

EDÍCIA CIVILIZÁCIA



VÁCLAV SMIL VYNÁLEZY A INOVÁCIE

Stručná história
prehnanych očakávaní
a neúspechov

Rýchlym exponenciálnym rastom sa nevyznačoval pokrok ani v základných ekonomických činnostiach, od ktorých závisí prežitie modernej civilizácie – od výnosov plodín po prírastky efektívnosti vo využití energie, od rýchlosti dopravy po schopnosť vyprojektovať a dokončiť veľké inžinierske projekty. A to isté sa týka zdravia a kvality života.

premedia

SPOLOČNOSŤ

premedia

VÁCLAV SMIL
VYNÁLEZY A INOVÁCIE

Z angličtiny preložil
Zdeněk Urban

premedia

Václav Smil: Vynálezy a inovácie

Prvé vydanie

© 2023 Massachusetts Institute of Technology

Copyright © 2023, by Vaclav Smil

Translation © Zdeněk Urban, 2024

Slovak edition © Vydavateľstvo Premedia, 2024

All rights reserved

ISBN 978-80-8242-254-5

Obsah

- 1 Vynálezy a inovácie: Dlhá história a moderná zaslepenosť 7**
 - 2 Vynálezy, ktoré sa premenili z vítaných na neželané 27**
 - Olovnatý benzín 32*
 - DDT 46*
 - Freóny 60*
 - 3 Vynálezy, ktoré mali ovládnuť scénu – ale neovládli 75**
 - Vzducholode 79*
 - Jadrové štiepenie 93*
 - Cestovanie nadzvukovými lietadlami 109*
 - 4 Vynálezy, na ktoré stále čakáme 125**
 - Cestovanie v (takmer) vákuu 128*
 - Obilniny viažuce dusík 143*
 - Riadená jadrová fúzia 156*
 - 5 Technooptimizmus, zveličovanie a realistické očakávania 171**
 - Prelomy, ktoré nie sú prelomové 172*
 - Mýtus čoraz rýchlejších inovácií 181*
 - Čo najviac potrebujeme 192*
- Odporúčaná literatúra 207

1

Vynálezy a inovácie

Dlhá história a moderná zaslepenosť

Evolúcia nášho druhu úzko súvisí s výsledkami vynaliezania. Môžeme si to predstaviť ako veľký dáždňik, ktorý zakrýva veci zo štyroch hlavných kategórií. Prvá kategória zahŕňa nesmierne pestrú paletu jednoduchých ručne vyrábaných predmetov, počnúc kamennými nástrojmi. Naši predkovia si ich zhotovovali, odkedy začali chodiť po dvoch končatinách. To im totiž uvoľnilo ruky na vykonávanie zámerných zložitých úloh. Vývoj zhotovovania týchto nástrojov však bol veľmi pomalý, aspoň podľa toho, ako to najlepšie dokážeme zmerať podľa objavov a nálezov pri vykopávkach v jaskyniach. Najstaršie hrubé kamenné nástroje vstúpili na scénu pred vyše tromi miliónmi rokov. Dôkladne opracované (obojstranne nabrúsené) pästné klíny a sekáče s dvojitým ostrím nasledovali až pred pol druhu miliónom rokov. Vek prvých známych drevených oštepov s kamennými hrotmi zjavne nepresahuje pol milióna rokov. A len pred približne 25-tisíc rokmi zvládli lovci z vrchného paleolitu remeselnú výrobu bohatšej škály nástrojov zložených z viacerých častí vrátane tešlíc, sekier, harpún, ihiel a píl, ako aj sprievodných hrnčiarskych a keramických produktov.

Rozsiahle osvojenie si pestovania plodín sa opieralo o vynález početných poľnohospodárskych nástrojov. Zdomácnenie koní na jazdenie sa začalo jednoduchými zubadlami a uzdami (strmene a sedlá prišli až oveľa neskôr). Ťažné zvieratá vyžadovali mnohé špecifické súčasti postroja, aby sa dali zapriať do pluhov, kár či vozov – kantáre, opraty, pobočnice, podpierky pre kone, jarmá pre voly. Na takomto vynaliezani sa podieľali všetky usadlé spoločnosti. Niektoré navyše

vynikli vo výrobe dreveného nábytku, navrhovaní tvarov a vypaľovaní keramiky, ako aj v tavení rúd na výrobu kovových nástrojov a zbraní. Moderné spoločnosti stále závisia od hojnosti takýchto jednoduchých predmetov vrátane kladív a píľ, drevených stoličiek či kresiel a stolov, pohárov a tanierov, avšak dnes už iba nepatrná časť ich výroby zostáva remeselná, keďže hromadnú výrobu prevzali stroje.

Stroje patria do druhej kategórie vynálezov. Zosobňujú nové, viac či menej zložité prístroje, zariadenia alebo mechanizmy, používané stacionárne i v doprave. Veľké vodné kolesá, veterné mlyny, kamenné vysoké pece s koženými mechmi, do ktorých sa dúchalo pomocou vodných kolies, a lode pre oceánske plavby poháňané plachtami patrili k najpozoruhodnejším predmoderným vynálezom z tejto kategórie. Koncom 19. storočia uvádzali katalógy obchodných domov Sears tisíce položiek tohto typu, od vreckových hodínok po malé šijacie stroje a veľké stroje na mlátenie pšenice. Dnešné výrobné reťazce takto ponúkajú ďalšie a ďalšie príklady hojnosti a nadbytku; aktuálne máme na globálnom trhu vyše tisíc modelov mobilných telefónov a v USA približne sedemsto rozličných modelov cestných osobných vozidiel (v tejto súvislosti sa už nedá hovoriť len o osobných automobiloch v klasickom ponímaní, keďže moderné vozidlá sú z veľkej časti SUV, pickupy a vany).

