



## O předpovědi počasí

Michal Žák<sup>1</sup>, *Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze*

Lidé toužili předpovědět počasí už od nepaměti. Tato potřeba pochopitelně vzrostla v období, kdy se člověk začal zabývat zemědělstvím, kde stav a průběh počasí hraje naprosto podstatnou úlohu. Někdy v této době se lidé začali věnovat mnohem více pozorování stavu a vývoje oblohy, což mělo úzkou vazbu na budoucí stav počasí.

Z dochovaných pramenů je jisté, že o určité předpovědi počasí se snažili třeba už staří Babylóňané nebo Číňané, kteří si všímali například červánků na obloze. Z doby starověkého Řecka vynikal znalostmi atmosféry a dějů v nich probíhajících Aristoteles, který je i tvůrcem knihy *Meteorologie*. V ní například popisuje vznik rosy a jinovatky za jasných a bezvětřných nocí. *Meteorologie* se během středověku rozvíjela jen velmi pozvolna, větší impuls zaznamenala až v 17. a 18. století v souvislosti se zdokonalením přístrojů měřících stav atmosféry (teploměr, tlakoměr, vlhkoměr aj.). V této době vzniká taky celá řada lidových pranostik, které se na základě počasí v určitém období nebo ve specifických dnech snaží určit vývoj počasí v budoucnu. Vznikly na základě dlouhodobého a pečlivého sledování počasí a v takovém případě mají často pravdivé jádro (např. „Medardova kápeň, čtyřicet dní kape“), jiné vyjadřují třeba přání, aby počasí probíhalo tak, jak má (např. „Studený prosinec zvěstuje úrodný rok“), jiné jsou vyloženě pověřivé (např. „Dvanáct nocí a dní od Štědrého večera až do Tří králů zvěstuje prý povětrnost příštích dvanácti měsíců“).

Hlavní rozvoj meteorologie ale přišel až v 19. století, a to v souvislosti s vynálezem telegrafu (v roce 1835). Ten zprostředkoval výměnu naměřených dat o stavu atmosféry během poměrně krátké doby a umožnil studium dějů v reálném čase. Vznikly tak první metody předpovědi počasí založené na pozorování stavu atmosféry ve velké oblasti. V této souvislosti jmenujme například Francise Beauforta, který vytvořil 13dílnou stupnici síly větru, nebo námořního generála Roberta Fitzroye, který vytvořil – na svou dobu – velice moderní představu o fungování proudění v atmosféře.

Vůbec největší zlom zažila meteorologie ve druhém desetiletí 20. století. V té době se v norském Bergenu soustředila skupina špičkových meteorologů, mezi nimi byli například Bergeron, Solberg nebo Bjerknes, která založila tzv. norskou meteorologickou školu. A právě tady vznikaly pojmy, které se v meteorologii používají dodnes a které určitě každý nejednou slyšel – atmosférické fronty, cyklóny (tlakové níže), anticyklóny (tlakové výše). Genialita myšlenek autorů této koncepce vynikne, uvědomíme-li si, že v té době neměli meteorologové k dispozici prakticky žádné údaje o vertikálním stavu atmosféry s výjimkou několika málo horských stanic (a ani ty nebyly výše než ve 3,5 km). Že autoři velmi dobře zmapovali realitu, potvrdily až meteorologické družice, které nastoupily v 60. letech minulého století. Ještě než se dostaneme do moderní doby, je nutné zmínit jméno Lewis Fry Richardsona (viz obr. 1), který v roce 1922 sestavil první numerickou předpověď počasí. Několik týdnů s týmem kolegů počítali jednu jedinou předpověď – pole přizemního tlaku vzduchu na 6 hodin dopředu. Bohužel, neúspěšně. Nebylo to ale proto, že by metody Richardsona a kolegů byly chybné, ale paradoxně – spíš naopak. Ve výpočtech totiž neuplatnili filtry, které by odstranily různé a původně malé šumové složky. Ty se ale v průběhu času zvětšily natolik, že znehodnotily předpověď po-

