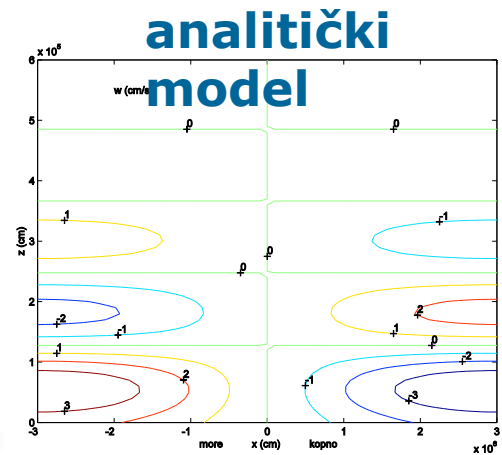
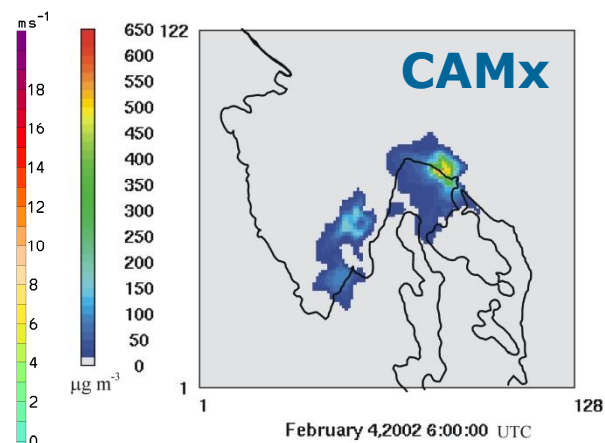
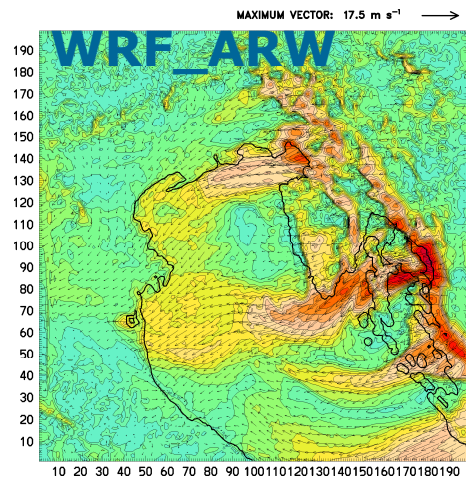


Geofizički  
odsjek PMFa



# Modeliranje na Geofizičkom odsjeku PMF-a

**Maja Telišman Prtenjak**

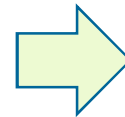
*Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb*

---

Primjena atmosferskih modela u zaštiti okoliša i ljudi; Kraš, 27.11.2014.

# Mjerenja i modeli

Mi zaključujemo o pojavama u atmosferu na temelju **mjerenja** i/ili **modeliranja**



Imaju li mjerenja ograničenja?!



modeli atmosfere



Atmosferski modeli su **matematički modeli** sastavljeni od seta dinamičkih (parcijalnih diferencijalnih) jednažbi koji opisuju gibanja u atmosferi.

