

VACLAV SMIL



VELIKOST

Velikost

Vyšlo také v tištěné verzi

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

☰ KNIHA ZLIN

Vaclav Smil

Velikost – e-kniha

Copyright © Albatros Media a. s., 2022

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


ALBATROS MEDIA

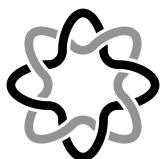
VELIKOST

**VACLAV
SMIL**

VELIKOST

**ROZMĚRY JAKO KLÍČ
K POCHOPENÍ SVĚTA**

Přeložil Ivo Magera



**Překlad této knihy Vaclava Smila
Vám přináší investiční společnost
Sirius.**

OBSAH

Předmluva / 13

I VELIKOST JAKO MÍRA VŠECH VĚCÍ / 17

Mezi velkým a malým / 28

Posedlost moderní dobytějšími rozměry / 41

Extrémy a jak jsme je poznali / 53

II VJEMY, KLAMY, ROZMĚRY / 63

Očekávání a překvapení: preferované pohledy
a gigantické obrazovky / 69

Mylné představy o velikosti a vidění
neexistujícího / 82

Rozměry: výhody vysokého vzrůstu / 94

III PROPORCE, SYMETRIE A ASYMETRIE / 111

Proporce: těla, budovy, obrazy / 116

Symetrie: všude, kam se podíváme? / 133

Zlatý řez: všudypřítomný, nebo smyšlený? / 148

**IV NÁVRHY VELIKOSTÍ: VHODNÉ,
NEVHODNÉ A NEPŘIJATELNÉ / 163**

Lidské měřítko: ergonomie a sedadla
v letadlech / 169

Změny velikostí: příjmy, stroje a oděvy / 182

Meze velikosti aneb proč některé rekordy
zůstanou nepřekonány / 190

V ZMĚNA PROPORCÍ SE ZMĚNOU VELIKOSTI / 207

Swiftovy omyly, Galileova objasnění / 213

Stručné dějiny alometrie: kůže a krabí klepeta / 228

Proporce orgánů: mozek, srdce, kosti / 235

VI METABOLICKÁ ÚMĚRA / 251

Úměrnost metabolismu: co nás drží naživu / 255

Metabolické teorie, výjimky, nejistoty / 265

Proporce věcí: metabolismus strojů / 276

VII SYMETRIE OKOLO PRŮMĚRŮ / 285

Jak se normální stalo normálním / 292

Normální rozdělení, obří stromy, IQ a basketbal / 301

Normální křivky: od paroží k řízení kvality / 315

VIII KDYŽ VLÁDNE ASYMETRIE / 327

Dvojakost velikostních rozdělení / 332

Inverzní mocninný zákon:

mezi vzácností a hojností / 338

Úhledné asymetrie, nebo jen zbožné přání? / 350

IX SHRNUTÍ PRO DIGITÁLNÍ VĚK / 363

Odkazy a poznámky / 373

Poděkování / 423

Seznam vyobrazení / 425

Rejstřík / 429

PŘEDMLUVA

Psaní knihy o velkém tématu – ať už jde o energetiku, ekonomiku, životní prostředí, dějiny malířství, populační růst nebo pandemie – je vždy nemilosrdným cvičením v tom, co do ní nezahrnout.

Tento problém (i řešení!) vystihl nejlépe Jorge Luis Borges v povídce „O důslednosti vědy“, která vyšla v roce 1946 v časopise *Los Anales de Buenos Aires* a pojednávala o kartografech v nejmenované říši, kteří chtěli dosáhnout dokonalosti. Usilovali o vytvoření dokonalé mapy jedné provincie – hotová mapa pak byla velká jako celé město a mapa říše jako celá provincie. To však nestačilo, a tak jejich konečný výtvar – mapa říše, na níž byl dokonale zakreslen každý bod – měl velikost samotné říše. Pochopitelně „generace, které si tolik nepotrpěly na studium kartografie, usoudily, že tato rozlehlá mapa je k ničemu, a zcela nemilosrdně ji vystavily nepohodě slunce a zimy“.

Při psaní knihy na velké téma je potřeba se vypořádat s neustávajícím přívalem informací. K tištěným popisům a analýzám nashromážděným generacemi

tradičního vědeckého výzkumu se přidávají nové elektronické zdroje, databáze, mapy a grafické kolekce, z nichž většina se dále rychle rozrůstá. Ani dlouhým a oddaným ponořením se do tohoto oceánu informací není možné zaručit, že se seznámíte se vším, co by mohlo být považováno za důležité, a převedení těchto nevyhnutelně neúplných znalostí do jednosvazkové knihy rozumného rozsahu vyžaduje další vypouštění. Tento častý problém se ještě zvyrazňuje, píšete-li nejen o velkých, ale o tak dalekosáhlých tématech, jako je růst, měřítko a velikost.

Tato publikace je pravým opakem oněch pošetilých pokusů z Borgesovy povídky: i ta se snaží pojmout toho tolik na tak málo stránkách, měla by však být alespoň užitečnější než ona dokonalá mapa! Než jsem začal tuto knihu o velikosti psát, musel jsem učinit – abych ji udržel v rozumném rozsahu – několik základních kompromisů ohledně záběru a hloubky. Nejde o žádnou preventivní výmluvu, jen o přiznání reality.

Na pomoc si vezmu hudební příměr. Kniha začíná *andante* a po většinu svého průběhu tak i pokračuje. Tu a tam nabízím neobvyklé, či dokonce překvapivé akordy, které však vždy harmonicky rozvíjejí hlavní téma. Neobsahuje žádná ohromující sóla. První kapitola přináší vhled do role velikosti v přírodě a lidských záležitostech, načež následuje pojednání o rozporu mezi malým a velkým, o všeobecné preferenci větších rozměrů člověkem a o extrémech na obou koncích velikostního

spektra. Druhá kapitola se zaměřuje na vnímání velikosti: na to, co vidíme a co si myslíme, že vidíme (iluze vznikají překvapivě snadno), přičemž se blíže zabývá důsledky lidské tělesné výšky, velikosti, která ovlivňuje v mnoha ohledech (a v překvapivě značné míře) náš život. Třetí kapitola se zabývá vztahy mezi velikostmi – příběhy proporcí, symetrie a poměrů – a končí zkoumáním takzvaného zlatého řezu, o němž by podle populární kultury mohl vzniknout dojem, že se objevuje všude. Ještě uvidíme.