Nové myšlienky bolo treba stelesniť – či už do podoby jednoduchých praktických nástrojov, zložitého stroja, alebo do ešte zložitejšej zostavy strojov, z akých sa skladajú montážne linky moderných priemyselných podnikov. Momentálne bývajú značne automatizované: azda najlepším v súčasnosti už bežným príkladom takých zostáv sú automobilky, kde všetko od prenášania a umiestňovania súčiastok až po zváranie a striekanie farby a laku vykonávajú roboty. Ľahko dostupné kamene a drevo však možno premeniť len na obmedzenú škálu nástrojov, strojov a štruktúr. Práve z tohto dôvodu sa tretia kategória vynálezov, nové materiály, stali očividným znakom pokroku civilizácie, od veku kameňa a dreva až po vek kovov, zmesí a zlúčenín. Vynálezy v tretej kategórii sa začali bronzom, pokračovali železom a ocelou (zliatina železa, z ktorej bol prevažne odstránený uhlík) a v súčasnosti zahŕňajú hliník a približne tucet ďalších bežných kovov, ako aj sklo, cement (agregát materiálov), od konca 19. storočia aj stále širšiu a pestrejšiu paletu plastov a – ako najnovší prírastok – kompozity na báze uhlíka, ľahké, a predsa pevnejšie ako oceľ.

Štvrtú kategóriu vynálezov tvoria nové metódy výroby, prevádzkovania a riadenia, od marginálnych, avšak ekonomicky prínosných zlepšení, k zásadne novým a vysoko automatizovaným spôsobom hromadnej výroby, zberu informácií a spracovaniu dát. Jedným z najpozoruhodnejších a v konečnom dôsledku najdôležitejších vynálezov tohto typu bol stroj na výrobu sklenených fliaš Michaela Owensa, zavedený v roku 1904. Predtým sa fľaše stáročia museli vyfukovať jednotlivo, pričom na sklonku 19. storočia prišli prvé poloautomatické stroje: tak či onak, tieto prevádzky zamestnávali deti na prenášanie a manipuláciu s roztaveným sklom a jeho vypúšťanie z foriem. V roku 1899 bolo v týchto horúcich a nebezpečných podmienkach zamestnaných prinajmenšom sedemtisíc amerických chlapcov, ako to zachytili dobové fotografie: podobne odpudzujúca bola iba detská práca v hlbinných baniach. Owensove stroje oproti tomu naberali sklo priamo z pece a celý proces prebehol bez akejkoľvek ľudskej práce. Dokonca už prvý Owensov model zvládol každú hodinu vyrobiť 2500 fliaš v porovnaní s iba dvesto fľašami za hodinu z poloautomatických zariadení (Obr. 1.1).

Po druhej svetovej vojne došlo k veľkej premene takmer každého zavedeného spôsobu hromadnej priemyselnej výroby. Stali sa efektívnejšími, lacnejšími a rýchlejšími vďaka zavedeniu elektronických riadiacich prvkov (dnes obsiahnutých v každom variči ryže či kávovare), pričom elektronika ešte viac ovplyvnila zber, spracovanie a šírenie dát. V priebehu druhej svetovej vojny sa pojmy *kalkulátory* a *komputery* používali pre (zväčša mladšie) ženy zamestnané v únavnom a zdĺhavom ručnom vkladaní a mentálne náročnom spracúvaní dát; dnes už má prakticky každý malý laptop kapacitu na spracovanie dát, ktorá výrazne prevyšuje výpočtovú kapacitu aj tých najpokročilejších počítačov z éry pred mikroprocesormi na konci šesťdesiatych rokov minulého storočia. Súčasný výber elektronických strojov siaha od miniatúrnych monitorovacích zariadení, aj takých malých, že sa dajú pripevniť na chrbát lietajúceho hmyzu, až po obrie dátové servery vybudované pre ich trvalo vysokú spotrebu v blízkosti zdrojov lacnej elektriny.

Významy pojmov *vynález* a *inovácia* sa pri bežnom používaní značne prekrývajú. Inováciu však azda najlepšie pochopíme ako proces zavedenia, prijatia a zvládnutia nových materiálov, výrobkov, pro-

cesov a myšlienok. Podľa toho by veľa vynálezov mohlo vzniknúť bez tomu zodpovedajúcej inovácie. Zrejme najlepším príkladom takéhoto nesúladiu je bývalý Sovietsky zväz (ZSSR). Sovietski vedci sa zaslúžili o mnohé významné vynálezy. Osem z nich získalo Nobelove ceny (vrátane Landaua a Kapicu za fyziku nízkych teplôt a Basova a Prochorova za lasery a masery). Vďaka prioritne financovanému vojenskému výskumu a vývoju sa výzbroj tejto krajiny stala konkurencieschopnou aj v porovnaní s USA.

