



Vaclav Smil

Globální katastrofy a trendy

Příštích padesát let

≡ KNIHA ZLIN

Globální katastrofy a trendy

Vyšlo také v tištěné verzi

Objednat můžete na
www.knihazlin.cz
www.albatrosmedia.cz

☰ KNIHA ZLIN

Vaclav Smil
Globální katastrofy a trendy – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2017

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.


ALBATROS MEDIA a.s.

TEMA

Vaclav Smil

Globální katastrofy a trendy

Příštích padesát let

≡ KNIHA ZLIN

Obsah

Předmluva: Co očekávat | 7

1 – Jak (ne)hledět vpřed | 15

2 – Fatální diskontinuity | 25

Přírodní katastrofy | 31

Setkání s mimozemskými tělesy | 35

Vulkanické megaerupce a kolapsy | 51

Pandemie chřipky | 66

Násilné konflikty | 80

Transformující války | 81

Teroristické útoky | 92

Představitelná překvapení | 104

3 – Vývojové trendy | 110

Energetické transformace | 116

Dominující paliva, dlouhodobé hnací síly | 118

Solární (nukleární?) civilizace | 126

Nový světový řád | 139

Místo pro Evropu | 142

Úpadek Japonska | 156

Volba islámu | 166

Ruská cesta | 181

Vzestup Číny | 193

Ústup Spojených států | 211

Místo nahoře | 229

Dominance a úpadek | 231

Globalizace a nerovnost | 244

4 – Environmentální změny | 256

Globální oteplování a jeho důsledky | 258

Stoupající teploty | 261

Vzestup hladin oceánů, jejich dynamika a složení | 270

Ekosystémy a ekonomika | 278

Další globální změny | 290

Měničící se cykly vody a dusíku | 292

Úbytek biodiverzity a invazivní druhy | 301

Rezistence vůči antibiotikům | 308

Integrita biosféry | 313

5 – Zacházení s rizikem a neurčitostí | 322

Relativní obavy | 329

Kvantifikace pravděpodobnosti | 331

Racionální postoje | 339

Role minimalizátorů rizik | 348

Příštích 50 let | 357

Příloha A: Jednotky a značky, prefixy | 372

Příloha B: Zkratky | 373

Literatura | 374

Jmenný rejstřík | 415

Předmětový rejstřík | 417

Předmluva: Co očekávat

V této knize se odráží jak celoživotní snažení, tak mnohé staré (a později znovuobjevené) znalosti i spousta nové práce. Jako vědec jsem se vždy zajímal o globální změny prostředí, o přírodní katastrofy a antropogenní rizika (zejména v oblasti selhání moderních technologií) a o kvantifikaci jejich pravděpodobnosti. Studium vývojových národních trendů mi usnadnily mé osobní zkušenosti a nadšení pro jazyky. Jakožto Evropan, který emigroval nejprve do Spojených států a posléze do Kanady a který často navštěvuje Asii, mám za sebou celá desetiletí bezprostředních zkušeností s většinou společností, jejichž osudy budou utvářet globální budoucnost 21. století.

Ačkoliv v mých převládajících badatelských zájmech došlo v průběhu uplynulých 40 let k posunu, vždy jsem sledoval problematiku Evropy, Ruska a Středního východu. Po dvě desetiletí jsem studoval využívání energie v Číně a tamní životní prostředí a často jsem tuto zemi navštěvoval. Tyto návštěvy byly obvykle kombinovány s pobytem v Japonsku. Během studia Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze na počátku šedesátých let se u mne vyvinula nechuť vůči striktnímu „škatulkování“ poznání. Od té doby jsem se vždy snažil chápat komplexní environmentální a technologické systémy v jejich interakci se společenskými a ekonomickými vlivy; odsud pramení i můj neutuchající zájem o historii, demografii a ekonomiku. K těmto kategoriím lze přiřadit mnohé z mých publikací. Můj zájem o vyhodnocování rizik a modely technické inovace se rozvinul záhy po mém odchodu z Evropy do Spojených států v roce 1969; mými intelektuálními průvodci byli Robert Ayres a Chauncey Starr.

Z těchto kořenů vychází můj záměr předložit v upotřebitelné podobě rozmanitou a interdisciplinární perspektivu 50 let na stránkách knihy čítající ani ne 100 tisíc slov. Shrnutí hlavních cílů této knihy vyžaduje víc než jen jednu větu. Především nejde o knihu předpovědi; nikde netvrdím, že k určitému datu dojde k určité události, případně k vzestupu či poklesu nějakého trendu. Nepředkládám ani soubor scénářů, nepřicházím s nápaditými bajkami popisujícími alternativní světy řekněme v roce 2050. Tato kniha je zkrátka mnohostranným pokusem o identifikaci hlavních faktorů, které budou utvářet globální budoucnost, a o posouzení jejich pravděpodobnosti a potenciálních dopadů.

Tato práce vychází z uznání prosté dichotomie, totiž že zásadní změny v lidských záležitostech přicházejí převážně ve dvou podobách: jako nepříliš pravděpodobné události, které by mohly (v okamžiku) „všechno změnit“, a jako trvalé, postupně se rozvíjející trendy, které mají z dlouhodobého hlediska neméně dalekosáhlé dopady. Pozorné, kritické, interdisciplinární zkoumání obou těchto faktorů pro nás může být přínosem. Připomene nám – nám jako jednotlivcům i nám jako politickým systémům –, že je třeba věnovat odpovídající pozornost důsledkům nepředvídatelných (nebo obtížně předvídatelných) katastrofických událostí i jasně rozpoznatelným výsledkům znepokojivých dlouhodobých trendů.

Lepší pochopení a posílené uvědomění by nám měly pomoci zmírnit dopad nepředvídatelných událostí a snad i předcházet těm, jejichž načasování známo být nemohlo, ale jež by se daly předpokládat. (Zjevným příkladem je zničení „Dvojčat“ Světového obchodního centra teroristy 11. září 2001, k němuž došlo po pumovém útoku na totéž centrum 26. února 1995 a po zveřejnění výcvikových manuálů al-Káidy během procesu s Umarem Abdulem Rahmánem

v roce 1995.) Měly by rovněž podpořit naši snahu o zmírnění nebo zvrát zhoubných trendů ve fázi, kdy jsou změny tolerovatelné a oběti přijatelné, než tyto trendy přinesou nevyhnutelný hospodářský kolaps, vleklé sociální nepokoje, zvýšené riziko rozsáhlých násilných konfliktů nebo změny globálního prostředí v míře přesahující cokoliv, k čemu došlo od vzniku našeho živočišného druhu.

V kapitole 2 začínám identifikací zásadních a fatálních diskontinuit – náhlých katastrofických událostí, které mohou změnit chod světových dějin. Mezi tyto události patří ojedinělé, ale opakující se přírodní jevy jako střety Země s mimozemskými tělesy, vulkanické megaerupce a virové pandemie, jakož i destruktivní konání člověka, například velké válečné konflikty a teroristické útoky. Hodnotím tyto jevy ve snaze předložit nejlepší současné poznání a – kde je to možné – kvantifikovat pravděpodobnost jejich výskytu v průběhu první poloviny 21. století.

Kapitola 3, která je věnována zásadním trendům globálního významu, zkoumá klíčové zdroje a demografické, ekonomické, politické, strategické i sociální posuny. První je fundamentální a univerzální trend, který ovlivní globální historii následujících dvou generací – komplexní přechod od světa poháněného převážně spalováním fosilních paliv k zatím nejisté směsi nových zdrojů a konverzí. Jen málo dalších faktorů bude tak důležitých při určování ekonomického a sociálního osudu bohatých i chudých zemí jako právě tempo a případný úspěch nebo selhání této rozvíjející se energetické transformace.

Následně se zaměřuji na další postupné posuny pohledem na hlavní hráče v aréně dnešního světa – Evropu, Japonsko, Rusko, Čínu, Spojené státy a muslimský svět. Globální civilizace má relativně malý počet hlavních aktérů (stejně

jako je tomu s rozhodujícími druhy v ekosystémech), jejichž snahy, odpovědnost (nebo její opak), vnitřní změny a vnější postoje disproportcionálně ovlivňují budoucnost a osudy všech.

Disproporcionalní vliv je ilustrován na třech příkladech:

1. Ačkoliv se demografické trendy Maďarska a Japonska zdají být shodně bezúspěšné, rychlé stárnutí populace japonské je problém s globálními důsledky, protože tato země je stále třetí největší ekonomikou světa a zásadním technickým inovátorem.
2. Pokračování chronického a legendárního humbuku v italské ekonomice bude mít na globální investování a byznys efekt pouze okrajový, samotné základy světové ekonomiky však mohou být kompletně přetvořeny, jestliže své ekonomické excesy záhy neukončí Spojené státy.
3. V poslední generaci podněcovali hindští extremisté a srbsští nacionalisté akty násilí, které si vyžádaly mnoho obětí, ale globální šíření jejich násilností a projevů nenávisti je minimální v porovnání se vzestupem urputně militantní, terorizující verze islámu, jejíž hrozby se šíří na všechny obydlené kontinenty.

Posuzování států a muslimského světa v kapitole 3 zvažuje faktory počínaje demografickými trendy a imigrací a konče technickou inovací a makroekonomickou výkonností. Pro každý z těchto specifických náčrtů předkládám důkazy z historie (mnohdy protichůdné), pokud jde o sílu a udržitelnost vývojových trendů a pravděpodobnost určitého budoucího vývoje (tyto trendy na rozdíl od opakujících se přírodních katastrof nejsou podrobeny smysluplné kvantifikaci, protože jsou závislé na příliš mnoha událostech).

Třetí část kapitoly 3 se zabývá dvěma aspekty prvenství. Tím prvním je strategická, kolektivistická povaha stále se přesouvajícího globálního primátu (což je přesnější pojem než dominance), mnohostranné a těžko hodnotitelné úsilí o moc, vliv a výhody. Druhý se týká individuálního bohatství, zneklidňujícího a zjevně globálního trendu rostoucích ekonomických a společenských nerovností, který do značné míry pramení z čínorodé (a zdánlivě nezastavitelné) globalizace využívání, produkce a spotřeby zdrojů.

Ačkoliv většinu událostí, které budou utvářet budoucnost, lze zařadit buď k náhlým katastrofám, nebo k vývojovým trendům, environmentální změny vyžadují specifický pohled, protože jde o zcela nenapodobitelný kotol šokujících diskontinuit (zejména vzhledem k tomu, že náhlé environmentální změny jsou měřeny v odlišném časovém měřítku) a postupných trendů a protože tyto dvě kategorie jevů jsou propleteny v četných (a dosud špatně pochopených) zpětných vazbách.

V kapitole 4 hodnotím nejvýznamnější dostupné důkazy týkající se závažnosti a tempa environmentálních změn, které mají potenciál k závažnému ovlivnění vývoje planetární civilizace v průběhu nadcházejících dvou generací. Toto hodnocení zahrnuje nejen dosud nedostatečně doceněnou složitost globálního oteplování, ale také stručný vhled do dalších hlubokých environmentálních změn, jako jsou mnohostranný rozvrat globálního koloběhu vody, masivní pozměňování globálního koloběhu dusíku člověkem a trend rostoucí rezistence běžných patogenních bakterií vůči antibiotikům.

Knihu v kapitole 5 končím předložením racionálního rámce pro zhodnocení potenciálních rizik a posouzení vývojových trendů. Kvantifikace rizik poskytuje užitečný základ pro racionální vnímání a účinnou přípravu na hrozby počínaje opakujícími se přírodními katastrofami po technické

výpadky a teroristické útoky. Našemu chápání vývojových trendů a jakékoliv snaze změnit je v žádoucím směru prospěje, pokud je dokážeme vnímat v příslušném historickém kontextu, nebudeme zaměňovat krátkodobé jevy a dlouhodobé procesy a zdůrazníme nepředvídatelný charakter komplexního, vzájemně provázaného sociálního, ekonomického, politického, strategického a environmentálního vývoje. Tato realita vylučuje smysluplné dlouhodobější předpovědi, ale nebrání nám chovat se zodpovědně a minimalizovat rizika.

Souhrnně řečeno neočekávejte žádné velké předpovědi ani návody, žádnou záměrnou podporu euforických ani katastrofických vizí budoucnosti, žádná kázání ani ideologicky předpojaté argumenty. Namísto toho očekávejte eklektické zkoumání, důvěru v dlouhodobé historické perspektivy, připomenutí, že omezené chápání a nevykořenitelné neurčitosti jsou našimi trvalými průvodci v posuzování rizik globálně fatálních diskontinuit i síly a konečných výsledků vývojových trendů.

Komplexní skutečnosti mnohdy produkují protichůdné důkazy a zdánlivě nekompatibilní argumenty. Hodnocení budoucnosti Spojených států je například pesimističtější v kapitole o národních trendech než v závěrečné diskusi knihy. Je to pochopitelné. Jakkoliv je těžké ubránit se poněkud pochmurnému pocitu po systematickém, kumulativním vhledu do série trendů (ekonomického, demografického, sociálního, strategického), jejichž jediným společným jmenovatelem se zdá být jejich nedobré směřování, celkové posouzení vyhlídek země se významně projasňuje, jsou-li neúspěchy a neštěstí země z poslední doby viděny vedle jejích dosud významných silných stránek a historicky prověřené schopnosti reinvence a restrukturalizace a následně porovnány se slabostmi, hendikepy a nepružností ostatních významných aktérů. Případné

výsledky budou schopni z čtenářů této knihy posoudit pouze ti nejmladší.

Mým záměrem je osvětlovat, nikoliv předepisovat; ptát se a přesvědčovat čtenáře o zásadní otevřenosti nejisté budoucnosti. Rámcem zvoleným k dosažení tohoto cíle je rozmanité, historicky podložené posouzení náhlých diskontinuit a vývojových trendů, zápasu o globální prvenství a v pozadí se ukrývajících energetických potřeb a znepokojivých environmentálních změn. Nic z toho nekonejší ani neposkytuje chmurnou satisfakci, jsem však přesvědčen, že takovýto realistický, zkoumavý, kombinující přístup založený na sestavování jakési mozaiky je lepší než nějaké velké předepisování a že je nejlepší podporou pro nastartování naší představitosti, zmobilizování naší kreativity a uplatnění naší nezanedbatelné schopnosti přizpůsobit se novým, nepředvídaným a nepředvídatelným okolnostem.