Čtvrtá kapitola, věnovaná návrhu rozměrů, začíná úvodem do ergonomie – vědy o navrhování a designu věcí s ohledem na jejich snadné a bezpečné používání – a zabývá se jedním z jejich nejdůležitějších uplatnění v naší neposedné společnosti: návrhem sedadel v letadlech. Vzhledem k nepřehlédnutelnému modernímu trendu zvětšování konstrukcí mnoha základních věcí (od elektráren po větrné turbíny, od motorových vozidel po letadla) je obohacující podívat se na růst některých z těchto velikostí v průběhu času a na některé hranice, které již jejich další zvětšování omezují. Stejně jako organismy mají své limity růstu i věci.

Pátá kapitola se zabývá proporcemi a tím, jak se určitá velikost mění v důsledku jiné změny. Možná jste o tom nikdy nepřemýšleli, ale některé odpovědi již znáte: vážíte-li 60 kg, víte, že lidé, kteří váží dvakrát tolik, nemají dvakrát větší obvod hlavy. Přemýšleli jste však někdy o jejich srdcích: jsou stejně velká jako to

vaše – a pokud ne, o kolik větší musí být? Metabolický růst (jak závisí energetická potřeba na tělesné hmotnosti) je obzvláště důležitý u lidí, jiných savců i dalších tříd živočichů. Této realitě je věnována šestá kapitola.

Co pak ještě zbývá o velikosti říct? Více statisticky orientovaní čtenáři by mohli poukázat na to, že jsme zatím nezmínili nic o rozložení výskytu velikostí. Víte, že zemské útvary (ať už jde o výšku hor nebo rozlohu jezer) i živé organismy (mikro- nebo makroskopické), stejně jako nespočet věcí (od nejjednodušších nástrojů až po nejsložitější stroje) se vyskytují v různých velikostech. Jak jsou však tyto velikosti rozloženy? Vykazují při grafickém znázornění symetrii, nebo jsou značně asymetrické? Na tyto otázky odpoví poslední dvě kapitoly.

Na rozdíl od mého začátku v tempu *andante* bude závěrečná kapitola přinejmenším *allegro* (ne-li *presto*), jelikož se pokusím o shrnutí hodné třetí dekády 21. století: stručné, svižně plynoucí příspěvky s omezenou délkou. Čtenáři, kteří očekávají grandiózní finále zakončené ohromujícím shrnutím objevných moudrostí, budou značně zklamáni: nedojde na žádnou apoteózu, žádné triumfální akordy. Pokud existuje takové finále, které by završilo knihu věnovanou nezkrotné a komplikované realitě velikosti – jejímu měření, vnímání, vlastnostem, změnám, proporcím a rozložení –, bude si muset počkat na dalšího (odvážnějšího a vnímavějšího) interdisciplináře, který ho zkomponuje; já jsem udělal, co bylo v mých silách.

**I VELIKOST JAKO MÍRA
VŠECH VĚCÍ**

Prótagoras, první (a zřejmě největší) z řeckých filozofů-
-sofistů, začal svou knihu o pravdě slavným výrokem
„Člověk je mírou všech věcí“ (πάντων χρημάτων μέτρον
ἐστὶν ἄνθρωπος; *pan-ton chrématon metron estin anth-
rópos*). To vedlo k záplavě disputací, vysvětlování a po-
pírání, která zdá se nemíní ustát.¹ Nemám kvalifikaci
ani pošetilou touhu se do těchto filozofických debat
zapojovat, jen chci zdůraznit evidentní věc: filozofové,
kteří rozebírají Prótagorovu úvodní větu, se soustředí
na to, že použil slovo „člověk“ (*anthrópos*) – není však
pro jeho výrok stejně zásadní použití pojmu „míra“
(*metron*)? *Anthrópos* není pozorovatelem ani předmě-
tem, svědkem ani soudcem – zato je mírou všech věcí.
A měřit – ať už explicitně pomocí konkrétních fyzic-
kých jednotek, nebo implicitně porovnáváním někoho
nebo něčeho s určitým standardem či mentálním ob-
razem – nutně znamená brát v úvahu velikost.

Vnímání velikosti je neoddělitelně spjato s vnímáním
podoby: prostorového uspořádání, vnějšího vzhledu,
rozpoznatelných částí objektu. John Locke šel ve své

Eseji o lidském chápání tak daleko, že tvrdil, že u organizovaných těles (rostlin a živočichů): „Podoba je tím, co je pro nás hlavní vlastností a nejcharakterističtější částí, která určuje druh. Jakkoli se totiž zdá, že někteří lidé se drží své definice rozumného živočicha, přesto kdyby se našel tvor, který by měl řeč a rozum, ale neměl by obvyklou podobu člověka, domnívám se, že by sotva byl považován za člověka, ať už by to byl jakkoli rozumný živočich.“²

Tento závěr, toto posuzování podle podoby, jemuž není možné uniknout, není nikde lépe ilustrováno, než když Jonathan Swift poslal Lemuela Gullivera na jeho poslední fiktivní cestu do země vznešených Hvajninimů (inteligentních koní) a odpudivých Jahuů, kteří měli podobu člověka. Gulliver mohl s těmito rozumnými a blahovolnými koňmi mluvit i přemýšlet, ale v jejich očích nemohl být svým vzezřením považován za nic víc než za „ušlechtilého Jahua“.³

Zajímavé je, že v různých jazycích najdeme celkem dva různé způsoby konceptualizace velikosti. Ve staré řečtině, jazyku definicí a vysvětlivek, se pro velikost používá slovo μέγεθος (*megethos*: rozsah, rozměrnost, velikost), které podobně jako latinské *magnitudo* nasměrovává naši mysl k hornímu konci velikostního spektra („velký“ v řečtině a latině: *meGas*, *magnus*). Na rozdíl od staré řečtiny má latina také neutrální slovo *dimensio* (rozměr), v moderních evropských jazycích ovšem toto dělení není v jednotlivých rodinách jazyků

(románské, germánské, slovanské) jednotné. Podobně jako v angličtině „size“ jej tři největší slovanské jazyky – ruština, ukrajinština a polština – používají neutrálně (*razměr*, *razmir* a *rozmiar*: rozměr), ovšem čeština a slovinština se přiklání k velkým rozměrům (v obou případech *velikost*), stejně jako chorvatština (*veličina*), tři přední germánské jazyky – němčina (*die Grösse*), švédština (*storlek*) a nizozemština (*grootte*) – a italština (*grandezza*).

Italové však mohou říkat také *taglia*, z latinského *ta-lea* (odnož, sazenice), které nám přineslo i francouzské *taille* (původně dlouhý a štíhlý tvar). Japonci mají tři varianty. Nejnovější z nich patří mezi desetitisíce slov převzatých z angličtiny a přizpůsobených japonskému slabičnému písmu (*saizu* neboli サイズ). První ze dvou standardních variant se znaky kandži převzatými z Číny je neutrální 寸法 neboli *sunpó* (rozměr, míra). Nejzajímavější ze všech je však sugestivní staročínská varianta *ta-siao* (japonsky *daišó*), „velký“ a „malý“ jako dvojice jednoduchých znaků psaných třemi tahy: 大小.

