

# Vypočítaná katastrofa

Přesněji než kdykoli dříve propočítávají superpočítače budoucí změny podnebí – s alarmujícími výsledky. Do jaké míry jsou však takové simulace spolehlivé? *Manfred Flohr, autor@chip.cz*

**N**a konci ledna 15,8 °C v Brně a kvetoucí mandloně v Berlíně. Lyžařská sezona, která prakticky odpadla. Zima 2006/2007 byla vůbec nejteplejší od počátku zaznamenávání počasí. Mírná zima však ještě neznamená změnu klimatu, neboť pod pojmem klima, či chcete-li podnebí, se rozumí statisticky vyhodnocený stav zemské atmosféry za období několika desítek let (alespoň třiceti). Aby vědci dokázali změnu klimatu zdokumentovat a předpovědět budoucí vývoj, potřebují tedy především jedno: data, data a zase data. A tak třeba klimatologické výpočetní středisko (DKRZ) v Hamburku pracuje s většími objemy dat než samotný Google. Vysokovýkonný počítač v DKRZ má na svých pevných discích přímý přístup ke 130 terabajtům údajů. „Na to, co zde děláme, je to stále ještě příliš málo,“ vysvětluje Michael Böttinger, geofyzik působící v DKRZ. „Disky by nám stačily právě tak na data, která zde shromáždíme během dvou a půl týdne.“ Pro části zprávy IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) o změnách světového klimatu však vědci museli zpracovat údaje za celý jeden rok. Od kritického nedostatku paměťové kapacity jim pomohly externí magnetické pásky, které jsou zde skladovány v šesti kruhových věžích. Každé takové „silo“

pojme 6000 kazet. Na pásek se vejde 2 až 500 GB, teoreticky je tu tedy možno uskladnit 18 petabajtů (milionů GB) dat. Jakmile jsou při výpočtu zapotřebí data z nějakého pásku, robotická ramena příslušnou kazetu během méně než jedné sekundy přesunou do některé z 45 magnetopáskových jednotek.

V „Mezivládním panelu pro změny klimatu“ už jenom tato gigantická paměťová kapacita předurčuje DKRZ pro nosnou úlohu. Na aktuální zprávu IPCC pracovalo v postavení hlavních autorů 450 specialistů ze 130 zemí, kteří měli za úkol pokusit se předpovědět rozsah a důsledky klimatických změn. V Hamburku se pak všechny získané výsledky sbíhaly.

Celosvětově průkopnickou roli však DKRZ hraje i v jiném ohledu: stojí zde jediný superpočítač, který se věnuje výhradně výzkumu podnebí. Dokonce i japonský Earth Simulator, jeden z nejrychlejších počítačů světa, je považován množstvím jiných úkolů. Z činnosti DKRZ profituje v Hamburku sousedící Institut Maxe Plancka pro meteorologii, jehož klimatické modely tam byly propočítávány. Příspěvek ke zprávě IPCC zahrnuje řadu modelových výpočtů, které zkoumají různé scénáře vývoje. Na celkem 5000 simulovaných roků spotřebovali hamburští výpočta-

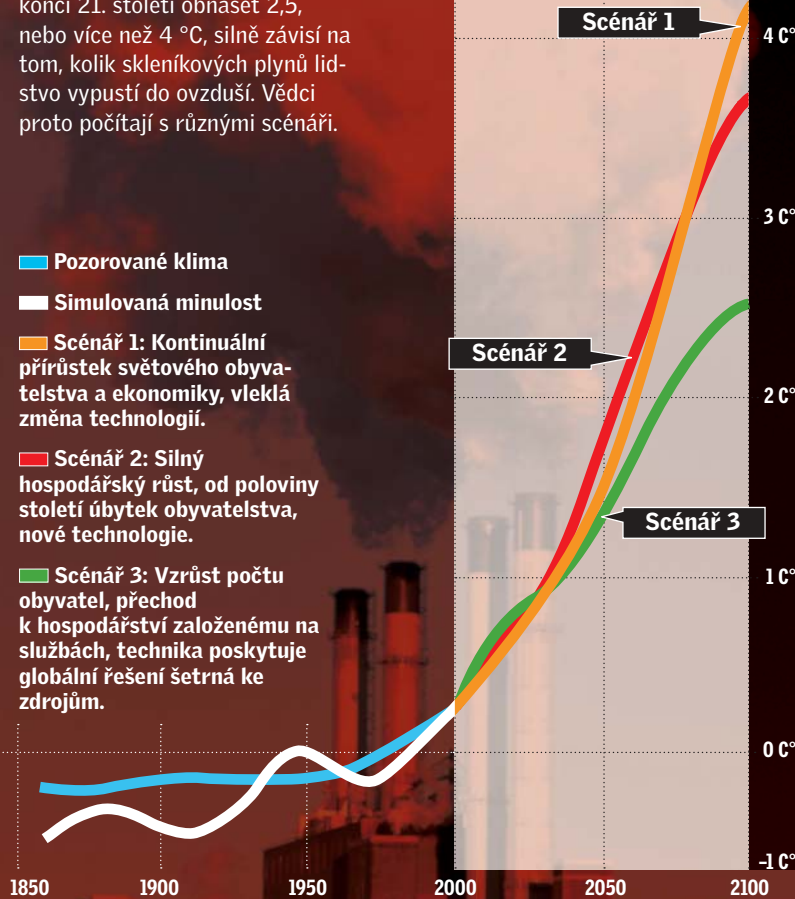




**POVODNĚ**  
V důsledku klimatických změn se řeky stále častěji vylévají z břehů. Rekordní vodní stavy jako na jaře 2006 tak už nejsou nijak výjimečné.