A nakonec ještě dvě technické poznámky a odstavec díky. Možnost získávat postřehy nefiltrované překladem pro mne byla značným plusem pro pochopení dějin a odhadování osudů jednotlivých společností. Kromě toho, že čtu ve všech hlavních evropských jazycích (mými nejoblíbenějšími jsou ruština a italština), studoval jsem obecnou čínštinu a japonštinu a pět let jsem věnoval klasické arabštině a egyptskému dialektu. To je důvod, proč v této knize upřednostňuji konzistentní a lingvisticky přesné transkripce. Pro větší pohodlí čtenáře jsem učinil výjimky u pojmů, které se dnes běžně používají v anglicky vydávaných publikacích, jako jsou al-Káida a korán. Jako ve všech mých knihách i zde jsou veškeré statistické údaje uvedeny v metrických jednotkách použitých s odpovídajícími prefixy soustavy SI, které jsou vysvětleny v příloze A.

Mé díky patří především Paulovi Demenyemu, který po mně požadoval neortodoxní příspěvky do svého časopisu,

čímž tuto knihu bezděčně začal; jejím jádrem se totiž staly dva eseje na téma příštích 50 let, které vyšly v *Population and Development Review* (Smil 2005a; 2005b). Děkuji rovněž Clayi Morganovi za to, že mi poskytl prostor k práci na mé sedmé knize vydané v nakladatelství MIT Press; Johnu Katzenbergerovi, Grangeru Morganovi, Peteru Nolanovi, Simonu Uptonovi, Danielu Viningovi a anonymnímu kritikovi pak děkuji za to, že přečetli celý text nebo části rukopisu a přispěli svou kritikou a návrhy. V neposlední řadě děkuji Douglasu Fastovi za vytvoření skvělého souboru ilustrací.

1 – Jak (ne)hledět vpřed

***Inusitatis atque incognitis rebus magis confidamus
vehementiusque exterreamur.***

*Neobvyklé a neznámé činí nás buď nadměrně sebevědomými,
nebo nadměrně ustrašenými.*

Gaius Julius Caesar, Zápisky o válce občanské, II. 4

Kdokoliv z nás se může vyžívat ve spekulacích o globální budoucnosti ušitých na míru konkrétním náladám nebo sklonům – počínaje ahistorickým „koncem dějin“ Francise Fukuyamy (1992) a konče Ehrlichovým (2004) nářkem, že osud liberální demokracie se bude podobat tomu, jak to dopadlo v Ninive. Fukuyama oprávněně namítá, že je nepochopen, protože nenaznačuje, že události spějí ke svému konci. Namísto toho zastává názor, že bez ohledu na to, jak velké a závažné jakékoliv příští události budou, dějiny jako takové („jako jediný, souvislý, evoluční proces“) jsou u konce, protože nic jiného než konečný triumf liberální demokracie již nepřijde. Toto tvrzení provokuje kombinací zbožného přání a nedostatku představitosti. Pokud bychom mu měli věřit, pak 11. září, fundamentalistický islám, terorismus, nukleární vyděračství, globalizace pracovní síly a obroda Číny jsou nepodstatné, protože „všechny opravdu významné otázky byly vyřešeny“.

Pokud jde o náš osud podobný Ninive, nejsem – navzdory enormním výzvám, jimž čelíme – ani zdaleka přesvědčen, že se naše civilizace zanedlouho promění v hromadu trosek. I kdyby tomu tak bylo, stále bychom na tom nebyli stejně jako Ninive; nesčetné artefakty z oceli a dalších kovů, skla

a plastů, které po nás zůstávají, budou lépe uchovány než hlavní město asyrské říše s jepičím životem vystavěné z hlíny, jež bylo tak důkladně zničeno vpádem Babyloňanů. Toto jsou však jen exkurzy provokované Fukuyamovými a Ehrlichovými tvrzeními a uchylují se k nim pro ilustraci toho, co mají tyto velkolepé předpovědi společné – jejich závěry jsou předpojaté a jejich argumenty předem dané utkvělými vizemi ať již neúprosného progresu, nebo nevyhnutelného kolapsu.

Vize neodvratitelného zhroucení jsou v převaze. Diamonďův *Kolaps* (2004), vyvozující, nepřesvědčivá a příliš zjednodušujícím způsobem deterministická kniha vytvořila kult navazující na její příběhy zaniklých kultur, jež předznamenávají náš blížící se zánik. Martin Rees, profesor z Cambridge a astrofyzik Královské společnosti, si zadal nesmiřitelným titulem *Our Final Hour* (Naše poslední hodinka, 2005), za nímž následuje chmurný podtitul uvádějící teror, chyby a environmentální katastrofy jako největší hrozby pro budoucnost lidstva. Kunstlerova kniha (2005) je dalším významným příspěvkem do fondu literatury katastrof a Lovelock (2006) předpovídá odplatu, kterou bohyně Země Gaia smete lidstvo, jež jí ubližovalo. Pouze Posner (2004) si při pohledu na rizika katastrof a naši odezvu na ně uchovává svoji obvyklou analytickou věcnost.

A pak je tu vzkvétající pole předpovědí zaměřených na konkrétní body, které kvantifikují četné atributy populací, prostředí, technik nebo ekonomik. Díky internetu je nalezení dat pro konkrétní roky otázkou sekund; celkový počet žen v Jemenu v roce 2040, koncentrace CO₂ v ovzduší v roce 2030, celková výše národního dluhu USA v roce 2010 a tak dále. Pro ty, co jsou sice zvědaví, ale nechce se jim hledat, tu jsou prognózy; střední varianta nejnovější předpovědi po-

pulačního vývoje OSN (2005) uvádí pro rok 2040 25 milionů ženských žen (10 milionů v roce 2005); podle scénářů, které publikuje Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC 2001; 2007), by do roku 2030 měla být celosvětově průměrná hladina atmosférického CO₂ 450 ppm (380 ppm v roce 2006); a pro rok 2010 se očekávalo, že federální dluh USA se přiblíží částce 11 bilionů dolarů (7,9 bilionu v roce 2005) (Úřad pro řízení a rozpočet Bílého domu, OMB, 2006).

Vzhledem k obvyklé očekávané průměrné délce života bude mít většina mužských čtenářů, pokud ještě nedovršili padesátku, a čtenářek, kterým není víc než něco málo přes padesát, šanci zkontrolovat si v roce 2030 výsledky a zjistit, nakolik se původní předpověď mýlila. Tento závěr (totiž že jediná spolehlivá předpověď je naše neschopnost předpovídat) vychází z obsáhlých a stále přibývajících důkazů; jediným rozumným způsobem, jak hodnotit spolehlivost moderních předpovědí, je ohlédnout se nazpět a zjistit, nakolik spolehlivě byla v minulosti předpověděna realita včerejška a dneška. Takováto cvičná ohlédnutí mají rozhodně své opodstatnění, protože v minulé generaci většina těchto specifických bodových předpovědí spoléhala na stejný soubor intelektuálních přístupů a technik jako prognózy dnešní, které stanovují výhledy na 5–50 let dopředu.

Retrospektivy odhalují, že většina skutečně dlouhodobých kvantitativních předpovědí (zahrnujících nejméně jednu generaci neboli 20–25 let) se ukázala být k nepotřebě už během několika let, někdy dokonce měsíců po svém uveřejnění. Tyto nezdarů jsem doložil podrobným studiem každé jednotlivé kategorie dlouhodobých energetických předpovědí za více než jedno století (Smil 2003). Předpovědi vývojových trendů tak rychle selhávají, protože mají tendenci být nerealisticky statické. Jenže trendy jsou ohraničené; náhle

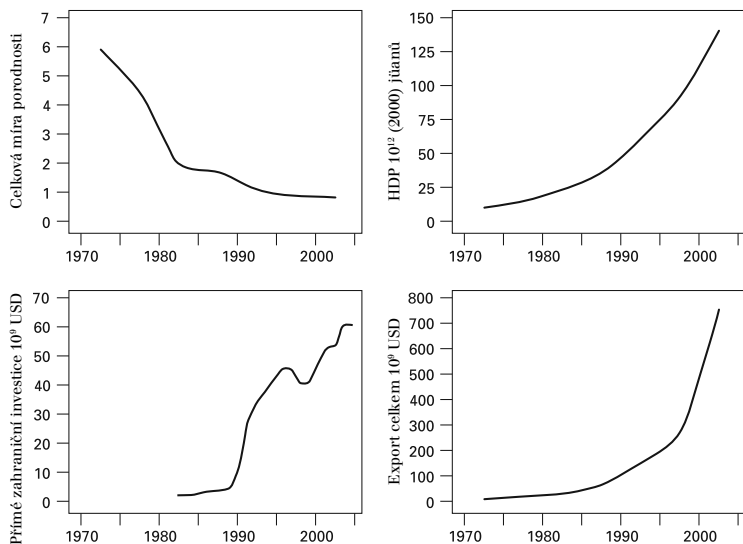
slábnou nebo se prohlubují a právě tak u nich může dojít k náhlému zvratu.

Názornými příklady takovýchto neúspěšných předpokladů jsou populační prognózy. Porovnání revize z roku 2004 (OSN 2005) s globální populační prognózou na období 1990–2025 (OSN 1991) vykazuje rozdíl přibližně 600 milionů lidí, tj. pokles o 10% výraznější, než je celá dnešní populace Latinské Ameriky. Tudíž dokonce i prognózy, které pracují s danými biofyzikálními skutečnostmi (většina žen, které v následujících 20 letech přivedou na svět dítě, je již na světě) a které jsou vydávány v rozestupu pouhé desítky let, se mohou lišit v řádech vztahujících se k celým kontinentům.

Podívám-li se na globální předpovědi na příštích 50 let, necítím potřebu nijak obohacovat tuto téměř okamžitě irrelevantní horu specifických bodových předpovědí. Rovněž se nechci stát vynalézavým bajkářem a předkládat rozmanité scénáře tak, jak to činí individuální prognostici (např. Hammond 1998), mezinárodní instituce (např. Světová podnikatelská rada pro udržitelný rozvoj WBCSD 1997 či Světové ekonomické fórum WEF 2006), velké korporace (např. Shell Group 2006) i vládní orgány. Vynikajícím příkladem tohoto žánru v globálním měřítku (a omezím se jen na čtyři vize světa pro rok 2020) jsou snahy Národní zpravodajské rady (NIC 2004). Ta už předložila Pax Americana (pokračující dominanci USA), Davoský svět (robustní ekonomický růst vedený Čínou a Indií), Cyklus strachu (šíření zbraní vede k zavedení bezpečnostních opatření narušujících soukromí ve velkoplošném měřítku ve stylu orwellovského světa) a Nový kalifát („globální hnutí podporované radikálními politikami náboženské identity, [které] by se mohlo stát ohrožením západních norem a hodnot jakožto základu globálního systému“).

Hlavní důvod, proč dokonce i ty nejdůmyslnější a nejpropracovanější scénáře nakonec tak zklamou, tkví v tom, že některé budoucí skutečnosti sice mohou odhadnout přibližně správně, ale nevyhnutelně opomíjejí další komponenty, jejichž dynamickou interakcí dochází k hlubokým proměnám celku. Předpokládejme, že by v roce 1975 (řadu let předtím, než Čína přistoupila k politice jednoho dítěte) skupina tvůrců takovýchto scénářů správně předvíдалa pokles celkové porodnosti v Číně (a tudíž celkový významný pokles čínské populace). Dosadili by oni nebo kdokoliv jiný v roce 1975 (v průběhu poslední fáze maoistické kulturní revoluce a rok před Maovou smrtí) toto číslo do kvazikapitalistické ekonomiky s více než čtyřnásobným růstem, jež absorbuje ročně desítky miliard přímých zahraničních investic a slouží jako hlavní světová výrobní (obr. 1.1)? Jaká expertní skupina sestavená v roce 1985 za účelem určení vzájemných pozic nejvýznamnějších mocností v roce 1995 by předvíдалa kolaps Sovětského svazu, pokles japonské ekonomiky, první válku v Zálivu a znovuvzkříšení amerického hospodářství na pozadí narůstající globalizace a nástupu internetu?

Jak jsem již uvedl, nepředkládám žádné kvantitativní specifické odhady ani žádné alternativní scénáře. Mým záměrem je zkoumat ty klíčové proměnné, jejichž dopad bude pravděpodobně natolik významný, aby usměrňoval chod světových dějin v průběhu první poloviny 21. století. Jsem pevně přesvědčen, že předpovídat daleko dopředu lze neúčinněji ohlédnutím se daleko nazpět a že tento přístup funguje, pokud jde o přírodní katastrofy i jde-li o socioekonomické trendy. Přirozeně že z těchto cvičných ohlédnutí nelze dospět k žádnému specifickému poznání, nicméně tyto rozsáhlé retrospektivy přinášejí jedno zásadní poučení: dějiny krácejí vpřed jak ve



Obr. 1.1: Nepředvídatelné změny v Číně, 1975–2005: porodnost, HDP, zahraniční investice, export. Zmapováno podle údajů OSN (2005) a NBS (2006)

skocích, tedy náhlých diskontinuitách, tak v postupném vývoji dlouhotrvajících trendů.

V tomto ohledu historie zrcadlí – ve značně zhuštěné verzi – záznam vývoje života na Zemi, který je poznamenán velice pomalými (darwinovskými) transformacemi i relativně náhlými (skokovými) změnami (Simpson 1983; Eldredge a Gould 1972). Pozvolné, ale kumulativně překvapivé evoluční změny jsou zaznamenávány mnohem hojněji než několik pozoruhodných skoků uložených ve fosilních záznamech. Nic není více ohromující než exploze vysoce organizovaného a vysoce diverzifikovaného pozemského života v kambriu.

Tento velký evoluční skok začal před zhruba 533 miliony let a během geologicky krátkého období pouhých 5–10 milionů let (neboli za méně než 0,3% celého evolučního období) dal vzniknout prakticky všem živočišným liniím, které jsou v současnosti známy (McMenamin a McMenamin 1990). A moderní věda rovněž začala uznávat roli ojedinělých katastrofických epizod v utváření evoluce života (Albritton 1989; Ager 1995).

