

Modelování klimatu a jeho změn

Princip přípravy modelových odhadů

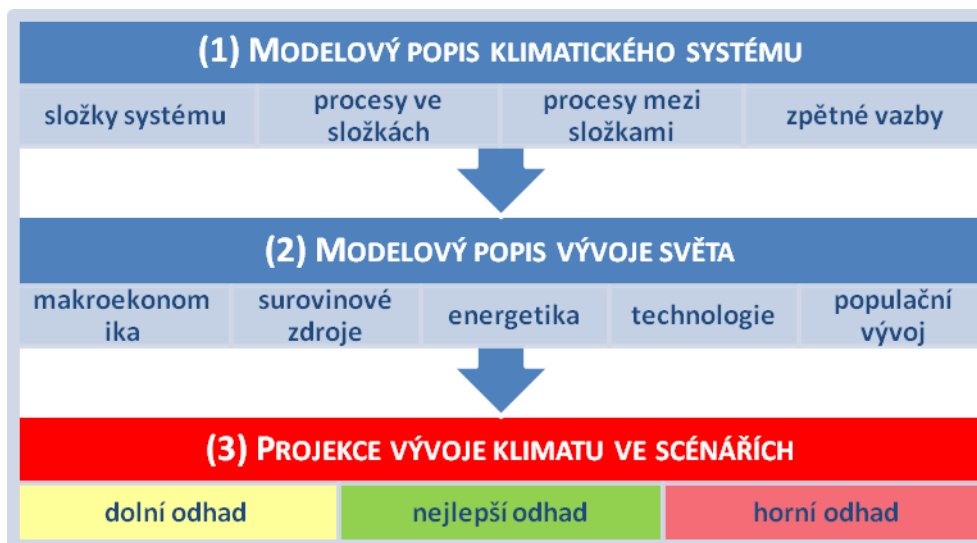
Další výhled klimatu lze odhadnout pomocí klimatických modelů. Nejdříve je třeba na úrovni současného poznání modelově popsat klimatický systém a procesy v něm probíhající, tj. sestavit klimatický model.

V dalším kroku je nutné provést odhad předpokládaného vývoje světové makroekonomiky, demografie, dostupných surovinových zdrojů, energetiky, technologií, apod.

Ve třetím kroku jsou prováděny modelové simulace dalšího vývoje. Vzhledem k tomu, že oba předchozí kroky jsou zatíženy různými stupni neurčitosti, které se s délkou modelovaného období zvyšují, je nutno uvádět i rozpětí modelových simulací (obvykle nazývaných projekcemi vývoje klimatu – pozor: nejde o předpověď!!!), tj. např. dolní a horní odhad a nejlepší odhad.

Modelování dalšího vývoje světového (i regionálního klimatu) není tedy výsadní záležitostí klimatologie, ale je výsledkem spolupráce klimatologů s odborníky dalších vědních disciplín (ekonomie, sociologie, demografie, energetika a technologie, surovinové hospodářství, aj.). V současné době nejistoty, které jsou obsaženy ve druhém kroku uvedeného schématu, pravděpodobně převyšují nejistoty, spojené bezprostředně s vlastními klimatickými modely.

Schéma postupu při vytváření modelového odhadu dalšího vývoje světového klimatu



Zdroj: ČHMÚ

Klimatické modely

Klimatické modely jsou nástrojem studia procesů v klimatickém systému a využívají se k odhadům vývoje klimatu v minulosti i budoucnosti.

Klimatické modely prošly v posledních desetiletích značným vývojem. Zatímco v sedmdesátých letech minulého století zahrnovaly pouze děje v atmosféře, postupem doby do nich byly začleňovány další složky klimatického systému. Současně probíhalo jako výsledek nových vědeckých poznání i zpřesňování jednotlivých procesů ve složkách, stejně jako vzájemných vazeb mezi složkami.

Schematické znázornění vývoje globálních klimatických modelů

	70. léta	80. léta	90. léta (1. polovina)	90. léta (2. polovina)	přelom 20. a 21. století	současnost
přidávání složek do modelů	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra
		zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch
			oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy
				síranové částice	síranové částice	síranové částice
					ostatní aerosoly	ostatní aerosoly
					uhlíkový cyklus	uhlíkový cyklus
						vegetace
						atmosférická chemie
	zvýšování podrobnosti modelů					

Zdroj: ČHMÚ

Globální klimatické modely

Nejpoužívanější typ klimatických modelů jsou modely všeobecné cirkulace atmosféry spojené s modelem oceánu. Často se používá zkratka GCM, což označuje buď „*general circulation model*“ anebo „*global climate model*“. Jedná se o počítačové modely klimatického systému. Jsou založeny na řešení pohybových a termodynamických rovnic, které popisují procesy v klimatickém systému, pomocí metod numerické matematiky. Jelikož řešení těchto rovnic je výpočetně velice náročné, k realizaci GCM je nutné použít ty nejrychlejší superpočítače, které jsou v dnešní době k dispozici.