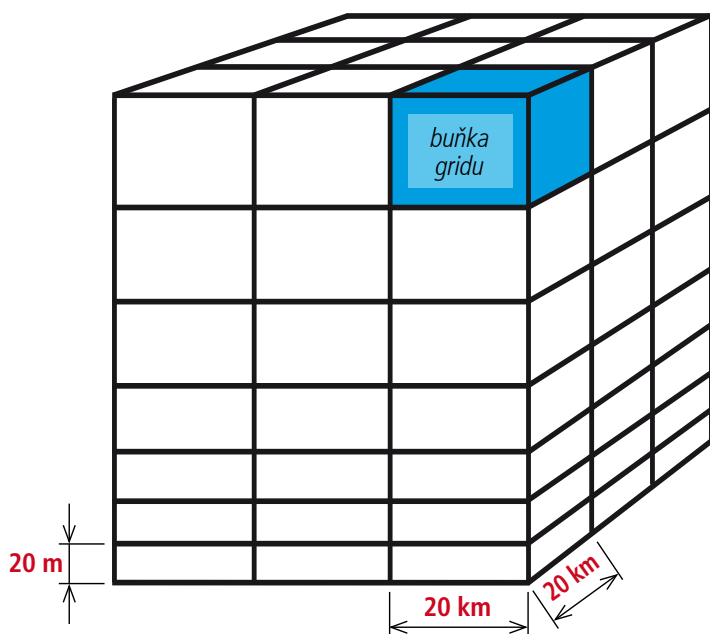


Obr. 1 – L. F. Richardson (1881–1953), autor první numerické předpovědi počasí<sup>2</sup>

<sup>1</sup> michal.zak@mff.cuni.cz

<sup>2</sup> <http://www.npgprints.com/image/360342/walter-stoneman-lewis-fry-richardson>

časí. Jak později dokázal P. Lynch, po aplikaci těchto filtrů byla Richardsonova předpověď naopak pozoruhodně přesná. To na pár desetiletí upozadilo numerické, tedy početní předpovědi počasí, které se do popředí dostaly až s vývojem výpočetní techniky, zejména v 60. a 70. letech 20. století.