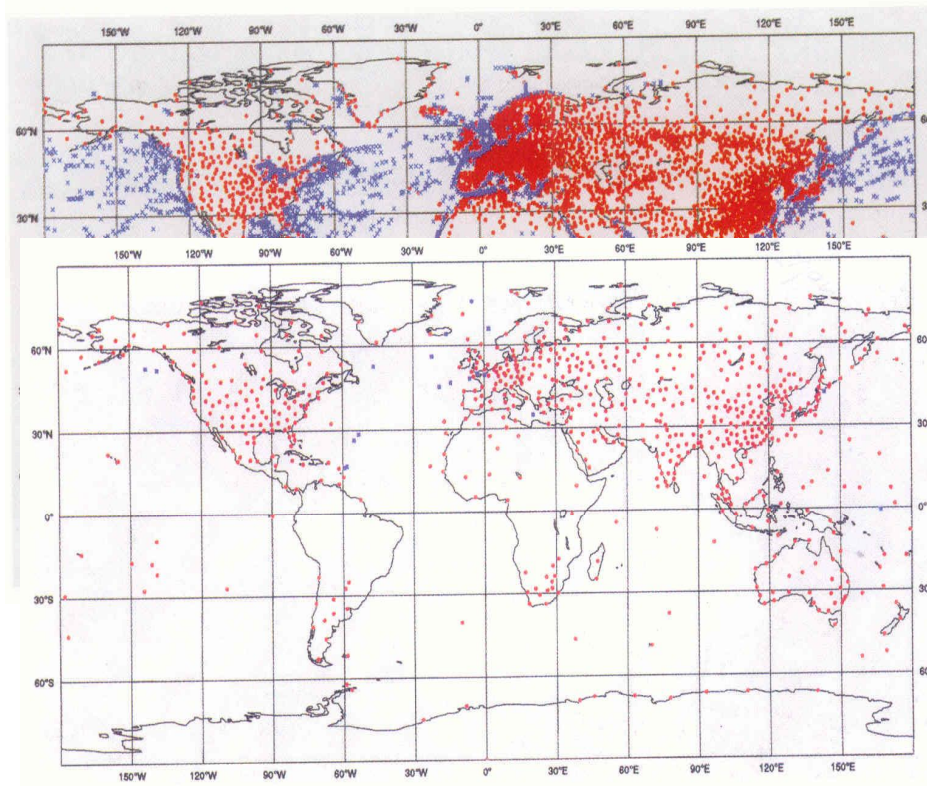
- ✓ daju mnogo informacija o sadašnjim ili prošlim atmosferskim uvjetima
- ✓ **ne daju** informacije o budućoj atmosferi
- ✓ buduće stanje pojava u atmosferi se **ekstrapolira** na temelju podataka iz prošlosti, što nije uvijek dobar pristup

# Zašto modeli i modeliranje?!

(1) jedino oruđe **prognoze** za istraživanje određenog sustava ili procesa bez obzira o kakvom se procesu radi.

(2) omogućuju **prognozu** (analizu) neke pojave tamo gdje nema mjerenja (oceani, noć, kompleksan teren).

(3) pomoću **idealiziranih simulacija** (testova osjetljivosti) učimo o pojavama.

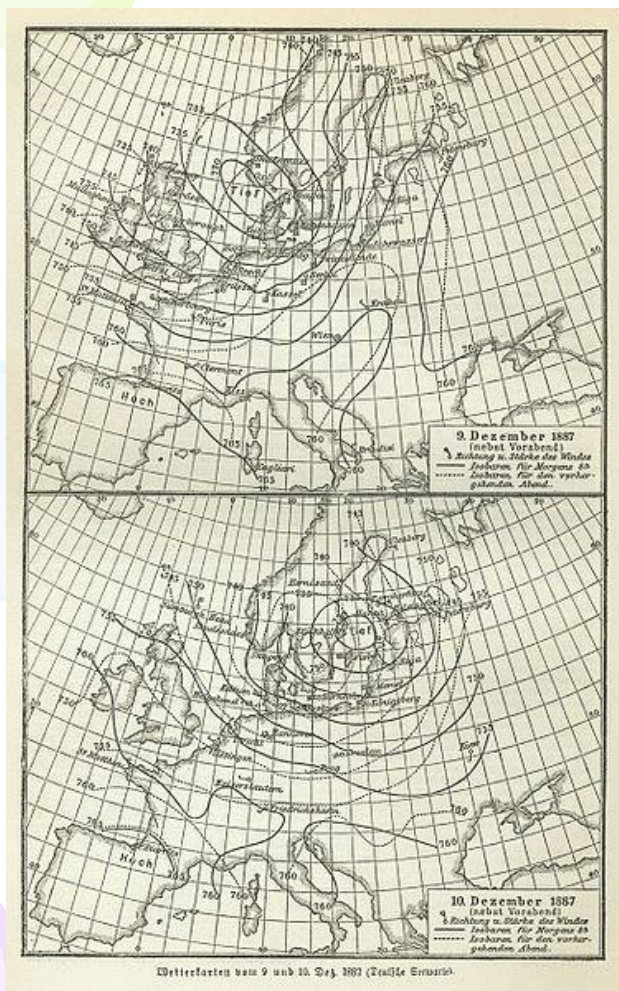


veza modela i mjerenja



model koristi mjerenja kao ulazne (rubne) podatke i za verifikaciju rezultata

# Razvoj modeliranja/prognoziranja atmosfere



Karta tlaka za Europu, 10 December 1887

650. g. p. n. e. , Babilonci su predviđali vrijeme na temelju oblaka i astrologije.