Stále četnější pokusy o dlouhodobé předvídání (převážně dynamické modelování a sestavování scénářů) patří k oné gradualistické škále opírající se převážně o sledování řady kritických trendů. Těmto postupným procesům se věnuji v kapitolách 3 a 4, které se zabývají novými demografickými skutečnostmi (rozdílný růst, přerozdělování mezi regiony, stárnutí, migrace), socioekonomickými trendy s kapacitou pro dlouhotrvající globální dopady (ústup Japonska do pozadí, role islámu, návrat Ruska k velmocenské roli, vzestup Číny a její vlivy), riziky šíření jaderných technologií, měněními se globálními vedoucími pozicemi a znepokojivými environmentálními trendy.

Začínám však tím, že se v kapitole 2 zaměřuji na ty nepředvídatelné skoky, jejichž následky v podobě ztracených a rozvrácených životů, zničených a transformovaných ekonomik a rozmetaných a změněných vyhlídek by mohly změnit kolektivní osudy lidstva v průběhu příštích 50 let.

Než tak učiním, dovoluji mi pár odstavců ohledně významu slova *globální*, rozhodně jednoho z nejvíce nadužívaných přídavných jmen nového století. Tento zdánlivě jasný pojem má ve skutečnosti řadu kontextových významů. Často je používán jako synonymum pro *celosvětový*; dokonce i když jev nezahrnuje celou planetu. Existují přírodní procesy fungující ve skutečně globálním měřítku – atmosférická cirkulace je

fundamentálním příkladem jednotného, celoplanetárního, klima formujícího proudění, poháněného jediným zdrojem (slunečním zářením). Desková tektonika je dalším příkladem celoplanetárního procesu, který určuje základní fyzikální charakteristiky každého kontinentu a oceánu.

Další přírodní jevy jsou globální v odlišném smyslu – jejich rozsah je omezen buď na souš, nebo na oceán, ale v rámci těchto hranic jsou obecně rozšířené. Do této kategorie náležejí půdní eroze a mořské proudy. Další procesy, přírodní nebo antropogenní, jsou všudypřítomné, ale prostorově nespojitě a vyskytují se v četných lokacích na všech kontinentech; v tomto smyslu jsou rozhodně globální problémy s invazivními druhy, ztrátami dusíku v zemědělské půdě, nárůstem některých nerovností nebo vládními závazky vůči důchodovému zabezpečení. Ekonomické, politické a vojenské použití slova *globální* má své analogy v přírodních „globálních“ kategoriích. Obchod je v současnosti skutečně globální, protože žádná země nemůže být ekonomicky soběstačná a bohaté národy nemohou udržovat svoji vysokou kvalitu života bez intenzivního prodeje a nákupu zboží i služeb.

Globální jsou mezinárodní finance – peníze z těch nejskromnějších spořicíh účtů jsou promíseny s legálními, ale nadměrnými zisky nadnárodních společností a s nezákonnými a ještě nadměrnějšími zisky velkoobchodníků s kokainem a marihuanou. Právě tak globální jsou mezinárodní telekomunikace. Globální je vojenský dosah USA, protože jejich plavidla křižují všemi oceány a jejich přepravní kapacity mohou vysadit ozbrojené síly na souši všude tam, kde je vhodná přistávací plocha nebo pláž. Slovo *globální* se nyní používá i pro individuální události, jejichž výsledek se projevuje celosvětově. Henisz et al. (2005) si položil otázku, zda byl globální událostí hurikán Katrina (obr. 1.2), a odpověděl



Obr. 1.2: Dopad hurikánu Katrina, 29. srpna 2005. Satelitní záběr, <http://goes.gfc.nasa.gov/pub/goes/050829.katrina.jpg>

si kladně, a to na základě tří hledisek: přerušení produkce ropy a zemního plynu v Mexickém zálivu, které podpořilo nárůst světové ceny ropy; celosvětových důsledků těchto významných škod v oblasti pojištění a zajištění (ne méně než 40 miliard USD); a pošpiněného image Spojených států, protože miliardy lidí viděly v televizi záběry bídy a zkázy s liknavou a chabou reakcí vlády.

V této knize se soustřeďuji na skutečně globální jevy, které mohou přímo ovlivnit celou planetu, buď jako bezprostřední katastrofy, nebo jako postupně se odvíjející trendy. Některé události a procesy, které jsou mnohem omezenější, však mo-

hou změnit chod světových dějin; jejich případné důsledky jsou nepopíratelně globální. Teroristické útoky z 11. září jsou dokonalým příkladem událostí tohoto druhu. Žádný jednotlivec ani žádná expertní skupina nemohou mít tolik jasnozřivosti, aby oddělili záležitosti, které budou skutečně závažné, od těch, které se zdají být důležité, ale nakonec nebudou znamenat příliš mnoho. I tato kniha nevyhnutelně sdílí tento zásadní nedostatek – z některých jejich očekávaných zásahů se zajisté vyklubou střely vedle.

2 – Fatální diskontinuity

Mors ultima linea rerum est.

Smrt je nejzazší hranicí všech věcí.

Quintus Horatius Flaccus

Bostrom (2002) roztřídil existenciální rizika – taková, která by mohla vyhladit inteligentní život nebo trvale či drasticky omezit jeho potenciál, na rozdíl od „snesitelných“ rizik, jako je mírné globální oteplování nebo ekonomické recese – do „třesků“ (zániky způsobené náhlými katastrofami), „zdrceení“ (události, které mohou zmařit budoucí vývoj), „výkřiků“ (událostí vedoucích k velmi omezenému pokroku) a „vzlyků“ (změny, které vedou k možnému zániku lidstva). Já je dělím méně dramaticky na (1) známá katastrofická rizika, jejichž pravděpodobnost lze vyhodnotit díky jejich opakování, (2) pravděpodobná katastrofická rizika, k nimž dosud nikdy nedošlo a jejichž pravděpodobnost výskytu je tudíž mnohem obtížnější uspokojivě kvantifikovat, a (3) zcela spekulativní rizika, která se zhmotnit mohou a nemusí.

Známa katastrofická rizika zahrnují diskontinuity, jejichž pravděpodobnost opakování lze smysluplně odhadnout díky přiměřeně dobře poznaným přírodním skutečnostem a historickým precedentům. Pravděpodobnost jejich opakování v krátkodobém nebo dlouhodobém horizontu lze kvantifikovat s mírou přesnosti užitečnou pro vyhodnocení relativních rizik a alokaci zdrojů na preventivní kroky nebo případné zmírnění. Tato kategorie zahrnuje přírodní katastrofy, například střet Země s mimozemskými tělesy,

vulkanické megaerupce a virulentní pandemie, právě tak jako transformující války a teroristické útoky.

Ačkoliv se *pravděpodobná katastrofická rizika* dosud nikdy nerealizovala, díky jejich potenciálně enormnímu dopadu je nelze vyloučit z žádného uceleného hodnocení budoucích fatálních diskontinuit. Některé z těchto katastrof jsou obecně předpokládány po celá desetiletí. Strach z náhodně spuštěné jaderné války nás provází od listopadu 1951, kdy Sověti vyvinuli svoji první přepravitelnou štěpnou bombu (RDS-1 Taťána), ačkoliv daleko příhodnější by bylo datování od roku 1955, kdy obě supervelmoci získaly první rakety dlouhého doletu s nukleárními hlavicemi Matador a R-5M Poběda (Johnston 2005). Na rozdíl od strategických bombardérů (první proudový letoun tohoto typu B-47 vzletl v roce 1947) nemohly být jednou odpálené balistické střely odvolány a po celá desetiletí studené války proti nim neexistovala obrana. Navzdory enormním výdajům vynaloženým během prvního Reaganova prezidentského období spolehlivá protiraketová obrana neexistuje dosud.

Další události z této kategorie jsou záležitosti příležitostně spekulace (např. pandemie způsobená do té doby neznámým patogenem), ale celkově se pravděpodobnost výskytu a rozsah dopadu vymykají jakékoliv smysluplné kvantifikaci.

Zcela spekulativní rizika zahrnují rizika jak vymyšlená – například Joyovu vizi nové všežravé „bakterie“ schopné zredukovat biosféru na prach v řádu dnů –, tak zcela neznámá. Samozřejmě že příklady oněch zcela neznámých uvést nelze, ale pravděpodobnost takovýchto nepoznatelných překvapení se zvyšuje, jak se prodlužuje uvažovaný časový interval. Přesto stojí za to komentovat klíčová spekulativní nekvantifikovatelná rizika a přiřadit je do dvou základních kategorií – více a méně znepokojivých událostí. Toto rozdělení může

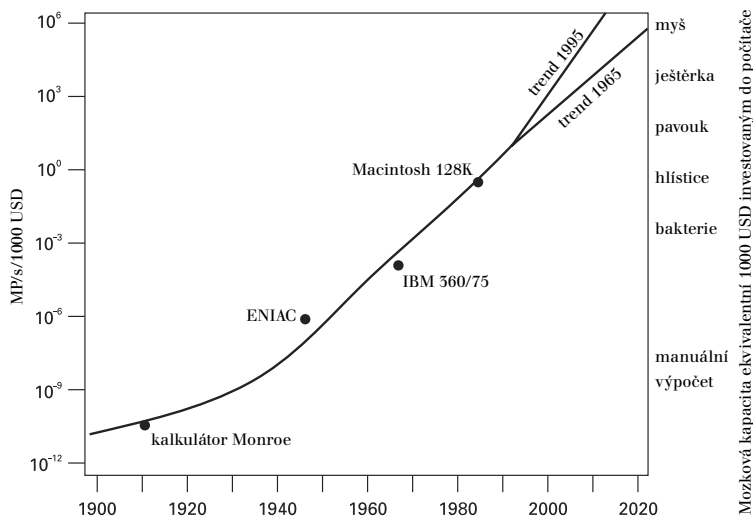
vycházet z nejlepšího relativního seřazení odhadovaných (dohadovaných) pravděpodobností, z nejpravděpodobnějšího celkového dopadu takovýchto změn, nebo z obojího.

Mnozí kritikové by mohli namítnout, že diskontinuity, jejichž samotný výskyt zůstává spekulativní, náleží do říše science fiction. Zdůvodnění, proč se těmito otázkami zabývat, vystihuje reakce kapitánů amerického byznysu na kvazi-prorocké výroky Marshalla McLuhana tak, jak ji popsal Tom Wolfe (1968): „A co když má pravdu?“

Některé z těchto spekulativních obav zpopularizoval Joy (2000) ve svém spisku o nebezpečích tří mocných technologií 21. století – robotiky, genetického inženýrství a nanotechnologie – pro lidstvo.

Pokud jde o tu část Joyovy publikace, která se věnuje robotice, jde převážně o nepůvodní snahu vycházející z díla dvou nadšenců umělé inteligence Hanse Moravce (1999) a Raye Kurzweila (1999), kteří hlásají, že robotická inteligence bude brzy rivalem lidských kapacit (obr. 2.1). Kurzweil (2005) zasadil nástup „singularity“, kdy výkon počítačů dosáhne 10^{25} probíhajících operací za sekundu a výrazně tak překročí výkon a inteligenci lidského mozku, naprosto přesně do roku 2045.

Superinteligentní a všemocné roboty už nám slibuje několik generací (Čapek 1921; Hatfield 1928). Dodnes žádné takové stroje neexistují, dokonce ani „inteligentní“ software instalovaný v počítači IBM Deep Blue II pro šachovou partii proti světovému šampionovi Garrymu Kasparovovi v roce 1998 místo nastupujícího triumfu strojů ukázal jen to, že „šachy na světové úrovni lze hrát způsobem zcela cizím způsobu, jakým je hrají mistři ze světa lidí“ (Casti 2004, 680). Počítače jsou už řadu let využívány k tvorbě softwaru a k sestavování jiných počítačů a strojů, ale tento způsob využití



Obr. 2.1: Rychlejší než exponenciální vývoj výpočetních kapacit od roku 1900 (v grafu vyjádřený jako miliony pokynů za sekundu na tisíc dolarů v kurzu z roku 1997) vedl Hanse Moravce k závěru, že existence antropoidních robotů by měla být možná ještě před polovinou 21. století. Podle Moravec (1999), upraveno

nesignalizuje jakoukoliv hrozící schopnost autoreprodukce. Všechny tyto procesy vyžadují ke své iniciaci zásah člověka, suroviny k výrobě hardwaru a především energii k provozu. Jen těžko si dokážu představit, jak by tyto stroje (a už vůbec ne za necelou jednu generaci) zahájily, integrovaly a udržovaly zcela samostatný průzkum, extrakci, konverzi a dodávku požadovaných energetických zdrojů.

Joyovo (2000) nejsenzačnější tvrzení se týká již zmíněné všežravé „bakterie“, která by dokázala rychle zredukovat

celou biosféru na prach. Toto tvrzení by mohlo být modifikováno, pokud by Joy uznal některé fundamentální ekologické reálie a vzal v takto zběsilém scénáři v úvahu nezbytné soupeření o zdroje a mezidruhovou konkurenci. Mikroorganismy tu existují už nějaké 3,5 miliardy let a evoluční biologové si jen obtížně dokážou představit nový druh, který by se téměř okamžitě dokázal vypořádat se všemi ostatními organismy, jež přes všechna protivenství tak dlouhého období přežily, adaptovaly se a prosperovaly.

Pokud by biosféra byla náchylná k rychlému ovládnutí jediným mikroorganizmem, nedošlo by k její diferenciaci na miliony druhů, z nichž tisíce jsou na sobě vzájemně závislé v rámci složitých potravinových sítí bohatých ekosystémů a všechny jsou propojeny globálními biogeochemickými cykly. Základním hnacím motorem evoluce a přežití nebyla ani tak mezidruhová konkurence, jako symbióza (Sapp 1994; Margulis 1998; Smil 2002).