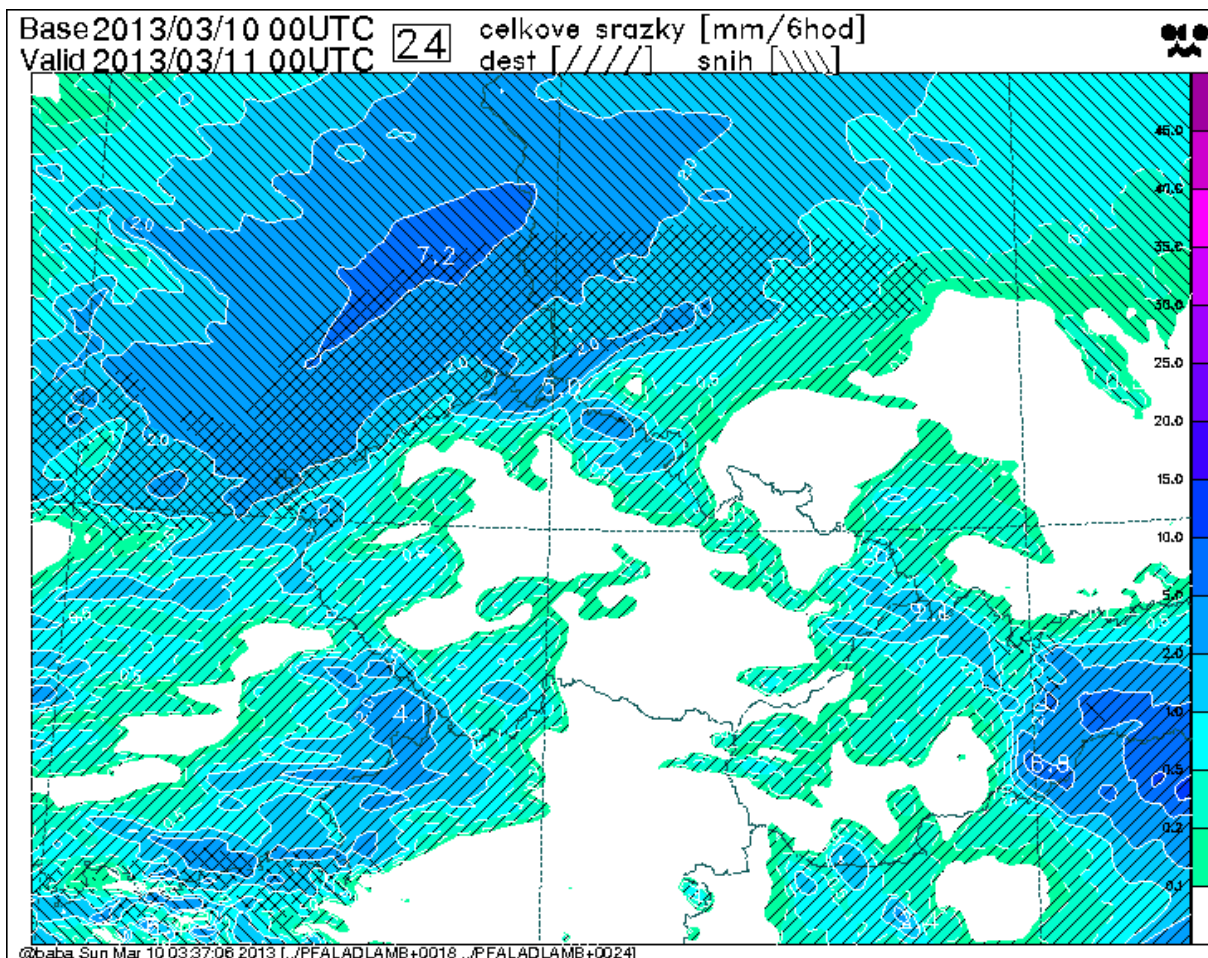
Obr. 2 – schematické znázornění sítě uzlových bodů pro výpočet modelu

kterým se počasí počítá, může být buď globální, který zahrnuje příslušnou hemisféru nebo celou zemkouli, tak i lokální, který se řeší pouze na omezené oblasti (například o velikosti poloviny Evropy).