Čtenáři ovládající více jazyků si budou mnoha těchto hluboce zakořeněných rozdílů ve vnímání velikosti vědomi, ovšem třebaže jde o zajímavost, na tom, zda je její pojetí neutrální, či není, nezáleží. V základních fyzikálních pojmech je velikost jedinou hodnotou potřebnou k určení skalárních veličin – tedy takových, u nichž není součástí definice směr (na rozdíl od síly nebo rychlosti): délka (šířka, výška, obvod), plocha, objem, hmotnost,

energie. Máme-li přesné nástroje pro měření věcí (například svinovací metr ke změření tělesné výšky, laserové měřiče vzdálenosti ve stavebnictví) a domluvíme-li se na požadované úrovni přesnosti (u tělesné výšky s přesností na centimetr), pak je možné velikosti zjišťovat rutinně, opakovaně a spolehlivě.⁴ Samozřejmě i mezi fyzikálními veličinami najdeme takové, u nichž se odpovědi budou značně lišit v závislosti na měřítku, což je problém, na který poprvé upozornil Lewis Fry Richardson počátkem 50. let 20. století a který rozpracoval Benoit Mandelbrot ve svém často citovaném článku publikovaném roku 1967 v časopise *Science* „Jak dlouhé je pobřeží Velké Británie?“⁵ Na rozdíl od měření přímé vzdálenosti mezi dvěma pevnými body nemá tato otázka jednoznačnou odpověď: výsledky závisí na měřítku použité mapy. Je zřejmé, že v mapě s měřítkem 1 : 10 000 000 (v níž každý centimetr odpovídá 100 kilometrům) je zachyceno mnohem méně detailů a výsledkem bude výrazně kratší pobřeží než při použití turistické mapy, kde každý centimetr znamená právě 1 kilometr (měřítko 1 : 100 000).

A čísla by byla ještě mnohem vyšší, kdybychom se pokusili krátkými kroky (nebo došlapováním patou těsně před špičku nohy) změřit skutečně každou drobnou zákrutu pobřeží, a ještě vyšší, pokud bychom se ji pokusili měřit po 1 milimetru – tedy velikosti zrněk písku a částecek půdy, což by bylo prakticky nemožné. U větších měřítek nám tuto práci usnadnil Google Earth.

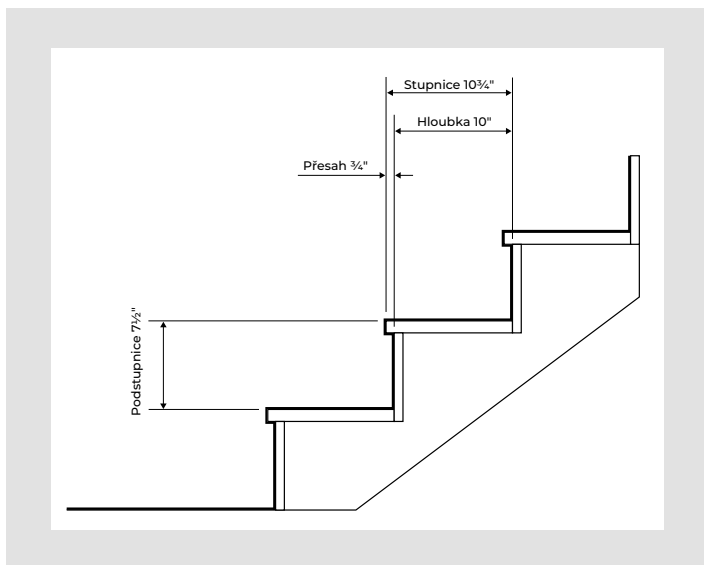
Stačí klepnout na „+“ v pravém dolním rohu obrazovky a zobrazit si dotyčnou oblast v postupně se zvětšujícím přiblížení, a to až od pohledu na planetu z výšky 22 252 kilometrů po rozlišení (v některých případech) detailů menších než 1 metr. Představa konečné velikosti (jediné neměnné hodnoty) tedy evidentně není při pohledu na fyzické části Země použitelná: délka pobřeží nebo mezinárodní hranice není pevná veličina; má fraktální rozměr, poměr vyjadřující, jak se podrobnost mění s měřítkem použitým při jejich měření.⁶ V reálném světě však při měření velikosti narazíme na mnohé podstatněji problémy, než je zdánlivě neurčitá délka pobřeží.

Asi nejvýznamnějším z nich je, že měření velikosti těles nebo důležitých sociálních a ekonomických proměnných, jako je hrubý domácí produkt či příjem (informace potřebné k posouzení pokroku na individuální úrovni a k racionálnímu politickému rozhodování), přináší řadu problémů s přesností a kompatibilitou.⁷ V urbánní západní společnosti, v níž se vše měří penězi, by se mohlo zdát, že problém výpočtu ročního HDP nebo příjmu státu spočívá v prostém sečtení všech ekonomických činností nebo všech mezd. Jenže i v nejvyspělejších zemích nám tím vypadne značný podíl příjmů z šedé (stínové) ekonomiky, z plateb pouze v hotovosti nebo například z lukrativního obchodu s drogami a sexem.⁸ Podíváme-li se jinam, měli bychom stanovit určitá pravidla, jak se vypořádat se samozásobitelsky hospodařícími zemědělci a rodinami

provádějícími výměnný obchod v Africe a Asii.⁹ A pokud se nám to podaří, jak porovnávat peníze jednotlivých států: jednoduše pomocí oficiálních a často významně manipulovaných směnných kurzů, nebo se uchýlit ke složitým přepočtům přes paritu kupní síly?¹⁰

Ať už je velikost dokonale změřená, nebo vágně definovaná, má význam v nespočtu běžných situací. V každodenní životě používáme nebo se setkáváme s vhodnými, často pečlivě standardizovanými velikostmi oblečení, náčiní, nádobí, nástrojů, strojů a dílčích komponent. Věříme obvyklým průměrným (nebo minimálním) rozměrům, používáme je, přizpůsobujeme se jim a očekáváme, že se s nimi budeme znovu a znovu setkávat. Tato podvědomá očekávání se nám připomenou pouze tehdy, když se záležitosti vymknou z obvyklého velikostního rozpětí: příliš těsné oblečení při transatlantickém letu, nešikovné ovládání neergonomicky tvarovaného nástroje, nestandardní výška schodů při stěhování těžkého nábytku. Ať se nám to líbí, nebo ne, pohybujeme se ve světě úzce vymezeném velikostí.