ZSSR nazhromaždil 45-tisíc jadrových bojových hlavíc. Stíhačka MiG-29 a stroj pre priamu bojovú podporu pozemných vojsk Su-25 patrili k celosvetovo najlepším vojenským lietadlám, aké kedy boli nasadené v boji. Keď americkí inžinieri projektovali vôbec prvé stealth („neviditeľné“ – pozn prekl.) lietadlo na svete, použili pri tom rovnice Piotra Ufimceva, určené na predpovedanie odrazu elektromagnetických vln od jednotlivých častí povrchu lietadla. ZSSR vynikal i v celosvetovo najdôležitejšom sektore energetiky. Sovietski vedci a inžinieri objavili obrovské polia uhľovodíkov na Sibíri, rozvinuli celosvetovo najväčší ropný a plynárenský priemysel a vybudovali (v tom čase) celosvetovo najdlhšie ropovody a plynovody, pokrývajúce veľkú časť potrieb surovej ropy a zemného plynu v Európe.

Avšak v roku 1991, keď sa táto krajina rozpadla – pozoruhodne prakticky bez rozsiahlejšieho násillia –, ZSSR trpel mnohými inovačnými medzermi, od kľúčových odvetví priemyslu až po uspokojovanie spotrebiteľského dopytu. Ocel' je dominantný kov modernej civilizácie. Na začiatku deväťdesiatych rokov minulého storočia sa už v EÚ, Severnej Amerike a Japonsku pri jej výrobe nepoužívali nijaké martinské pece – základné kyslíkové konvertory ich začali vytláčať v päťdesiatych rokoch –, no tento proces z 19. storočia sa v ZSSR v poslednej fáze existencie tejto krajiny využíval ešte pri výrobe takmer polovice objemu ocele. Nuž a tamojšia oneskorená inovácia hromadnej výroby bežných spotrebiteľských tovarov, od džínsov po osobné počítače, patrila k trvalým príčinám verejnej nespokojnosti a bez akýchkoľvek pochybností bola jedným z faktorov, ktoré napokon významne prispeli k pádu sovietskeho režimu.

V protiklade so sovietskymi inovačnými neúspechmi ekonomický rozvoj Číny po roku 1990 zosobňuje najlepší nedávny a historicky unikátny príklad inovácie vo veľkom meradle založenej na rýchlom

No. 766,768.

PATENTED AUG. 2, 1904.

M. J. OWENS.
GLASS SHAPING MACHINE.
APPLICATION FILED APR. 13, 1903.

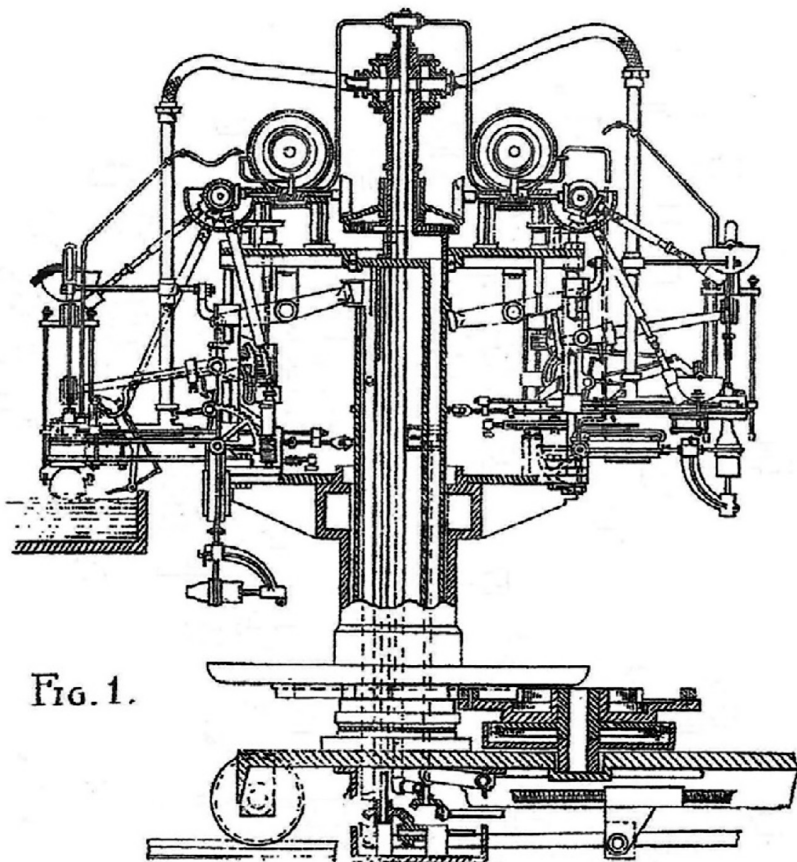


FIG. 1.