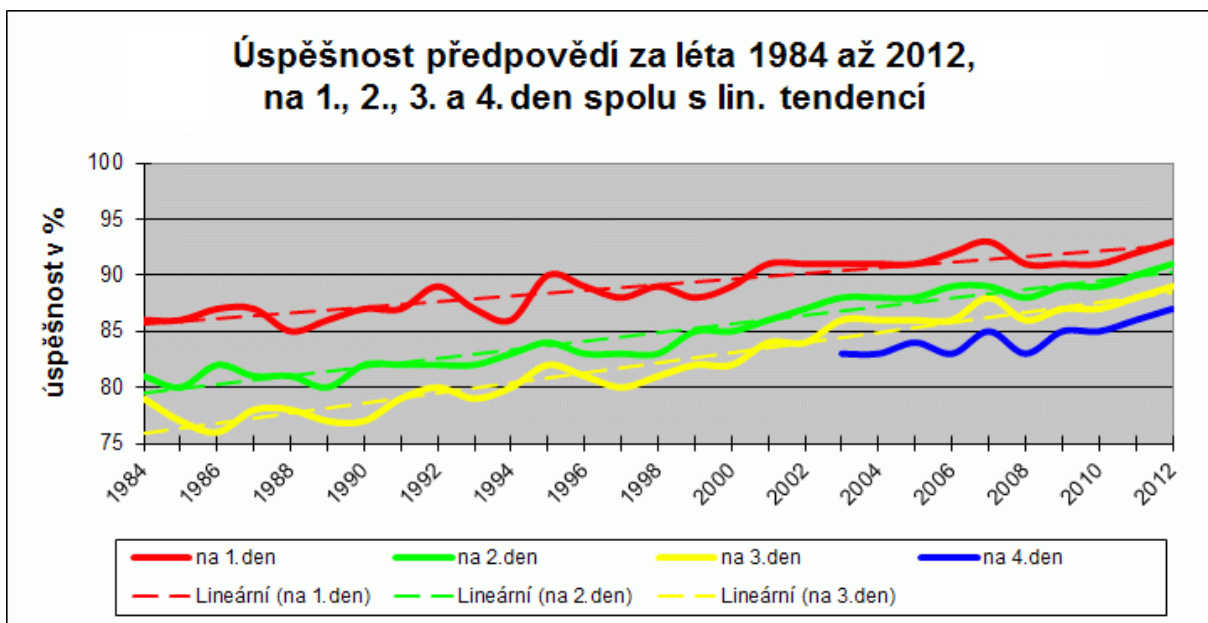
Každý model je nejprve nutné „nakrmit“ daty o aktuálním počasí. Platí, že čím přesněji známe výchozí stav, tím vyšší je pravděpodobnost, že výsledná předpověď počasí bude úspěšná. Do modelů přitom nevstupují jen data z pozemních meteorologických stanic, ale velkou měrou i data z meteorologických družic, dále se používají data aerologická naměřená meteorologickými balóny, data z letadel nebo radarů. Následně je nutné data vzájemně vybalancovat, aby „seděla“ modelu (uvědomme si, jak se liší formát, časové i prostorové rozlišení z jednotlivých měření – například pozorovatel měří teplotu v konkrétním bodě v jedné výšce, zatímco družice poskytuje informace o teplotě v určité vrstvě tlusté několik set metrů a v horizontálním rozlišení řádově kilometrů). Poté už může proběhnout integrace modelu, tedy výpočet budoucího stavu atmosféry. Přitom tento výpočet se obvykle provádí v časovém kroku řádově několika minut. Pokud jde o horizontální rozlišení modelů, pohybuje se od několika desítek kilometrů u modelů globálních až po jednotky kilometrů u modelů lokálních. Například u dobře známého, v Česku počítaného modelu ALADIN, který je modelem lokálním, je rozlišení 4,7 km a vše se počítá v 87 vertikálních hladinách (příklad předpovědi na obr. 3). Vzhledem k rozsahu a náročnosti početních operací se výpočty odehrávají na superpočítačích, už zmíněný ALADIN se nyní počítá na superpočítači NEC-SX9 a za pouhý den vyprodukuje neuvěřitelných 300 gigabytů výsledků.

Na tomto místě považuji za vhodné se zmínit o problémech numerických předpovědí počasí. Už jsme se zmínili o problematice různých typů dat, se kterými se musí model vypořádat a které mohou v některých případech být zdrojem určitých nejistot. Důležitou otázkou jsou procesy, které jsou natolik malé, že je modely nejsou schopny vzhledem ke svému rozlišení zachytit. Například kupovité oblaky mají rozměry jednotky kilometrů nebo i stovky metrů, což je pod hranicí rozlišení modelů. Přitom ale mohou v důsledku svého působení být velice důležité pro vývoj počasí. Proto je nutné tyto jevy tzv. parametrizovat, tedy na základě spočtených proměnných z modelů dopočítat tyto tzv. podměřítkové jevy (běžně se tak počítají srážky, vítr ve výšce 10 m nad zemí i teploty vzduchu u země).

Jsou to právě numerické předpovědní metody, které dnes stojí za drtivou většinou předpovědi počasí, se kterými se můžete setkat. O co vlastně jde? Atmosféra představuje hydrodynamický systém, který lze popsat fyzikálními rovnicemi. Reálnou atmosféru si můžeme nahradit modelem ve formě sítě uzlových bodů, gridů (jejichž vzdálenost může být různá jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru – viz obr. 2), a v nich pak řešíme složitý systém parciálních diferenciálních rovnic popisujících chování atmosféry. Jejich integrací získáme budoucí stav atmosféry, tedy budoucí počasí. Pro řešení se používá systém obsahující pohybové rovnice, rovnici kontinuity (včetně rovnice kontinuity pro vodní páru), stavovou rovnici a určitý tvar 1. hlavní věty termodynamické. Samozřejmě, vlastní systém a především způsob řešení je však velice složitý a výrazně přesahuje možnosti tohoto článku. Model atmosféry,



