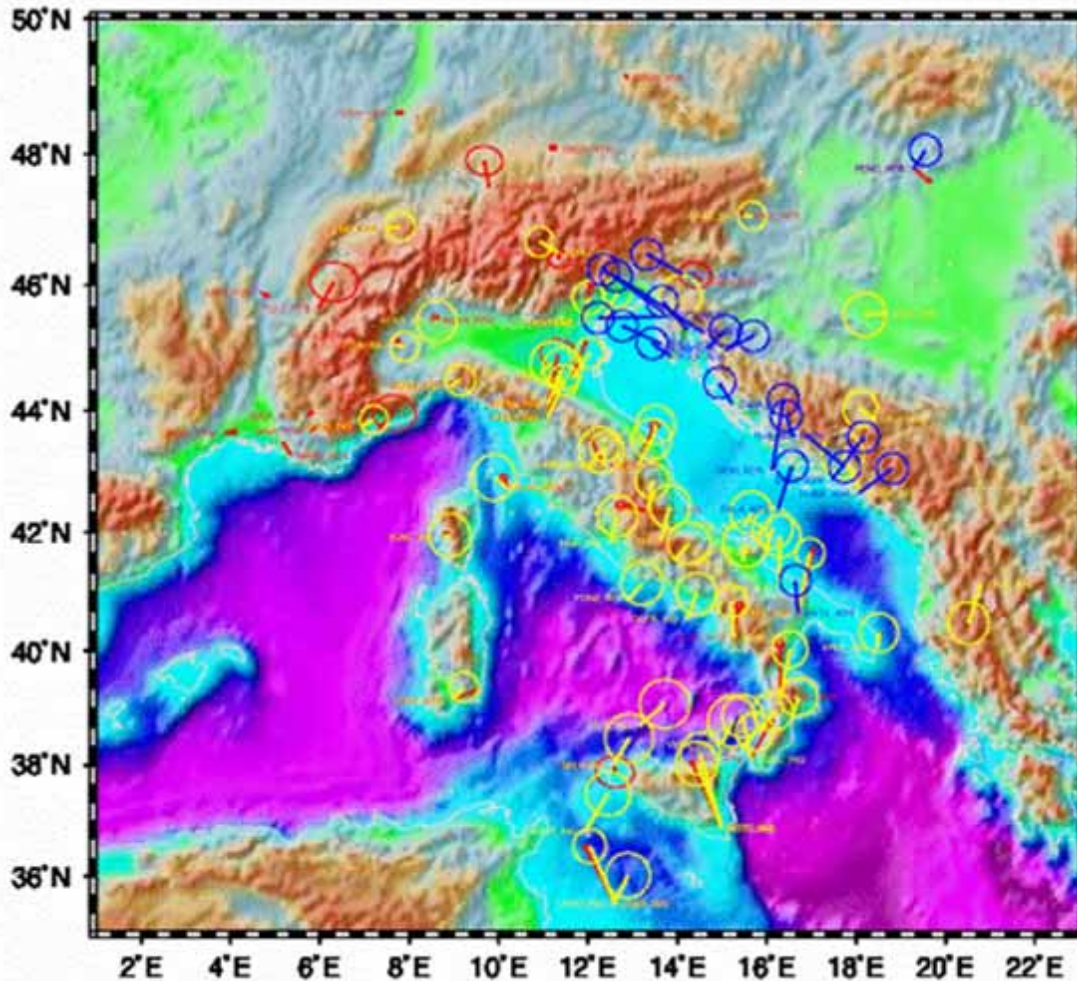
# RETREAT/ITALY + CROREF/CRODYN 2005



# RETREAT/ITALY + CROREF/CRODYN 2005

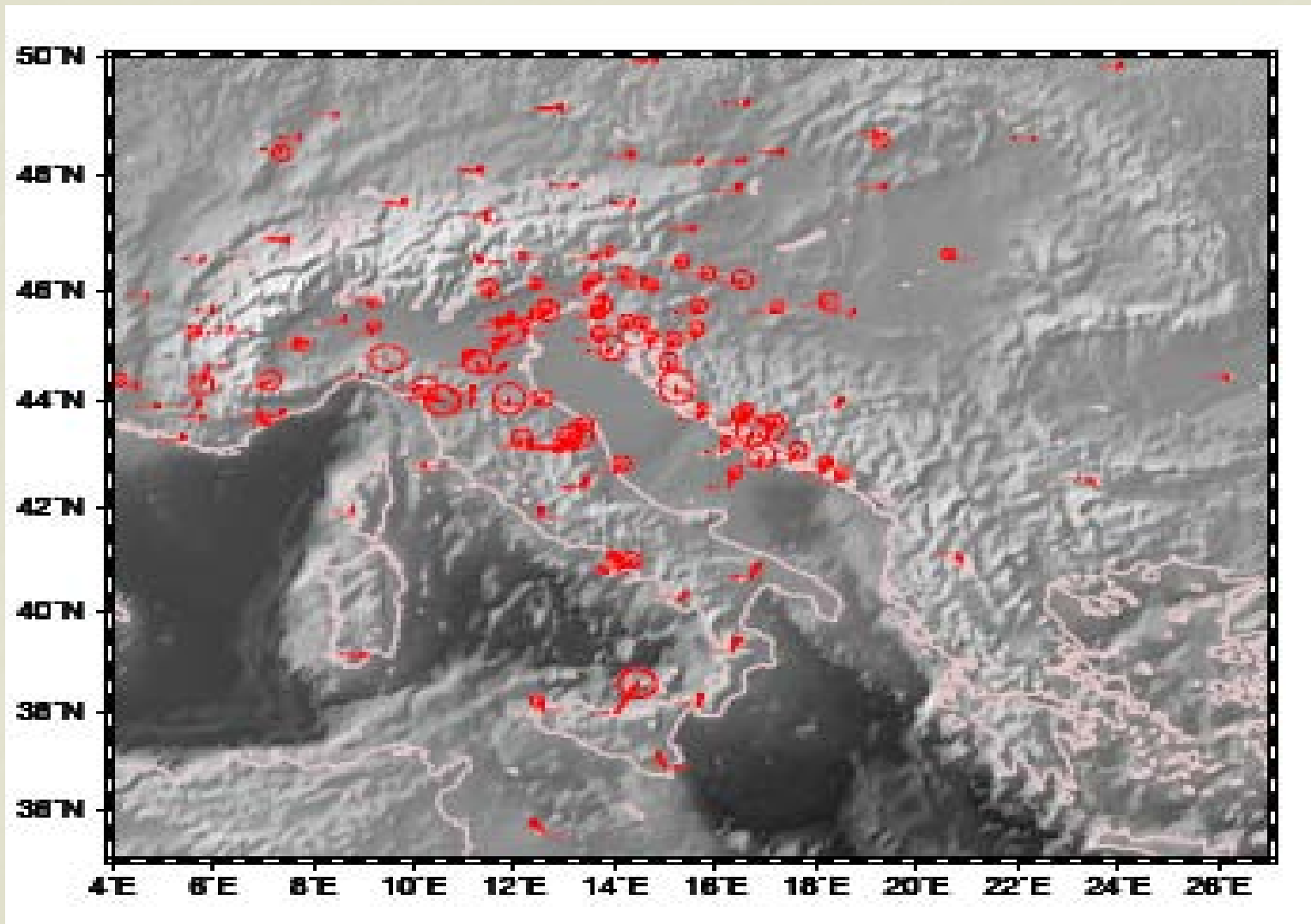


# Compilation of existing GPS velocity solutions



Red represents the current University of Arizona solution for Italy. Yellow represents a solution produced by Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy. Blue represents a solution produced by BKG Frankfurt, Germany. We propose to tie these GPS networks and the new RETREAT GPS network (for which the first velocity results are expected this Fall) together interferometrically by performing simultaneous campaigns in northern Italy and Croatia.

## Novije rješenja za GPS brzine gibanja točaka



## **... I Z A K R A J**

**Prof. dr. Deren Li (Tehničko Sveučilište Wuhan, Kina):**

*With the evolution of information science, space science and computer science, conventional survey and geodesy have been and will be converted from analogue to digital, from static to dynamic and kinematic, from post-processing to real-time processing, from off-line to on-line, from separation to integration, from local to global.*

*There is no doubt that modern survey and geodesy will have a very brilliant future in the information era.*

**HVALA NA PAŽNJI !**