Witnesses.
W. H. Green
B. Smith

Inventor.
MICHAEL J. OWENS.
By *James Whittemore* *Atty.*

Obr. 1.1 Stroj Michaela Owena na tvarovanie skla. O patent si v USA podala prihlášku firma Toledo Glass Company. Zdroj: M. Owens: Glass-shaping machine (US Patent 766 768, prihláška podaná 13. apríla 1903, patent udelený 2. augusta 1904)

osvojení si pestrej palety zahraničných vynálezov. Čínska ekonomika sa zväčšila štrnásťnásobne a príjem na hlavu v tejto krajine stúpol vyše jedenásťnásobne (oboje merané v stálych cenách) nie vďaka bezprecedentnému prúdu prelomových domácich vynálezov, ale vďaka hromadnému nasadeniu zariadení či metód zvládnutých v zahraničí celé desaťročia (alebo v prípade najnovšieho pokroku roky) predtým a prenesených do novousporiadaného ekonomického prostredia. Odhodlané domáce úsilie a miliardy dolárov priamych zahraničných investícií sprevádzal nesmierne rozsiahly prenos najnovších strojov, návrhov a procedúr. Odohralo sa to predovšetkým získaním patentov a know-how, o ktoré sa podelili americké, európske a japonské firmy, ktoré sa usilovali vstúpiť na čínsky trh. Dopĺňala to široko zameraná a vytrvalá priemyselná špionáž.

Čínska komunistická strana sa dobre poučila z rozpadu ZSSR: nijaké uvoľnenie kontroly v štýle pokusu Michaila Gorbačova zreformovať nereformovateľný politický režim, ale inováciou poháňaná, skutočne bezprecedentná ekonomická expanzia. Vyústila do rýchleho zvýšenia životnej úrovne, čo strane zaistilo ešte silnejšiu kontrolu. Celkom prvá ekonomická transakcia po návšteve Richarda Nixona vo februári 1972, ktorou „otvoril Čínu“, bola kúpa celosvetovo najpokročilejších tovární na syntézu amoniaku, ktoré vyprojektovala americká firma M. W. Kellogg Company; ich získanie bolo kriticky dôležité, aby sa predišlo ďalšiemu veľkému hladomoru v krajine s rýchlo rastúcou populáciou, ktorej vtedy chýbal vlastný priemysel na výrobu moderných umelých hnojív.

Následne sa tisíce zahraničných firiem (na čele s najväčšími nadnárodnými spoločnosťami vrátane firiem Toyota, Hitachi, Nippon Steel, GM, Ford, Boeing, Intel, Siemens a Daimler) podelili o svoje know-how s Čínou. Typicky tak, že boli nútené vstúpiť do spoločných podnikov, ktoré potom poskytli úplné know-how pre čínske reverzné inžinierstvo. Až príliš nápadné je, ako veľmi výrazne Čína využila túto pozíciu „oneskoreného surfera“ na obrovskej inovačnej vlne, ktorá sa utvorila prijatím zdokonalených zahraničných vynálezov. Samozrejme, Japonsko a Južná Kórea sa vydali tou istou cestou, v prvom prípade od päťdesiatych, v druhom od sedemdesiatych rokov minulého storočia, no nielenže sa na nej stali odhodlanými inovujúcimi mocnosťami, ale aj ekonomikami, ktoré prispievali dôležitými vynálezmi. Siahajú

to napríklad od vedúceho postavenia firmy Sony v skorom rozvoji spotrebnej elektroniky a továrenského manažmentu s nízkou chybovosťou a režimom just-in-time firmy Toyota až po vývoj pokročilých mikroprocesorov, mobilných telefónov a batérií (okrem iných firmami Samsung, SK Hynix, LG a Panasonic). Doposiaľ sa nevyskytli nijaké porovnateľne dôležité, globálne osvojené a komerčne výnosné čínske príspevky (hoci niekto by v tejto súvislosti mohol tvrdiť, že do tohto zoznamu by mala byť zahrnutá aspoň firma Huawei).

Keď sa obzrieme späť na dlhú trajektóriu vynálezov, sotva nás môže prevkapiť, že na mnohých historikov a ekonómov silne zapôsobilo zjavné zrýchľovanie tempa pokroku v danej oblasti. Početnosť a dôsledky naozaj epochálnych vynálezov 19. storočia delila od oveľa menej intenzívneho a oveľa postupnejšieho technického pokroku 18. storočia priemyselná revolúcia. Avšak pokrok v 20. storočí si podľa všetkého zaslúži ešte viac pozornosti. Ako totiž zdôraznil Joel Mokyr, došlo k nemu napriek dvom dlhotrvajúcim svetovým vojnám a napriek vzostupu totalitných režimov, ktorých vláda sa vtedy rozšírila na veľkú časť Európy a Ázie:

V minulosti by také katastrofy postačovali na to, aby zatlačili hospodárstvo o stáročia späť, či dokonca odsúdili celé spoločnosti na stagnáciu alebo barbarstvo. Napriek tomu ani jedna z nich nedokázala zabrániť čoraz rýchlejšej inovácii v 20. storočí pri podnecovaní prudkého rastu vo väčšine priemyselného a priemyselňujúceho sa sveta.