Existují však ještě spekulativnější, zdánlivě vědecky podložené náměty týkající se zániku civilizace, a to včetně myšlenky, že žijeme v simulaci zaniklé lidské společnosti ovládané superinteligentní bytostí, která se může kdykoliv rozhodnout tuto simulaci ukončit (Bostrom 2002). Mysl řídící toto soužití je nepochybně velice trpělivá, protože tato simulace už běží téměř 4 miliardy let (pokud tedy nezavrhneme důkazy o vývoji Země a jeho důsledcích, mimo jiné příchodu našeho druhu).

Každopádně toho s děsivými (nebo osvobozujícími – už žádné lidské obavy) aspekty takovýchto scénářů mnoho nenaděláme. Jestliže je příchod superstrojů nebo všežravého slizkého nanodruhu pouze otázkou času, nezbývá nám než pasivně čekat na eliminaci. Jestliže je takovýto vývoj možný, nemáme žádnou racionální možnost posouzení rizika. Je šance, že autoreplikantní roboti převezmou Zemi

do roku 2025 nebo že ji nanoboti ovládnou do roku 2050, 75%, anebo 0,75%? A pokud takovéto „hrozby“ nejsou ničím víc než okázalou a neskromnou science fiction, mají značně početnou, jakkoliv lacinou společnost v tisku, filmu i televizi a sotva se hodí k něčemu jinému než k vyvolávání intelektuálního mrazení.

V této kapitole se do jisté míry detailně zabývám pouze těmi přírodními katastrofami, které mohou nastat rychle – v řádu minut až měsíců. Globální změna klimatu, přírodní událost, která byla obvykle prezentována jako nejznejpokojivější environmentální krize, může být pokládána za rychlou, pouze pokud bude měřena na evoluční časové ose. Její posouzení tudíž patří do kapitoly 4, která se zabývá environmentálními trendy.

Zároveň zvažuji pouze ty katastrofy, jejichž pravděpodobnost výskytu v příštích 50 letech není mizivě nízká, tedy ty, které se opakují v intervalech nikoliv delších než 10^5 až 10^6 let a které by mohly změnit chod globální historie a snad dokonce eliminovat moderní civilizaci. Proto nevěnuji bližší pozornost tak vzácným událostem, jako je setkání Země s explozemi supernov nebo enormní lávové výrony, jako byly ty, jež vytvořily dekkanské a sibiřské trapy.

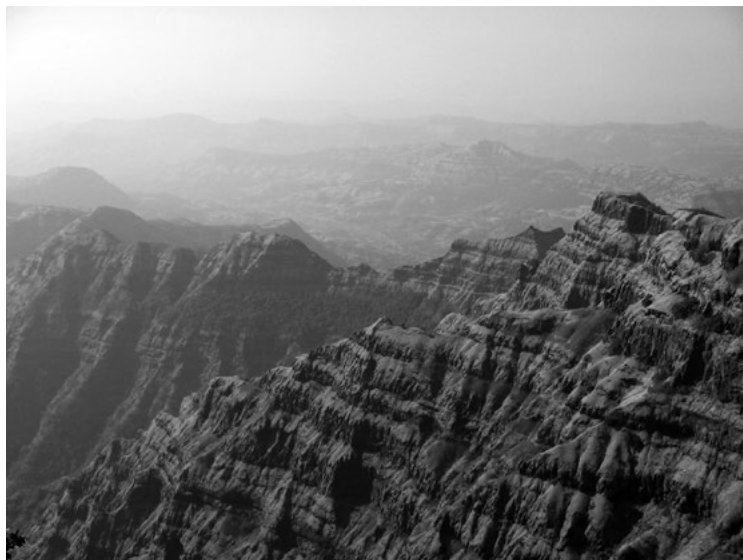
Supernovy jsou vzácné; ve spirální galaxii typu Mléčné dráhy k nim dochází zhruba jednou za 100 let (Wheeler 2000). Sluneční soustava je ve vzdálenosti nepřesahující 10 parseků (3×10^{17} m) od supernovy jen jednou za 2 miliardy let (2 Ga) a exploze, obvykle produkující energii v násobcích desítek miliard oproti Slunci, aby zaplavila horní vrstvy atmosféry tokem rentgenového záření a UV záření o velmi krátké vlnové délce s intenzitou 10 000× vyšší, než má dopadající sluneční záření. Země by obdržela v pouhých několika hodinách dávku ionizujícího záření 500 rentgenů,

která by byla fatální pro většinu nechráněných obratlovců. Padesátiprocentní účinná letální dávka je u nich většinou 200–700 rentgenů, ale mnozí by přežili vzhledem k rozdílné expozici a specifické odolnosti. Bezobratlí a mikroby by zůstali z valné části nepostíženi. Terry a Tucker (1968) vypočetili, že Země od éry prekambria dostala nejméně takovou dávku desetkrát, tj. zhruba jednou za každých 50 milionů let (50 Ma), což je interval, který pro příštích 50 let znamená zanedbatelně nízkou pravděpodobnost výskytu.

Právě tak jsou periody masivních a dlouhotrvajících výronů bazaltové lávy hromadící se v mocných vrstvách neobvyklé dokonce i z hlediska geologické časové osy. Nejstarší identifikovaná epizoda tohoto druhu (přes 508–505 Ma) vytvořila více než 190 000 km³ bazaltů v australské oblasti Kalkarindji a byla nejpravděpodobnější příčinou prvního rozsáhlého vymizení živočišných druhů (Glass a Philips 2006). Za uplynulých 250 Ma proniklo zemskou kůrou pouze osm gigantických výronů magmatu, které dokázaly vytvořit masivní bazaltová souvrství. Indické dekkanské trapy, obsahující více než 500 000 km³ bazaltu, začaly vznikat před 65 Ma a utvářely se po dobu 5 Ma. Právě tyto výrony spíše než dopad mimozemského tělesa mohly zahubit dinosaury, případně alespoň významně přispět k jejich zániku (obr. 2.2). Sibiřské trapy, pokrývající zhruba 2,5 milionu km² lávou o objemu přibližně 3 miliony km³, vznikaly před asi 250 Ma (Renne a Basu 1991).

Přírodní katastrofy

Mezi přírodní katastrofy patří jak relativně běžné události typu cyklonů, záplav a sesuvů půdy, tak méně časté prudké úniky energií provázené geotektonickými procesy (zemětře-

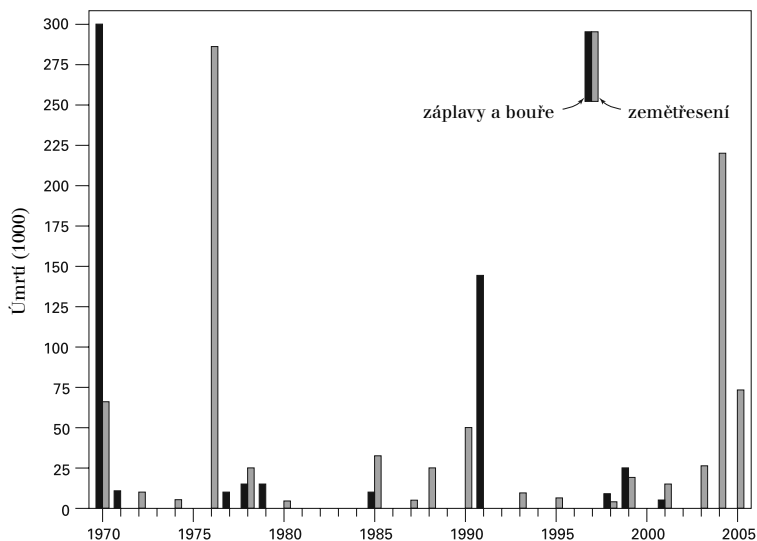


Obr. 2.2: Odhalené vrstvy dekkanských výlevných bazaltů o mocnosti více než 1 km u Mahabalešváru v indickém státě Maháráštra. S laskavým svolením dr. Hetu Shetha, Indian Institute of Technology, Bombaj

sení a vulkanické erupce schopné vyvolat tsunami) a neobvyklá setkání Země s velkými mimozemskými tělesy. Starší data ohledně frekvence a počtů obětí přírodních katastrof jsou neúplná, ale statistiky z poslední doby zaznamenávají všechny významné události a uvádějí poměrně přesná čísla. Z výročních globálních souhrnů zajišťovny Swiss Reinsurance Company (Swiss Re 2006a) vyplývá, že zdaleka nejčastějšími událostmi jsou povodně a bouře; v prvních letech 21. století představovaly 70–75% všech přírodních katastrof. Po nich následují zemětřesení, tsunami a následky extrémních teplot včetně období sucha, požárů, vln horka, sněho-

vých bouří a mrazu. Z hlediska počtu obětí v celosvětovém měřítku však byla v letech 1970–2005 nejhoršími přírodními katastrofami zemětřesení, která v tomto období usmrtila téměř 900 000 lidí, ve srovnání se zhruba 550 000 úmrtí následkem záplav a cyklonů (obr. 2.3).

Tyto souhrny rovněž prozrazují očekávané významně zkreslené rozložení frekvence úmrtnosti, protože celoročnímu počtu obětí dominuje jediná událost. Většinou je touto událostí velké zemětřesení (včetně tsunami zemětřesením vyvolané), a tato dominance byla výrazná především v nedávné minulosti. Zemětřesení v oblasti íránského města Bam v roce 2003 si vyžádalo 80 % obětí přírodních katastrof



Obr. 2.3: Počty úmrtí následkem významných přírodních katastrof (minimálně 4000 mrtvých na událost), 1970–2005. Převzato z údajů Swiss Re (2006b)

toho roku, v roce 2004 si zemětřesení a tsunami v oblasti Sumatry a Andaman vyžádaly 95% z celkového počtu obětí a v roce 2005 tvořily oběti zemětřesení v Kašmíru téměř 85% z celkového počtu obětí přírodních katastrof toho roku (Swiss Re 2004; 2005; 2006a). Relativně časté události s lokalizovaným dopadem často způsobí desítky či stovky, méně často tisíce úmrtí, ale nejnebezpečnější katastrofy si vyžádají statisíce, ba dokonce miliony životů. Nejstrašlivější cyklon 20. století, bangladéšský Bhola, zabil 13. listopadu 1970 nejméně 300 000 lidí, nejničivější zemětřesení v severočínské provincii Šen-si si 23. ledna 1556 vyžádalo 830 000 životů a záplavy v povodí Žluté řeky z roku 1931 nejméně 850 000.

Ta nejničivější přírodní katastrofa prvních let 21. století, zemětřesení a tsunami v Indickém oceánu 26. prosince 2004 (Lay et al. 2005; Tito et al. 2005), však byla důkazem, že dokonce ani takovéto masivní přírodní katastrofy nemění chod světových dějin. Stanou se po celém světě předmětem palcových titulků, vyvolají humanitární pomoc a mají dlouhodobé následky pro postižené národy, ale v globálním měřítku nepatří k událostem utvářejícím epochu. Ve skutečnosti jedna z půltuctu obdobně devastujících přírodních katastrof, které se odehrály ve druhé polovině 20. století, zůstala zcela interní záležitostí, protože xenofobní Čína po zemětřesení v hornickém městě Tchang-šan a jeho okolí, k němuž došlo 28. července 1976 a jež si (oficiálně) vyžádalo 242 219 mrtvých, přičemž celkový počet obětí byl odhadován až na 655 000 (Huixian et al. 2002; Y. Chen et al. 1988), o mezinárodní pomoc nepožádala.

V kontrastu k frekventovaným přírodním katastrofám, které usmrťí až 10^5 – 10^6 lidí a mají závažné lokální a regionální ekonomické důsledky, existují pouze tři typy náhlých, nepředvídatelných, ale opakujících se přírodních událostí,

jejichž dopady na planetu, polokouli nebo rozsáhlé regiony by mohly mít výrazný vliv na chod světových dějin. Jsou to kolize Země s blízkými vesmírnými tělesy dostatečně velkými, aby střety s nimi způsobily smrt a hospodářské škody srovnatelné s explozemi strategických jaderných zbraní, masivní vulkanické erupce (s velkými tsunami nebo bez nich) a (potenciálně) rozměrné kolapsy částí vulkánů, které při sesuvu do oceánů vyvolávají tsunami.

Pravděpodobnost, že ke kterékoliv z těchto událostí v první polovině 21. století dojde, je velice nízká (výrazně pod 1 %), ale tento uklidňující závěr je třeba vyvážit faktem, že pokud by kterákoliv z nich nastala, byla by to událost, jež nemá v zaznamenané historii obdoby. Počet úmrtí v nejbližších okamžicích po události by dosáhl 10^6 až 10^9 , což je o 1–4 řády více než u opakujících se lokalizovaných přírodních katastrof. Kromě toho, pokud by tyto události postihly hustě osídlené centrální regiony největších světových ekonomik, jejich globální dopad by byl značný, i kdyby prostorový rozsah destrukce představoval pouhý nepatrný zlomek povrchu Země.

Setkání s mimozemskými tělesy

Země se neustále mívá s řídkými, ale z hlediska počtu poměrně masivními oblaky menších kosmických těles (McSven 1999). Obvyklá velikost těchto meteoroidů se pohybuje od mikroskopických částic po tělesa o průměru až 10 m. V důsledku toho je planeta trvale zasypávána mikroskopickým prachem – částičky o průměru až 1 mm, jež jsou dost velké, aby za sebou při zániku v atmosféře zanechaly světelnou stopu (meteor), se objevují každých 30 sekund. Tento trvalý spad (přibližně 5 tun denně) nepředstavuje pro vývoj života ani pro fungování moderní civilizace prakticky žádné



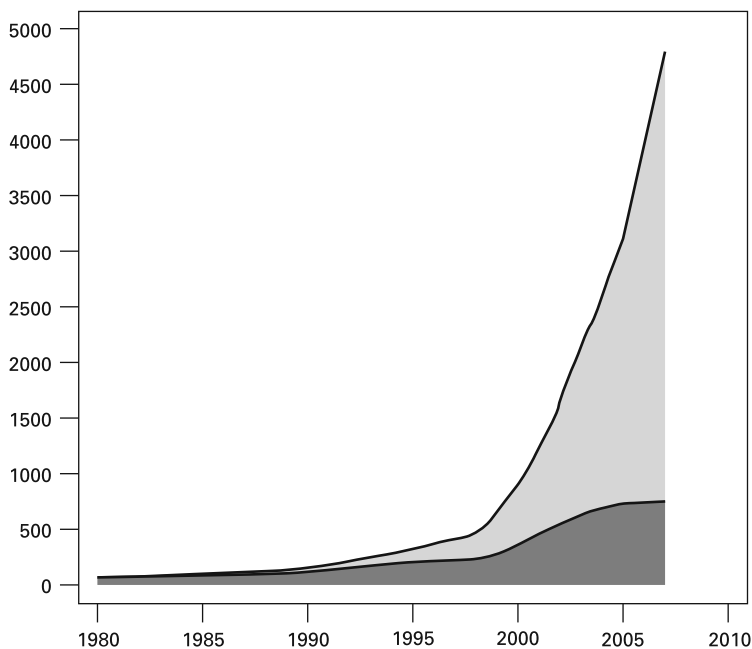
Obr. 2.4: Detailní záběry velkých planetek. Kolize Země s planetkou této velikosti by téměř jistě zničila civilizaci. *Vlevo* složený záběr planetky Ida (délka cca 52 km), *vpravo* Gaspra (osvětlená část je dlouhá cca 18 km). Záběry pořídila sonda Galileo (1993 a 1991). NASA (2006)

riziko, protože tyto objekty se během průchodu atmosférou rozpadají a k povrchu Země se dostane jen prach nebo drobné fragmenty. Oběžnou dráhu planety však opakovaně kříží také tělesa mnohem větší, především planetky o průměru od 10 m po desítky kilometrů (obr. 2.4) a komety.