Moderno doba prognoze vremena započinje:

- ✓ Beaufort-ovom skalom
- ✓ Fitzroy-ev barometerom
- ✓ otkrićem električnog telegrafa 1835. istovremena razmjena izvještaja o vremenskim uvjetima (uz vjetar)

Analitičko modeliranje –prevladavalo do 50-tih godina 20.stoljeća

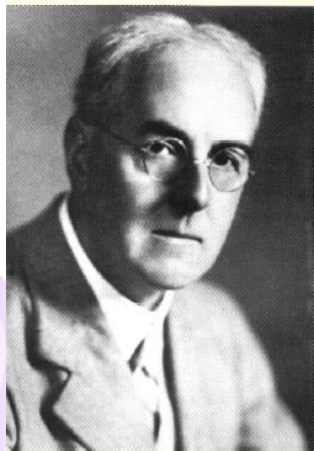
# Numeričko modeliranje atmosfere



**Vilhelm Bjerknes**  
(1862-1951)  
Norveška

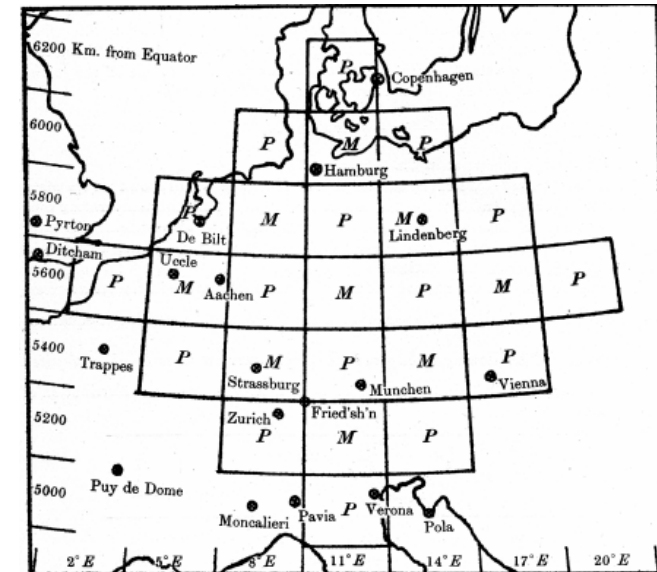
početkom 20 st. osnovni koncept numeričke prognoze vremena

- ✓ vremenska prognoza pomoću integracije osnovnih 7 dif. jed. u vremenu
- ✓ početak = mjerenja i opažanja kao inicijalno stanje atmosfere



**Lewis Fry Richardson**  
(1881-1953), UK

- ✓ podjela prostora u kvadratiće mreže u kojoj su se rješavale dif. jed. konačnim razlikama
- ✓ 1922. - proračun za 8-satni period trajao 6 tjedana i dao promjenu tlaka u točki za 100 hPa/3 h
- ✓ Razlog-nestabilnost u modelu.
- ✓ (64000 ljudi bi bilo potrebno za svakodnevnu prognozu)



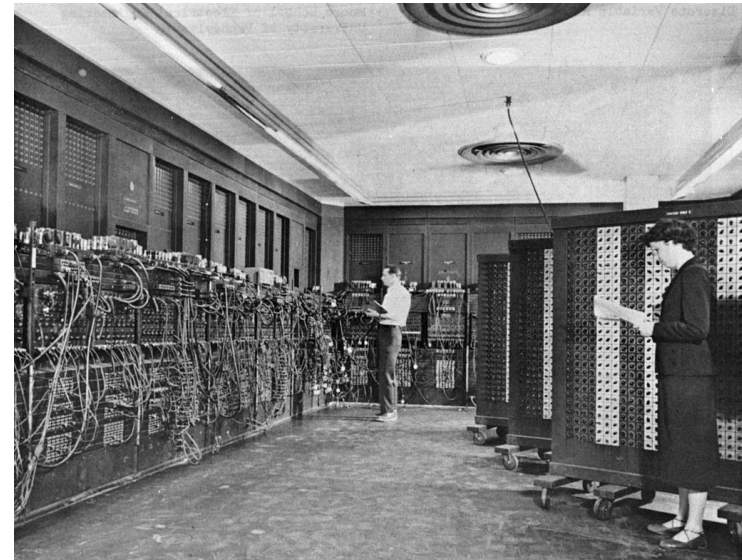
# Numeričko modeliranje atmosfere



**John von Neumann**  
(1903-1957)  
(Austro-Ugarska-SAD)

Prva prognoza vremena izvedena na ENIAC računalu 1950. godine (Charney, Fjortoft i von Neumann).