Predstava čoraz rýchlejšej inovácie zaujíma vysokú priečku v rebríčka donekonečna opakovaných mantier konca 20. a začiatku 21. storočia. Rastúci počet patentov zjavne nie je dokonalým meradlom tohto inovačného zrýchľovania (na to až priveľa patentov chráni len drobné zmeny a marginálne zlepšenia vplyvných objavov). Je však nespochybniteľné, že desaťročné súhrny kladne vybavených patentových žiadostí v USA vrátane uznania patentových či ochranných práv občanom iných krajín stúpili z 911 počas prvého desaťročia 19. storočia na takmer 250-tisíc počas deväťdesiatych rokov 19. storočia, a následne z približne 340-tisíc počas prvého desaťročia 20. storočia na približne 1,653 milióna počas deväťdesiatych rokov 20. storočia. To je takmer dvetisíc násobný nárast za dve storočia.

Samozrejme, tento jednoduchý, nekvalifikovaný a v istých ohľadoch očividne zavádzajúci nárast celkového počtu patentov vždy zahŕňal aj pochybné položky a niektoré naozaj bláznivé výtvary. V roku 1932 Alford Brown a Harry Jeffcot dali dokopy malý súbor takých prípadov z archívu USPTO (Úrad pre patenty a chránené značky, US Patent and Trademark Office). Človek si musí klásť otázku, čo viedlo profesionálnych posudzovateľov patentov, aby priznali právnu ochranu takým veciam ako „zlepšená pohrebná skriňa“ (z ktorej sa osoba „po prebratí k vedomiu môže vyšplhať po rebríku z rakvy a hrobu“) alebo „prístroj na tvorbu jamiek v tvári“. A ak si myslíte, že také pochabosti sú už za nami, pravidelná kontrola webovej stránky Electronic Frontier Foundation nazvanej Stupid Patent of the Month (Hlúpy patent mesiaca) vám jasne ukáže, že ani dnes vôbec netrpíme nedostatkom takýchto idiotstiev.

Ako názornú ukážku vyberám americký patent č. 8 609 152B2, udelený v roku 2013. Potrebná je však dlhá citácia, aby sa zreteľne ukázalo, aký pochybný je stále patentový proces. Patent bol udelený jedinej vynálezkyne Diane Elizabeth Brooksovej a znie na Dianinu mannu,

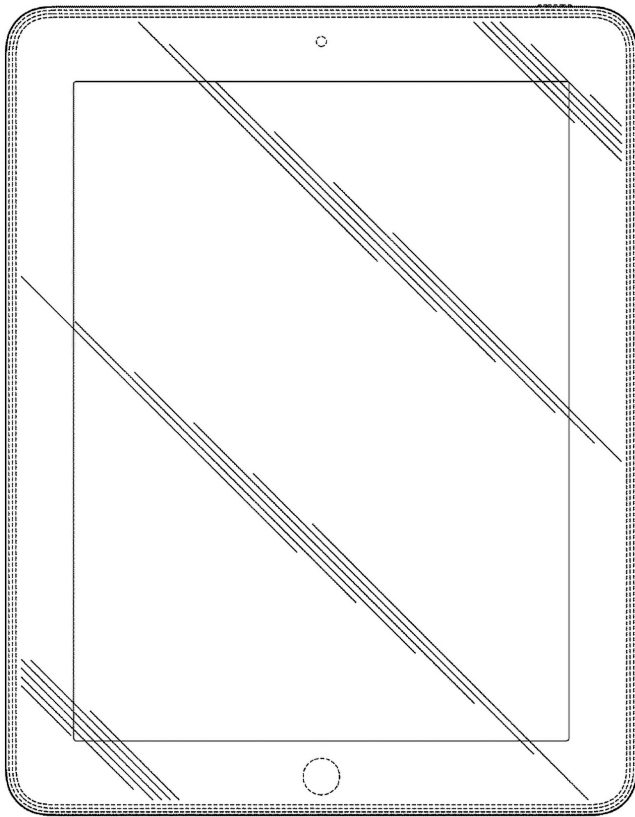
účinný liek s uspávacími účinkami vyrobený zo špecificky a unikátne kombinovaných a spracovaných zameniteľných semien a semených derivátov, ktoré sú také účinné, že odstraňuje alebo zmierňuje depresiu, poruchy nálady, príznaky poruchy pozornosti, poruchy myslenia, duševné ochorenia, bolesť, príznaky retardácie pravej pery, fyzické problémy, rakovinu lymfatických uzlín a príznaky mnohých ďalších chorôb. Do týždňa či dvoch odstraňuje hrbole v krku. Vo väčšine aspektov je zameniteľný... Je extrémne silný, respektíve účinný, dá sa však zoslabiť, aby priviedol vaše malé dieťa s deficitom pozornosti do normálneho stavu. Neuveriteľne stabilizuje náladu a obmedzuje prejavy psychózy. Použite ho u pacientov s rakovinou a ľudí, ktorí majú problémy s bolesťou. Funguje.“

Človeku sa rozum zastavuje, že čosi také skutočne schválili. Možno však uviesť aj mnohé schválenia s reálnym základom, nad ktorými však aj tak potriasate hlavou. Patrí k nim patent č. D670 286S1, priznaný v roku 2012 firme Apple (boli to desiati žiadatelia vrátane

Steva Jobsa a hlavného dizajnéra firmy Jonathana Ivea) na „prenosné zobrazovacie zariadenie,“ to znamená, obdĺžnik so zaoblenými rohmi (Obr. 1.2). Nedá mi nespomenúť ešte jednu žiadosť o americký patent, ktorú podala Susan R. Harshová. Ide o „súpravu a metódu premieňajúcu šmuhy po psom nose na prvom povrchu na formu umenia vytvoreného psím nosom uloženú na druhom povrchu“. Je to zvláštne, ale toto ešte stále čaká na schválenie.

