

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jan Bednář; Otakar Zikmunda

Úloha meteorologie při řešení závažných problémů rozvoje lidské společnosti

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 23 (1978), No. 4, 181--186

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138567>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1978

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## Úloha meteorologie při řešení závažných problémů rozvoje lidské společnosti

(K 25. výročí MFF UK)

*Jan Bednář, Otakar Zikmunda, Praha*

Z hlediska současných globálních potřeb a perspektiv lidské civilizace další pokrok závisí v rozhodující míře na úspěšném vyřešení tří okruhů problémů, a to:

1. Zajistit dostatečné množství potravin pro rychle vzrůstající počet obyvatelstva zeměkoule.
2. Zabránit neúnosné devastaci životního prostředí.
3. Nalézt nové zdroje energie a surovin.

Ačkoliv jde o komplexní problémy, na jejichž řešení se musí podílet řada vědních disciplín, vědecké výsledky meteorologie mohou přispět významnou mírou k dosažení rychlejších a ekonomicky výhodnějších závěrů. Např. při řešení první otázky meteorologové by značně pomohli, kdyby zvýšili spolehlivost předpovědí počasí, a to nejenom krátkodobých (až asi na 2 dny dopředu), ale především předpovědí dlouhodobých (na měsíc až sezónu dopředu). Seriózní studie totiž uvádějí, že zlepšení předpovědí počasí, možnost určitého umělého ovlivnění množství srážek s nalezením optimální ventilace zemědělských kultur by mohlo zvýšit celosvětovou zemědělskou produkci asi o jeden řád.

Zdokonalování metod předpovědi počasí, i když meteorologové se touto otázkou na vědeckém základě zabývají již více než 100 let, je stále předmětem intenzivního výzkumu. Původní metody, které využívaly především empirických poznatků o vztahu mezi polem atmosférického tlaku a jevy počasí, byly později (v období kolem 1. světové války) doplněny poznatky o atmosférických frontách. Mnohé z těchto poznatků, zejména pokud se týkají vztahu počasí a front, mají dosud značný význam pro krátkodobé předpovědi počasí. V posledních dvou desetiletích se otevřely před meteorologií nové rozsáhlé možnosti: Velmi výkonné samočinné počítače v poměrně krátké době umožňují zpracovat velké množství údajů, popř. i řešit složité soustavy diferenciálních rovnic. Dále z umělých družic Země lze získat řadu nových informací o fyzikálním stavu atmosféry nad celou zeměkoulí téměř pro stejný časový okamžik.

Meteorologové se těchto nových možností plně chopili a výkonných počítačů využívají k postupnému přechodu od subjektivních předpovědních metod k metodám objektivním. Tento krok je velmi významný, neboť úspěšnost subjektivních předpovědních metod do značné míry závisí na znalostech a zkušenostech předpovídajícího meteorologa a na jeho schopnostech správně použít znalostí a zkušeností při předpovědi. Je zřejmé, že subjektivní metody lze jen velmi nesnadno vědecky rozvíjet a zpřesňovat. Naproti tomu objektivní předpovědní metody se snaží převést otázku předpovědi zcela na vědecké základy a vyřešit ji vhodnými fyzikálními a matematickými metodami. K tomuto cíli byla odvozena řada tzv. modelů atmosféry, které obsahují nejdůležitější vlastnosti atmosféry reálné. Obecnější fyzikální formulace atmosférických modelů, které ovšem musejí vycházet z nejnovějších poznatků meteorologie a ze současných technických možností, jsou postupně schopné zpřesňovat předpovědi bez ohledu na předpovídající osobu. Řešení předpovědní otázky tímto způsobem není možné bez pomoci matematiky a velmi výkonných samočinných počítačů. I u nejjednodušších modelů atmosféry prognostické rovnice jsou totiž alespoň Poissonova nebo Helmholtzova typu. Složitější a pro praktické potřeby tedy vhodnější modely jsou obvykle popsány celou soustavou parciálních diferenciálních rovnic nelineárního typu. Protože exaktní analytické řešení nelineárních rovnic není obvykle známo, používá se k integraci metoda konečných diferencí známá z numerické matematiky. Při tomto postupu musíme vždy předepsat počáteční podmínky, které v meteorologických problémech jsou dány fyzikálním stavem atmosféry v okamžiku, od kterého se předpověď počítá.

