

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta
katedra meteorologie a ochrany prostředí

V H o l e š o v i č k á c h 2 , P r a h a 8



OD MYŠLENKY K REALIZACI A SOUČASNÉ PODOBĚ

T. HALENKA

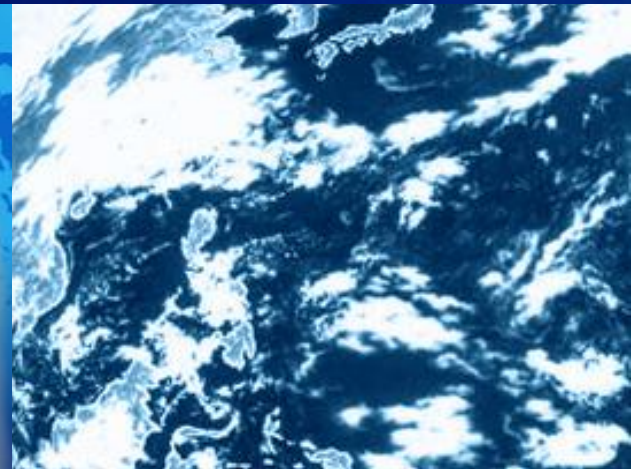
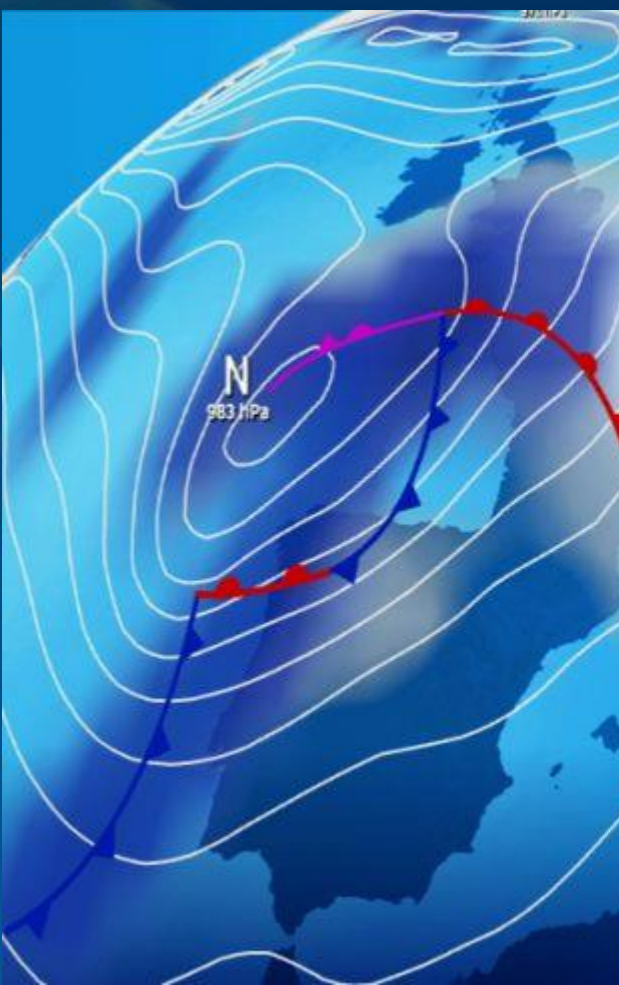
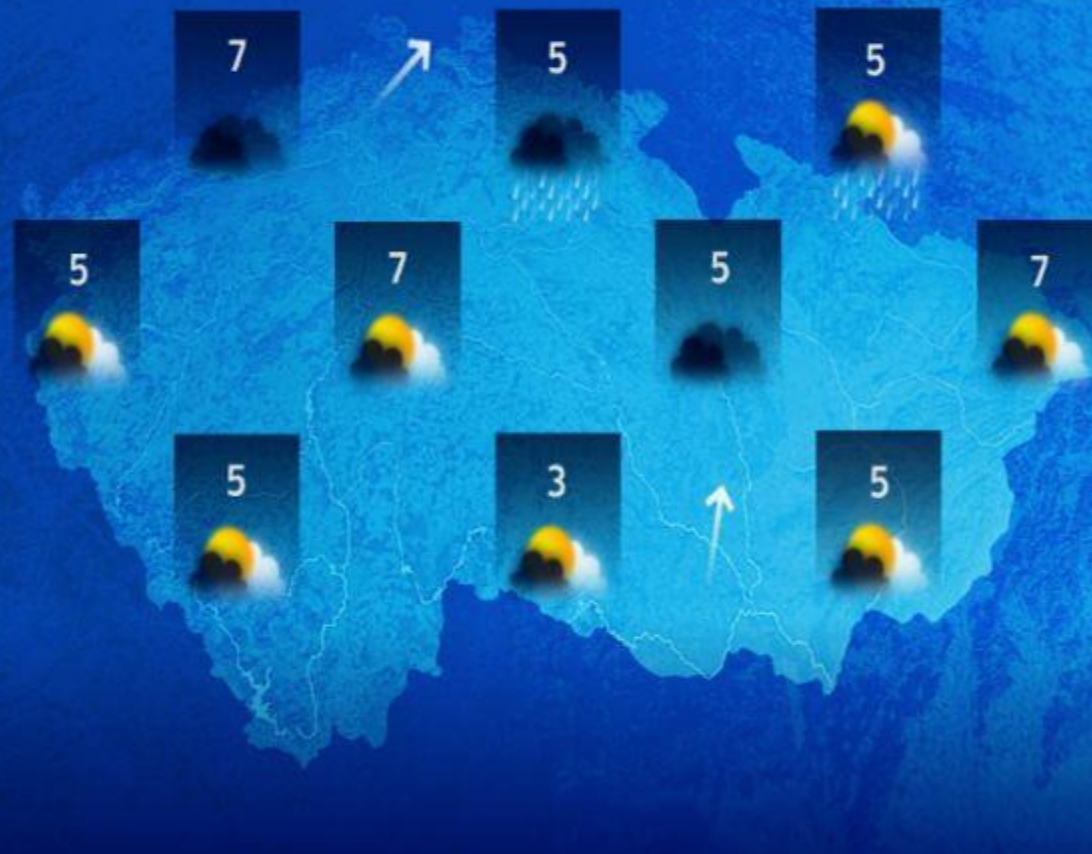
tomas.halenka@mff.cuni.cz



Počasí

ČTVRTEK

maxima 3/7 °C



Předpověď počasí

- velmi krátkodobá (extrapolace – radary, družice)
- krátkodobá
- střednědobá
- dlouhodobá (sezónní)
- klimatická - scénáře