Moderní společnosti se snaží tyto problémy omezit standardizací velikostí. Většina lidí sice nezná přesné rozměry, z každodenní zkušenosti si však uvědomuje množství zavedených standardů a ti, kdo cestují nebo se stěhují do zahraničí, si všímají rozdílů mezi jednotlivými zeměmi.¹¹ Zdolat schody v domácnostech a na veřejných místech bývá jen zřídka kdy



Rychle byste si všimli, kdyby výšky a hloubky schodů měly náhodné rozměry. Na nákresu jsou uvedeny jejich standardní americké parametry, udávané v palcích a jejich zlomcích.

složité, protože podstupnice (svislá část) i stupnice (též stupeň nebo nášlap – část, na níž se stojí) musejí odpovídat národním nebo mezinárodním normám. Například mezinárodní stavební předpisy vyžadují, aby podstupnice měly výšku maximálně 178 mm, a americký Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci podobně předepisuje minimálně 6 a maximálně 7,5 palce (152,4 – 190,5 mm).¹² Nejoblíbenější americké stavební řezivo, kus „dva na čtyři“, ve skutečnosti nemá rozměry 2 × 4 palce. Dříve tomu tak bývalo, nyní se

však dodatečným frézováním a hoblováním, aby řezivo získalo lepší vzhled, zmenšuje na 1,5 × 3,5 palce (38 × 89 mm).¹³ A Američané si všimnou, že standardní evropský formát papíru pro psaní obchodních dopisů (A4) je mírně odlišný: trošku užší a o něco delší (210 × 297 mm oproti 216 × 280 mm).¹⁴

V našich moderních a převážně městských společnostech s vysokou hustotou obyvatelstva a rozsáhlými dopravními sítěmi dnes přijímáme řadu opatření k zajištění základního pohodlí a bezpečnosti. Místnosti v hromadně stavěných obytných domech musejí mít určitou minimální výšku – v USA je to 8 stop (cca 2,44 m), což je výška sádkokartonové desky – a v mnoha zemích je již dávno předepsána minimální podlahová plocha na osobu, která se i v ekonomicky rozvinutých zemích liší. Většina lidí si například neuvědomuje, že Francie byla až do 50. let 20. století poměrně chudou zemí: norma, která platila pro francouzské nízkonájemné byty (*habitation à loyer modéré*), udávala v roce 1922 i na počátku 50. let 20. století minimální plochu dvou-pokojevého bytu 35 m² a také o půl století později jen 45 m² – v Japonsku zůstává minimální požadavek na pouhých 25 m² na osobu ve srovnání s téměř 70 m² u průměrného nově postaveného rodinného domu v Americe (211 m² v roce 2021, děleno průměrnou velikostí rodiny 3,13).¹⁵

Na tyto normy a obvyklé velikosti si snadno zvykáme a očekáváme, že se s nimi budeme běžně setkávat,

v případě potřeby se pak učíme vyrovnávat s novým prostředím, které se řídí jinými pravidly. Vůči odchylkám od očekávaných velikostí však zůstáváme ostražití. Jak si podrobně vysvětlíme v sedmé kapitole, je to dáno tím, že velikosti živých organismů a jejich specifické vlastnosti – ať už jde o délku novorozenců, rozpětí křídel albatrosů, obvod kmenů sekvojí nebo hmotnost italských důchodců – mívají normální rozdělení. To znamená, že se soustřeďují (často velmi těsně) kolem svých průměrů, a zakreslíme-li četnosti jejich výskytu do grafu, dostaneme souměrnou křivku zvonovitého tvaru.

Většina lidí si tuto všudypřítomnou realitu formálně neuvědomuje – a jen málokdo by dokázal napsat poměrně složitou rovnici určující křivku tohoto statistického rozdělení. Podvědomě se s ní však vnitřně ztotožnili na základě opakované zkušenosti, a proto si jakékoli podstatné odchylky od těchto očekávaných průměrů snadno všimnou a okamžitě ji vyhodnotí jako neobvyklou; vždy si všimneme, když je něco neobvykle velké nebo nečekaně malé. Tato podvědomá kategorizace jde ještě dál. Extrémní velikosti můžeme zařadit do kategorií, jako jsou miniatury (malinké, nepatrné, mikroskopické) nebo giganty (obrovitost, monstra). To samozřejmě může fungovat pouze tam, kde jsme si vědomi obvyklých norem. Byznysmeni z Manhattanu, intuitivně si uvědomující tělesnou výšku (jak si ukážeme v příští kapitole, výška je evidentním ukazatelem

korporátního „vůdcovství“), by zařadili – na základě zkušeností s všudypřítomnými holuby, kachnami a husami v Central Parku – albatrosa laysanského mezi ptáky s velkým rozpětím křídel (v průměru měří kolem 2 metrů). Asi jen ornitolog by však věděl, že existují albatrosi s ještě větším rozpětím křídel (albatros stěhovavý, až 3,5 metru).¹⁶

MEZI VELKÝM A MALÝM

Jsme velmi společenský druh, a pokud jde o nezákladnější podmínky přežití, pomáhá nám lépe se začlenit do společnosti a zvládat nástrahy života, jsme-li alespoň průměrně vysocí a velikost našeho intelektu není v nejnižším kvartilu normálního rozdělení. Větší velikost je zásadním předpokladem složitosti: malé a izolované prehistorické skupiny sběračů (kde jedinou úlohou každého po dosažení dospělosti bylo zajistit dostatek potravy) nemohly dosáhnout sociální komplexity s propracovaným rozvrstvením společnosti a tisíci druhy pracovních míst a odbornou dovedností velkých urbánních společností.

Velká velikost, ať už jde o stáda kopytníků v Africe nebo dnešní výrobní či technologické společnosti, přináší rozmanité konkurenční výhody: dobře se daří jak pakoním v Serengeti, tak společnosti Google. Obrovské stádo pakoňů v Serengeti, čítající na 1,5 milionu jedinců, je největší skupinou mohutných býložravců

na světě, která každoročně migruje na velkou vzdálenost – a podíl firmy Google na trhu vyhledávačů (celosvětově asi 93%) je příčinou její vysoké tržní kapitalizace: na začátku roku 2022 se blížila 2 bilionům dolarů, což je více než roční HDP Ruska nebo Brazílie.¹⁷