Popravde, existujú určité hodnotiace vzorce umožňujúce identifikovať ozajstné prelomové vynálezy (uvediem ich v poslednej kapitole tejto knihy). V tejto chvíli zdôrazníme skutočné kvantitatívne a kvalitatívne zlepšenia, ktoré nastali vďaka tomu, čo mnohí považujú za zrýchľujúci sa prúd vynálezov – a následne vidia príslušné úspechy nie ako zavŕšenie niečoho, ale len ako základy ďalšieho a zrýchľujúceho sa pokroku. Moderné vynálezy tak u týchto ľudí budia dojem, že prinášajú príslub akýchsi žiarivých spasení, ako keby mali vyriešiť každý problém, ktorému čelíme – technický, environmentálny alebo sociálny. Navyše sa pri tom objavujú sľuby, že predmetné riešenia neprídu vo forme okrajového alebo postupného malého pokroku, ale ide o zmeny, na ktoré najlepšie sedí opis prívlastkami ako „prierazné“, „transformatívne“ či „revolučné“ – a ich takmer bezprostredný potenciál zmeniť svet sa má rozšíriť na všetko, od potravín po dlhovekosť a od energie až po cestovanie.

Počet ľudí trpiacich podvýživou sme už znížili na necelú desatinu globálnej populácie. Tak prečo by sme nemohli úplne odstrániť nedostatok jedla – a prečo by sme popri tom nemohli pretnúť našu závislosť od poľných plodín tým, že by sme potraviny produkovali na nadzemných plochách s regulovanou klímou, alebo tým, že by sme jednoducho prehltali syntetické kapsuly poskytujúce kompletnú výživu? Za posledné dve storočia sme už zdvojnásobili priemernú očakávanú dĺžku života v bohatých krajinách, tak prečo by sme ju nemohli ešte aspoň raz zdvojnásobiť dôvtipnou genetickou manipuláciou, alebo sa dokonca vydať cestou CRISPR (metóda genetického inžinierstva využívajúca bakteriálne protivírusové systémy, pozn. prekl.) k nesmrteľnosti? A v rovnakom časovom rozpätí bohaté krajiny znásobili (hoci každá iným tempom) dodávku úžitkovej energie na hlavu, tak prečo by sme to nemali dotiahnuť ďalej, dokonca aj keď sa vynaliezavou premenou z obnoviteľných zdrojov zbavíme všetkého



Obr. 1.2 Tretí obrázok v prihláške, ktorú si v USA podala firma Apple o patent US D670286S1 (udelený v novembri 2012), ukazujúci „prenosné zobrazovacie zariadenie“ – v súčasnosti dobre známy obdĺžnikový tvar so zaoblenými rohmi. Zdroj: J. Akana et al.: Portable display device (US Patent D670286S1, prihláška podaná 23. novembra 2010, patent udelený 6. novembra 2012)

fosílného uhlíka ako zdroja energie? Dokážeme už bežne cestovať rýchlosťami približne 300 km/h na súši a takmer rýchlosťou zvuku (blízko 1000 km/h) vo vzduchu, tak prečo by sme nemali cestovať nadzvukovými rýchlosťami v podzemných či na pilieroch a estakádach uložených vákuových trubiciach, alebo v dopravných lietadlách, ktoré prekonajú Atlantik za zopár hodín?

A s ohľadom na exponenciálne (čoraz rýchlejšie) tempo moderného vynálezenia sa opakovane dozvedáme, že na takých cieľoch predsa

nie je nič mimoriadne odvážne či nerealisticky ambiciózne. Matematike sa tu však nevyhneme: nevyhnutnou vlastnosťou dlhodobého exponenciálneho rastu je, že sa končí singularitou, bodom v čase, keď funkcia dosiahne nekonečnú hodnotu, čím sa okamžite stane možným čokoľvek. Človek však nemusí byť stúpencom kultu približovania sa k takejto Singularite s veľkým S, veď pôsobivé sú aj oveľa prozaickejšie tvrdenia tohto druhu – a vynárajú sa stále, oznamujúc prelom v liečbe chorôb (lieky, ktoré údajne účinkujú proti Alzheimerovej chorobe), ukladaní elektrickej energie (vynález batérií s dosiaľ neslýchanou hustotou energie), a dokonca premenu iných planét na obývatelne svety („spozemštenie“ Marsu). Realita však bola a je oveľa menej exaltovaná než všetko uvedené. Táto kniha je skromným pripomenutím sveta, aký skutočne je, nie sveta prehnaných tvrdení, alebo, čo je ešte horšie, imaginárneho sveta neobhájitelných fantázií.