Základní rovnice

Newtonův 2. pohybový zákon pro jednotkovou hmotu v systému spojeném s rotující Zemí

$$d\mathbf{V}/dt = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V} - \alpha \nabla p + \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

Stavová rovnice pro suchý vzduch

$$p\alpha = RT$$

1. věta termodynamická

$$Q = c_v \frac{dT}{dt} + p \frac{d\alpha}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

Rovnice kontinuity pro suchý vzduch

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = -\rho \nabla \cdot \mathbf{V} - \mathbf{V} \cdot \nabla \rho$$
$$\Leftrightarrow \frac{d\alpha}{dt} = \alpha \nabla \cdot \mathbf{V}$$

Základní rovnice

Rovnice kontinuity pro vodní páru

$$\frac{dq}{dt} = S$$

Rovnice kontinuity pro oblačnou vodu a led

Advekce

$$\frac{d(\bullet)}{dt} = \dots$$

• Lagrangean

$$\frac{\partial(\bullet)}{\partial t} = -V \cdot \nabla(\bullet) + \dots$$

• Eulerian

Základní rovnice

- Prognostická rovnice pro oceán
- Prognostická rovnice pro mořský led
- Prognostická rovnice pro půdu
-
- Propojení složek modelového systému
- Přizpůsobení toků mezi složkami



Jak vznikla myšlenka předpovědi počasí s využitím pohybových rovnic?

Rovnice pohybu dobře známé již asi od 1800.

Leonard Euler: 1707-1783;

"Předpověditelnost" - Lze to provést?



Předpověď počasí s využitím řešení základních rovnic pohybu atmosféry?

Vilhelm Bjerknes (1862-1951)



Předpověď počasí s využitím řešení základních rovnic
pohybu atmosféry?

Vilhelm Bjerknes (1862-1951)



V. Bjerknes.

V. Bjerknes, 1904:

Je-li pravda, jak každý odborník věří, že následné atmosférické stavy se vyvíjí z předchozích podle fyzikálních zákonů, potom je zřejmé, že nezbytné a postačující podmínky pro racionální řešení problému předpovědi jsou následující:

1. Dostatečně přesná znalost stavu atmosféry v počátečním čase.
2. Dostatečně přesná znalost zákonitostí podle kterých se mění jeden stav atmosféry ve druhý.

(Překlad: Yale Mintz)



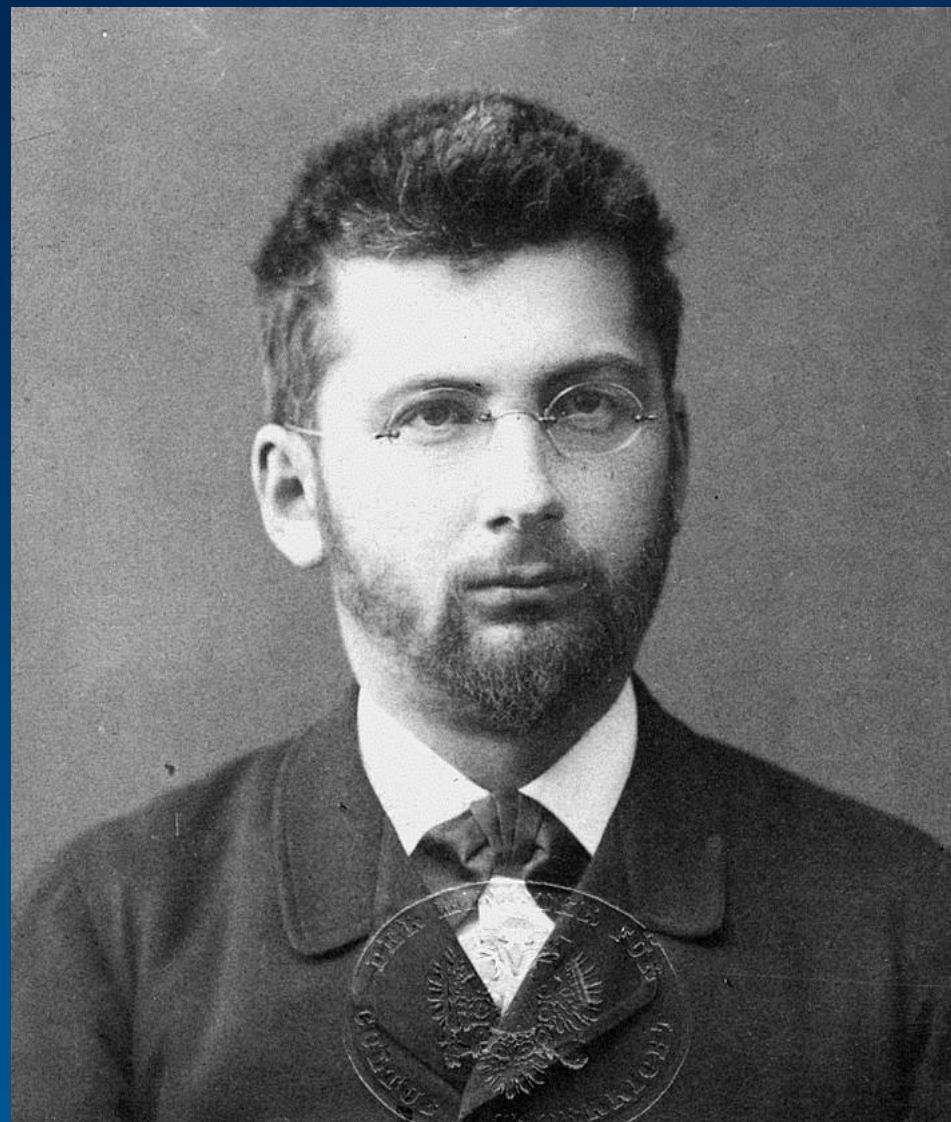
Bjerknes se věnoval nejsystematičtěji práci na své první podmínce. Avšak nikdy nepochyboval o možnosti přesné předpovědi.

Bjerknes (1919):

“pokud počáteční podmínky ... a pokud rovnice ... s dostatečnou přesností, potom by stav atmosféry mohl být zcela určen nějakým super-matematikem v libovolném následném čase”



Ve stejné době Max Margules (1856-1920)



Ve stejné době Max Margules (1856-1920)

(student L. Boltzmann a
J. Stefana) pochopil související
potíže,

Margules (1904):

měření větru nemá potřebnou
přesnost aby mohlo posloužit k
výpočtu tlakových změn s
použitím rovnice kontinuity!