V tomto bodě moderní objektivní metody plně navazují na metody subjektivní. Znalosti o fyzikálním stavu atmosféry, tj. údaje o teplotě, tlaku, vlhkosti, směru a rychlosti větru, popř. též o oblačnosti, srážkách, dohlednosti apod., byly pro předpověď vždy důležité a meteorologové jim právem věnují velkou pozornost. K několika observatořím v Evropě, které pravidelně pozorovaly počasí již před více než 200 léty (mezi ně patří též stanice Praha-Klementinum), začaly ve druhé polovině minulého století přibývat další meteorologické stanice, takže v současné době jen pro předpovědní účely jich pracuje na zeměkouli několik tisíc. Od třicátých let po vynalezení radiosondy (tj. zařízení umožňujícího získávat údaje o tlaku, teplotě a vlhkosti nad určitým místem z přístrojů vynášených nahoru balónem) jsou tyto údaje fyzikálního stavu doplňovány pozorováním ve volné atmosféře. Dnes je na Zemi v provozu několik set takových stanic.

Protože některé důležité povětrnostní jevy v atmosféře se udržují v hlavních rysech i několik dní (v podrobnostech se ovšem neustále mění) a se vzdušným prouděním se přemísť mnohdy i o více než 1000 km za 24 hodiny, je třeba znát fyzikální stav atmosféry nad rozsáhlou oblastí, např. pro účely krátkodobé předpovědi počasí v ČSSR je to část severní polokoule sahající alespoň od východních břehů Ameriky až za Ural.

K rychlému získání meteorologických údajů z různých oblastí Země slouží na mezinárodní spolupráci výborně organizovaná výměna povětrnostních zpráv. Přesto, že na zeměkouli tisíce meteorologických stanic pozorují několikrát denně počasí a zasílají zprávy do povětrnostních center pro mezinárodní výměnu, tyto klasické metody pozorování a výměny nejsou již zcela postačující, neboť rozsáhlé oblasti, zejména nad oceány, jsou prakticky bez jakýchkoliv pozorování. Proto velký význam pro zpřesnění poznatků

o současném fyzikálním stavu atmosféry získaly meteorologické družice, které jsou na oběžné dráhy kolem Země vypouštěny již od r. 1960. Jejich přístrojové vybavení se neustále zdokonaluje, takže kromě snímků oblačnosti vysílaných již z prvních družic, v současné době jsou schopny získávat též údaje o vertikálních profilech teploty, popř. o radiačních poměrech soustavy Země – atmosféra. Nebude to jistě dlouho trvat a z meteorologických družic získáme též údaje o tzv. vodní hodnotě oblaků, o níž se předpokládá, že přispěje k zpřesnění krátkodobých předpovědí množství srážek. V kombinaci s klasickými metodami pozorování jevů počasí meteorologické družice se stávají čím dále tím důležitějším prostředkem při zjišťování fyzikálního stavu atmosféry pro praktické potřeby.

Přestože při krátkodobé předpovědi počasí meteorologové využívají ve značné míře nejmodernějších prostředků, celá otázka není dosud převedena na objektivní základy. V současné době krátkodobou předpověď lze charakterizovat jako výslednici objektivních a subjektivních postupů. Objektivními fyzikálně matematickými metodami se získávají rozbory povětrnostní situace, zejména ve volné atmosféře (objektivní analýza), předpovědi pohybového a tlakového pole, popř. i předpovědi některých povětrnostních prvků (např. množství trvalých srážek). Předpovídající odborník subjektivně vybere a zváží informace o současném a budoucím fyzikálním stavu atmosféry, někdy je ještě částečně upraví a na jejich základě potom vydává předpověď vlastního počasí (obvykle oblačnost, srážky, nejvyšší a nejnižší teplota v předpovědním intervalu, dohlednost, rychlost a směr větru). Tento stav předpovědní metodiky, i když je značným pokrokem proti dřívějšímu zcela subjektivnímu postupu, není ještě zcela uspokojivý. Nyní je totiž již zcela nesporné, že podstatné zlepšení krátkodobých předpovědí lze dosáhnout jedině plným uplatněním fyzikálně matematických metod v celém předpovědním postupu. K dosažení tohoto stupně je však třeba vědecky dořešit řadu problémů. Týkají se především důkladnějšího pochopení fyzikálního mechanismu atmosféry, zejména transformace slunečního záření v atmosféře, výměny tepla mezi atmosférou a podkladem, přeměny potenciální energie v kinetickou a naopak, vlivu všech energetických změn na vznik, vývoj a zánik tlakových útvarů a v neposlední řadě též všech kompenzačních dějů. Získané poznatky je potom možné použít k zpřesnění teoretických modelů atmosféry, aby tyto modely umožňovaly objektivně předpovídat potřebné povětrnostní prvky, zejména oblačnost, srážky (trvalé i konvektivní), proudění i teploty ve spodních vrstvách atmosféry a mlhy.