Celý život se v myšlenkách pohybujeme mezi malým a velkým, tyto dvě kategorie však vyvolávají různé reakce. Během celého našeho vývoje, s výjimkou relativně kratičké poslední periody, byly zdrojem velkých zážitků, často však ohromujícího až smrtícího rozsahu, pouze přírodní jevy: bouře, požáry, záplavy, zemětřesení.¹⁸ Dokud jsme žili v malých skupinách, které si sbíraly a opatřovaly potravu, a dokud se naše nástroje omezovaly na nejjednodušší kamenné náčiní, nemohli jsme po sobě zanechávat rozsáhlé stavby ani předměty trvalého charakteru. Avšak s mozky, příliš se nelišícími od mozků těchto pravěkých lovců a sběračů, kteří se před desítkami tisíc let potulovali po Africe a Eurasii, si můžeme být jistí, že si náš druh představoval tvory a události ve velkém a hrozivém měřítku a nechával je ožít v příbězích, které se po generace předávaly ústně, než byly před necelými 5 500 lety vepsány klínovým písmem do mezopotámských hlíněných destiček první fiktivní příběhy.¹⁹

Tato imaginativní fikce se nepřetržitě táhne od nejstarších zaznamenaných bájí až po dnešní fiktivní příběhy, od příšer ze starověkých legend až po kasovní trháky počítačově animovaných bitev Godzilly a King

Konga.²⁰ Setkání se strašlivými příšerami se objevují ve dvou nejstarších dochovaných příbězích lidské představivosti: v utrpení sumerského krále Gilgameše a v dobrodružstvích Odyssea a jeho společníků při návratu z Tróje. Gilgameš se na své výpravě musí utkat s Chumbabou, obludným obrem, kterého nejvyšší sumerský bůh Enlil pověřil ochranou Cedrového lesa a zastrašováním lidí: „Jeho hlas je bouře, jeho ústa jsou oheň, jeho dech je smrt!“ A poté co Gilgameš Chumbabu zabije, setkává se s dalším nestvůrným tvorem, „chmurnou tváří člověka-ptáka... jeho tvář byla upíří, jeho noha byla lví, jeho ruka byla orlí pařát.“²¹

Odysseus musí na své dlouhé cestě domů přelstít jiného obra – jednookého Polyféma. Poté co je obrovské oko oslepeno hořícím kulem a Odysseus se mu vysmívá z unikající lodi, Polyfémos „vrchol veliké hory hned ulomiv, po nás jím mrštil. Balvan dopadl vzad, hned za loď ztemnělé přídy ... příboj vln hnál k pevnině loď“.²² Jak děsivý, obrovsky zvlečený podnět pro naši představivost. Nejslavnějším biblickým obrem je Goliáš, jehož skolil David kamenem vystřeleným z praku. Jeho existenci je možné vysvětlit jako genetickou zátěž v rodině.²³

V pověstech a lidových pohádkách se vždy vyskytovaly obludné bytosti (obři a draci, kteří měli často podobu hydry, tedy tvora s více hlavami) s nadpřirozenými schopnostmi – od projevů obrovské síly až po sršení ohně. Když bratři Grimmové (Wilhelm a Jacob)

shromáždili jejich německé verze a v letech 1812 a 1815 je vydali v klasickém dvoudílném svazku *Kinder- und Hausmärchen*, ozývaly se v jejich příbězích kroky obrů, ale nechyběly ani bytosti malinké.²⁴ Jejich obři sedí na vrcholcích hor, opékají si ovce a voly, loupí, vraždí a zohavují lidi, ale jiní se chovají pokorně, dokonce přenášejí lidi na obrovské vzdálenosti, kojí tvory o velikosti palce, aby se i oni mohli stát obry – a jsou zabíjeni statečnými rytíři. V jejich pohádce „O rybáři a jeho ženě“ se dokonce dozvídáme přesné rozměry extrémních fiktivních velikostí: „Po straně trůnu stáli těžkooděnci, první dvě míle vysoký a každý druhý o hlavu menší, až do úplného pumprdlíka osmimilimetrového.“

Kromě různých lidových pohádek jsou asi nejznámější případy anglických děl o extrémních velikostech a fiktivních proměnách velikostí již zmíněné *Gulliverovy cesty* Jonathana Swifta a *Alenčina dobrodružství v kraji divů a za zrcadlem* Lewise Carrola.²⁵ Ke Gulliverovým zážitkům mezi malými Liliputány a obřími Brobdénňany se vrátíme v páté a šesté kapitole této knihy, kdy se blíže podíváme na těla různých velikostí a s tím související metabolismus. Ukážeme si, v čem měl Swift pravdu, a poznáme některé zásadní domněnky a výpočty týkající se velikosti, v nichž se mýlil, když se snažil předložit konzistentní obrazy miniaturních a gigantických lidských bytostí.

Zatímco Swiftova klasika může sloužit jako objevný a velmi zábavný úvod do světa velikosti a do

problematiky metabolismu při různých velikostech živočichů, jsou proměny Carrollovy Alenky pouze způsobem, jak posunout děj příběhu. Při tom však nabízejí zábavný vstup do až příliš reálného světa optických iluzí. Alenka vchází do králičí nory „velké“ jako ona sama, hned po vstupu do ní se však musí nějak zmenšit (ani velké králičí nory nejsou dost velké na to, aby se do nich vešly malé dívky). To se jí povede, spadne, dopadne a vydá se za elegantně oblečeným Bílým králíkem. Pak zahájí sérii záměrných změn velikosti, nejprve se napije z označené lahve, aby se zmenšila a mohla vstoupit nízkými dveřmi do kouzelné zahrady, ale zapomene si vzít ze stolu klíč, na který už nedosáhne, a musí sníst maličký koláček s nápisem „SNĚŽ MNE“ vysázený rozinkami – to se její tělo teleskopicky prodlouží a ona hlavou vrazí do stropu místnosti. Později se snaží dosáhnout správné velikosti tím, že se řídí nemožnou radou Houseňáka, aby snědl houbu, jejíž jedna strana ji prodlouží a druhá zkrátí, což vede k tomu, že se nejprve ještě zmenší a pak nekontrolovatelně roste.

Za pozornost stojí, že umění je napodobováno a v lékařské literatuře jsou popsány případy bizarních změn ve vnímání velikosti, známé jako syndrom Alenky v říši divů. O této iluzi velkých tělesných rozměrů se poprvé stručně zmínil Hermann Oppenheim v r. 1913, podrobně ji popsal Caro Lippman v r. 1952 a název dostala v r. 1955 podle britského psychiatra Johna Todda.²⁶ Jedna z Lippmanových pacientek mu řekla: „Jsem celá

unavená z toho, jak tahám hlavu od stropu. Mám pocit, že ji mám jako balón, krk se mi natahuje a hlava stoupá ke stropu. Celou noc jsem ji od něj odtahovala.“ Kromě změněné tělesné výšky vidí postižení také zkreslené tvary (metamorfopsie) a vnímají prodloužení nebo zkrácení částí těla nebo změnu rozměrů a pohyby předmětů. Tyto halucinace se vzácně objevují při některých migrénách, parciálních záchvatech, infekcích a intoxikacích.