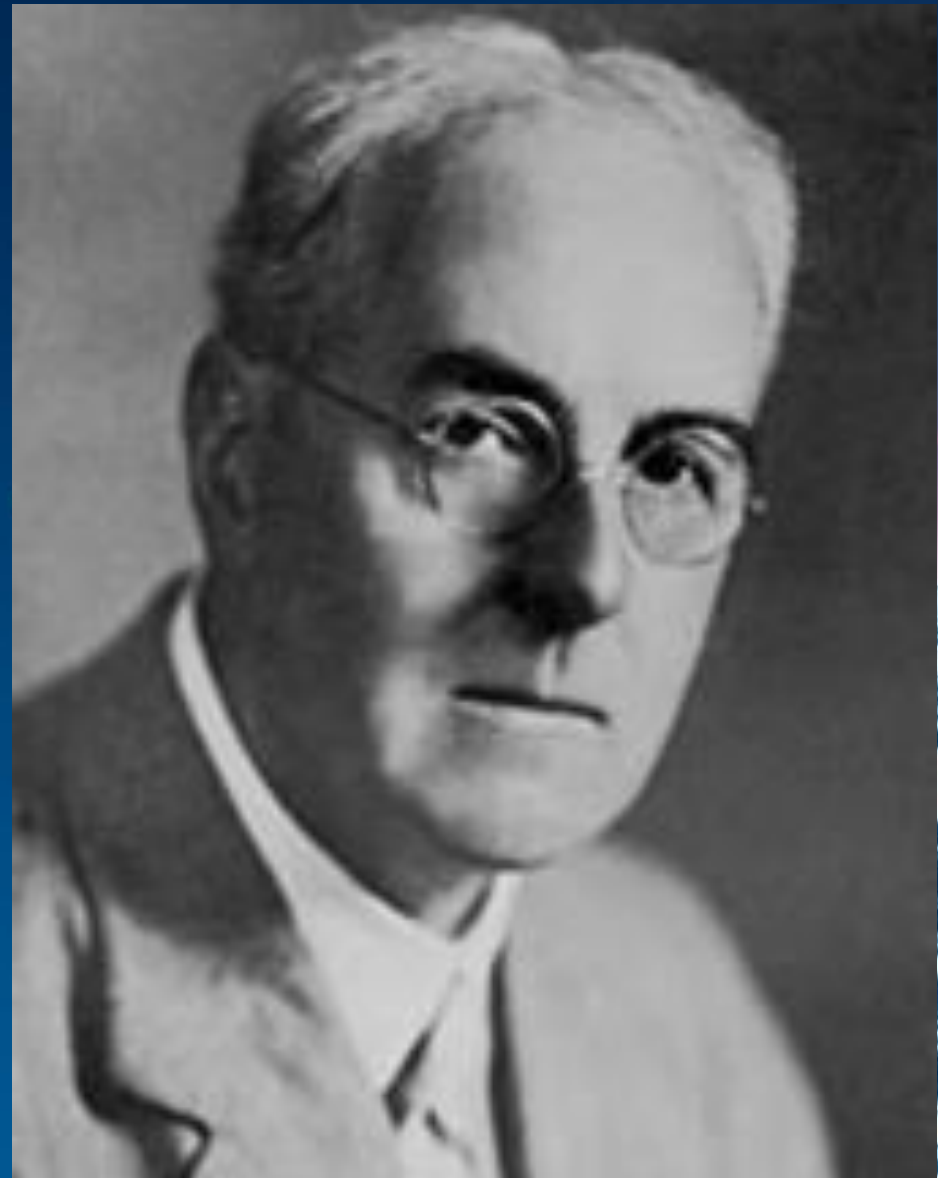
(Reference:

Peter Lynch, 2004, 50 years of
NWP Symposium,

<http://wwwt.ncep.noaa.gov/nwp50/Presentations/>)



O něco později, během první světové války (publikováno 1922)
Lewis Fry Richardson (1883-1953)



O něco později, během první světové války (publikováno 1922)
Lewis Fry Richardson (1883-1953)