Otázka dlouhodobé předpovědi počasí je dosud jedním z nejtěžších úkolů meteorologie, který čeká na prakticky uspokojivé řešení. V současné době existuje sice již mnoho metod, které umožňují rámcově předpovídat průběh počasí na měsíc i déle, ale jejich spolehlivost je dosud velmi nevyrovnaná. Některé prakticky používané metody vycházejí z rozsáhlých meteorologických pozorování na různých místech Země za řadu let. Vhodným statistickým zpracováním a rozbohem, obvykle tlakových a teplotních poměrů, se zjistí nejpravděpodobnější odchylka teploty a množství srážek od normální hodnoty pro měsíc, na nějž se vydává předpověď. Výsledků statistického zpracování lze použít též k vyhledání toho měsíce (sezóny) v minulosti, který by se měl nejvíce podobat předpovídanému měsíci (sezóně). Potom je možné předpověď rozepsat podrobněji a udávat i přibližný průběh počasí v daném období. Nevýhodou statistických metod je,

že někdy není možné nalézt vhodný analogický měsíc a potom předpověď se stává méně spolehlivou nebo vůbec nespolehlivou.

Další metoda vychází ze studia všeobecné cirkulace atmosféry a z jejího předpokládaného kolísání se určuje příští počasí. Metodu může používat jen velmi zkušený odborník a její úspěšnost závisí téměř výhradně na subjektivních znalostech a schopnostech odborníkových. Jiná metoda využívá poznatku, že některé významné procesy v atmosféře mají tendenci opakovat se s dostatečně dlouhými periodami (např. 90 dní), které umožňují dlouhodobě předem předpokládat příští rozložení tlaku a z něho odvodit budoucí počasí. Nevýhoda metody záleží v tom, že počet výrazných povětrnostních procesů a jejich periody nestačí spojitě pokrýt celé předpovědní období a dále v tom, že periodičnost určitého procesu někdy náhle zmizí.

O pokusech, při nichž se změny počasí vyvozují z kolísání počtu slunečních skvrn, změn intenzity magnetického pole apod., se nebudeme zmiňovat. Je totiž málo pravděpodobné, že mezi těmito jevy a vývojem počasí existuje jen taková jednoduchá souvislost, jaká se v uvedených pokusech předpokládá. Proto nelze očekávat, že v tomto směru se získá prakticky uspokojivé řešení dlouhodobé předpovědi počasí. Nemění nic na tom ani články objevující se čas od času v tisku, které přinášejí téměř senzační, ale většinou jen málo nebo vůbec vědecky nepodložené závěry o možnostech a úspěších takovýchto metod.

Zatím se zdá, že se meteorologové pro nejbližší dobu budou snažit o zpřesnění dlouhodobých předpovědí počasí ze synoptického studia změn všeobecné cirkulace atmosféry nebo ze statistického zpracování většího počtu meteorologických pozorování a jejich vzájemných vztahů mezi různými místy zeměkoule. Je nepochybné, že použití nejmodernější výpočetní techniky při těchto studiích bude zcela nevyhnutelné, zejména pro rychlé a spolehlivější vyhledání analogických situací. Na optimální vědecké i praktické řešení vycházející podobně jako u krátkodobé předpovědi ze soustavy fyzikálně podložených prognostických rovnic, které by i po numerické integraci na mnoho dní dopředu dostatečně přesně vystihovaly budoucí stav atmosféry, budeme asi ještě nějakou dobu čekat. Jak jsme se již zmínili, současné znalosti o mechanismu atmosféry zatím ještě neumožňují převést otázku dlouhodobé předpovědi počasí plně na objektivní fyzikálně matematické základy. Přesto i v tomto směru byly provedeny první pokusy. Bez ohledu na získané meteorologické výsledky jejich velmi důležitým závěrem je, že byla nalezena vhodná matematická schémata, která zajišťují stabilní řešení rovnic i při časové integraci na několik měsíců. Proto lze očekávat, že brzy po podstatném zpřesnění krátkodobých předpovědí počasí se podaří meteorologům na základě fyzikálně matematických metod zpřesnit i předpovědi dlouhodobé a přispět tak podstatně k vyšší efektivitě zemědělské výroby.