Numerické řešení rovnic probíhá v síti tzv. gridových (uzlových) bodů a v různých vertikálních hladinách. Vzájemná horizontální vzdálenost uzlových bodů určuje horizontální rozlišení modelu. V dnešních modelech je toto rozlišení typicky 2-4° zeměpisné šířky/délky v atmosférické části modelu, v oceánické části bývá toto rozlišení zpravidla větší, 0,5-1°. Vzdálenosti jednotlivých vertikálních vrstev určují vertikální rozlišení modelu. Typicky mívají dnešní GCM 25-40 hladin v atmosféře a 20-30 hladin v oceánu.

Model dokáže zachytit pouze procesy probíhající v měřítkách větších než je jeho prostorové rozlišení. Pro procesy menšího měřítka je nutné používat tzv. parametrizace, tedy vyjádřit tyto procesy pomocí velkoprostorových veličin na základě empirických nebo semi-empirických vztahů. Mezi takové procesy patří např. konvektivní činnost a s ní související srážky či bouřková činnost.

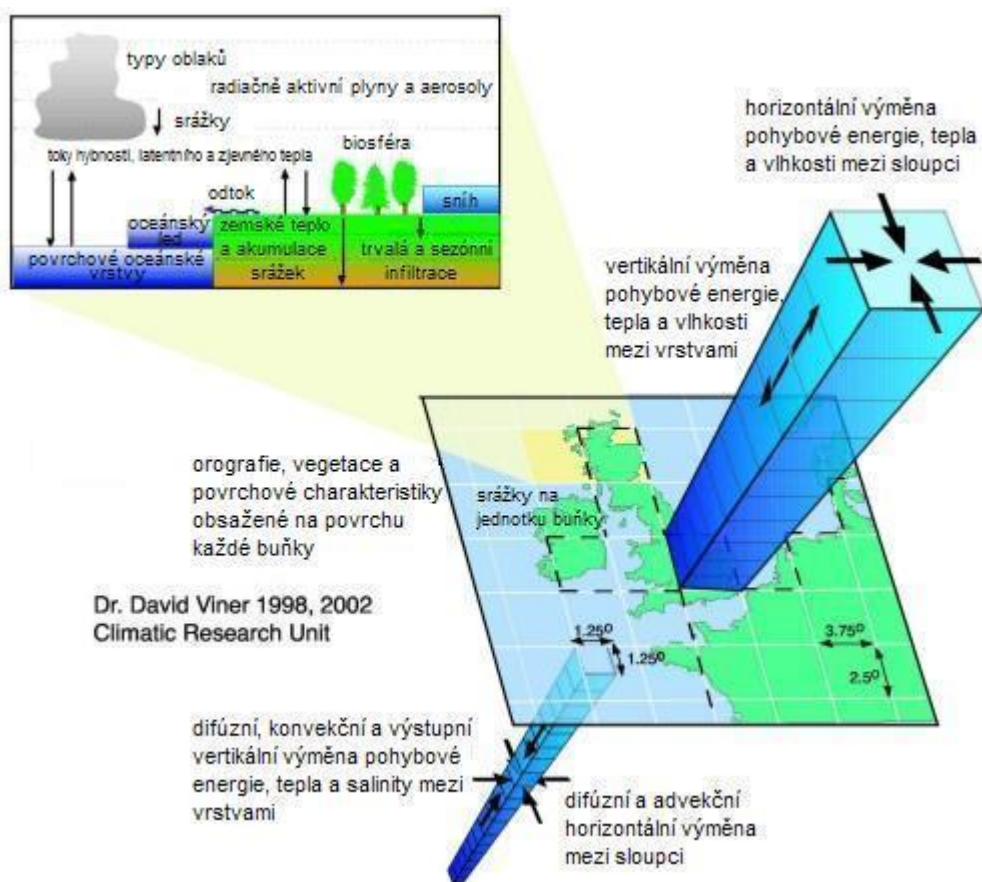
Každý globální klimatický model se skládá z několika samostatných částí – modelu atmosféry, oceánu, příp. biosféry, mořského ledu, uhlíkového cyklu a dalších. Tyto části jsou navzájem propojeny.

Experimenty prováděné s GCM se dělí podle předepisovaných vnějších podnětů. Pro odhady změn klimatu v budoucnu jsou důležité dva typy modelových běhů. Základním experimentem je historický běh, kdy se modelu předepisují v minulosti pozorované vnější podněty. Tyto simulace se používají pro validaci klimatických modelů, kdy se výsledky modelů porovnávají s pozorovanými hodnotami klimatických veličin. Většinou se provádějí pro 2. polovinu 20. století, protože z této doby máme k dispozici dostatečně kvalitní a podrobná validační data.