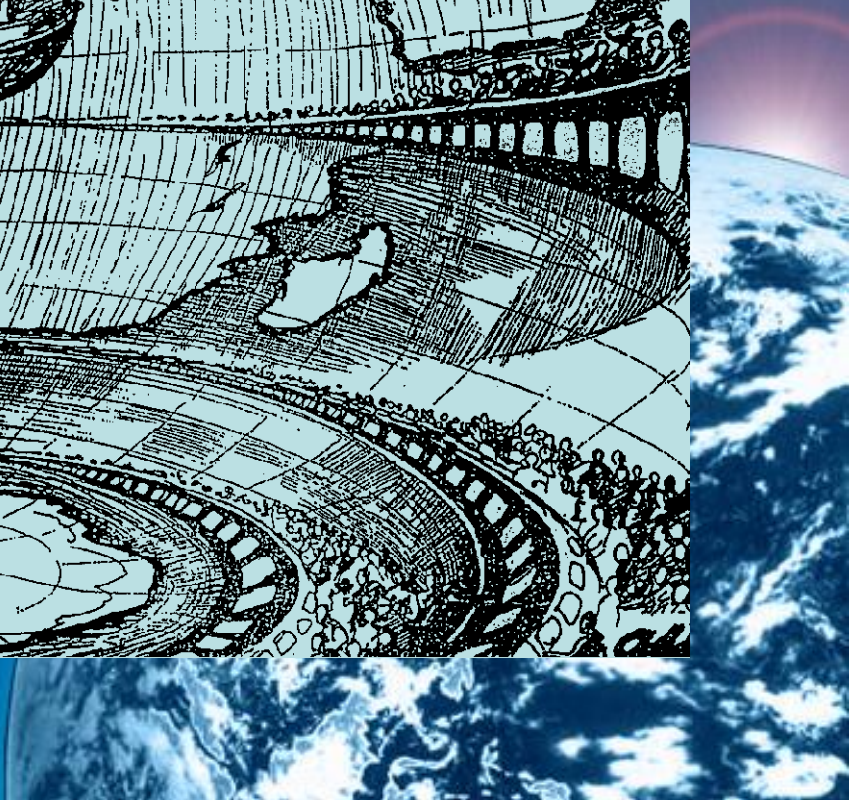
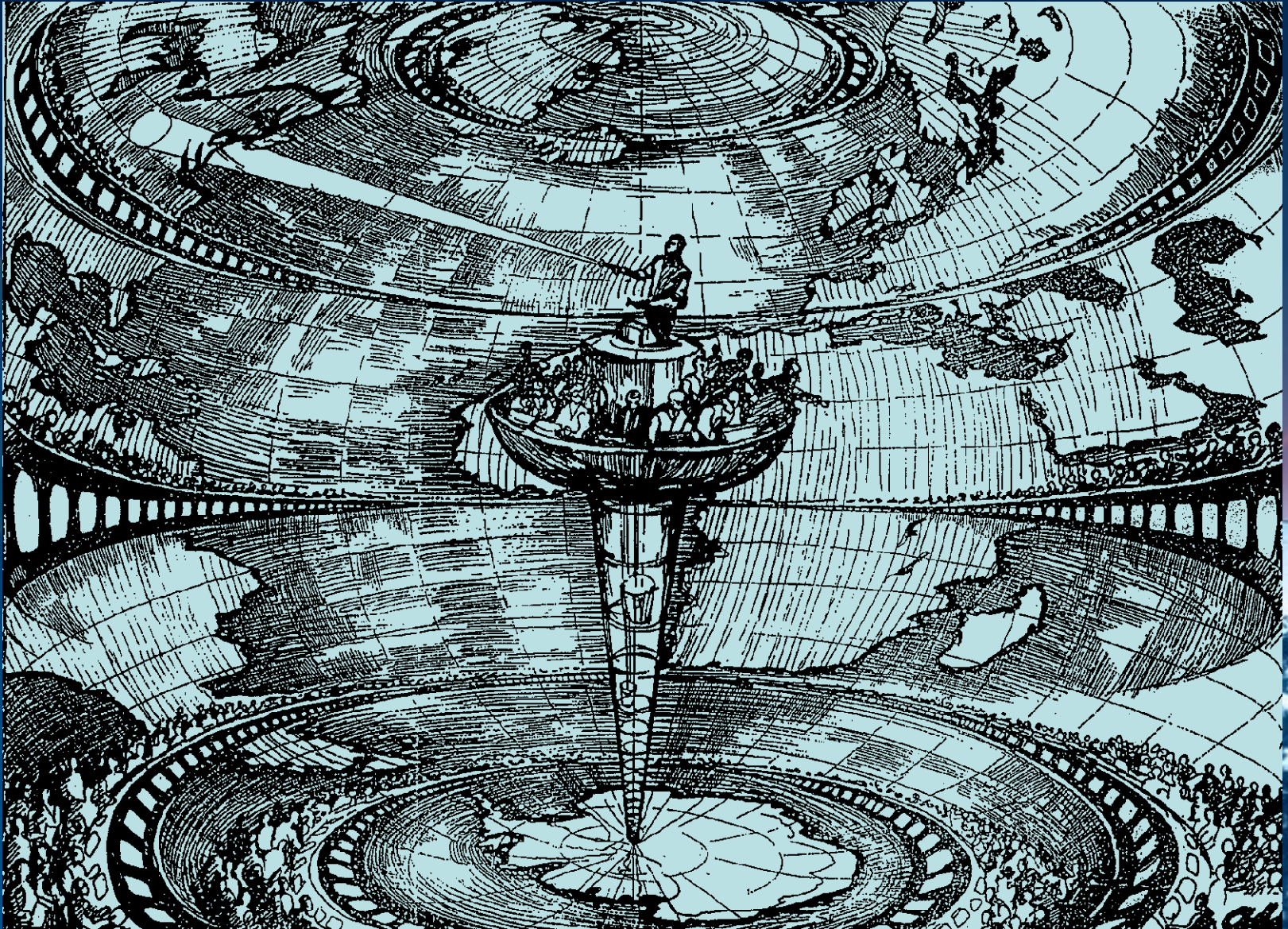
se dostal dále a provedl
numerickou integraci úplné
soustavy řídicích rovnic, resp.
vypočetl jeden šestihodinový
časový krok

Naprosto nesmyslný výsledek

Ale: krásná a vizionářská kniha!

“... chyby porostou s počtem
časových kroků”





“alespoň *prozatím*”: nejbližší současným metodám!

Další milníky, některé z nich:

- Courant, Friedrichs, Lewy (1928): podmínka délky časového kroku ve vztahu k rozlišení pro zachování numerické stability;
- Pochopení (Carl-Gustaf Rossby, Jule Charney, Arnt Eliassen, ..), že atmosférické rovnice obsahují i různé rychlé typy pohybu – vlny, které v reálné atmosféře nedosahují takového významu

Řešení problému – „filtrace“ rovnic;

- První víceúčelový, programovatelný elektronický počítač (ENIAC); 17 468 elektronek
- První úspěšný pokus o numerickou předpověď počasí: Charney, Fjørtoft, von Neumann (1950);
- První operativní numerická předpověď: 1954;
-



Avšak, “alespoň”: Jak předpověditelné *je* počasí?

První studie o atmosférické
“předpověditelnosti”:
Phil Thompson (1957)



Avšak, “alespoň”: Jak předpověditelné *je* počasí?

První studie o atmosférické
“předpověditelnosti”:
Phil Thompson (1957)

Ukázal, že přesný popis počátečního
stavu atmosféry je nemožný. Důsledky?

“... dvě řešení ... počáteční stavy, které
se liší náhodným polem chyb ...”