Riziko střetu s mimozemskými tělesy bylo poprvé rozpoznáno ve čtyřicátých letech 20. století. Větší pozornosti se mu začalo dostávat v průběhu let osmdesátých, ale až do začátku devadesátých let nebylo vynakládáno žádné systematické úsilí o komplexní identifikaci těchto objektů, zhodnocení frekvence jejich střetů se Zemí a navržení možných obranných opatření. Na začátku roku 1992 se vědělo o 236 planetkách křížících dráhu Země (oproti 20 v roce 1900). V tomto roce NASA naplánovala průzkumný projekt Spaceguard Survey (Morrison 1992), jehož cílem bylo do roku 2008 identifikovat 90% všech blízkozemních planetek (NEA). Monitoring financovaný a koordinovaný NASA byl zahájen v roce 1995

a deset let nato Sněmovna reprezentantů USA schválila zákon o průzkumu blízkozemních objektů (Near-Earth Object Survey Act), kterým bylo NASA nařízeno rozšíření jejího vyhledávacího a sledovacího programu. Tyto kroky byly provázeny publikacemi hodnotícími tuto hrozbu (Chapman a Morrison 1994; Gehrels 1994; J. S. Lewis 1995; 2000; Atkinson, Tickell a Williams 2000).

Pokrok v objevování nových blízkozemních objektů (NEO) byl rychlý (NASA 2007). Ke konci roku 1995 činil celkový počet známých těles 386, do konce roku 2000 už 1254 a na konci června roku 2007 více než 4100, přičemž v téměř 880 případech šlo o tělesa o průměru přesahujícím 1 km (obr. 2.5).



Obr. 2.5: Objevy blízkozemních planetek v období 1980–2007. NASA (2007)

Jak se nálezy kumulují, dochází k očekávanému poklesu ročního objemu objevů NEA o průměru nad 1 km a vyhledávání se asymptoticky blíží celkovému počtu takovýchto NEA. V důsledku toho jsme nyní schopni mnohem lépe posoudit frekvence dopadů v závislosti na velikosti a kvantifikovat pravděpodobnost střetů, jejichž následky by se pohybovaly od lokálního poškození přes regionální devastaci až po globální katastrofu.

Kolem Slunce v širokém a stále doplňovaném pásu mezi Marsem a Jupiterem obíhá možná až 10^9 planetek, přibližně podobné množství komet se pohybuje po vzdálenějších orbitech v Öpik-Oortově oblaku za Plutem. Gravitační přitažlivost okolních planet trvale přemísťuje malou část těchto těles (zbytkový materiál z doby vzniku sluneční soustavy před 4,6 Ga) na eliptické oběžné dráhy, které je přesouvají směrem k vnitřní sluneční soustavě a do blízkosti Země. Oběžnou dráhu Země křížuje několik milionů těles, z nichž nejméně 1000 má průměr nejméně 1 km. Díky svým vysokým dopadovým rychlostem mají dokonce i malé NEO kinetickou energii ekvivalentní malé jaderné bombě; větší tělesa mohou vyvolat regionální devastaci a ta největší mohou způsobit globální katastrofu.

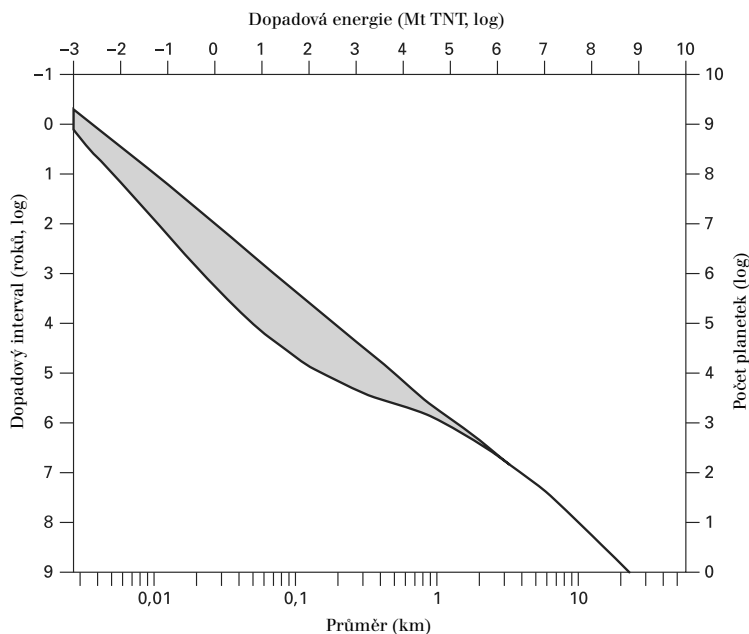
Nejzřejmějším důkazem dopadů větších těles v minulosti jsou krátery (obr. 2.6) (Grieve 1987; Pilkington a Grieve 1992). Až dosud bylo identifikováno více než 150 těchto struktur, je však třeba mít na paměti, že většina dopadů se ztratila v oceánu a že důkazy většiny starších dopadů na zemský povrch vymazaly tektonické a geomorfologické procesy. Největší známý kráter, dnes zasypaný Chicxulub na Yucatanu o průměru 300 km (Sharpton et al. 1993), byl vytvořen před 65 Ma planetkou, jejímuž dopadu je přisuzováno velké vymírání na konci křídy (známé též jako událost K-T)



Obr. 2.6: Meteor Crater v Arizoně, šikmý letecký záběr. USGS, autor David J. Roddy

(Alvarez et al. 1980). K poslednímu dopadu NEO o průměru nad 1 km došlo před necelým milionem let v Kazachstánu (NRCanada 2007). Zhruba 90% NEO představují planetky a komety s krátkou životností, zbývající riziko tvoří komety střední a dlouhé životnosti, které zkříží oběžnou dráhu planety jen jednou za několik desetiletí. Frekvence dopadů NEO exponenciálně klesá s rostoucí velikostí dopadajících těles a jejich kinetická energie určuje rozsah škod (obr. 2.7).

Přibližně jednou za rok se Země střetne s mimozemským tělesem, jehož velikost přesahuje 5 m a jehož vzdušný výbuch uvolní téměř 21 TJ, což je ekvivalent 5 kt TNT (explozivní energie 1 tuny TNT odpovídá 4,18 GJ). To představuje přibližně třetinový účinek bomby svržené na Hirošimu; definitivní číslo stanovující explozivní účinek této bomby nebylo nikdy stanoveno, ale nejvěrohodnější zdroj (Malik 1985)



Obr. 2.7: Velikost, frekvence dopadů a dopadová energie blízkozemních planetek. Všechny čtyři osy jsou logaritmické; pásma indikuje rozsah neurčitosti počtu a dopadových intervalů těles o průměru pod 1 km. Údaje podle NASA (2003), Bland a Artemieva (2003) a Chapman (2004)

uvádí 15 ± 3 kt TNT. Efekt by se projevil globálně pouze v případě, že by centrum rozpadu tohoto tělesa bylo přímo nad Kapitolem v době prezidentova projevu o stavu Unie. Pravděpodobnost takového střetu je však mizivě nízká, nejméně o 8 řádů nižší než pravděpodobnost, že se podobné těleso kdykoliv rozpadne nad jakoukoliv hustě obydlenou oblastí.

Pevná tělesa o průměru kolem 10 m narušují zemskou atmosféru každé desetiletí a jejich průnik (při rychlostech

kolem 20 km/s) uvolňuje energii odpovídající přibližně 100 kt TNT, což představuje zhruba sedminásobek energie uvolněné hirošimskou bombou. Když se tyto bolidy během zpomalování v atmosféře rozpadají, jedinými projevy pozorovanými na zemském povrchu v poloměru 10^2 km kolem místa průniku jsou ohnivá koule a tlaková vlna. Brown et al. (2002) použili data ze satelitu určeného k detekci nukleárních explozí pro identifikaci světelných projevů detonací bolidů (objektů o velikosti 1–10 m) v atmosféře. Z těchto pozorování vyvodili závěr, že Země je objektem o průměru 50 m (ekvivalent 10 Mt TNT) zasažena každých 1000 let.

Pravděpodobnost takového dopadu pro následujících 50 let je tudíž přibližně 5% (pásmo neurčitosti zhruba 3–12%) a jeho následky by byly podobné účinkům proslulého tunguzského meteoru z 30. června 1908. Atmosférický rozpad tohoto tělesa uvolnil energii odpovídající 12–20 Mt TNT a vyvolal tlakovou vlnu, jež pokácela stromy na ploše zhruba 2150 km², ale nikoho v této neobydlené oblasti centrální Sibíře neusmrtila (Dolgov 1984). Jestliže by se měl podobný objekt rozpadnout nad hustě osídlenou městskou aglomerací, dokázal by ovšem napáchat rozsáhlé škody. Jeho exploze ve výšce přibližně 15 km nad zemí by uvolnila energii ekvivalentní nejméně 800 hirošimských bomb a vyžádala by si 10^5 obětí a materiální škody za 10^{11} amerických dolarů. Pravděpodobnost takovéto události je však zhruba o dva řády nižší než pravděpodobnost zásahu neobydleného nebo řídko osídleného regionu, protože hustě osídlené oblasti tvoří jen asi 1% povrchu planety.

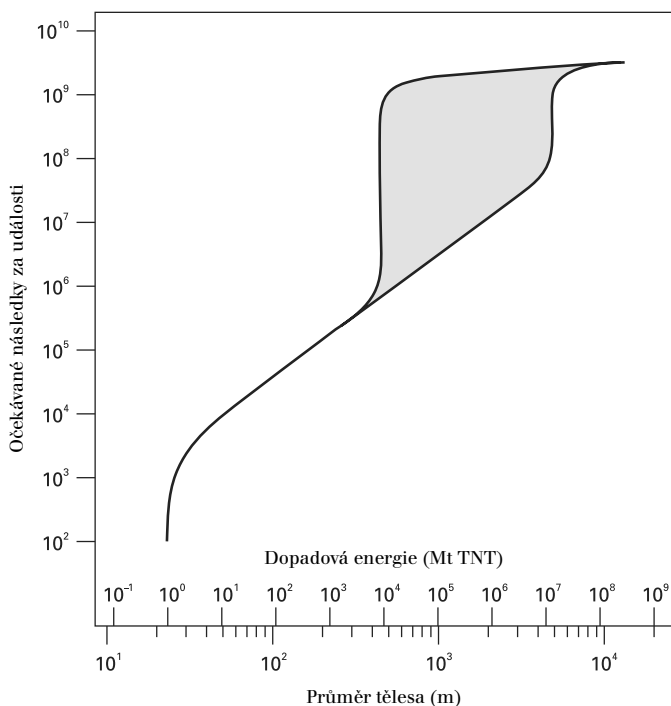
Jak jasně demonstroval kontrast počtů obětí v Hirošimě a v Nagasaki, skutečná destrukce by závisela na fyzické konfiguraci zasaženého terénu. V Hirošimě, nacházející se v mísovitém údolí, které zafungovalo jako přirozený koncentrátor

výbuchu, způsobila přibližně o 40% více obětí a větší destrukci bomba o síle 15 kt oproti explozi v Nagasaki, kde vybuchla bomba o síle 21 kt (CCM 1981). Dalším komplikujícím faktorem je skutečnost, že výbuch podobný tunguzskému nemusí být vyvolán v jednom bodě (jako v případě jaderné bomby), ale může být řetězovým sledem událostí (podobným sérii explozí), a tudíž by mohl být způsoben mnohem méně účinnými tělesy (NASA 2005).

Planetky o průměru od 100 m vnikají do atmosféry jednou za 2000–3000 let a jejich energie (ekvivalent > 60 Mt TNT) odpovídá účinku největších testovaných termonukleárních zdrojů. Hills a Goda (1993) vypočítali, že kamenná tělesa o průměru do 150 m uvolní většinu své energie v atmosféře, takže nezasáhnou povrch a nevytvoří dopadové krátery (projít by však mohly těžší kovová tělesa o tomtéž průměru). Kamenná tělesa o průměru nad 150 m zasahují Zemi jednou za 5000 let a jejich dopad na zemský povrch vytváří pouze lokální efekty, malé krátery s přilehlými oblastmi pokrytými vyvrženými horninami. S použitím kamenného tělesa, které vyvolá pouze vzdušnou tlakovou vlnu o průměru 220 m, jako referenčního bodu Bland a Artemieva (2003) odhadli, že tělesa o větším průměru by Zemi zasáhla jednou za 170 000 let. Existuje široký konsenzus, že prahová velikost pro dopad s globálním efektem je těleso o průměru nejméně 1 km, spíše však blížícím se 2 km.