Experimenty s postupnou změnou koncentrací podle určitého scénáře pro nějaké budoucí období se používají pro odhady budoucích změn klimatu.

V současnosti nejrozsáhlejší databázi výsledků simulací globálních klimatických modelů lze nalézt na stránkách Programu pro diagnostiku a porovnávání klimatických modelů (*Program for climate model diagnosis and intercomparison* – PCMDI, <http://www.pcmdi.llnl.gov/>), kde jsou uloženy různé simulace 25 globálních modelů použitých při tvorbě čtvrté hodnotící zprávy IPCC. Tato data jsou volně k dispozici pro použití v nekomerčním výzkumu. Jsou zde uvedeny i informace o jednotlivých modelech a provedených simulacích.

Schematické znázornění vertikálního rozlišení třírozměrného klimatického modelu a některých simulovaných procesů.



Zdroj: ČHMÚ

Regionální klimatické modely

Vzhledem k poměrně hrubému prostorovému rozlišení nedokáží GCM věrně simulovat klima v regionálním měřítku. Proto se používají techniky tzv. downscalingu, tedy zmenšování měřítká. Jednou z možností, jak získat informace o klimatických charakteristikách na menších měřítkách než je to možné u GCM jsou regionální klimatické modely (RCM). Jedná se o modely atmosféry, podobné jako atmosférická část GCM, ovšem výpočet v tomto případě neprobíhá pro celou planetu Zemi, ale pouze na omezené oblasti (domény), např. pro území Střední Evropy. Tím je umožněno dosáhnout s danou výpočetní kapacitou většího rozlišení modelu, které se v současnosti pohybuje od 50 do 10 km. Hodnoty veličin na okrajích modelové domény, tzv. okrajové podmínky, jsou převzaty z některého globálního modelu (tzv. řídicí GCM).

V oblasti klimatického modelování probíhá v posledních desetiletích překotný vývoj.

Příkladem mohou být mezinárodní projekty, které se v posledních několika letech řešily v Evropě a byly zaměřeny na regionální klimatické modely. Jedná se o projekty ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>), případně v roce 2005 dokončený projekt PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>). Odkazy na mnohé další podobné projekty z různých oblastí světa lze nalézt na internetových stránkách projektu CLIVAR (<http://www.clivar.org/>). Mezinárodní spolupráce umožnila mj. srovnání modelů a jejich následné zlepšení, a analýzu a vyhodnocení rozsahu neurčitostí v jejich výstupech. V nejbližší budoucnosti se bude zřejmě zvýšené úsilí věnovat hlavně simulacím regionálních modelů pro oblasti rozvojových zemí (CAS/JSC WGNE, 2007). Pro připravovanou pátou hodnotící zprávu Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (IPCC) jsou plánované modelové simulace zejména pro území Afriky (WCRP-CORDEX, 2009).

V České republice se problematice modelování klimatu věnují zejména dvě instituce, a to Český hydrometeorologický ústav a Katedra meteorologie a klimatologie Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, které se svými regionálními projekty účastnily několika mezinárodních projektů. Vyhodnocování a analýze výstupů GCM a RCM se věnují i další vědecké instituce, např. Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR.

Nejistoty výstupů klimatických modelů

Simulace klimatických modelů (GCM i RCM) jsou zatíženy celou řadou nejistot. Tyto neurčitosti vyplývají z několika zdrojů, zejména se jedná o zadávání počátečních a okrajových podmínek, použití parametrizací a vlastní strukturu modelů (např. numerické metody použité pro řešení rovnic nebo prostorové rozlišení). Nejistoty v modelových simulacích lze analyzovat pomocí souborů (tzv. ansámby) více modelových běhů. Např. pro odhad nejistoty pramenící z počátečních podmínek používáme soubory modelových běhů, z nichž každý má nadefinován mírně pozměněný výchozí stav. Dalším příkladem jsou soubory simulací jednoho modelu s pozměněnými parametrizačními schémata, na jejichž základě vyhodnocujeme neurčitost spojenou s právě s použitím fyzikálních parametrizací.

Při použití modelových simulací pro tvorbu scénářů budoucí změny klimatu se k vyjmenovaným zdrojům neurčitostí přidává další, a to je naše neznalost vývoje přirozených i antropogenních faktorů ovlivňujících klima. Vliv přirozených faktorů, zejména velkých sopečných erupcí a změn intenzity sluneční činnosti není v modelových simulacích budoucího klimatu běžně zohledňován. Je ale nepravděpodobné, že v globálním měřítku by tyto přirozené vlivy na klima zcela potlačily antropogenní vlivy. Ty zahrnují zejména emise skleníkových plynů a aerosolů a změny ve využívání povrchu. Nejistota v budoucím vývoji emisí skleníkových plynů a aerosolů vedla IPCC k vytvoření sady emisních scénářů, označovaných jako SRES scénáře.

Zdroj: ČHMÚ