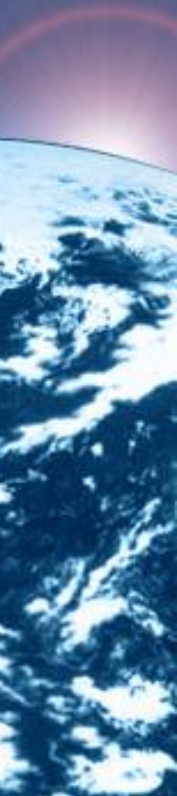
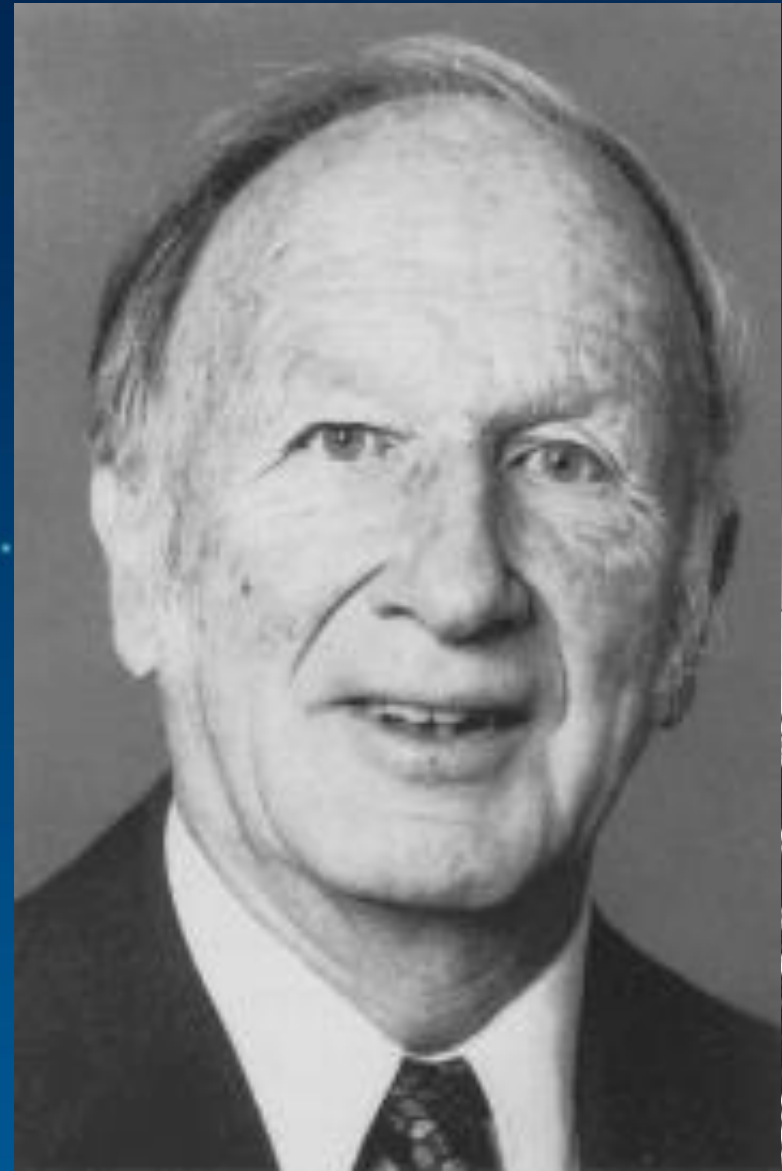
Z teorie homogenní turbulence:

“časový limit předpověditelnosti něco
přes týden”



Plné porozumnění problému:
Ed Lorenz (1963)

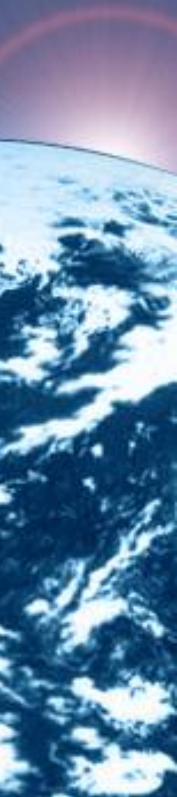
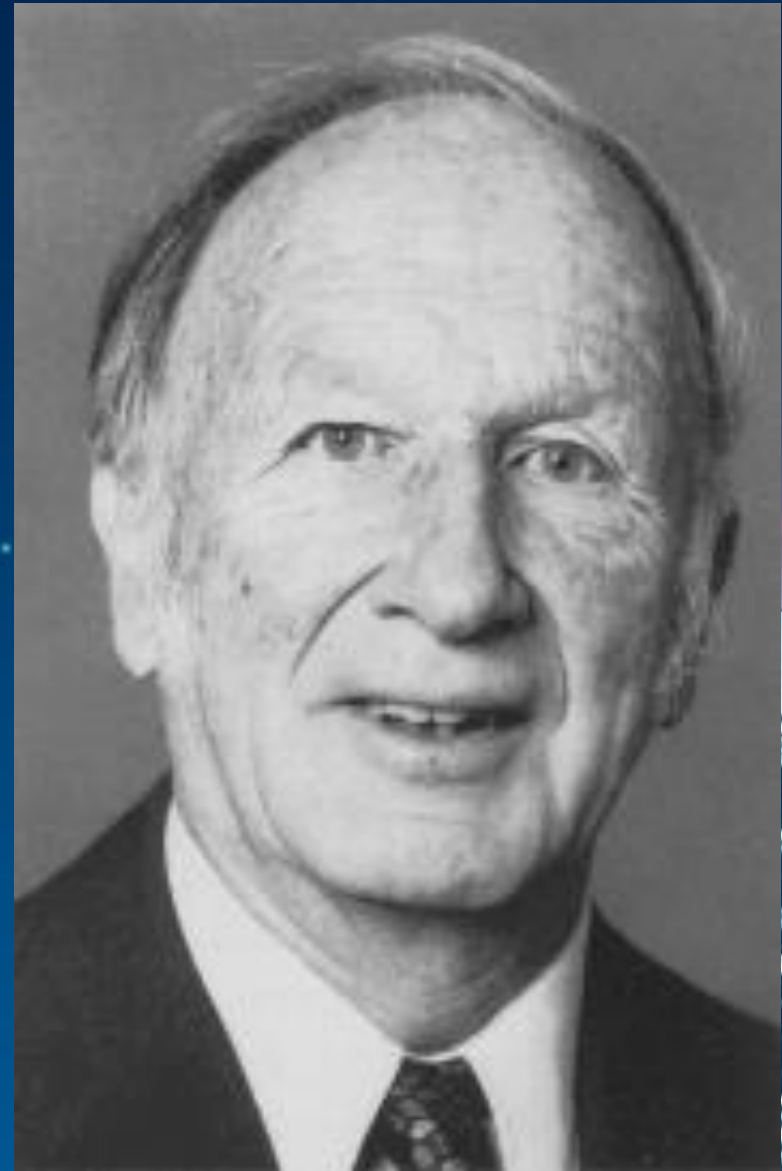
“teorie chaosu”



Plné porozumnění problému:
Ed Lorenz (1963)

“teorie chaosu”

Chyby malého měřítka
rovněž porostou!