Korišten Richardsonov pristup



**Electronic Numerical Integrator And Computer (ENIAC, 1946)**

U to doba (kao protivnik komunizma) von Neumann se nadao da će modeliranje stanja atmosfere dovesti do kontrole nad vremenom, što bi se moglo koristiti i kao ratno oružje.

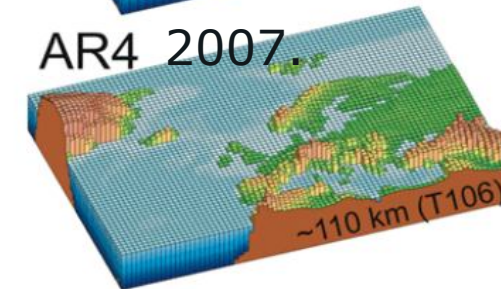
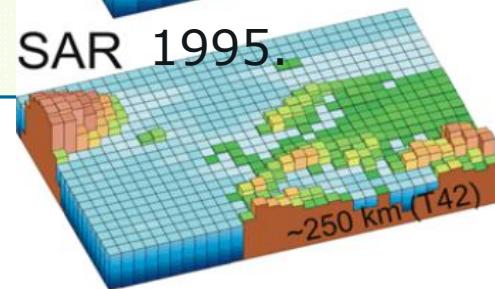
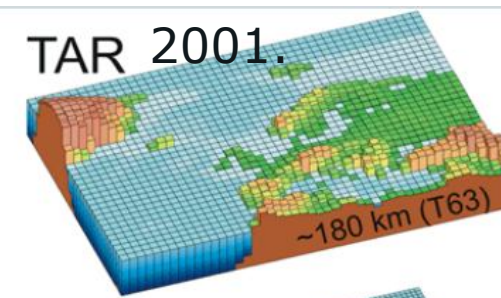
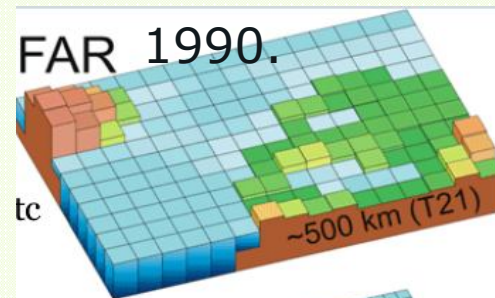
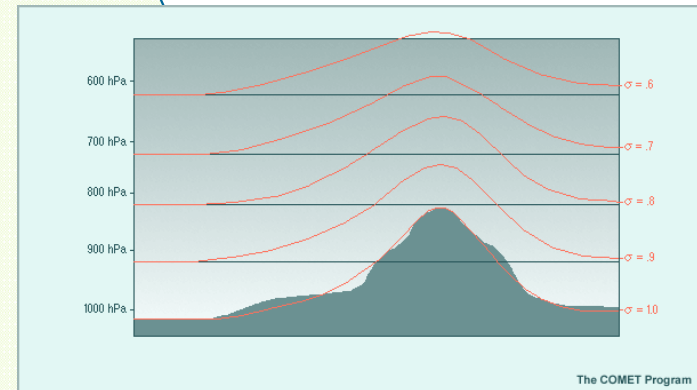
Npr., ruske žetve mogle bi biti desetkovane sušama koje bi bile pokrenute iz SAD.

Od 1954., u Stockholm-u, prvi u svijetu provode operativno prognoze 3 puta tjedno za područje Sjevernog Atlantika.

# Numeričko modeliranje atmosfere

Od 80-tih godina uključuju se u modele:

- ✓ spektralna metoda
- ✓ hidrološki ciklus
- ✓ združivanje oceanografskih-atmosferskih modela
- ✓ radijacija
- ✓ atmosferska kemija
- ✓ konvekcija
- ✓ definiranje površina (*land-use*)
- ✓ turbulencija graničnog sloja
- ✓ ugljikov-dioksid
- ✓ sve finija horizontalna i vertikalna rezolucija



Jake modelarske grupe  
**ECMWF** (Reading, UK)  
**NCAR** (Boulder, USA)

# Dimenzije procesa u meteorologiji

glavni procesi locirani duž dijagonale prostorno-vremenskog dijagrama



dijagonalnost nam dopušta odvojeno modeliranje određene kombinacije prostornih i vremenskih skala



**Globalni modeli**  
**Klimatski modeli**  
**Regionalni («limited-area»)**  
**li mezoskalni modeli**  
**Modeli kvalitete zraka**  
**Mikroskalni modeli (npr.**  
**«urban-canyon» modeli)**