Toon et al. (1997) dospěli k závěru, že pouze tělesa s kinetickou energií ekvivalentní nejméně 100 Gt TNT (průměr nad 1,8 km) by způsobila globální škody přesahující historickou zkušenost a objekty s průměrem mezi 850 m a 1,4 km (energetický ekvivalent 10–100 Gt TNT) že by vyvolaly globálně významný vstup vodní páry do atmosféry a úbytek ozonu, ale nevehnaly by do stratosféry dostatečný objem submik-

rometrických částic, aby měly významné, dlouhodobé klimatické efekty. Kilometrové těleso (o hustotě 2,5–3,3 g/cm³ a rychlosti 20–22 km/s) by při střetu se Zemí uvolnilo energii ekvivalentní zhruba 62–105 Gt TNT, téměř o jeden řád větší, než by byla energie uvolněná neomezenou termonukleární válkou mezi dvěma supervelmocemi v roce 1980 (Sakharov 1983). Tříkilometrová planetka by uvolnila energii odpovídající přibližně 2 Tt TNT, což by mohlo stačit k vyhlazení moderní civilizace bez ohledu na místo dopadu (obr. 2.8).



Obr. 2.8: Očekávané zhoubné následky dopadů blízkozemních objektů. Podle Morrisona (1992)

Následky střetu s kilometrovým tělesem by významně závisely na místě dopadu. Existuje pravděpodobnost zhruba 7 : 3, že by těleso dopadlo do oceánu a poškodilo by souš nepřímou vyvoláním tsunami, ale dopad na pevninu by vytvořil kráter o průměru 10–15× větším než velikost tělesa a představoval by bezprecedentní ohrožení přežití civilizace. Takováto kolize by způsobila odpaření a fragmentaci samotného tělesa i zasažené oblasti a do stratosféry by pronikla enormní masa prachu. Zatímco větší prachové částice by se rychle usadily, submikrometrické částičky by v atmosféře zůstaly týdny i měsíce.

Simulace s využitím globálního cirkulačního modelu ukazují, že pohlcování tepla oceánem by zabránilo globálnímu zmraznutí, i kdyby dopad byl ekvivalentní události K-T (s kinetickou energií dosahující možná až 1 Pt TNT), ale teploty na povrchu souše by poklesly o více než 10 °C a ještě rok poté by stále byly o nějakých 6 °C nižší (Covey et al. 1994; Toon et al. 1997). Horké vyvržené horniny by kromě toho vyprodukovaly významné množství oxidů dusíku, jejichž přítomnost ve stratosféře by degradovala (a v extrémních případech převážně zničila) ozonovou vrstvu, která chrání Zemi před UV zářením. Kilometrové těleso by mělo mnohem menší vliv, protože by nevygenerovalo množství prachu schopné způsobit přechodné zatmění celé planety a zastavení fotosyntézy.

K minimální míře zatmění nutné pro znemožnění fotosyntézy by bylo zapotřebí nejméně 10 Gt submikrometrických prachových částic (Toon et al. 1997), ale použití analogie pozemního jaderného výbuchu – který vyprodukuje asi 25 t těchto prachových částic na kilotunu účinku (Turco et al. 1983) – znamená, že kilometrový objekt by vyprodukoval jen zhruba 1,5 Gt tohoto jemného prachu, tedy o čtyři řády méně než těleso odpovídající události K-T (25 Tt). Pope (2002) na-

víc zpochybnil předpoklady ohledně frakce jemného prachu ve vyvržených horninách vyprodukovaných dopadem rozsahu události K-T. Z Popeových výpočtů podpořených pozorováními usazené hrubé frakce vyplývá, že minoritní podíl byl uložen jako prach s částicemi pod jeden mikrometr a že malé množství drobného odpadu se rozptýlilo do vyšších jižních zeměpisných šířek. Tyto závěry popírají původní přiřazení vymírání na konci křídý blokaci fotosyntézy submikrometrickým prachem. Pope vypočítal, že dopad uvolnil pouze 0,1% (a snad ještě mnohem méně) celkového objemu vyvržené hmoty v podobě jemného prachu (avšak jeho závěry byly zpochybněny jako nerealistické).

V každém případě je nemožné uspokojivě kvantifikovat skutečný efekt, protože jemný prach by nebyl jediným faktorem modifikujícím klima. Samotné saze z rozsáhlých požárů vyvolaných horkými vyvrženými horninami i síranové aerosoly uvolněné ze zasažených hornin by mohly mít stejně velký ochlazující účinek na atmosféru jako jemný prach. Aerosoly v ovzduší by však zároveň přispěly k blokaci energie vyzářované zemským povrchem a podpořily by oteplení troposféry. Jakmile by se prach usadil, mohl by následovat rychlý zvrát teploty souše a vodní pára a oxid uhličitý (CO_2) vehnané do stratosféry (ze zasažených uhličitanových hornin) by významně podpořily přirozený skleníkový efekt. S pozitivní zpětnou vazbou (vyšší teploty podporující vypařování, respiraci rostlin i uvolňování CO_2 z oceánu a půdy) by toto údobí globálního oteplování mohlo přetrvat po celá desetiletí.

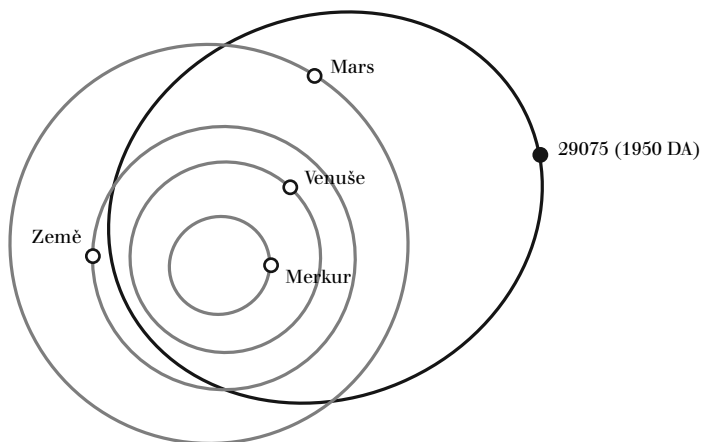
Jediným obhajitelným závěrem je, že dopad kilometrového tělesa by s největší pravděpodobností neměl následky podobné důsledkům termojaderné války, tj. nevyvolal by pokles teploty dostatečně strmý pro vyvolání nukleární zimy a teplotní ukončení veškeré fotosyntézy (Turco et al. 1991).

Celkový vliv na fotosyntézu, biodiverzitu, zemědělskou produkci a přežití lidstva by kriticky závisel na mase vyvržené horniny a její atmosférické stálosti. Přesná čísla nejsou k dispozici, ale rozsáhlé zničení lesních a travnatých porostů požáry, dočasnou, avšak podstatnou redukci srážek vlivem narušení globálního koloběhu vody, prudký pokles produkce potravin a rozsáhlé narušení průmyslových, komerčních a přepravních aktivit si lze snadno představit. Dopad by nepřinesl náhlý konec moderní civilizace, ale mohl by znamenat enormně nákladnou překážku.

Dřívější odhady uvádějí zhruba 2000 NEO o průměru nad 1 km, ale Rabinowitz et al. (2000) dospěli dokonalejšími detekčními technikami k závěru, že takovýchto objektů je jen asi 1000, a Stuart (2001) stanovuje celkový počet NEA o kilometrové velikosti těsně nad 1200 (a zároveň jejich střet se Zemí považuje za méně pravděpodobný, než se původně předpokládalo). Pokud by jejich skutečný celkový počet byl 1100, bylo jich do června 2007 objeveno 80%. Zajisté nejpozoruhodnějším výsledkem tohoto snažení je dobrá zpráva, že pravděpodobnost dopadů hrozících v blízké budoucnosti se snižuje. Na desetibodové Turínské škále, jež měří závažnost hrozby kolize (Binzel 2000), znamená nula absenci rizika (bílá zóna) s efektivně nulovou pravděpodobností kolize a jednička (normální, zelená zóna) indikuje objekt, jehož dráha blížící se Zemi nepředstavuje žádné neobvyklé nebezpečí a který bude po dalších pozorováních s největší pravděpodobností přerazen do nulového pásma. Úrovně 3 a 4 indikují blízkost s 1% nebo vyšší pravděpodobností střetu schopného lokalizované nebo regionální destrukce; signifikantní hrozby blízkých setkání hrozících globální katastrofou začínají až na úrovni 6.

Do roku 2007 byly pouhé dva objekty, označené 2004 VD17 a 2004 MN4, zařazeny na úroveň 2 Turínské škály, všechny

ostatní NEA pro 21. století byly ohodnoceny stupněm 0. První z těchto objektů má průměr asi 580 m, ten druhý, o průměru 320 m, se stal zdrojem krátkodobých obav, když počáteční výpočty indikovaly jeho kolizi se Zemí na 13. duben 2029. Nedojde k ní, ale stále existuje vzdálená možnost střetu s MN4 v letech 2036–2056 a VD17 se může přiblížit do roku 2102 (Yeomans, Chesley a Choclas 2004). Zatím nejvyšší známá pravděpodobnost střetu NEO se Zemí, stanovená na 16. března 2880, je vzdálena téměř celé tisíciletí. Z analýzy, kterou provedli Giorgini et al. (2002), vyplývá významné přiblížení planety 29075, asymetrického sféroidu o středním průměru 1,1 km, který byl objeven v roce 1950 (jako 1950 DA), po 17 dnech se ztratil z dohledu a znovu se objevil v roce 2000 (obr. 2.9). Pravděpodobnost dopadu byla stanovena na 0,33 %, ale vzhledem k neznámému směru osy otáčení planety se skutečná míra rizika může blížit nule.



Obr. 2.9: Kolize, k níž nedojde: oběžné dráhy čtyř planet a planety 29075 (1950 DA). Na základě údajů NASA (2007)

Zatímco je vysoce pravděpodobné, že jsme již objevili všechny existující NEA s průměrem nad 2 km, nikdy si nebudeme zcela jistí, že známe každou velkou NEA, která se již nachází na dráze křížící orbitální dráhu Země, a že budeme schopni promptně identifikovat každý nový přírůstek do této dynamické kolekce mimozemských těles. Hodnocení rizika kolize bude proto vždy vyžadovat předpoklady týkající se frekvence dopadů těles různých velikostí. Všeobecné rozložení frekvence velikostí NEO je v současnosti poměrně dobře známo (viz obr. 2.7), ale existují odlišné předpoklady ohledně nejpravděpodobnější frekvence dopadů; odhady se rozcházejí až o jeden řád. Ward a Asphaug (2000) například předpokládají, že těleso o průměru 400 m zasáhne Zemi jednou za 10 000 let a objekt s průměrem 1 km jednou za 100 000 let. Oproti nim Brown et al. (2002) by očekávali dopad tělesa s průměrem 400 m každých 100 000 let a tělesa o průměru 1 km jednou za každé 2 miliony let. Chapman (2004) očekává dopad objektu s průměrem 400 m jednou za 1 milion let a Jewitt (2000) jednou za 400 000 let.

Na tomto místě je třeba vzít v úvahu další významný faktor. Dokonce i dopady těles o průměru pod 1 km by mohly mít globální důsledky, jestliže by zničily centrální část významné země. Objekt o průměru 500 m by například zdevastoval plochu zhruba 70 000 km², přičemž Tokio a okolní prefektury představují méně než polovinu této rozlohy (cca 30 000 km²) a jsou osídleny přibližně 30 miliony lidí. Z výpočtů Warda a Asphauga (2000) zase vyplývá, že pokud by planetka o průměru 400 m dopadla do oceánu v místě s hloubkou 1 km rychlostí 20 km/s, maximální výškový rozsah tsunami vyvolané tímto dopadem by byl ve vzdálenosti 100 km více než 200 m a ve vzdálenosti 1000 km ještě 20 m. Dopad v blízkosti břehů východního Honšú nebo do

Severního moře mezi Londýnem a Amsterdamem by okamžitě vymazal centrální regiony dvou vedoucích světových ekonomik – Japonska a EU – a na rozdíl od tsunami vyvolané vzdáleným zemětřesením by v tomto případě nebylo dost času na masovou evakuaci obyvatelstva.

Přirozeně že pravděpodobnost takového místně specifického dopadu (P_S) je jen zlomkem pravděpodobnosti při nespécifikovaném zásahu země (P_E): $P_S = P_E (A_E/A_S)$. Předpokládáme-li, že objekt o průměru 400 m dopadne jednou za každých 100 000 let ($P_E = 1^{-5}$), pak pravděpodobnost, že zničí oblast Tokia ($A_S = 3^{10} \text{ m}^2$), by nebyla vyšší než 6^{-10} ($A_E = 5,1^{14} \text{ m}^2$) s roční pravděpodobností zhruba 1 : 1,66 miliardy. Ward a Asphaug (2000) vypočítali specifickou pravděpodobnost zásahu Tokia a New Yorku vlnou tsunami vysokou 5 m na 4,2% a 2,1% pro příštích 1000 let a zhruba 0,2% a 0,1% pro následujících 50 let. Naproti tomu Bland a Artemieva (2003) odhadují frekvenci bolidů, které by s největší pravděpodobností vyvolaly nebezpečné tsunami, na pouhou jednu padesátinu míry, jakou uvádějí Ward a Asphaug (2000). Chesley a Ward (2006) vypočítali celkový dlouhodobý počet obětí způsobených dopady těles o průměru 200–400 m na méně než 200 úmrtí ročně (nebo méně než 10 000 celkem za příští půlstoletí).

Nejvyšším rizikem neštěstí spojených s kolizí je dopad menších, a tudíž běžnějších těles na povrch s více než 1% šancí, že takovýto dopad zabije během 21. století zhruba 100 000 lidí, kdežto poněkud větší objekty (s průměrem 150–600 m) budou představovat největší nebezpečí tsunami (Chapman 2004). Naopak pravděpodobnost střetu s NEO o průměru minimálně 1 km je o několik řádů nižší. Pokud by interval opakovaného výskytu kilometrové planety byl 400 000 let, pak pravděpodobnost jeho dopadu v příštích 50 letech by byla

0,0125%; vztaženo na neurčitost od 100 000 do 2 milionů let nám vychází rozpětí pravděpodobnosti 0,0025–0,05%. Minimální velikost planety, jejíž dopad by měl závažné globální důsledky, závisí nejen na jejím průměru, ale také na její hustotě a rychlosti (planeta letící rychlostí 30 km/s by měla 2,25× větší kinetickou energii než její stejně masivní protějšek pohybující se rychlostí 20 km/s) a na místě dopadu.