J.G. Charney, R. Fjørtoft a J. von Neumann

- 1949 - numerická integrace barotropní rovnice vorticity
- na počítači ENIAC
- Numerical integration of the barotropic vorticity equation. *Tellus*, 2, 237–254.), 1950

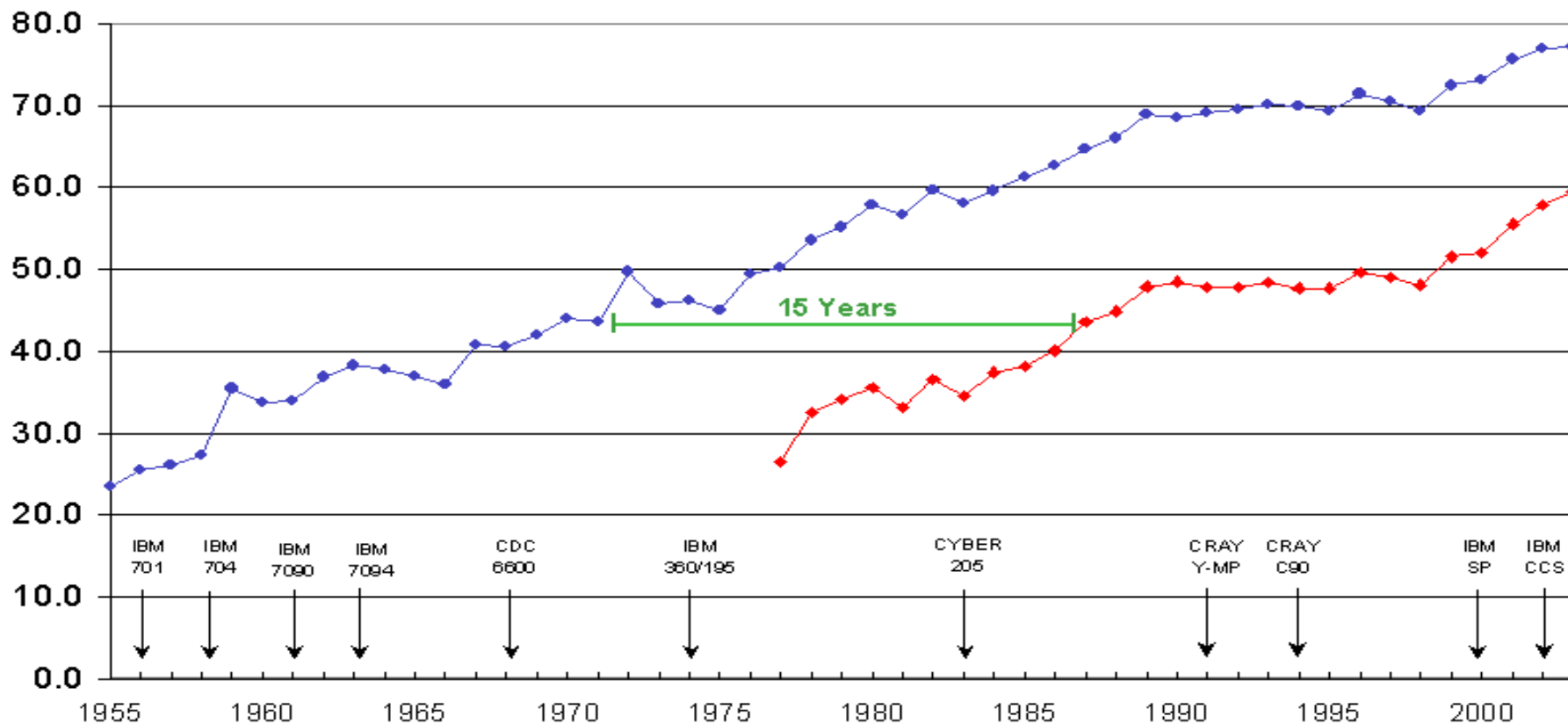


Trend úspěšnosti předpovědi



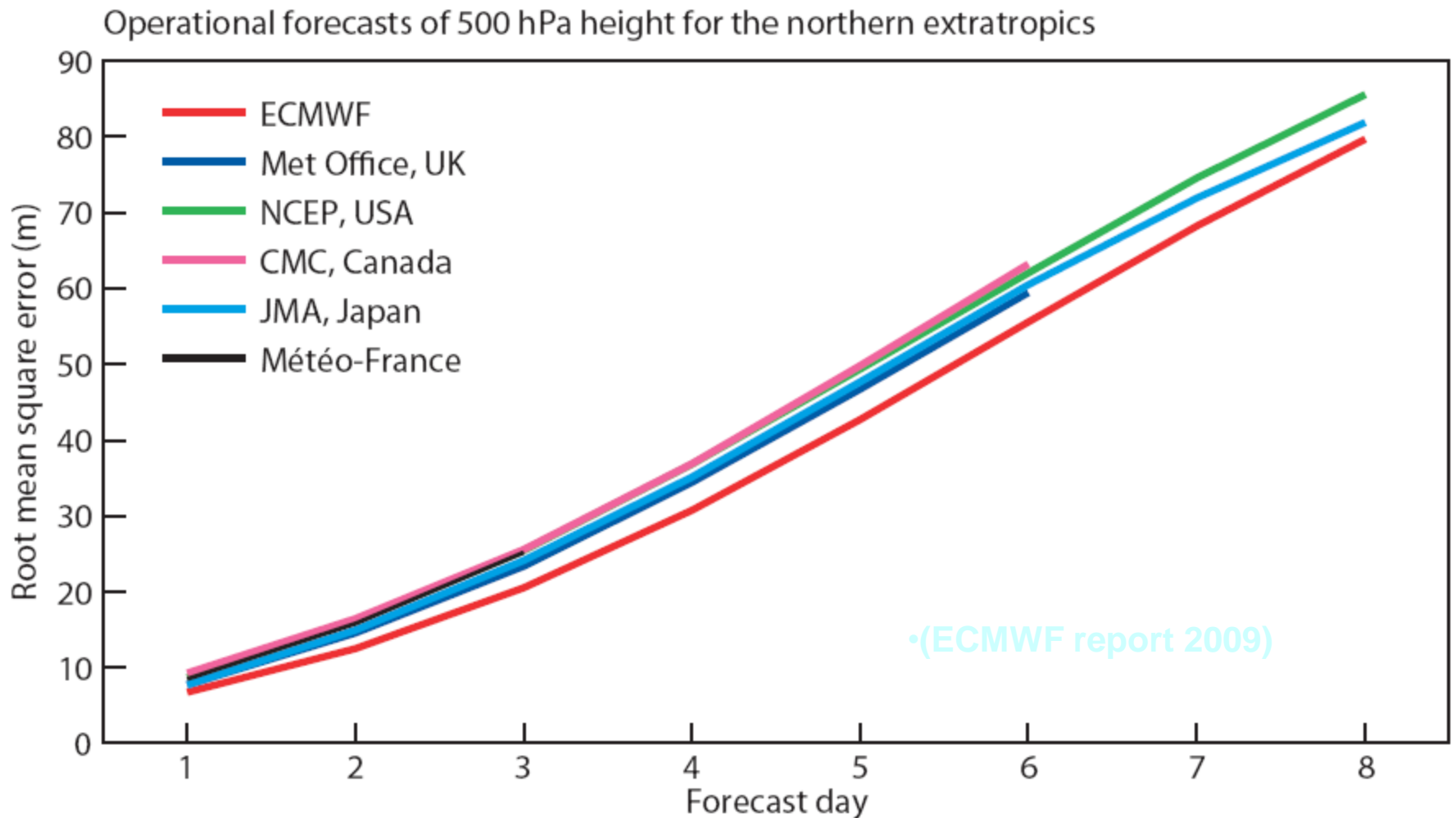
NCEP Operational Forecast Skill 36 and 72 Hour Forecasts @ 500 MB over North America [100 * (1-S1/70) Method]