Ovládat průběh počasí je dávným snem lidstva. Přestože globální zvládnutí atmosférických dějů je mimo lidské možnosti, vhodné umělé zásahy se zdají být reálnými při lokálním ovlivnění některých jevů počasí. Jde zejména o vyvolání umělých srážek, zmenšení nepříznivých důsledků krupobití a odstranění mlh. I když při pokusech prováděných již řadu let, zejména od ukončení druhé světové války, se mnohdy dosáhlo nadějných výsledků, přece jen je třeba ještě vykonat mnoho další práce k tomu, aby vědecké výsledky mohly uspokojit praktické požadavky.

V poslední době meteorologie dostala nové naléhavé úkoly v souvislosti s rostoucí potřebou chránit životní prostředí před negativními následky činnosti člověka. Jedním z velmi vážných důsledků lidské civilizace je totiž vzrůstající znečištění atmosféry, které dnes v některých oblastech se stává dokonce limitujícím faktorem dalšího rozvoje průmyslové činnosti. Zdrojem nečistot v atmosféře není však jen průmyslová činnost, ale i doprava a v nezanedbatelné míře též zemědělská výroba, v jejímž charakteru dochází k výrazným změnám (intenzifikace, chemizace apod.).

Problém ochrany čistoty ovzduší zaujímá jedno z předních míst v systému péče o životní prostředí a jeho prvořadý společenský význam je dnes všeobecně uznáván. V podmínkách ČSSR představuje ochrana čistoty ovzduší zvlášť naléhavou otázku, neboť v důsledku značné koncentrace obyvatelstva a průmyslové činnosti na relativně malém území patříme nesporně mezi ty oblasti světa, kde existuje potenciálně značné nebezpečí narušení přírody a devastace životního prostředí.

Pro meteorologii, jakožto vědu o fyzikálních procesech probíhajících v atmosféře, vyvstává tak nesmírně závažný a zároveň komplikovaný problém – sledovat stav znečištění atmosféry, studovat způsoby šíření nečistot ve vzduchu a hledat možnosti, jak úroveň znečištění omezit na únosnou míru. Při řešení tohoto úkolu meteorologie používá rozsáhlého fyzikálního aparátu a z metodického hlediska se soustřeďuje zejména na tyto tematické okruhy:

a) Měření znečištění atmosféry po kvantitativní i kvalitativní stránce pomocí sířových měření prováděných přímo v terénu. Údaje získané tímto způsobem slouží jako základní empirický materiál k vyhodnocení aktuálního znečištění atmosféry a dále je lze použít jako vstupní údaje při teoretickém studiu podmínek přenosu nečistot v atmosféře.

b) Studium prostorového rozptylu znečišťujících složek v ovzduší, který je ovlivňován souborem meteorologických prvků, z nichž největší význam mají směr a rychlost větru spolu s intenzitou turbulentní výměny, jež významně napomáhá difúzi nečistot v ovzduší. Kromě toho při vymývání nečistot ze vzduchu mají důležitou úlohu srážky. Fyzikální aparát sloužící ke studiu podmínek prostorového šíření nečistot je značně rozsáhlý a zahrnuje mimo jiné matematicko-statistické difúzní modely, dále pak modely založené na numerickém řešení diferenciálních rovnic popisujících dynamiku atmosféry, popř. dynamiku její spodní vrstvy (tzv. mezní vrstvy atmosféry), která je nečistotami nejvíce zasažena. V současné době se též hojně používá tzv. fyzikálního modelování procesu atmosférické difúze pomocí experimentů využívajících tunelových měření.

c) Zkoumání případných zpětných vlivů znečištění na fyzikální procesy v atmosféře. V této souvislosti se ve stále rostoucí míře objevují úvahy o tom, že vzrůst koncentrace některých nečistot v ovzduší při zachování současných trendů by mohl už v relativně blízké budoucnosti změnit fyzikální rovnováhu atmosféry a vést k významným změnám globálního zemského klimatu. Tento problém meteorologové dnes studují pomocí několika typů fyzikálně matematických modelů, které svou složitostí jsou významným impulsem i pro rozvoj některých odvětví numerické matematiky.