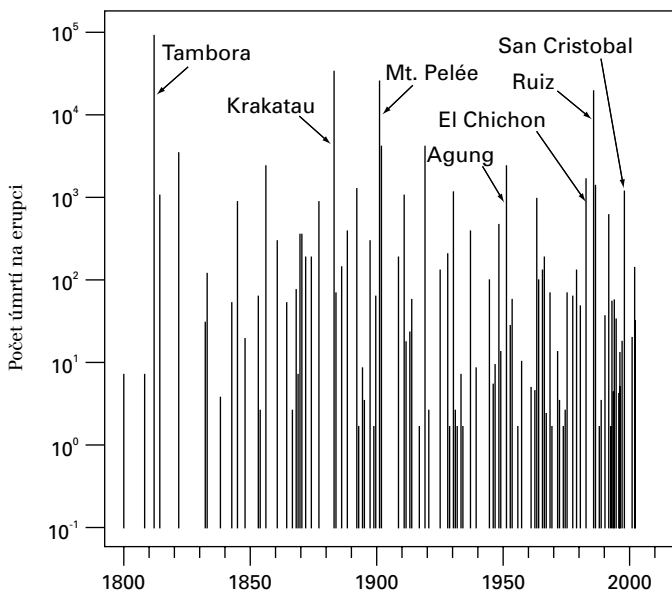
Pokud by měla velká planeta spadnout do oceánu, vyvolal by její dopad vlny tsunami, které by i vzdálené břehy zasáhly vlnami s vysokou amplitudou – pak by místo dopadu určovalo rozsah globálních ztrát a ekonomických škod. Před 2,15 Ma například planeta Eltanin, jejíž průměr mohl být až 4 km, dopadla do hlubokého Tichého oceánu (kolem 5 km) jižně od břehů Chile, aniž by vytvořila na mořském dně kráter a způsobila masové vymírání (Mader 1998). Vzniklá tsunami (s celkovou energií 200 EJ) by kompletně zničila ostrovy v jižním Tichomoří, ale výška vlny podél břehů Severní Ameriky a východní Asie by byla méně než 15 m.

I kdybychom však dokázali odhalit všechny NEA a stanovili, že dráha žádné z nich nehrozí kolizí se Zemí, stále bychom čelili podstatně obtížnější výzvě identifikace hrozících dopadů komet. Tato tělesa tvořená horninami a těkavým ledem nepředstavují více než 10% všech NEO, ale protože mají vyšší střetové rychlosti (až 60 km/s oproti 15–25 km/s u planetek), je jejich kinetická energie podstatně vyšší a zhruba 25% všech kráterů o průměru od 20 km výše je jejich dílem (Brandt a Chapman 2004). Při svých nejtěsnějších přiblíženích v psané historii komety Země minuly o 3,7 lunární vzdálenosti (lunární vzdálenost LD = 384 000 km) v roce 1491, o 5,9 LD v roce 1770 a o 8,9 LD v roce 1366; ve všech ostatních případech nás minuly o více než 10 LD (NASA 2006). Pravděpodobnost katastrofálního setkání Země s kometou je

proto v příštích 50 letech nejspíše nižší než 0,001 % a blíží se tudíž šanci jedna ku milionu.

Vulkanické megaerupce a kolapsy

Zhruba půl miliardy lidí žije v okruhu 100 km od vulkánů, které byly v zaznamenaných dějinách činné, ale počet obětí a rozsah materiálních škod způsobených sopečnými erupcemi jsou vysoce variabilní (obr. 2.10). Naštěstí je dokonce i v případě erupcí odpovídajících rozsahem těm největším historicky zaznamenaným potenciál bezprostředních obětí relativně omezený. Horká láva se obvykle šíří pouze na ně-



Obr. 2.10: Sopečné erupce a oběti v letech 1800–2000. Odvozeno z údajů na <http://volcanolive.com/>

kolika čtverečních kilometrech, sopečné bomby (vymetené kusy tuhnoucí taveniny) dopadají na ploše do 10 km² a vrstvy sopečného popelu (tefry) pokrývají rozlohy 10² až 10⁶ km². Tsunami vyvolané velkými erupcemi však mohou překonat oceán a sopečný prach může být roznesen po celém světě. Ztráty na životech i na majetku závisejí na převládající formě uvolnění energie: pomalu tekoucí žhnoucí havajská láva poskytuje dostatek času na evakuaci obydlí, kdežto pyroklastické proudy jako ty, jež se zřítily po úbočí Vesuvu v roce 79 a pohřbily Pompeje a Herculaneum, nebo jako ty ze sopky Mount Pelée v roce 1902, které zabily kromě dvou všech 28 tisíc obyvatel města St. Pierre na Martiniku, vytvářejí bezprostředně masové hroby (Sigurdsson et al. 1985; Heilprin 1903).

V důsledku nárůstu populace vzrostla frekvence erupcí s obětmi na životech z méně než 40 za století před rokem 1700 na více než 200 ve 20. století (Simkin 1993; Simkin, Siebert a Blong 2001). Téměř 30% z přibližně 275 000 obětí v období 1500–2000 si vyžádaly pyroklastické proudy a 20% tsunami. Z hlediska počtu obětí způsobily největší čtyři katastrofy sopky Tambora (92 000), Krakatoa (36 000), Mount Pelée (28 000) a kolumbijská Nevado de la Ruiz v roce 1985 (23 000). Pokud jde o frekvenci erupcí, ta stoupla z méně než 20 za rok před rokem 1800 na více než 60 za rok na sklonku 20. století, a to převážně díky zlepšenému reportingu. Ammann a Naveau (2005) analyzovali sulfátové cykly v polárním ledu a odhalili signifikantní 76letý cyklus tropického explozivního vulkanismu v uplynulých šesti staletích.

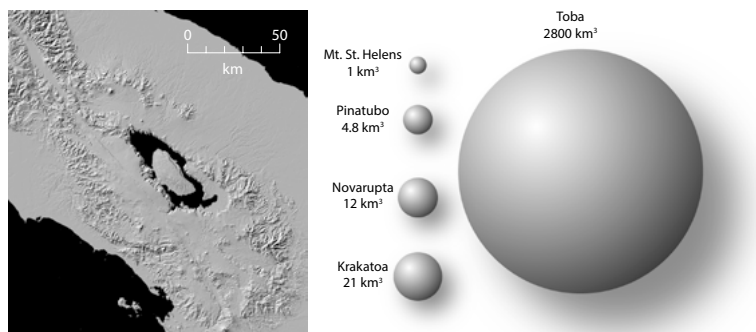
Nejobvyklejším způsobem měření síly erupcí je index vulkanické explozivity (VEI), jehož autory jsou Newhall a Self (1982). Tato logaritmická stupnice kombinuje objem vyvržené horniny a výšku sloupce popela. Hodnoty VEI nižší než 4 zahrnují erupce, k nimž někde na Zemi dochází

denně nebo týdně a které vyprodukují méně než 1 km^3 tefry (vzduchem roznášených fragmentů v rozsahu od poměrně velkých bloků po velice jemný prach) s maximální výškou kouřové vlečky pod 25 km. Mount St. Helens (1980) měla VEI 5 (paroxysmální erupce, stejná síla jako Vesuv roku 79) a vyprodukovala právě onen 1 km^3 vyvržené horniny (Lipman a Mullineaux 1981).

Krakatoa (1883) měla VEI 6 (kolosální erupce) a Tambora (1815) VEI 7 (superkolosální erupce). Minojská erupce, k níž došlo v Egejském moři v době bronzové před asi 3650 lety, byla největším uvolněním vulkanické energie (100 EJ) ve známé historii a vytvořila kráter Santorini (obklopený ostrovy Théra, Therasie a Aspronisi). Celkový objem vyvržené horniny – asi 70 km^3 – však nebyl ani polovinou objemu erupce sopky Tambora (Friedrich 2000) a toto srovnání je příkladem nedostatku jasné korelace mezi spektakulárními sloupci popela a celkovou energií uvolněnou sopečnou erupcí.

Historické erupce jsou převyšovány událostmi s VEI 8, jež se označují jako gigantické erupce, megaerupce nebo supereerupce (Sparks et al. 2005; Mason, Pyle a Oppenheimer 2004). Dvě z posledních vytvořily kráter Taupo na Novém Zélandu (před 26 500 let, VEI 8,1, 530 km^3) a obří oválný kráter Toba na severu Sumatry (před 74 000 let, VEI 8,8, $30 \text{ km} \times 100 \text{ km}$), dnes vyplněný jezerem (Rose a Chesner 1990) (obr. 2.11). Erupce sopky Toba vyprodukovala kolem 2800 km^3 vyvržené horniny a La Garita před 27,8 Ma (VEI 9,1), vůbec největší identifikovaná supererupce, jež vytvořila souvrství Fish Canyon Tuff v Coloradu, vyvrhla přibližně 4500 km^3 materiálu.

Erupce sopky Toba poslala biliony tun sopečného popela tisíce kilometrů po větru a rozptýlila ho západním i východním směrem. Už ze samotného tohoto způsobu šíření vyplývá, že k erupci došlo v době letních monzunů (Bühring



Obr. 2.11: Kráter Toba a srovnání objemu sopečného popela z této erupce s největšími erupcemi 19. a 20. století. Mason, Pyle a Oppenheimer (2004) a USGS (2005)

a Sarnthein 2000). Spad popela pokryl většinu jihovýchodní Asie, pronikl západně až nad severovýchodní část Arabského moře a pokryl několikacentimetrovou vrstvou Jihočínské moře a některé části jižní Číny (Pattan et al. 2001; Ambrose 2003). Nejvíce se spad projevil na indickém subkontinentu, kde ve střední Indii vrty ukazují vrstvy o mocnosti 40–80 cm a velice silné nánosy (2–5 m) vzniklé možná opětovným ukládáním v blízkosti východního pobřeží (Acharya a Basu 1992). Rose a Chesner (1990) odhadují, že 1% povrchu Země bylo pokryto vrstvou popela z erupce sopky Toba silnou přes 10 cm.

Dopad této erupce musel být značně závažný. Jde snad o nejlepší vysvětlení geneticky dobře zdokumentovaného populačního poklesu z konce pleistocénu, kdy byly malé rozptýlené ostrůvky lidského osídlení zredukovány na celkem méně než 10 000 jednotlivců a náš druh byl velice blízko ukončení svého vývoje (Rampino a Self 1992; Ambrose 1998). Toto

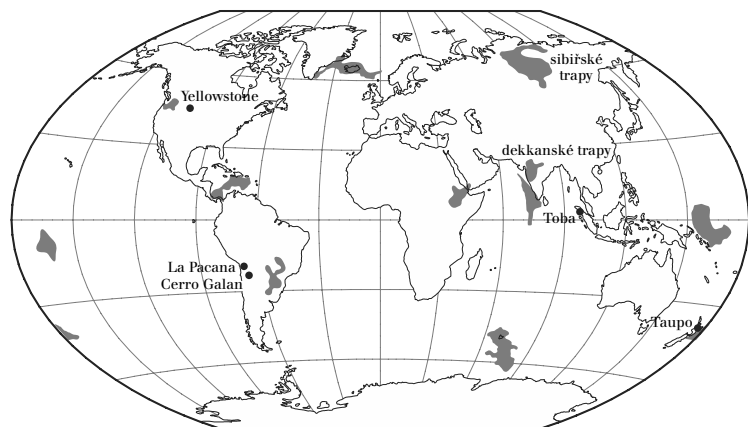
vysvětlení se opírá o výzkumy mitochondriální DNA, které indikují významné zúžení populace v období před 80 000 až 70 000 let (Harpending et al. 1993). Jako každá konstrukce tohoto druhu i tato je stejně kritizována jako obhajována (Ambrose 2005).

Kvantifikace pravděpodobnosti supererupcí do budoucna je vysoce nejistá. Jejich frekvenci nelze extrapolovat ze vztahu, který je založen na mnohem lepších záznamech velikosti a frekvence menších událostí. Z takovéto extrapolace by vyplynul interval opakování v řádu 1000 let, ale k poslední události tohoto rozsahu (Taupo) došlo před 26 500 let. Náš přehled supererupcí je zajisté neúplný, ale nejlepší dostupný výčet uvádí 42 událostí s VEI 8 nebo vyšším v průběhu uplynulých 36 milionů let se dvěma odlišnými rytmy. První vrcholil před zhruba 29 miliony let, druhý začal před asi 13,5 milionu let; z analýzy vyplývá, že erupce s VEI 8 nebo vyšším by mohla být předpokládána jednou za každých 715 000 let a že existuje 1% pravděpodobnost takovéto erupce během příštích 460–7200 let (Mason, Pyle a Oppenheimer 2004). Z toho by se dala odvodit 0,007–0,1% pravděpodobnost pro příštích 50 let.

Dopady supererupcí musí být odvozovány z následků menších událostí popsaných v historických záznamech a prostudovaných moderní vulkanologií. Tyto extrapolace jsou rovněž zatíženy mnohou neurčitostí, stejně jako využití moderních globálních klimatických modelů k simulaci efektu vysokých objemů stratosférického popela. Kromě vysoce variabilního složení plynů (některé erupce produkují relativně málo nebo téměř žádný SO₂, prekurzor síranů) a odlišného poměru magmatu a popela by závažnost regionálního dopadu a celkový rozsah klimatických vlivů byly určovány také místem události. Supererupce v blízkosti hustě obydlených oblastí by

si vyžádaly mnohem více bezprostředních obětí a větší fyzickou destrukci. Ze 14 supererupcí mladších 10 milionů let jich šest proběhlo na západě Spojených států v blízkosti Kalifornie nebo přímo tam, navíc ve směru převládajícího vzdušného proudění do významných zemědělských oblastí (obr. 2.12).