—●— 36 Hour Forecast —◆— 72 Hour Forecast



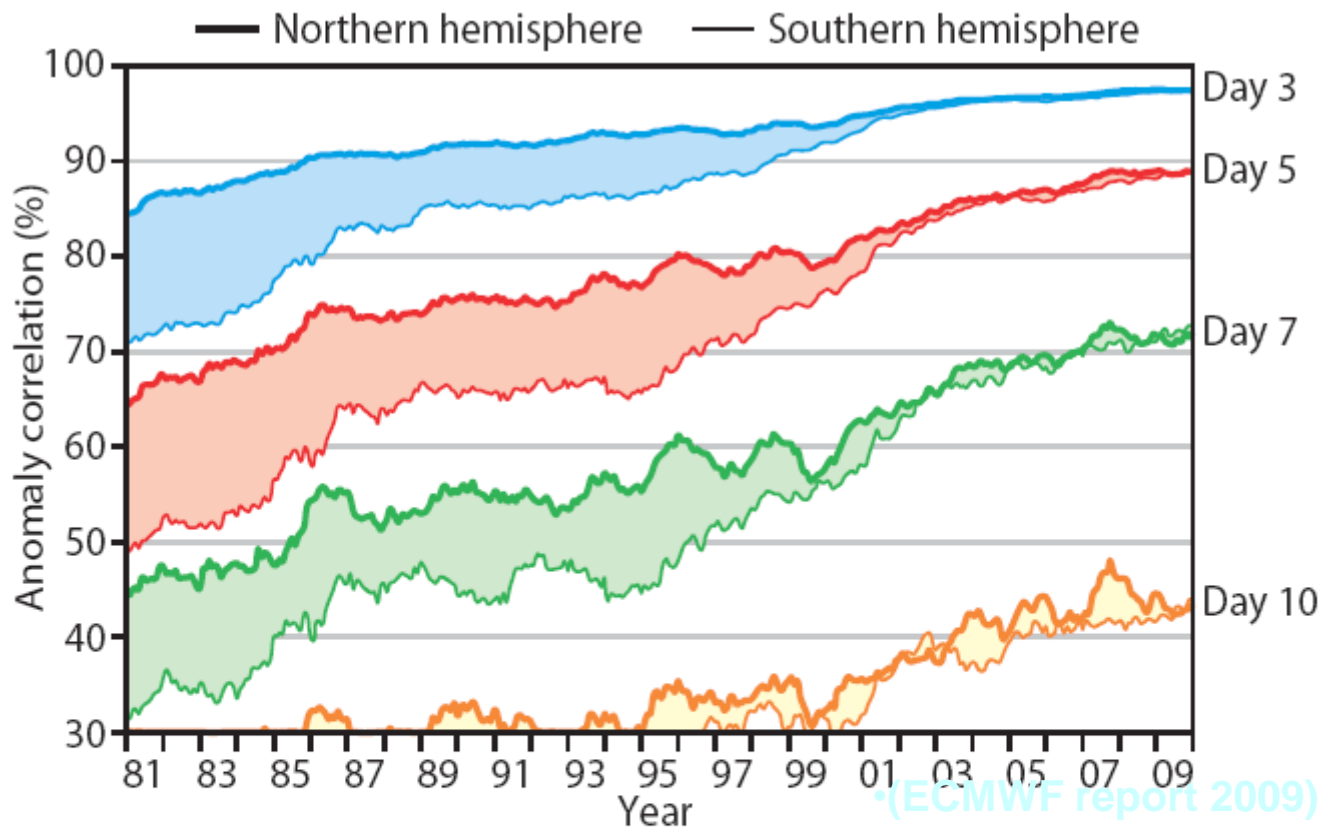
3,700,000,000 Times Faster

Srovnání globálních center



Comparison of the performance of various global forecasting centres during 2009.
The verification scores from six global forecasting centres show that ECMWF maintained its lead over other centres in 2009. For the score shown, the lower its value the better the forecasts.