Kým postúpime ďalej, musím poznamenať, že ma tu nezaujímajú početné projektové či konštrukčné chyby a zlyhania, ktoré vyústili do katastrofických udalostí (vrátane takých všeobecne známych tragédií, ako boli potopenie *Titanicu* v roku 1912 a havária raketoplánu *Challenger* krátko po štarte v roku 1986), známe komerčné prípady zmeškania vlaku (ako pri videokazetovom nahrávacom zariadení Betamax firmy Sony, ktoré vyradil z trhu systém VHS firmy JVC), alebo povestné produkty, ktoré priniesli veľké sklamania (Edsel a Pinto firmy Ford či Glass firmy Google). Historici technického pokroku podrobne opísali tieto chyby a zlyhania v štúdiách o takých už vopred beznádejných projektoch a návrhoch, ako boli napríklad elektrické pluhy v Nemecku pred prvou svetovou vojnou alebo automobilové plynové turbíny firmy Chrysler. Nedávny prehľad uvádza dvanásť produktov firmy Apple, ktoré priniesli najväčšie sklamania, od Macintosh TV po Power Mac G4 Cube.

Záujemcovia o tento žáner projektantských/návrhárskych neúspechov by si mali prečítať knihu Susan Herringovej *Od Titanicu k Challengeru* (From the Titanic to the Challenger) z roku 1989, v ktorej sa píše o prinajmenšom 1354 takýchto neúspechoch počas 20. storočia, alebo knihu Michaela Schiffera *Veľkolepé prepadáky* (Spectacular Flops), kde sa môžu dočítať o niektorých starších príkladoch (vrátane svetového systému bezdrôtového rozvodu elektriny od Nikolu Teslu) a aj o niektorých klamných predstavách z nedávnejšieho obdobia

(bombardér poháňaný jadrovým reaktorom). Súbežne však treba uznať, že mnohé neúspechy návrhov boli a sú nielen nevyhnutné, ale ponúkajú i veľké poučenia (hoci často nákladné, a niekedy tragické) o tom, čomu sa treba vyhnúť a čo treba opraviť; práve z tohto dôvodu Henry Petroski nazval svoju knihu o takýchto skúsenostiach *Úloha neúspechu pri úspešnom navrhovaní* (The Role of Failure in Successful Design).

V podobnom duchu platí, že v tejto knihe nepíšem len o mnohých neželateľných, často problematických, a niekedy dokonca osudových dôsledkoch neraz sprvoti horlivo prijatých, masívne propagovaných a spoľahlivo zavedených moderných vynálezov. Príslušné vedľajšie účinky, temné stránky a komplikácie totiž v nejednom prípade boli predvídané, podrobne monitorované, hodnotené a prevedené na peňažné náklady i zníženie kvality ľudského života. Zároveň boli predmetom rozsiahleho výskumu a úsilia celkom im zabrániť, alebo ich aspoň zmierniť. V moderných spoločnostiach si v kontexte vedľajších účinkov azda najširšie uvedomujeme kategóriu zdravotných a environmentálnych vplyvov liekov na predpis. Siahajú od nepohodlia po prísne kontraindikácie diktované predchádzajúcimi ochoreniami, a od prítomnosti metabolitov liekov vo vodných tokoch a telesách po šírenie baktérií odolných proti antibiotikám. To posledné je veľmi vážny a v súčasnosti už globálny problém. O jeho postupujúcom vplyve vieme desaťročia, avšak napriek opakovanému nabádaniu a sľubom sa hľadaniu nových antibiotík stále venuje len zlomok potrebných zdrojov a úsilia.

Nemenej pozoruhodné je tolerovanie viacerých vedľajších účinkov spôsobených vynálezom automobilov poháňaných motorom s vnútorným spaľovaním. Tieto motory nám poskytli mobilitu, pohodlie a príslovečnú slobodu na ceste – ale aj škodlivé emisie, preorganizovanú podobu miest (iba vzácne k lepšiemu) a výskyt smrteľných nehôd, ktorého rozsah by nebol tolerovaný u nijakého rozsiahlo používaného lieku na predpis. Dokonca aj v najbohatších krajinách sme tieto emisie začali obmedzovať (katalytickými konvertormi, novým vynálezom, ktorým sme si sčasti pomohli) až v priebehu sedemdesiatych rokov minulého storočia, avšak stále nemáme nijaké naozaj efektívne, všeobecne akceptované riešenia pre automobily ako súčasť zmysluplného mestského projektovania, pričom najvyššia daň,

ktorú za automobilové nehody platíme, nedávno dosiahla úroveň 1,2 milióna úmrtí ročne.

Tieto dôsledky veľkých vynálezov a naša pozoruhodne selektívna tolerancia ich neželaných vplyvov a vedľajších účinkov by sa dali rozšíriť na témy siahajúce od intenzívneho používania syntetických dusíkatých hnojív po kontamináciu súše i vody mnohými typmi plastov – pričom aj čo len zbežný prehľad by si vyžiadal hrubú knihu. Tu zaujmem všeobecnejší prístup k neúspechom vynálezu. Zameriam sa na skutočnosť, že prúd zásadne dôležitých a obrovsky úspešných vynálezov, ktorý v posledných 150 rokoch vytvoril modernú civilizáciu, sprevádzal frustrujúco nedostatočný pokrok v mnohých kľúčových oblastiach, ako aj inovácie, ktoré, aby som to podal zhovievavo, nefungovali tak dobre, ako sa čakalo. V tejto knihe preskúmam tri pozoruhodné kategórie takýchto inovačných neúspechov: nenaplnené prísluby, sklamanie a konečné odmietnutia.