Obr. 3 – předpověď srážek podle modelu ALADIN počítaného v ČHMÚ<sup>3</sup>



Obr. 4 – úspěšnost předpovědi počasí podle ČHMÚ<sup>3</sup>

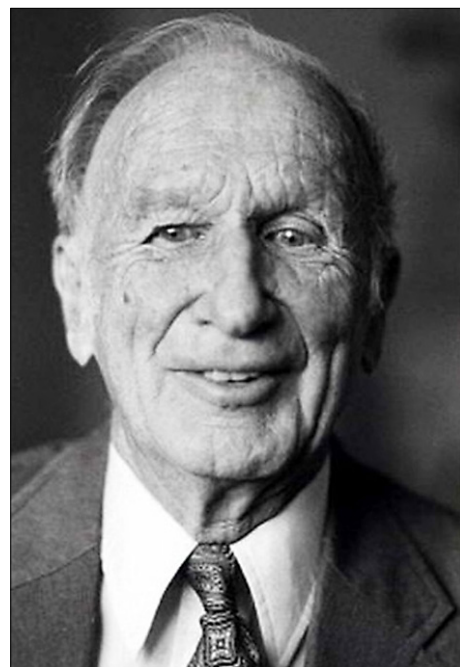
<sup>3</sup> zdroj: <http://portal.chmi.cz>

Proč vlastně nejsou předpovědi počasí přesné? Z několika důvodů. Předně je třeba si připomenout, že se počítá na modelu, který se od skutečné atmosféry liší a má omezenou přesnost. Dále, neznáme úplně přesně výchozí stav atmosféry. Ani atmosférické procesy nejsou popsány úplně dokonale, stále zůstávají oblasti, kde meteorologie má znalosti pouze přibližné. Jinými slovy, domnívat se, že bude možné získat stoprocentní předpověď počasí, není oprávněné, spolehlivost předpovědi se ztrácí v závislosti na povětrnostní situaci po několika dnech. Pokud jde o vlastní úspěšnost předpovědi počasí, tak na 5 dnů dopředu bývá velice solidní, pak začíná klesat. Například v Česku, kde je garantem odborných předpovědi počasí Český hydrometeorologický ústav, se přesnost předpovědi na následující den pohybuje mezi 90 a 95 procenty, na druhý a třetí den pak kolem 90 procent, na den čtvrtý to bývá kolem 85 (viz obr. 4). Předpovídat počasí má za současných znalostí o atmosféře a stavu výpočetní techniky smysl asi na 10 dnů dopředu, ve zcela výjimečných situacích na 12 až 14 dnů, pro delší období už je pravděpodobnost úspěšné předpovědi výrazně nižší.

Když už hovoříme o úspěšnosti a neúspěšnosti předpovědí, stojí zmínit ještě jednu záležitost, a tou je deterministický chaos, resp. chaotické chování, které je právě atmosféře vlastní. Tuto vlastnost atmosféry objevil před víc než 50 lety Edward Norton Lorenz (obr. 5). V podstatě jde o to, že výsledné chování atmosféry je velice citlivé na počáteční podmínky, kdy i drobná změna ve výchozím stavu může vést k velice odlišným předpovědím počasí. Možná jste slyšeli o tzv. efektu motýlích křídel, kdy zamávnání křídly motýla např. v Brazílii může vést ke vzniku tornáda v Texasu. Toto přirovnání je samozřejmě přehnané, nicméně vyjadřuje skutečnost, že případné chyby, které do modelu zaneseme v podobě nepřesného výchozího stavu počasí, během času exponenciálně narůstají, až výslednou předpověď naprosto znehodnotí. Navíc E. N. Lorenz zjistil, že vzhledem k chaotické povaze chování atmosféry přitom nelze ani při extrémně přesných výchozích datech předpovědět dlouhodobé chování atmosféry – jinými slovy, stoprocentní předpověď počasí je věc, na kterou nikdy nedosáhneme.