To, zda bude globální oteplení na konci 21. století obnášet 2,5, nebo více než 4 °C, silně závisí na tom, kolik skleníkových plynů lidstvo vypustí do ovzduší. Vědci proto počítají s různými scénáři.

- Pozorované klima
- Simulovaná minulost
- Scénář 1: Kontinuální přírůstek světového obyvatelstva a ekonomiky, vleklá změna technologií.
- Scénář 2: Silný hospodářský růst, od poloviny století úbytek obyvatelstva, nové technologie.
- Scénář 3: Vzrůst počtu obyvatel, přechod k hospodářství založenému na službách, technika poskytuje globální řešení šetrná ke zdrojům.



Zdroj: IPCC

→ ři 400 000 strojových hodin svého superpočítače. Scénáře zkoumají vývoj klimatu až do konce 21. století a zohledňují přitom zejména různé předpoklady emisí CO<sub>2</sub>.

Michael Böttinger popisuje podstatu klimatologických modelů velmi jednoduše: „To se na zeměkouli přiloží mříž s čtvercovými poli o straně cca 180 kilometrů a pak se pomocí matematických vzorců popisuje, jak se v těchto „chlívečkách“ chovají kapaliny a plyny.“ Vzorce respektují například fyzikální zákony o zachování hmoty a zachování hybnosti, ale také propojení modelů pro souš, oceán a atmosféru. Tak například vítr při povrchu pohání mořské proudění, odpařování vody a srážky zase znamenají příjem nebo odevzdání tepla.

Exaktní řešení takto komplexních rovnic většinou neexistují. Namísto nich se proto používají aproximační metody. Programy, jejichž zdrojový text představuje 100 000 řádků i více, jsou psány převážně ve Fortranu – při použití tohoto staříčkého programovacího jazyka stále ještě superpočítač dojde k cíli nejrychleji.

### Dá se budoucnost skutečně vypočítat?

Než dojde na scénáře budoucnosti, musí být model nejprve schopen správně zobrazit minulost. V Hamburku proto klimatologové propočítávali uplynulých 500 let s předindustriálními koncentracemi CO<sub>2</sub> a dalších skleníkových plynů, čímž si vytvořili počáteční podmínky pro simulace klimatu ve 20. a 21. století. „Pokud takový model automaticky napodobí přirozené jevy jako El Niño, pak ovšem není nic platný,“ říká Böttinger. Zpravidla se však modely, i vyvíjené nezávisle v různých zemích, chovají správně – a dodávají souhlasné hodnoty, bohužel předpovídající oteplování Země.

Každý model však pochopitelně může být ovlivněn mnoha nejistotami – zde se v tomto směru za nejzávažnější faktor považuje chování lidstva a tím i skutečná velikost produkce skleníkových plynů. Momentálně produkujeme více CO<sub>2</sub>, než kolik jej může být přirozenou cestou odbouráno – jeho koncentrace stoupá. „Přesně to ale budeme vědět teprve tehdy, až budeme moci předpovědět jevy také pozorovat,“ myslí si Böttinger. „Avšak bylo by velice hloupé jenom čekat, až to dojde tak daleko,“ dodává zamýšleně.

I samotné modely však obsahují faktory nejistoty. Aby se dalo podnebí počítat na současných počítačích, musí být vzdor vši náročnosti do modelů zavedena nezbytná zjednodušení, neboť dokonce i výpočetní kapacity supercomputerů jsou omezené. Hamburský vysokovýkonný počítač se svými 24 výpočetními uzly NEC SX 6, které sestávají ze 192 vektorových CPU a přistupují k 1,5 TB hlavní paměti, dosahuje špičkového výkonu 1,5 teraflopu. Přitom ani takový výkon už nestačí. Napříště má totiž do výpočtů vstupovat ještě více parametrů, například proměny na zemském povrchu. Tak by se dalo třeba zohlednit, že neustále mizí další a další velké lesní plochy, což se projevuje v koloběhu uhlíku. Také aerosoly ve vzduchu, například sírany či saze, nebo vysoko zvržený písek z pouští by mohly být v modelech zahrnuty. To samé platí i pro mořské řasy, které jsou pro koloběh uhlíku neméně důležité. „Jak se však projeví efekty, které dnes z technických důvodů ještě nedokážeme respektovat, to lze těžko předpovídat,“ objasňuje současný stav Böttinger.