V reálném světě bylo zřejmé, že velikost přitahuje i v době, kdy se naše schopnosti omezovaly na lidské svaly a jednoduché stroje, jako jsou páky a rampy (nakloněné plochy usnadňovaly zvedání těžkých předmětů). Tyto mechanické pomůcky jsme používali s velkou vynalézavostí, abychom stavěli v tak velkém měřítku, jak nám to jen dovoľovala omezení daná našimi těly, nástroji a stroji poháněnými svaly. V pravěku se náš všeobecný sklon překračovat lidské měřítko promítal do působivých kamenných monumentů, kdy jsme lámali velké kusy kamenů a často je přiváželi ze značné vzdálenosti, abychom z nich vybudovali monumentální stavby. Největší monolit Stonehenge (starý asi 45 století) váží přibližně 30 tun – menší kameny z modrého doleritu o hmotnosti kolem 2 tun byly přivezeny z velšského pohoří Preseli Hills, vzdáleného cca 220 kilometrů. Podobná stavba v Bretani, Grand Menhir Brisé, je mnohem starší – vznikla asi před 6 700 lety – a váží 340 tun.²⁷

O logistice takových podniků se můžeme jen dohadovat, historie však nabízí mnohé další podobně obdivuhodné počiny. Je příznačné, že všech sedm divů starověkého světa se na seznam dostalo díky své neobyklé velikosti a nejstarší z nich (Cheopsova pyramida v Gíze) také zůstala se svými 139 metry nejvyšší stavbou až do roku 1311 – kdy stavitelé dokončili věž Lincolnské katedrály.²⁸ Ke známým velkým stavbám v Americe patří hliněné a kamenné mezoamerické pyramidy postavené před cca 1 000 lety, mohutné kamenné stavby v Ollantaytambo a Sacsayhuamán, obě z 15. století, a obrovské geoglyfy v peruánských a chilských pouštích.²⁹

Téměř všechny nejznámější, nejobdivovanější a nejnavštěvovanější stavby – ať už antické (Parthenón na athénské Akropoli, římský Pantheon s velkou kopulí nebo Koloseum se svou děsivou historií), středověké (katedrály s vysokými věžemi, mohutné hrady), renesanční (florentská katedrála Santa Maria del Fiore s obrovskou kopulí, kterou Filippo Brunelleschi geniálně navrhl tak, aby se dala postavit bez lešení, či římská Bazilika Svatého Petra), nebo z 19. století (včetně dvou nejvýraznějších pařížských dominant, baziliky Sacré-Coeur a Eiffelovy věže) – se vyjímají svou velikostí.³⁰ Oproti davům obléhajícím tyto památky si jen velmi málo obdivovatelů odskočí z cesty, aby navštívili malé špičaté pyramidy postavené v severním Súdánu Kušitským královstvím (soudobým se starověkým Egyptem) nebo vystoupají na strmý pahorek Janiculus,



Kopule katedrály Santa Maria del Fiore ve Florencii od Filippa Brunelleschiho (vnitřní průměr 43 metrů) a malý chrám Tempietto v Římě od Donata Bramanteho (vnitřní průměr pouhého 4,5 metru).

aby obdivovali jedno z dokonale proporčně vyvážených mistrovských děl italské renesance, Tempietto architekta Donata Bramanteho z roku 1502, pamětní chrámek (postavený na místě, kam tradice umísťuje ukřižování svatého Petra) vtěsnaný na nádvoří římského kostela San Pietro in Montorio.³¹

Je zřejmé, že být velký je v lidské představivosti odjakživa synonymem důležitosti a majestátnosti. Velké nás ohromuje, vzbuzuje v nás úctu, děsí nás, a pokud jde o lidské výtvořiny, inspiruje též k tomu, abychom šli dál, stanovovali si nové hranice, navrhovali větší stavby (vyšší mrakodrapy), větší dopravní prostředky (například trysková letadla a výletní lodě) a bohužel i větší politická a ekonomická impéria. Vytváříme tak vítané rekordy (větší průmyslová zařízení, díky nimž jsou dostupnější spotřební výrobky, protože klesají jejich jednotkové náklady), stejně jako usilujeme o množství pochybných úspěchů (včetně plejády megalomanských projektů, které nezbylo než zrušit). Toto lidské úsilí si podrobněji rozebereme v následující části.

Preference velkých rozměrů se projevuje již v raném věku a také v dospělosti často posuzujeme velikost a upřednostňujeme to, co je větší. Prvním objektem, který kreslí malé děti, bývá velká lidská postava – často přes celou stránku. Děti všech věkových kategorií kreslí postavy, které mají rády (například svou milující matku nebo otce), větší než ty, které příliš rády nemají (třeba otravnou tetu nebo strýce).³² Posuzování velikosti

neochvějně začíná čárkami tužkou na zárubni dveří, zaznamenávajícími naši rostoucí dětskou výšku, a končí porovnáváním výše platů a chlubením se rozlohou domu. Rolníci odcházejí z vesnic do měst a v globalizovaném světě se rodiny stěhují do vzdálených zemí, aby znásobily velikost svých výdělků – a jako nezamýšlený důsledek i proto, aby měly vyšší děti.

Máme k dispozici dvě studie, které prokazují pozoruhodně rychlý efekt lepších životních podmínek (výživa, zdravotní péče, bydlení). V roce 2005 zjistili italští vědci, že děti narozené přistěhovalým čínským rodičům v Boloni byly nejen vyšší než děti narozené a žijící v Číně, ale během prvního roku života jejich hmotnost a výška předčily hmotnost a výšku italských dětí a později se staly srovnatelnými.³³ Podobný výsledek byl zaznamenán v Anglii. Dospělí Indové, kteří se přistěhovali do Anglie, jsou o 6–7 cm vyšší, než v průměru bývají v Indii. Stále jsou tedy pod anglickým průměrem, ale tento rozdíl mizí u jejich mladších synů a dcer, kteří jsou ve věku 2–4 let o 6 až 8 % vyšší než jejich vrstevníci v Indii. To je pozoruhodně rychlé dohánění, tím spíše, že děti rodičů, kteří přišli z Indie, mívají nižší (v průměru asi o 400 g) porodní hmotnost.³⁴

A přejdeme-li od osobního k firemnímu, „velký“, „větší“ a pokud možno „největší“ se staly nejžádanějšími přívlastky vystihujícími cestu k úspěchu. Pomineme-li některé výrobce luxusních předmětů v limitovaných edicích, žádná společnost se nestala globálním lídrem

proto, že by dramaticky omezila svou produkci a snažila se zůstat skromnou.³⁵ A na tomto trendu směrem k větším rozměrům není nic nového: mnoho preceden-
tů nám poskytla evoluce živých organismů. Novinkou moderní doby je jen všudypřítomnost a intenzita úsilí o zvětšování rozměrů. Tento trend začal sílit ve 2. polo-
vině 19. století, poháněn industrializací, a jeho zinten-
zivněním v průběhu 20. století jsme dospěli až k dneš-
nímu světu rekordních velikostí a superlativů.