Třetím závažným problémem, na jehož uspokojivém vyřešení závisí další rozvoj lidské civilizace, je nalezení nových efektivních zdrojů energie. Celosvětová spotřeba energie totiž stoupá takovým tempem, že omezené zdroje klasických paliv ji pravdě-

podobně nebudou moci krýt déle než několik desetiletí. Proto ve vyspělých státech se hledají nové perspektivní zdroje energie a pokusně se vyvíjejí zařízení na jejich využití.

Mezi tyto perspektivní zdroje kromě jaderné energie se počítá též energie sluneční. Jak ukazují odhady, ve formě slunečního záření dopadne na zemský povrch množství energie, které za rok je asi 30 000krát větší než celá energetická spotřeba lidstva ve stejném období (r. 1970). Kdyby se podařilo konstruovat účinná zařízení na jeho využití, potom sluneční záření by se mohlo stát významným energetickým zdrojem, který navíc by neprodukoval žádný škodlivý odpad (jako např. při využití jaderné energie). Přestože konstrukce slunečních energetických zařízení je především technickým problémem, meteorologie svými poznatky o struktuře slunečního záření a jeho přeměnách v zemské atmosféře, popř. též údaji o intenzitě záření a o délce trvání slunečního svitu, může značně přispět ke konstrukci vhodných typů těchto zařízení pro různé klimatické oblasti. Kromě toho je možné, že při případném využívání slunečního záření ve velkém měřítku bude třeba řešit i další otázky meteorologické povahy, které nyní v začátcích pokusů si zatím ještě ani neuvědomujeme.

Meteorologická pracoviště na celém světě kromě svých běžných úkolů se již podílejí ve větší nebo menší míře na řešení výše uvedených závažných problémů. Proto meteorologie v řadě vyspělých zemí patří mezi nejprogresivnější a nejpodporovanější fyzikální obory. Také meteorologové v ČSSR ve své činnosti zůstávají v rámci světového trendu a snaží se neustrnout ve svém vývoji. Proto již i v otázkách praktického využití slunečního záření jako zdroje energie se objevují první práce meteorologického zaměření. Problematikou znečištění atmosféry se zabývají v Hydrometeorologickém ústavu v Praze, v Ústavu fyziky atmosféry ČSAV a také v oddělení meteorologie katedry geofyziky a meteorologie na MFF UK v Praze. Výzkumné práce oddělení meteorologie především ve spolupráci s Hydrometeorologickým ústavem se týkají hlavně studia vlivu znečištění na radiální poměry v atmosféře, které mají zásadní význam pro celkovou tepelnou bilanci Země a patří tak mezi nejdůležitější činitele podmiňující vývoj počasí i klimatu. Kromě toho se studují numerické modely mezní vrstvy, které po zavedení do praxe umožní sestavovat prognózy vlivu některých zásahů člověka do přírody na atmosférické děje. Rovněž otázkami objektivní krátkodobé předpovědi počasí kromě příslušných složek v Hydrometeorologickém ústavu a Ústavu fyziky atmosféry ČSAV se zabývají též pracovníci oddělení meteorologie na MFF UK. V poslední době se zaměřili především na vhodnost parametrizace některých neadiabatických dějů ve filtrovaných modelech atmosféry, na vývoj objektivních metod předpovědi frontální oblačnosti a trvalých srážek a na numerické metody řešení prognostických soustav pohybových a termodynamických rovnic. V dřívější době se podíleli teoretickými i aplikačními pracemi na zavádění objektivních předpovědních metod do československé povětrnostní služby. V této souvislosti je třeba zmínit se na závěr o zesnulém prof. dr. S. BRANDEJSOVI, který již začátkem padesátých let byl průkopníkem nových objektivních metod v meteorologii a stal se zakladatelem školy moderní meteorologie u nás.