- ✓ Gaussovski (statistički)
- ✓ K – modeli
- ✓ modeli čestica Lagrangeovog tipa
- ✓ modeli daljinskog transporta (Lagrangeovog i Eulerovog tipa)

Scales	Time	1 Month	1 Day	1 Hour	1 Min	1 Sec
	Length					
Macro $\alpha$	10'000 km	Stationary and Ultralong Waves				
Macro $\beta$	1'000 km	Baroclinic Waves				
Meso $\alpha$	100 km		Fronts Hurricanes			
Meso $\beta$	10 km		Nocturnal Jets Mountain Effects Sea Breezes			
Meso $\gamma$	1 km			Thunderstorms Urban Effects CAT		
Micro $\alpha$	100 m			Shallow Convection Tornadoes Gravity Waves		
Micro $\beta$	10m				Dust Devils Thermal Wakes	
Micro $\gamma$	1m					Plumes Roughness
		Scales				
		Climato-logical	Synoptic	Meso	Turbulence	





# Numeričko modeliranje atmosfere → sadašnjost

Upotreba združenih modela:

- 1) oceanografsko-atmosferski modeli
- 2) oceanografsko-hidrološki modeli
- 3) hidrološko-atmosferski modeli

Cilj ⇒

združeni oceanografsko-hidrološko-  
atmosferski modeli

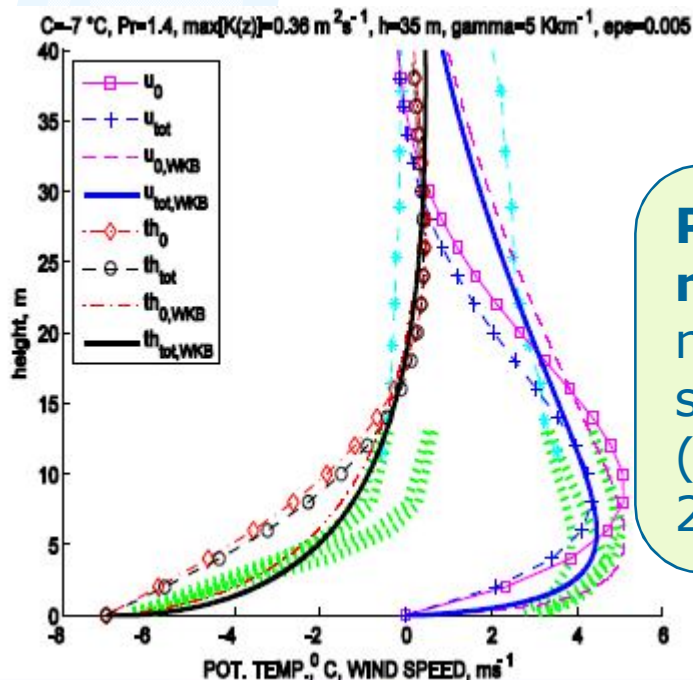
# Geofizički odsjek i modeliranje

U skladu sa svjetskim trendovima

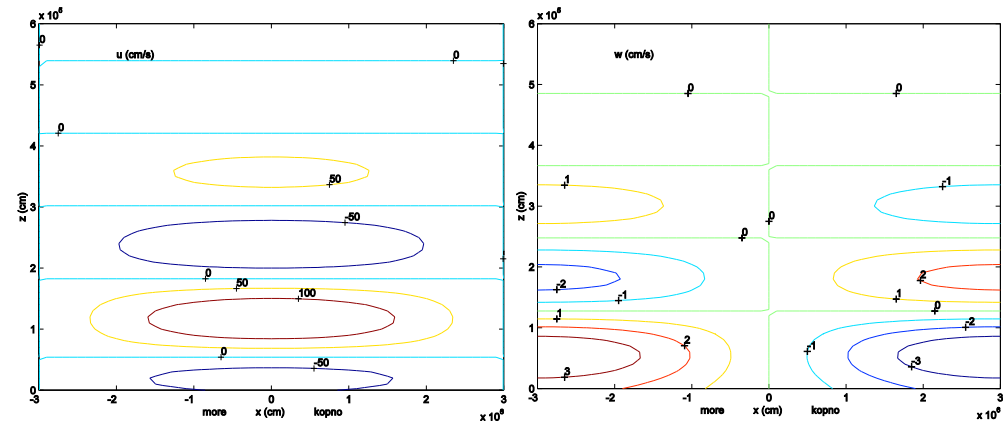


do 70-tih god. dominacija analitičkog modeliranja

nastavlja se i danas, ali manjim intenzitetom



**Prandtl-ov model** primjenjen na silazno strujanje (Grisogono i sur., 2014, QJ)



Makjanić (1958)