Moderní meteorologie se s chaotickou podstatou chování atmosféry vypořádává pomocí tzv. ensemblových předpovědí počasí. V tomto případě se počítá více simulací vývoje počasí s nepatrně rozdílnými počátečními podmínkami. Výsledky v řadě modelových běhů představují sadu předpovědí (proto ensemble), které se mezi sebou více či méně vzájemně odlišují. Pokud modelové běhy k určitému časovému okamžiku vykazují stejné či podobné stavy atmosféry, pak je modelová simulace použitelná pro předpověď počasí (nic to ale nevyovídá o tom, bude-li nakonec úspěšná). Velké odchylky mezi jednotlivými modelovými běhy ovšem signalizují, že přesná předpověď není možná. Příklad ensemblové předpovědi je na obr. 6 – jsou zde uvedeny jednak předpověď teploty v hladině 850 hPa a srážek podle modelu GFS pro uzlový bod se souřadnicemi  $50^\circ$  s.š. a  $14^\circ$  v.d. Zobrazeny jsou jednak tzv. kontrolní běh (modře), dále hlavní běh (zeleně a tlustě), jehož výsledky se standardně používají pro konstrukci předpovědních map, a dále 20 simulací (tence), jejichž průměr je pak znázorněn tlustě šedou čarou. Pro ilustraci je uveden i dlouhodobý průměr teploty v hladině 850 hPa pro danou lokalitu a čas. To samé platí pro úhrn srážek. Je vidět, že pokud jde o teplotu, je zhruba do 17. března model použitelný, pak už je nejistota předpovědi značná. U srážek je situace podobná.

Pomocí ensemblových předpovědí počasí se získává předpověď pravděpodobnostní, která vyjadřuje, s jakou pravděpodobností se daný scénář vývoje počasí bude odehrávat. Její příklad je pro město Reading v Anglii uveden na obr. 7. Jde o pravděpodobnostní předpovědi počasí Centra pro střednědobou předpověď ECMWF a pro