Doslova okamžité oběti by si vyžádalo pyroklastické proudění, mohutný spad popela a vdechování silně kyselých plynů a aerosolů. Všechny tyto efekty jsou dobře zdokumentovány z erupce Vesuvu a z řady novějších erupcí. Závažné poškození porostů a akutní účinky na dýchací soustavu by byly omezeny na oblasti s relativně vysokými koncentracemi kyselých a halogenových plynů. Rozhodně nejvýznamnějším globálním dopadem supererupcí by byly jejich krátkodobé



Obr. 2.12: Největší oblasti výlevných bazaltů vytvořené za uplynulých 250 milionů let a místa vulkanických supererupcí během posledních 5 milionů let. Coffin a Eldholm (1994); Sparks et al. (2005); a Mason, Pyle a Oppenheimer (2004)

až střednědobé klimatické důsledky – prach vehnaný plošně do stratosféry vyvolává hemisférické, nebo dokonce globální teplotní změny v průběhu následujících měsíců nebo let (Angell a Korshover 1985; Robock 1999; Robock a Oppenheimer 2005). Síranové aerosoly vznikající z uvolněného SO₂ mají na atmosféru dvojitý efekt: odrážejí dopadající sluneční záření, takže ochlazují troposféru, ale zároveň absorbují krátkovlnné sluneční záření i vyzářované dlouhovlnné záření zemské, takže oteplují stratosféru nad tropickým pásem.

Stratosférické sírany se navíc společně s emisemi HCl podílejí na složitých reakcích narušujících ozon. Jejich výsledky nejsou snadno předvídatelné. Ze statistických analýz, které provedli Angell a Korshover (1985), vyplývá, že z 96 zkoumaných erupcí jen po 27 následoval signifikantní teplotní pokles. Protože maximální vzdálenost k tropopauze je v tropech 15–16 km (oproti 9–11 km v blízkosti pólů), erupce tropických vulkánů musí být silnější, aby vehnaly kouř až do stratosféry (Halmer a Schmincke 2003). Kouř z tropických erupcí, který vhání popel do atmosféry v pásmu do 30° od rovníku, však vyvolává celosvětový ochlazovací efekt snáze (protože celková atmosférická cirkulace šíří aerosoly značnou rychlostí po obou polokoulích) než z erupcí, k nimž dochází ve vyšších zeměpisných šířkách.

Tento efekt byl podrobně sledován a úspěšně modelován po erupci sopky Mount Pinatubo (VEI 5–6) na filipínském ostrově Luzon 15. června 1991 (obr. 2.13) (Soden et al. 2002). Tato erupce byla největším návalem SO₂ do stratosféry ve 20. století – v řádu dnů se zhruba 20 Mt dostalo do výšky až 45 km (McCormick, Thomason a Trepte 1995; Newhall a Punongbayan 1996). Satelitní monitoring prokázal, že vznikající síranové aerosoly ochladily nižší vrstvy troposféry globálně o přibližně 0,5 °C. Redukované globální koncentrace vodních



Obr. 2.13: Enormní erupční oblak nad Mount Pinatubo, 15. června 1991. UGS, foto Dave Harlow

par tento teplotní pokles těsně kopírovaly. Některé regiony však v porovnání s globálním ochlazením zaznamenaly výrazné sezonní oteplení; v zimě 1991–1992 bylo v některých částech Severní Ameriky a západní Evropy až o 4 °C tepleji než obvykle (Robock 2002).

Ze zkoumání hustoty letokruhů vyplývá, že nejvýraznější letní anomálie severní polokoule za posledních 600 let byla $-0,8$ °C v roce 1601, nejpravděpodobněji v důsledku erupce peruánské sopky Huaynaputina v roce 1600 (Briffa et al. 1998). Popel z pliniovské erupce sopky Tambora v dubnu roku 1815 dosáhl až výšky 43 km (Sigurdsson a Cary 1898) a v průběhu roku 1816 jeho globální kyselý spad v množství

kolem 150 Mt způsobil na severní polokouli průměrnou teplotní odchylku $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže následující rok 1816 byl „bez léta“. Poklesla úroda, raketově stouply ceny potravin a lokálně docházelo k hladomoru (Stothers 1984). Supererupci sopky Toba je připisován pokles teplot až $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod normál mezi 30° a 70° severní šířky, s hemisférickým ochlazením až o $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, které místy přetrvalo několik let a bylo dostatečně dlouhé a intenzivní, aby vyvolalo „vulkanickou zimu“, celosvětový jev podobný projevům „nukleární zimy“, jež je hypoteticky považována (hned po nebezpečí radiace) za nejvíce oslabující důsledek termonukleární války (Rampino a Self 1992; Turco et al. 1991).

V současnosti by erupce o síle sopky Toba v obdobné lokalitě nejen usmrtila desítky milionů lidí po celé jihovýchodní Asii, ale zničila by nejméně jednu nebo dvě úrody zemědělských plodin potřebných k nakrmení zhruba dvou miliard lidí v jednom z nejhustěji osídlených regionů světa. Již jen to samo o sobě by byla historicky bezprecedentní katastrofa, k níž by se mohla přidružit podstatně zredukováná úroda ve zbytku světa. Ve srovnání s těmito dopady na zásobování potravinami by škody na technice nebo nutnost pozastavit komerční lety do doby, než se koncentrace popela ve svrchních vrstvách troposféry navrátí na přijatelnou úroveň, byly podružné.

Supererupce s VEI vyšším než 8 však nejsou jedinými událostmi s globálními dopady dostačujícími k ovlivnění chodu moderního světa. Průměrná erupce s VEI 7 by měla téměř jistě globální následky, pokud by k ní došlo v pásmu $\pm 30^{\circ}$ od rovníku a pokud by vychrlila nejméně 100 km^3 magmatu, tj. $250\text{--}300\text{ km}^3$ popela. Sparks et al. (2005) odhadují, že k ní dochází s frekvencí jednou za každé 3000 (1700 až 10 000) let. Její pravděpodobnost pro příštích 50 let by tudíž

byla 1,7% (0,5–2,9 %). Erupce s VEI 7 uvolňující nejméně 300 km³ magmatu (750 km³ popela) by mohly nastávat jednou za 10 000 let a jejich míra pravděpodobnosti pro příštích 50 let by byla mezi 0,005% a 0,5%. Dokonce i při všech těchto neurčitostech je zřejmé, že s (zaokrouhlenou) pravděpodobností 0,01–0,1% u supererupce (VEI > 8) a 0,01–3% u událostí menšího rozsahu (VEI 7) jsou globálně významné vulkanické erupce přinejmenším o jeden nebo dva řády častější než dopady mimozemských těles uvolňující porovnatelná množství energie (Mason, Pyle a Oppenheimer 2004).

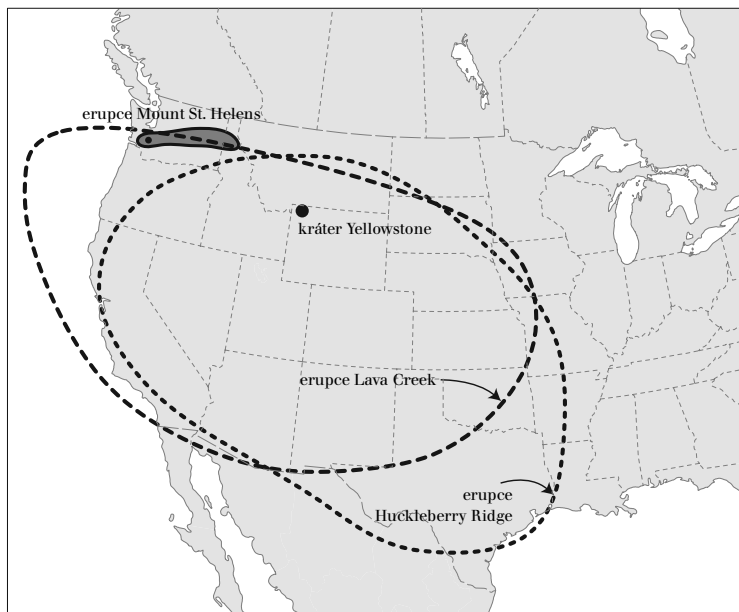
Nejpravděpodobnější hrozbu pro Severní Ameriku představují opakující se erupce v oblasti tzv. yellowstonské horké skvrny (Smith a Braile 1994). Erupce tohoto supervulkánu vytvořily v posledních 15 milionech let devět masivních kráterů. K posledním třem erupcím došlo před 2,1 milionu let, 1,3 milionu let a 640 000 let, přičemž ta poslední vyprodukovala kolem 1000 km³ sopečného popela (USGS 2005). Tuto sekvenci lze interpretovat třemi způsoby. Za prvé, má příliš málo členů, aby umožňovala vyvozovat jakékoliv závěry. Za druhé, interval mezi erupcemi yellowstonské horké skvrny se aktuálně zkrátil z přibližně 800 000 let na 660 000 let; opakování posledního intervalu ponechává pouze 20 000 let do doby, než by mělo dojít k další události. Za třetí, tyto tři události mají průměrný interval 730 000 let, a tudíž stále zbývá nějakých 90 000 let do nejpravděpodobnějšího opakování.

V kterémkoliv z těchto případů je pravděpodobnost výskytu další takovéto události v příštích 50 letech velice nízká (–0,007 %). Celkový dopad yellowstonské erupce by závisel na převládajícím vzdušném proudění. V yellowstonském regionu převládají severozápadní větry. Vycházíme-li z následků předchozích erupcí (Fisher, Heiken a Hulen 1997), oblast

nejvíce postižená spadem popela by zahrnovala Wyoming, Colorado, Nebrasku, Kansas, Oklahomu a části Jižní Dakoty, Texasu, Nového Mexika a Utahu. Pokud by nová erupce měla vyprodukovat tolik popela jako ta poslední a zasáhla by přibližně 2 miliony km², všechny státy s nejvyšší produkcí pšenice by byly pohřbeny pod půlmetrovou vrstvou popela. Tato kalkulace počítá s rovnoměrným šířením po větru – mocnost popelové vrstvy by se pohybovala v rozpětí od několika metrů v centrálním Wyomingu po pár centimetrů v Texasu.

Poslední erupce však naznačují, že by spad popela mohl zasáhnout všechny státy západně od Mississippi (obr. 2.14). Slabší vrstvy sopečného popela by mohly být začleněny do půdy orbou (a v následujících letech by mohly dokonce zvýšit její úrodnost), ale ani ty nejvýkonnější traktory by nezvládly nánosy o mocnosti 0,5–1 m a nevyhnutelným důsledkem by bylo přinejmenším dočasné znemožnění osetí rozsáhlých ploch Velkých planin. Nestabilní popel by byl navíc snadno erodován většími dešti a jarním táním, což by přineslo riziko enormních záplav a zanášení vodních toků. Ekonomickou zátěž takovéto události by dokázaly plně zhodnotit až následující generace.

Existují dva soubory okolností, za nichž by dokonce i vulkanická událost o síle menší než síla supererupce mohla mít enormní společensko-ekonomické důsledky. Jedním z nich je scénář, kdy by erupce vyprodukovala obrovské objemy kyselých plynů nesených po větru směrem k významnému a hustě osídlenému regionu, jehož ekonomika by byla vážně narušena účinky síranových aerosolů. Absorpce a rozptýlení viditelného světla by vytvořily atmosférický zákal, dočasně by ochladily troposféru, omezily fotosyntézu a napáchaly škody na zdraví lidí i zvířat. Druhým scénářem je erupce



Obr. 2.14: Přibližné zóny spadu sopečného popela ze dvou posledních yellowstonských erupcí Lava Creek (před 640 000 let) a Huckleberry Ridge (před 2,1 milionu let) a pro srovnání oblast největšího spadu popela z Mount St. Helens v roce 1980. UGS (2005)

způsobující masivní sesuv úbočí vulkánu do blízkého oceánu a vyvolávající tak mimořádně velkou tsunami.

Dosud největší riziko prvního popsaného scénáře představuje opakování erupce sopečné pukliny Laki (Skaftár) na Islandu. Při poslední této epizodě v letech 1783–1784 během 8 měsíců vyprodukovala téměř 15 km^3 lávy a uvolnila zhruba 122 Mt SO_2 (pro srovnání, globální emise plynu vznikajícího spalováním fosilních paliv činily na počátku prvního deseti-

letí 21. století zhruba 150 Mt SO₂ ročně), přibližně 7 Mt kyseliny chlorovodíkové a 15 Mt kyseliny fluorovodíkové; tyto emise byly erupčními sloupy vyneseny do nadmořských výšek 6–13 km (Thordarson et al. 1996; Thordarson a Self 2003). Emise se tehdy šířily na východ přes Atlantik převládajícím vzdušným prouděním od západu. Oxidace SO₂ nakonec vyprodukovala zhruba 200 Mt aerosolů H₂SO₄ a téměř 90 % těchto částic bylo odbouráno formou kyselých srážek, které měly lokálně i po větru v atlantické části Evropy za následek těžký rozsáhlý atmosférický zákal (suchou mlhu) i následně silné větry a snížení teplot (až o 1,3 °C) po dobu následujících dvou nebo tří let.

Téměř čtvrtina obyvatelstva Islandu (zhruba 9000 lidí) zemřela následkem hladomoru vyvolaného zakalením atmosféry a spady kyseliny fluorovodíkové kontaminovaly potraviny i vodu ostrova. Vulkanická mlha nad některými částmi Evropy zvýšila lokálně mortalitu, způsobila dýchací problémy a poškodila vegetaci (Stothers 1996; Durand a Grattan 1999). Zdravotní dopad byl zvláště výrazný ve Francii a Anglii. Ve Francii vzrostla očekávaná mortalita v období od srpna 1783 do května 1784 o 25 %, což přesahuje 16 000 předčasných úmrtí vyvolaných vlnou extrémních veder v roce 2003.

Witham a Oppenheimer (2005) dospěli zkoumáním farních záznamů v Anglii k závěru, že důsledkem erupce Laki bylo téměř 20 000 mimořádných úmrtí. Pravděpodobnost další podobné erupce v příštích 50 letech je velice nízká (< 0,05 %), ale existuje vysoká pravděpodobnost, že k podobné události dojde v průběhu tohoto tisíciletí. V současnosti by jejím nejvýraznějším bezprostředním účinkem (kromě obětí na Islandu) bylo dočasné zastavení a rozsáhlé narušení nejfrekventovanějších mezikontinentálních leteckých tras