**Klimatske promjene razine mora**  
Orlić & Pasarić (2013)  
Nature Climate Change

# Geofizički odsjek i modeliranje

Kroz istraživanje i izrade magistrarskih/doktorskih radnji

Modeliranje



primjena neuronskih mreža



numeričko modeliranje  
najčešće  
mezoskalnih/mikroskalnih  
struktura



numeričko modeliranje  
kvalitete zraka



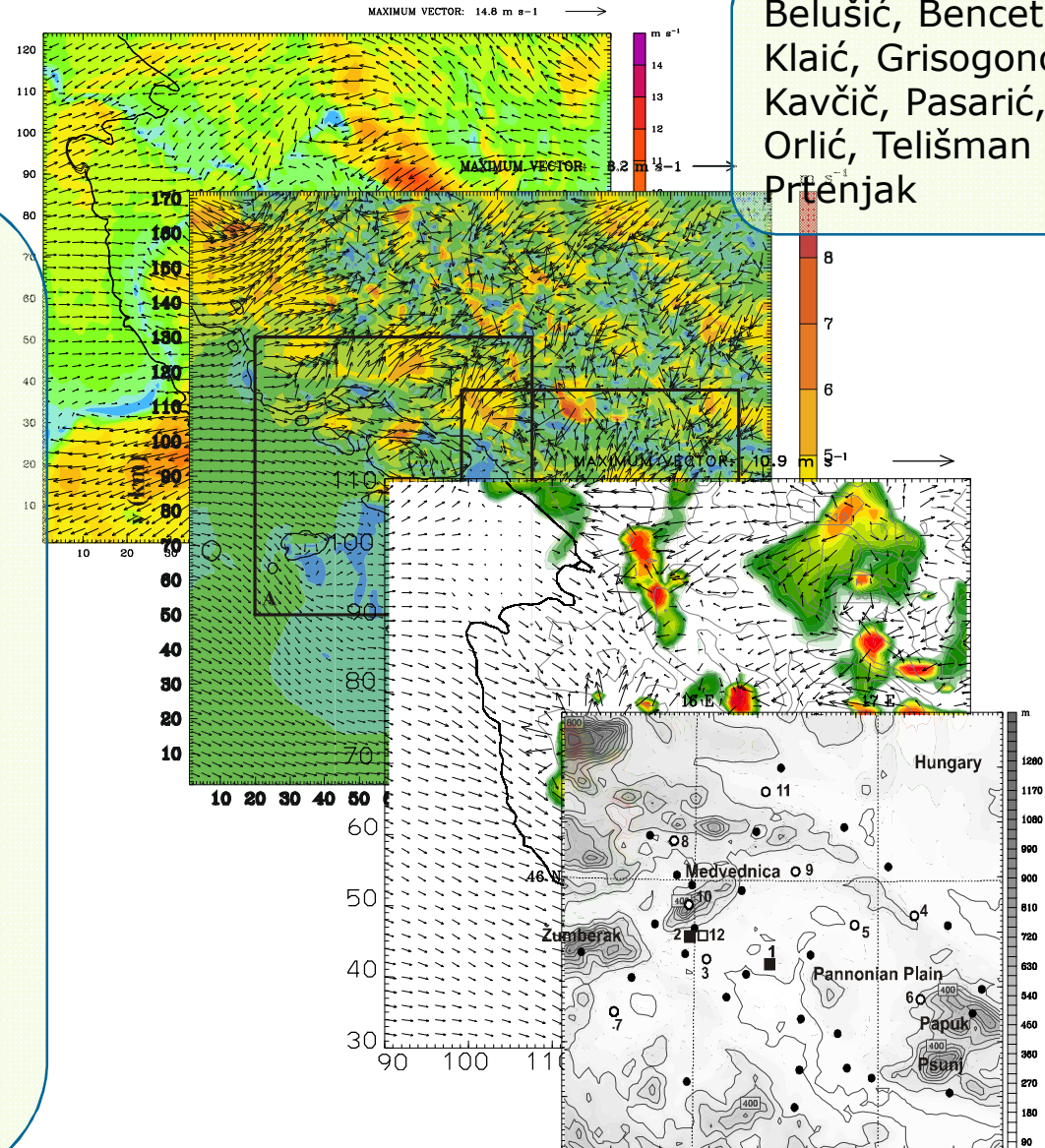
numeričko klimatsko  
modeliranje

# Geofizički odsjek i modeliranje

Numeričko modeliranje

MIUU, MEMO, MM5, WRF...