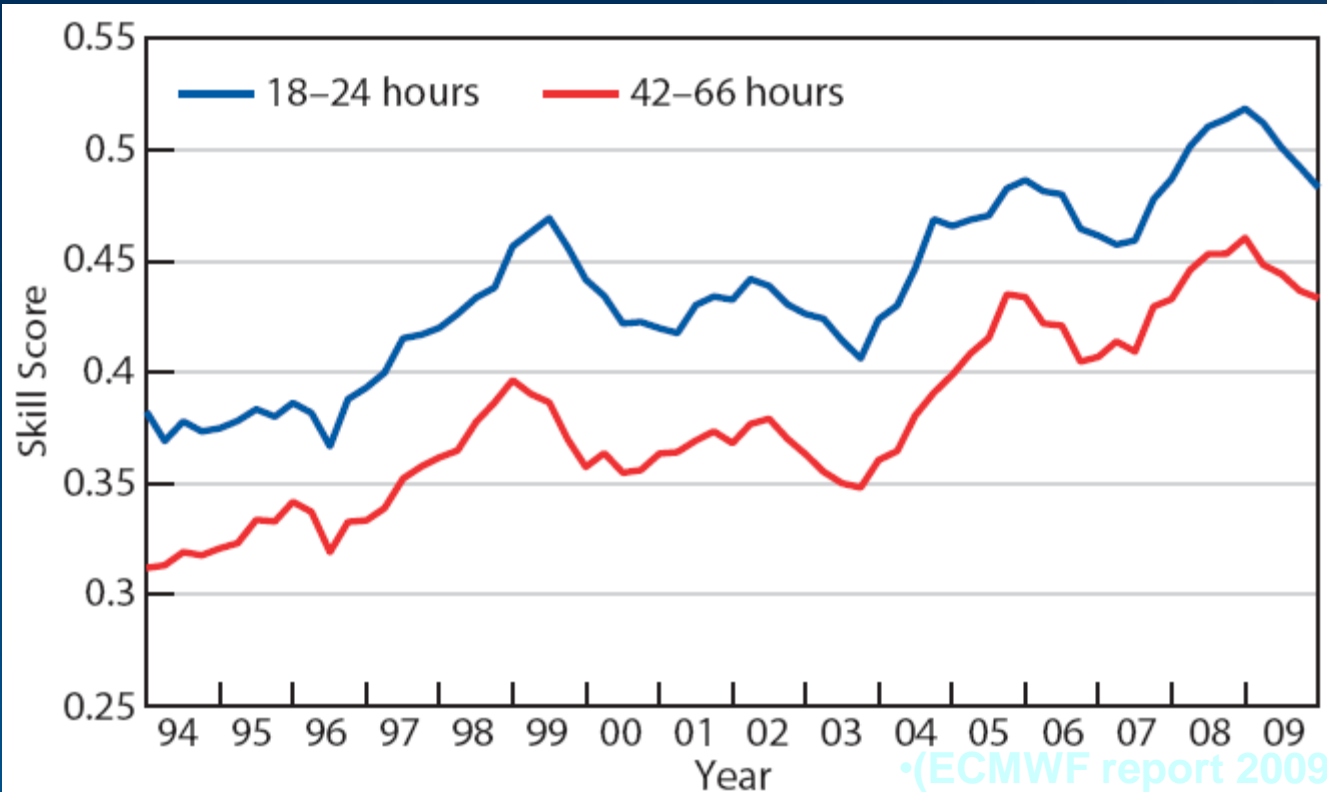
Verifikace ECMWF předpovědi



Improvements in the accuracy of the ECMWF forecasts. The increase in the verification scores for the northern and southern hemispheres shows that ECMWF forecasts have steadily improved with time, with the accuracy of the forecasts in the northern and southern hemispheres now being similar. The shaded areas highlight the differences in forecast accuracy between the hemispheres. The score used is the anomaly correlation of forecasts of 500 hPa height.

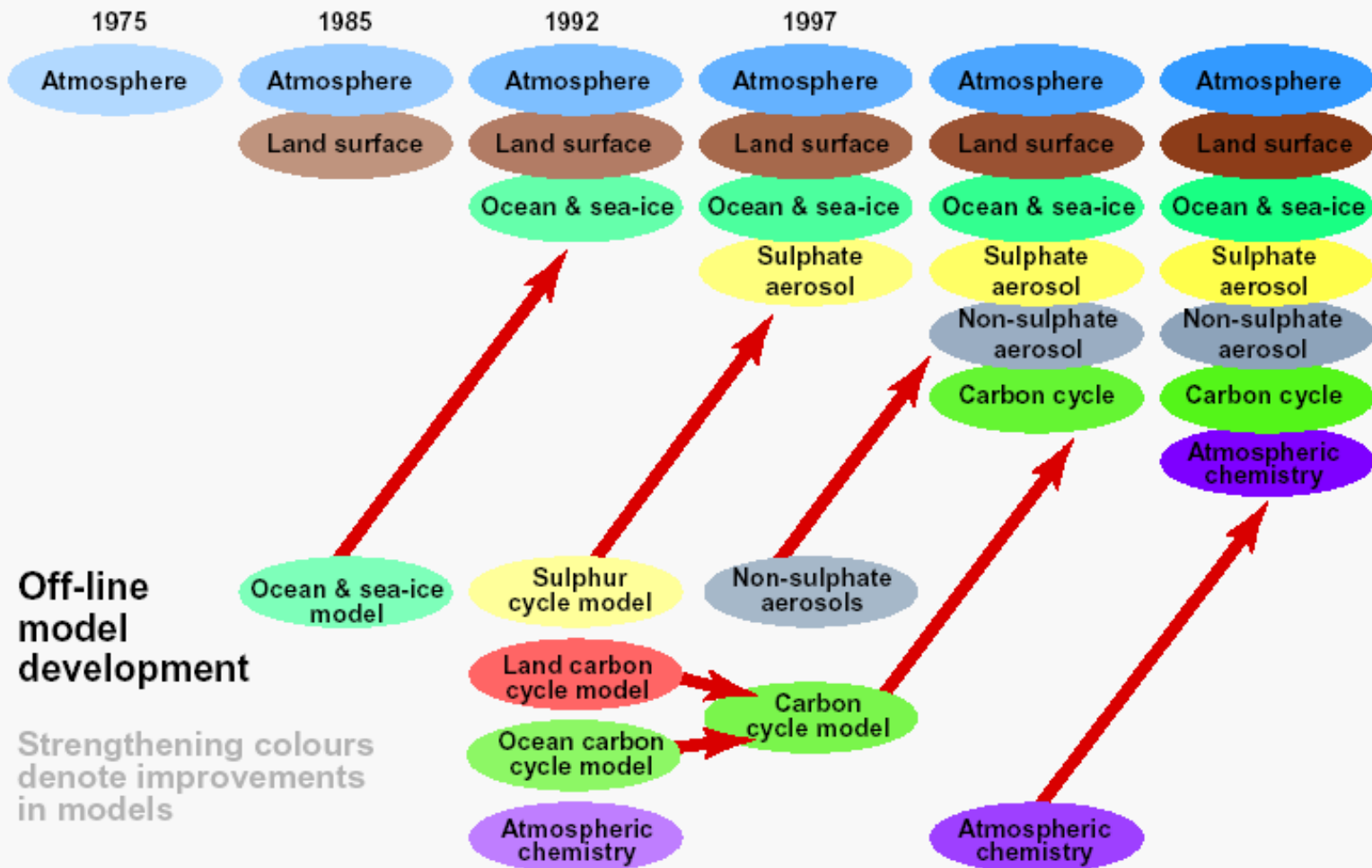
(ECMWF report 2009)

Verifikace předpovědi srážek



Improving accuracy of precipitation forecasts from the deterministic forecasting system. Time series of the skill of forecasts of precipitation exceeding 10 mm/day verified against European weather stations (SYNOP reports). Results are for precipitation accumulations for 18-24 hours and 42-66 hours.

EARTH SYSTEM MODEL



Niels Bohr:

„Předpovídání je velmi obtížné,
zvláště pokud jde o budoucnost“

Děkuji za pozornost