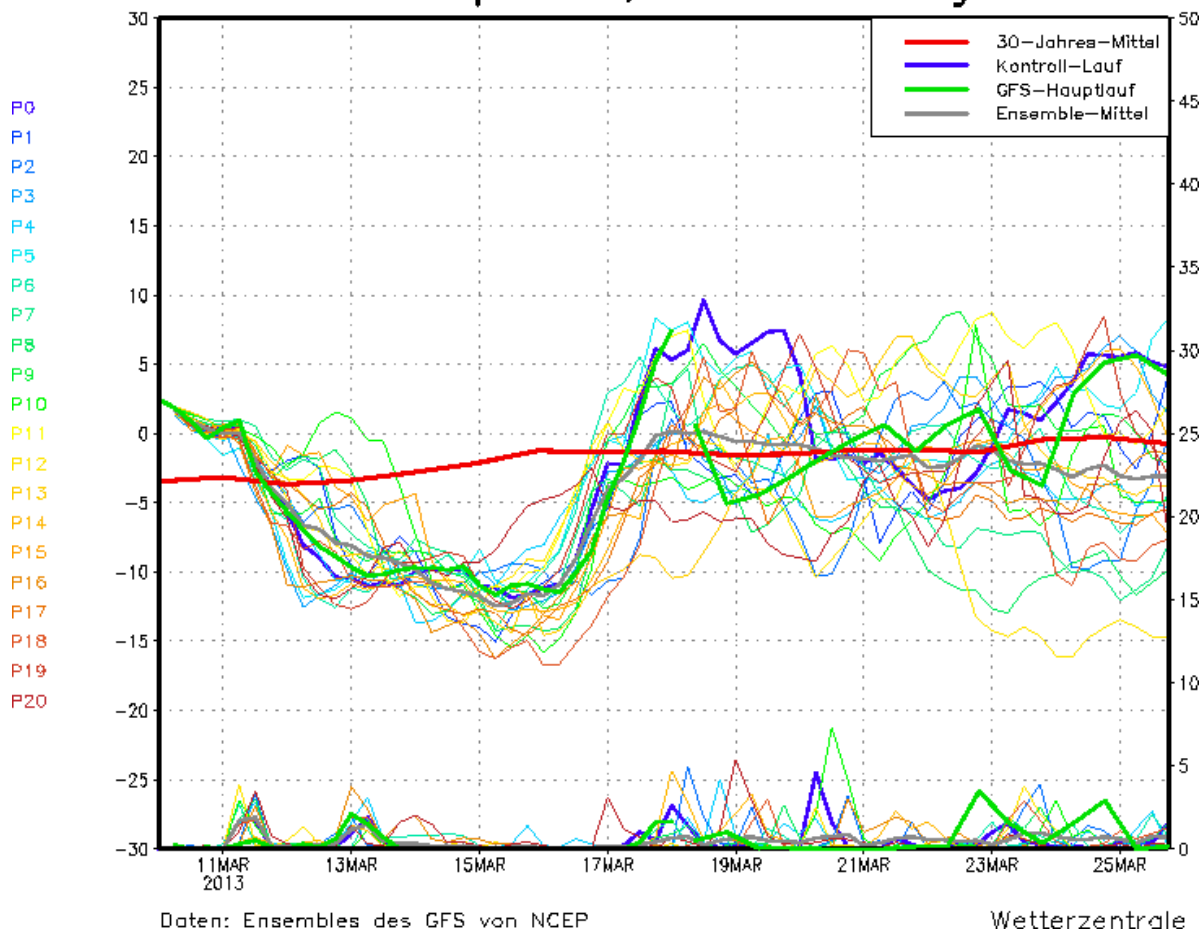


Obr. 5 – Edward Norton Lorenz (1917–2008)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <http://31416feenelcaos.files.wordpress.com/2011/05/edward-norton-lorenz.jpg>



Position Lat: 50 Lon: 14 Sun, 10 MAR 2013 00Z  
850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm



Obr. 6 – ensemblová předpověď teploty v hladině 850 hPa a srážek podle modelu GFS pro uzlový bod v blízkosti Prahy<sup>5</sup>