- ✓ bura (*bora jets*, rotori, ...) i jugo
- ✓ sustav lokalnog vjetra (obalna cirkulacija, cirkulacija vjetra obronka, katabatički vjetar, etezije...)
- ✓ konvektivni sustavi
- ✓ hipotetsko širenje grada, jezera...
- ✓ meandriarnje vjetra
- ✓ meteotsunamiji
- ✓ karakteristike turbulencije
- ✓ ispitivanje parametrizacija
- ✓ stratosferska intruzija ozona,
- ✓ indeks loma radio-valova u atmosferi
- ✓ tsunamiji
- ✓ međudjelovanje atmosfere i mora....



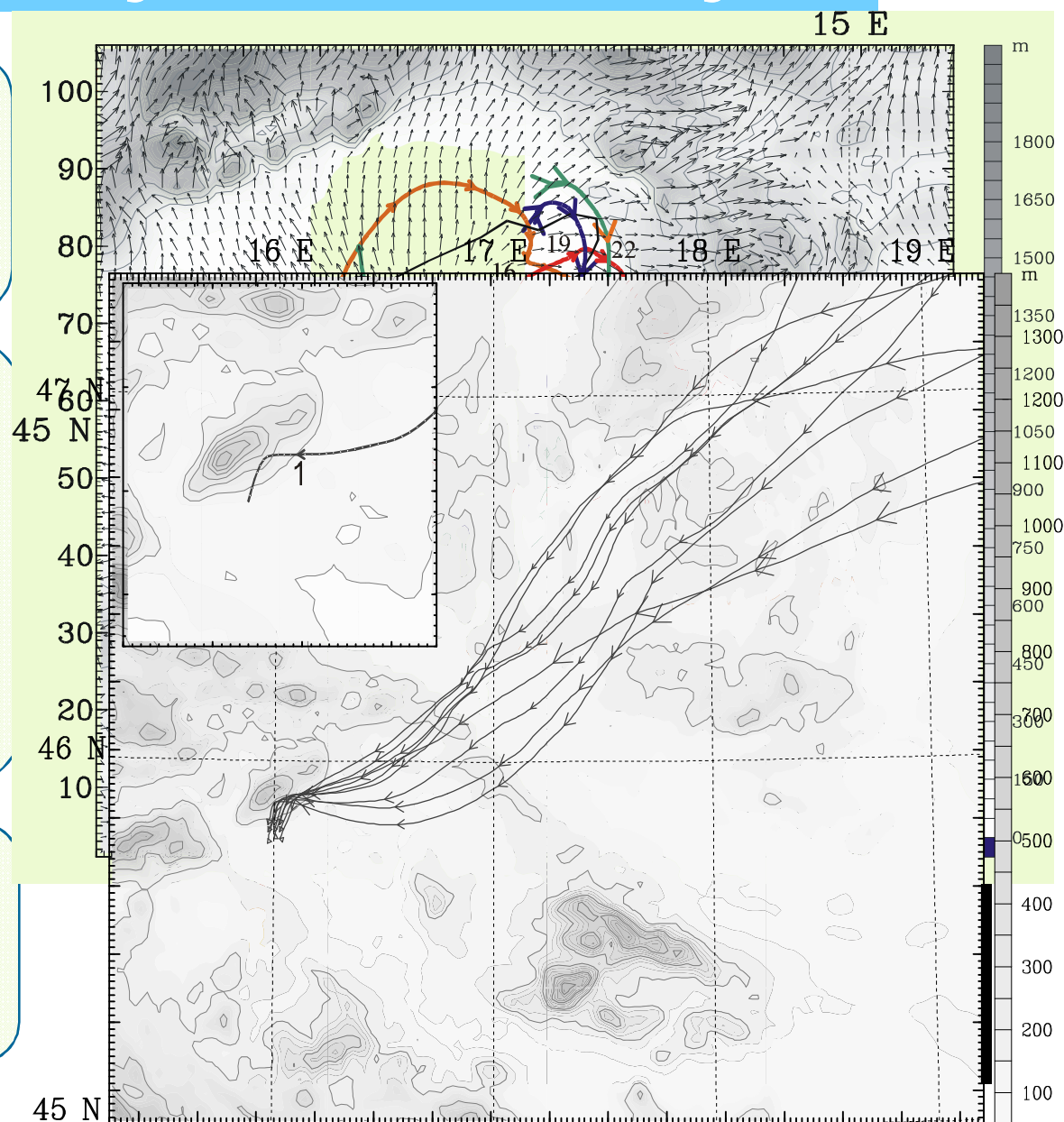
Belušić, Bencetić  
Klaić, Grisogono,  
Kavčić, Pasarić,  
Orlić, Telišman  
Prtenjak