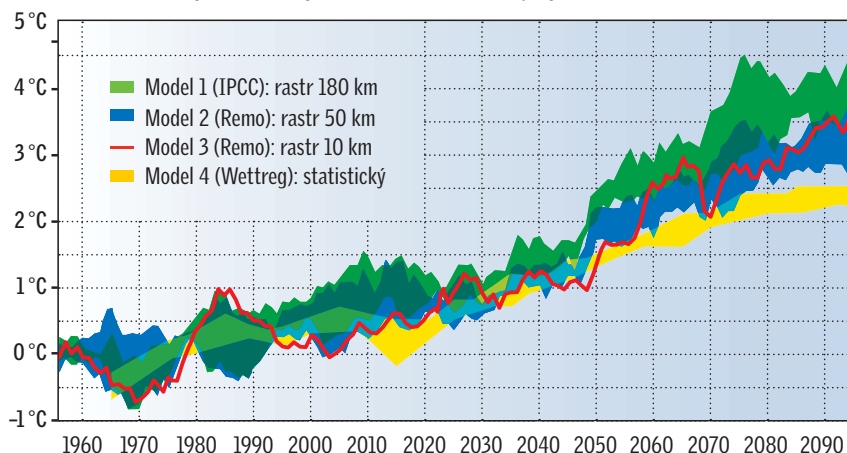
### Dopady nejsou globální, nýbrž lokální

Dalším problémem je hrubý rastr. Pro globální modely byl vývoj počítán s mřížkou, jejíž rozteč měří na rovníku 200 km →



## Optimismus nepomůže: Otepluje se

Superpočítač v DKRZ propočítal modely pro globální scénáře IPCC a regionální simulace Remo se dvěma jemnějšími rastry. Statistický model Wettreg vznikl na PC. Tendence je zcela zřejmá: bude mnohem tepleji než dnes.



→ a v Evropě ještě asi 180 km. Klima se přitom simuluje v 31 výškových vrstvách, jejichž tloušťka blíže u země činí několik set metrů a s přibývajícím výškou narůstá.

Že body této mřížky leží příliš daleko od sebe, ví i Paula Midgleyová z koordinačního výboru IPCC: „Působnost klimatických změn není globální, nýbrž regionální, či dokonce lokální.“ Aby sítem nepropadly například Krušné hory a aby Alpy dostaly při ovlivňování podnebí přiměřenou roli, byly počítány také regionální modely.

Frank Kreienkamp z postupimské firmy Climate & Environment Consulting (CEC) vysvětluje: „Když se tlakové výše a níže nacházejí nad územím v určitých polohách, lze z toho usuzovat na situace, které mají jisté dopady na podnebí. Na tom se právě zakládají statistické modely, které se obejdou bez náročných výpočtů. Namísto vypočítávání dlouhých časových řad na superpočítači si zde zajímavá data prostě vytahujeme z existujících údajů o počasí.“ „Krmivo“ pro statistiku dodává 1695 stanic pro měření srážek a 282 meteorologických stanic, které měří i další hodnoty, jako teplotu, sluneční svit a rychlost a směr větru. Tato data se připojí k výsledkům globální simulace klimatu a dále se extrapolují společně.

### Na horká léta přestávají simulace stačit

„Když víte, jak vzorce optimalizovat, zvládnete to na PC za týden,“ ujišťuje Kreienkamp. Na své limity narážejí výpočty teprve v posledních třech desetiletích – a to jen v letních měsících. „Zdá se, že oteplování podceňujeme, poněvadž na tak vysoké teploty nejsme zvyklí.“ Od roku 2070 se však každopádně začnou výsledky statistických a dynamických simulací rozcházet. A lepší výsledky lze pak očekávat od dynamických modelů.

Ať je nám však péčičkové řešení jakkoli sympatické, bez globálních scénářů na vstupní straně se neobejde ani ono. A čím ty jsou lepší, tím lépe fungují jako iniciace lokálních modelů. Příští zpráva o klimatu, která má být předložena do pěti let, si proto také vyžádá podstatně více výpočetního výkonu. Vypisování tendru na nový klimatologický počítač je už v běhu. Jenže s nárůstem výpočetního výkonu ve službách ochrany klimatu také stoupá spotřeba energie. A tak budou výpočetní střediska v budoucnu ještě více přispívat ke globálnímu oteplování. Nejde o zanedbatelné hodnoty: už dnes pracuje po celém světě 14 velkých elektráren jenom pro výpočetní střediska. A například v USA spotřebují superpočítače zhruba tolik proudu jako všechny televizory dohromady. Manfred Flohr ■



## Nevypočítatelné: Co bude, až zmizí sníh?

Sněhová pokrývka v Alpách se v tomto století dramaticky zmenšuje. Vrcholy bez sněhu a ustupující ledovce by mohly způsobit, že místní oteplění bude ještě silnější než to vypočítané.