Než se blíže podíváme na trend zvětšování v moderní době, musíme si uvést několik základních připomínek k rozměrům malým. Malá velikost s sebou samozřej-
mě nese vlastní konotace i reakce, a odhodlaní umělci a řemeslníci svými dovednostmi a vytrvalostí dokázali v minulosti – a o to více díky ohromnému pokroku moderní vědy – vytvořit artefakty čím dál menších roz-
měrů, které vzbuzovaly značný obdiv. Jen namátkově: čínské puzzle koule (koule v kouli), které je zdánlivě naprosto nemožné vyřezat z jednoho kusu slonovi-
ny, dřevěné modely lodí sestavované s neuvěřitelnou trpělivostí uvnitř lahví, miniaturní modely celých městských čtvrtí vystavované pro turisty (nejznámější z nich, Madurodam v Haagu, je zmenšeninou slavných holandských pamětihodností v měřítku 1 : 25), názorné nabídky japonských restaurací složené z desítek mi-
niaturních atrap jídel (Fake Food Japan), z nichž jsou nadšeni mnozí sběratelé, stále menší součástky, které dokážou elektrotechnici vměstnat na křemíkové čipy,

což umožňuje miniaturizaci elektronických zařízení od mobilních telefonů až po sledovací zařízení tak malá, že by se dala připevnit na hřbet malého hmyzu.³⁶

Úspěchy v miniaturním měřítku však nevyvolávají stejnou emocionální odezvu jako počiny v lidském měřítku a ty, které ho dalece přesahují. Zátíší s květinami velikosti knihy nemá stejný emocionální účinek jako velkoformátové portréty jednotlivců či skupin, jako vyobrazení mytických výjevů nebo historických událostí či jako krajinomalby zachycující pohledy velikostí srovnatelné s takovými, jaké zažíváme v reálu. Miliony lidí ročně nenavštěvují muzea Louvre nebo Prado, aby si prohlédli jejich rozsáhlé sbírky miniatur a šperků, ale aby se nechali okouzlit portréty v životní velikosti od Diega Velázqueze a Francisca Goyi.³⁷ *Guinnessova kniha rekordů* je plná nejrůznějších užitečných i bizarních faktů, avšak v roce 2021 se pouze jeden z 18 nejnavštěvovanějších rekordů na jejích webových stránkách týkal něčeho neobvykle malého (nejmenší ženy světa). Vše ostatní byla maxima: nejdelší, nejvyšší, největší, nejčastější a také nejrychlejší, nejširší a nejstarší.³⁸

Miniatury nás dokážou zaujmout a pobavit, nemožou nás však ohromit: tento mocný pocit je vyhrazen velkým rozměrům. Jak se mohou miniatury vyrovnat pohledu na temný mrak cumulonimbus, který za horkého letního odpoledne narůstal několik hodin do výšky a který se právě mění v silné tornádo?³⁹ Co je drobná plastika ve srovnání s pohledem na mohutný remorkér

u obrovské kontejnerové lodi v losangeleském přístavu, naložený deset pater nad palubou tisíci ocelovými bednami, který právě přeplul Tichý oceán?⁴⁰

Zmenšování vyvolává zcela jiné emoce než zvětšování – a tyto vjemy pro lidské oko nevybavené zvětšovacími pomůckami každopádně brzy narazí na limity lidského zraku. Podívejte se na svou ruku – část těla, která je nejčastěji ve vašem zorném poli. U průměrného dospělého člověka je malíček široký asi 1 cm, tedy 10 mm, a nejostřejší lidské oko dokáže rozlišit nejmenší šířky zhruba o tloušťce vlasu, cca 0,04 mm.⁴¹ Poměr těchto šířek (0,04/10) je 0,004, což znamená, že nedokážete rozeznat nic, co je menší než 1/250 (0,4 %) šířky vašeho malíčku. Naopak pokud jde o velké věci, vidíme malou dešťovou kapku (1 mm), dešťovou vodu stékající na ulici přes obrubník (vysoký 10 cm), mělký jez (zvedající hladinu o metr), horskou bystřinu valící se přes velké balvany (vysoké 10 metrů), Andělský vodopád ve Venezuele (do 1 kilometru mu chybí jen 21 metrů) i obrovský vertikální oblak cumulonimbus stoupající 10 km do spodní vrstvy stratosféry. Poměr těchto extrémů (v mm) je 10 000 000/1; impozantní cumulonimbus je 10milionkrát větší než malá dešťová kapka.⁴²

Zmenšování (zvvyšování počtu součástí v mikroprocesoru) podpořilo růst elektroniky po roce 1965 (tomuto trendu se budeme věnovat ve čtvrté kapitole o návrzích velikostí). Zásadně přispělo ke globálnímu ekonomickému růstu posledních dvou generací a také

(paradoxně) zásadně umožnilo dosahovat velkých rozměrů. Honba za velkými předměty – obrazovkami, auty, loděmi, letadly, turbínami, budovami, městy – se výrazně zjednodušila díky miniaturizaci polovodičové elektroniky (tranzistorů, integrovaných obvodů, mikroprocesorů).

POSEDLOST MODERNÍ DOBY VĚTŠÍMI ROZMĚRY

Během jediného lidského života narazíte na množství zjevných ukázek tohoto velikostního trendu. Nejčteněji se vyskytujícími těžkými mobilními předměty na planetě jsou motorová vozidla. Na světě jich je nyní téměř 1,5 miliardy a stále se zvětšují: dnešní nejprodávanější pickupy a SUV jsou bez přehánění dvakrát, nebo dokonce třikrát těžší než Volkswagen *Käfer*, Fiat *Topolino* nebo Citroën *deux chevaux* – což byly rodinné vozy, jejichž prodeje vévodily evropskému trhu počátkem 50. let.

Velikost domů, ledniček a televizorů se vyvíjela obdobně, a to nejen díky technickému pokroku, ale i proto, že po druhé světové válce rostl HDP – veličina tak oblíbená ekonomy okouzlenými růstem – jednotlivých států historicky nevídaným tempem, takže se tyto věci staly dostupnějšími. Dokonce i při vyjádření ve stálých (o inflaci očištěných) cenách se HDP USA zvýšil od roku 1945 desetinásobně, a i při poválečném baby boomu

se míra růstu v přepočtu na jednoho obyvatele zvýšila čtyřnásobně.⁴³ Toto zvětšování poháněné ekonomickým růstem je možné ilustrovat na mnoha dalších příkladech, od výšky nejvyšších mrakodrapů po kapacitu největších letadel či mnohopatrových výletních lodí nebo od velikosti univerzit až po velikost sportovních stadionů. Je to vše jen očekávané, nevyhnutelné promítnutí všeobecného evolučního trendu k růstu velikosti?