# Geofizički odsjek i modeliranje

Numeričko modeliranje kvalitete zraka  
Bencetić Klaić, Herceg Bulić, Telišman Prtenjak

- ✓ Lagrange-ovski model za daljinski transport sumpora
- ✓ stohastički model čestica lagrangeovskog tipa (kod bure, obalne cirkulacije...)
- ✓ CAMx
- ✓ model neuronskih mreža

- ✓ Analize više epizoda onečišćenja:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , ozona, bio-aerosola (peludi ambrozije)....



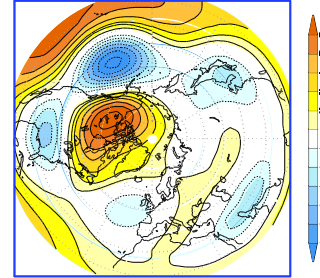
# Geofizički odsjek i modeliranje

Numeričko modeliranje  
- klimatološke simulacije  
Speedy modelom

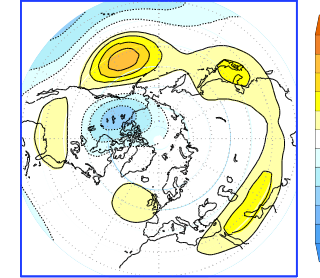
Klimatsko modeliranje  
prinudnog djelovanja  
tropskog Pacifika (ENSO) na  
područje sjeverne hemisfere  
s osvrtom na Sredozemlje

Herceg Bulić and Branković  
(ClimDyn 2007):

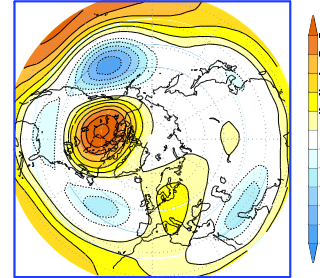
(a) Z 200; JFM; CTRL strong warm composite  
cont=1 dam



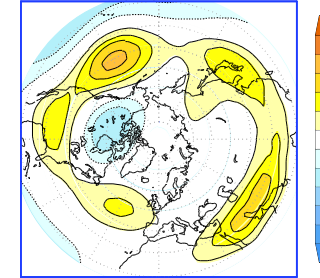
(b) Z 200; JFM; CTRL strong cold composite  
cont=1 dam



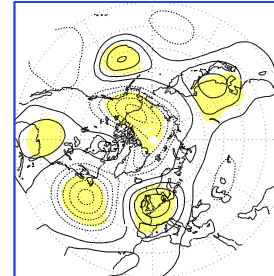
(c) Z 200; JFM; CO2x2 strong warm composite  
cont=1 dam



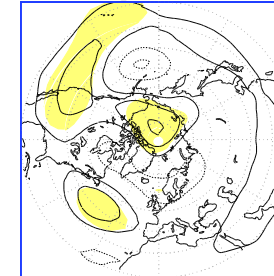
(d) Z 200; JFM; CO2x2 strong cold composite  
cont=1 dam



(e) Z 200; JFM; CO2x2-CTRL strong warm  
cont=0.6 dam



(f) Z 200; JFM; CO2x2-CTRL strong cold  
cont=0.6 dam



# Geofizički odsjek i modeliranje u nastavi

Danas kursevi modeliranja na svima razinama nastave

## Diplomski studij

Osnove modeliranja atmosfere  
Odabrana poglavlja meteorologije  
Dodir s modelima kroz  
Meteoroloski praktikum i  
Analiza i prognoza I,II...

## Doktorski studij

primjena numeričkih modela  
od 1998. s MIUU modelom

- ✓ Modeliranje atmosfere
- ✓ Odabrana poglavlja iz  
atmosferske turbulencije i  
difuzije

Novi kolegij:

- ✓ Obalna meteorologija



## HVALA na pažnji...

[http://www.pmf.unizg.hr/images/site\\_1701/150\\_Geofizicki\\_zavod.pdf](http://www.pmf.unizg.hr/images/site_1701/150_Geofizicki_zavod.pdf)  
<https://bib.irb.hr>