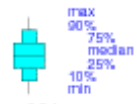
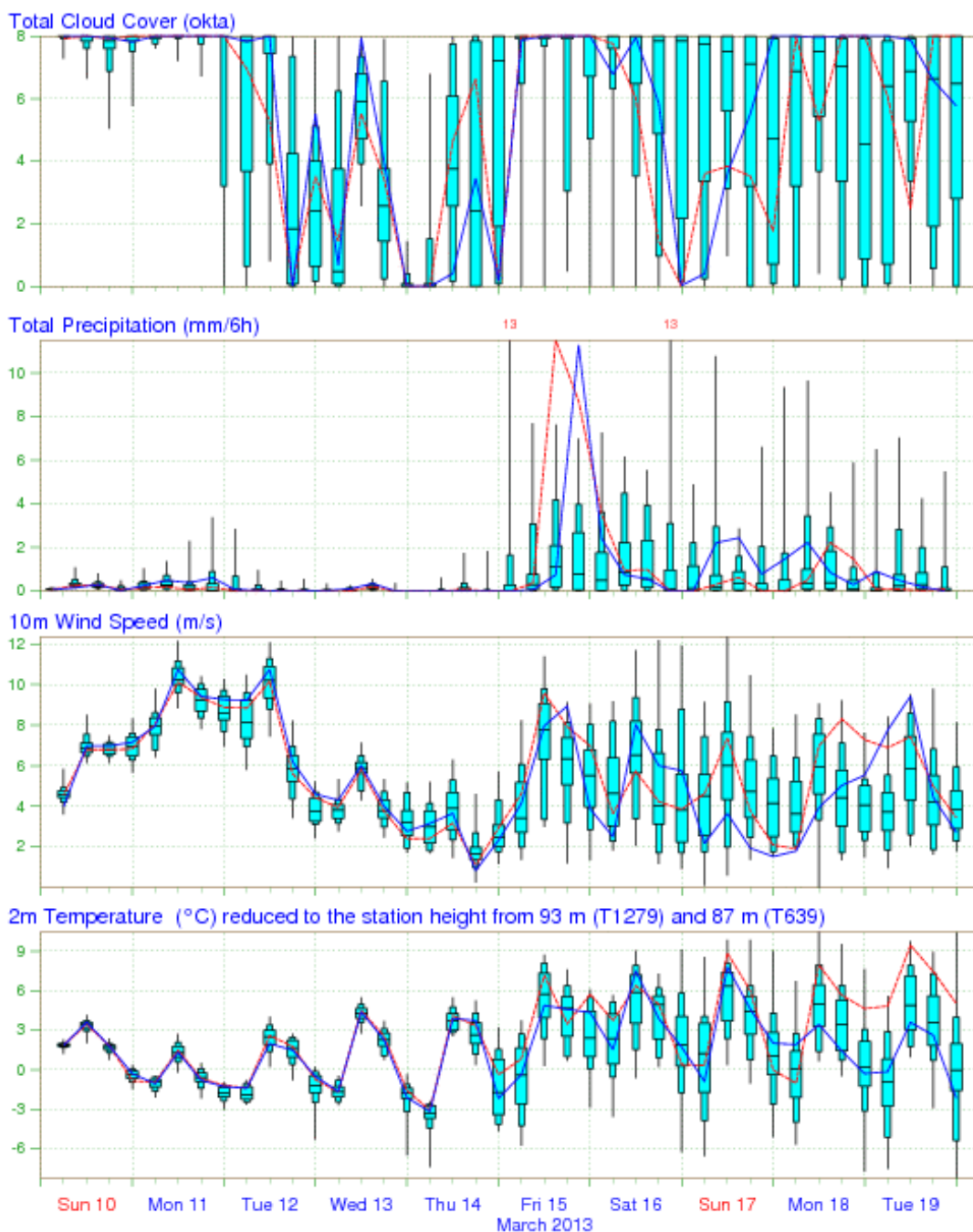
různé prvky je uveden vývoj pravděpodobnostních rozložení jednotlivých ensemblů ve formě tzv. box plotů. Z nich je možné si udělat představu o tom, jakých hodnot s jakou pravděpodobností jednotlivé členy v daném čase nabývají. Pochopitelně platí, že čím větší je rozptyl okrajových hodnot, tím méně se na danou předpověď lze spolehnout. Červeně a tečkovaně je znázorněn tzv. kontrolní běh s rozlišením 31 km, tmavě modře pak běh s vysokým rozlišením 16 km.

Jak je vidět, atmosféra rozhodně není záležitostí jednoduchou a kvalitní předpověď jejího chování, tedy předpověď počasí, vyžaduje složitý systém co nejpřesnějších pozorovacích metod a numerického modelování. Určitě lze konstatovat, že dnešní předpovědi počasí jsou na velmi vysoké úrovni, i když samozřejmě mediální (dez)interpretace mohou tento pocit poněkud snižovat. A ještě jednu důležitou poznámku na závěr – i přes zlepšující se skóre předpovědních modelů je stále potřeba meteorologa, který interpretuje a porovnává různé numerické předpovědi a také využívá svoji zkušenost a rutinu (případně pohled z okna), aby vytvořil co nejpravděpodobnější a tedy co nejlepší předpověď počasí.

<sup>5</sup> [http://www.wetterzentrale.de/pics/MS\\_1550\\_ens.png](http://www.wetterzentrale.de/pics/MS_1550_ens.png)



EPS Meteogram  
Reading 51.57°N 0.83°W (EPS land point) 48 m  
Deterministic Forecast and EPS Distribution Sunday 10 March 2013 00 UTC



EPS Control(31 km) High Resolution Deterministic(16 km)

Magics++ 2.8.1



Obr. 7 – výstup pravděpodobnostní předpovědi počasí Centra pro střednědobou předpověď ECMWF pro město Reading v Anglii, znázorněny jsou: předpověď celkové oblačnosti v osminách, 6hodinový úhm srážek, rychlost větru v 10 m a teplota vzduchu ve 2 m nad zemí.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> <http://www.ecmwf.int/samples/d/banner/page.html>