Víme, že život začal v malých rozměrech (na mikrobiální úrovni ve formě archeí a bakterií, které vznikly před necelými 4 miliardami let) a že evoluce nakonec učinila rozhodující obrat směrem k větším rozměrům diverzifikací živočichů v období kambria, které začalo před více než půl miliardou let. Velká velikost (větší tělesná hmotnost) přináší zjevné konkurenční výhody, jako je lepší obrana proti predátorům (srovnejte surikatu a pakoně) a přístup k širšímu spektru stravitelné biomasy, které převažují nad stejně očividnými nevýhodami, jako je nižší počet potomků, delší doba březosti (i delší doba dosažení dospělosti) a vyšší potřeba potravy a vody.⁴⁴ Velká zvířata také žijí (až na výjimky – někteří papoušci se dožívají více než 50 let!) déle než menší (srovnejte myš s kočkou, psa se šimpanzem). V extrémních případech však tento vztah s hmotností těsně nesouvisí: sloni a plejtváci obrovští se neřadí mezi nejvyššího věku se dožívající živočichy – k těm patří žraloci grónští (více než 250 let), velryby grónské (200 let) a želvy galapážské (více než 100 let).

Evoluce života je skutečně příběhem zvětšování velikosti – od jednobuněčných mikrobů až po velké plazy a současnou africkou megafaunu (sloni, nosorožci, žirafy). Maximální délka těla organismů se nyní pohybuje v rozmezí osmi řádů, od 200 nanometrů (*Mycoplasma genitalium*) po 31 metrů (plejtvák obrovský, *Balaenoptera musculus*), a rozdíl v objemu těchto dvou živočišných druhů je 8×10^{-12} krychlových milimetrů respektive $1,9 \times 10^{11}$ krychlových milimetrů, což je rozdíl přibližně 22 řádů.⁴⁵

Evoluční nárůst velikosti vynikne, srovnáme-li nejstarší jednobuněčné organismy, archea a bakterie, s pozdějšími většími prvky a metazoi. Průměrný objem většiny vymřelých i žijících mnohobuněčných živočichů však podobnou cestou k větším tělesným rozměrům neprošel. Průměrné velikosti měkkýšů a ostnokožců (hvězdice, ježovky, sumýši) nevykazují žádný evidentní evoluční trend, u mořských ryb a savců však vývojem ke zvětšování docházelo.⁴⁶ Velikost dinosaurů rostla, pak se ovšem, jak se tato zvířata blížila ke svému vyhynutí, snižovala. U členovců průměrná velikost po dobu půl miliardy let žádný zjevně růstový trend nevykazuje, avšak průměrná velikost savců za posledních 150 milionů let vzrostla asi o tři řády.

Analýzy žijících druhů savců ukazují, že následné generace mají tendenci být větší než jejich rodiče, jeden růstový krok je však samozřejmě dosti omezený.⁴⁷ V každém případě vznik některých velmi velkých

organismů nijak nesnížil všudypřítomnost a význam mikrobů: biosféra je vysoce symbiotický systém založený na množství a rozmanitosti mikrobiální biomasy a nemohla by fungovat a přežít bez svého základu tvořeného mikroorganismy.⁴⁸ Je příklon lidí k věcem a návrhům větších rozměrů odchylkou oproti této základní biosférické realitě (v níž se velké opírá o malé)? Jde jen o dočasné vybočení z dlouhodobé stagnace růstu, která panovala v ekonomice i technických možnostech v předmoderní době, nebo snad jen o klamný dojem vyvolaný neúměrnou pozorností, kterou dnes věnujeme honbě za rozměrnými objekty a jejich vlastnictvím, od televizních obrazovek po mrakodrapy?

Geneze tohoto trendu je nepochybná: zvětšování rozměrů bylo umožněno nebyvalým zapojením energií a skutečně obrovským využíváním materiálů. Po tisíciletí limitovaly snahu o větší rozměry přirozené hranice – energie omezená na lidské a zvířecí svaly, dřevo, hlínu, kámen a několik málo kovů coby jediné dostupné materiály pro výrobu nástrojů a staveb –, které určovaly, co zvládneme postavit, jak můžeme cestovat, kolik potravy dokážeme vypěstovat a sklídit a jak velké individuální a kolektivní bohatství jsme schopni nashromáždit.⁴⁹ To vše se poměrně rychle a současně změnilo během druhé poloviny 19. století.

Na počátku 19. století byl celosvětový přírůstek počtu obyvatel velmi nízký. Svět stále získával energii pouze z biomasy a svalů, jež doplňovala tekoucí voda

roztáčející malá kola a mlýny poháněné větrem a také poměrně malé lodě. Svět r. 1800 měl blíže ke světu r. 1500 než k všední realitě r. 1900.⁵⁰ V roce 1900 již polovina světové produkce paliv pocházela z uhlí a ropy, rychle se rozšiřovala výroba elektřiny a nové primární zdroje pohybu – parní stroje, spalovací motory, parní a vodní turbíny a elektromotory – dávaly vzniknout novým průmyslovým odvětvím a formám dopravy. A tato energie, která byla nově k dispozici, byla také využívána ke zvyšování výnosů plodin (prostřednictvím hnojiv a mechanizace polních prací), k cenově dostupnější výrobě dosavadních materiálů a k zavádění nových kovů a syntetických materiálů, díky nimž bylo možné vyrábět lehčí nebo odolnější předměty a stavby.

Tyto velké přechody jen zesílily ve 20. století, kdy bylo nutné uspokojit potřeby rychle rostoucího počtu obyvatel. Navzdory dvěma světovým válkám a velké hospodářské krizi nerostla světová populace nikdy tak rychle jako v letech 1900–1970.⁵¹ Aby bylo možné nasýtit rostoucí poptávku po bydlení, potravinách a průmyslových výrobcích a zároveň udržet přijatelné náklady, bylo potřeba všechno zvětšovat, od sídel po spotřební výrobky. Tato snaha o zvětšování rozměrů – větší uhelné doly nebo vodní elektrárny schopné zásobovat vzdálená velkoměsta cenově dostupnou elektřinou, vysoce automatizované továrny vyrábějící pro miliardy spotřebitelů, kontejnerové lodě poháněné největšími diesellovými motory na světě a převážející mezi kontinenty tisíce