Uvedomujem si, že niektorí historici technického pokroku považujú samotný termín „neúspešná technológia“ za zavádzajúci, lebo sa zdá, že naznačuje (ako argumentoval Tom Carroll v roku 1989 na sympóziu o neúspešných inováciách) akýsi pozitivistický druh lineárneho merania hybnosti, „ktorú potenciálna inovácia buď má, alebo nemá“, zatiaľ čo dôležitejšie je rozpoznať, či je „úspech“, respektíve „neúspech“ dôsledkom spoločenskej voľby. Technický pokrok zaisťte nie je autonómny a silno ho ovplyvňujú spoločenské podmienky a kontext – avšak je až príliš očividné, že hlavné vplyvy neraz pôsobia protichodne a nebýva v moci otvorených spoločností (či dokonca ani vládcov diktátorských štátov) rozhodnúť, ktorú inováciu si osvojiť a ktorú odmietnuť.

Začnem vynálezmi, pri ktorých ich tvorcovia dlho usilovne hľadali riešenie, a keď ho konečne našli, ich dielo zožalo všeobecnú (neraz priam nadšenú) chválu, pričom nasledovala ich rýchlá komercializácia a prijatie do praxe v globálnom meradle. Napokon sa však, hoci niekedy až po desaťročiach, natoľko prejavila ich neželanosť a jednoznačná škodlivosť pre ľudí i životné prostredie ako celok, že sa stali objektmi silného podozrenia a v ďalšom kroku bolo úplné zakázané ich používanie na pôvodne zamýšľané účely. Zavedenie olovnateho benzínu umožnilo hladké fungovanie motorov s vnútorným spaľovaním. Trvalo však niekoľko desaťročí, kým sa dospelo k všeobec-

ne uznávanému záveru, že výsledné emisie tohto neurotoxického ťažkého kovu predstavujú neprijateľne prevažujúcu druhú miskú imaginárnych váh. Počnúc Spojenými štátmi v roku 1970 jednotlivé krajiny zakázali používanie tejto palivovej prísady. Krátko nato prišiel zákaz používania DDT ako rozšíreného prostriedku proti škodlivému hmyzu. Napokon v roku 1987 načrtla globálna dohoda časový plán postupného vyradovania freónov, bežne používaných ako chladivá. Vyšlo totiž najavo, že nárast ich obsahu v atmosfére súvisí s úbytkom stratosférického ozónu.

Ďalšia kategória neúspešných vynálezov, nad ktorými sa v tejto knihe zamýšľam, zahŕňa tri dôležité príklady pokroku, keď sa zdalo, že počiatkový príslub im zabezpečí rozhodujúcu prevahu v príslušných segmentoch trhu: vzducholode v dostupnej diaľkovej doprave, jadrové štiepenie v generovaní elektriny a nadzvukové lietadlá v rýchlom medzikontinentálnom cestovaní. Tieto vynálezy sa dostali na trh a viac či menej sa prakticky využívali, ale netrvalo príliš dlho a ľudia si uvedomili, že nenaplnia potenciál, v aký u nich sprvoti dúfali. Vzducholode boli chronologicky prvým z nich, ktorý takto zlyhal, a to natoľko okázalým spôsobom, že záber nemeckej vzducholode *Hindenburg* v plameňoch sa stal jednou z najreprodukovanejších fotografií technickej katastrofy. Ani táto nehoda však neukončila sny o využití vzducholodí. Pokusy vzkriesiť takúto formu dopravy pokračovali aj po roku 1960, keď už globálne letectvo rýchlo ovládli prúdové dopravné lietadlá. Nové projekty dokonalejších vzducholodí sa objavili ešte aj v prvých dvoch desaťročiach nášho storočia.

Jadrové štiepenie predstavuje príklad nenaplnených očakávaní v oveľa väčšom meradle než vzducholode. Nepochybne ide o najvýraznejšiu ukážku javu, ktorý nazývam úspešné zlyhanie. A to napriek rozsiahlemu komerčnému využitiu (vyše štyristo reaktorov v prevádzke na troch kontinentoch) a veľkému príspevku ku generovaniu elektriny v niekoľkých bohatých krajinách. Jeho aktuálny podiel na globálnom trhu ďaleko zaostáva za očakávaniami v skorých fázach nadšeného prijatia tejto zložitej technológie: nesľubovali totiž nič menšie ako úplnú dominanciu do konca 20. storočia! História nadzvukového lietania do istej miery pripomína obidva práve spomenuté príklady: načas bolo úspešnejšie ako používanie vzducholodí, v konečnom dôsledku však nevládalo konkurovať. Opakovane ho

však kriesia nové projekty a návrhy, ktorých prívrženci tvrdia (tak ako firmy pretláčajúce nové projekty a technické riešenia reaktorov), že tentoraz to bude iné, lebo dopravné lietadlá rýchlejšie ako zvuk napokon predsa len dokážu byť na globálnom trhu životaschopné.

Záverečné príklady podrobne ilustrujú zlyhanie očakávaní. Zameral som sa na tri popredné ukážky z dlhého radu veľmi žiaducich inovácií, ktorých komercializácia vo veľkom by bola naozaj transformatívna a ktorých blízky úspech príslušní aktéri sľubujú po generácie. Napokon však vždy vyšlo a naďalej vychádza najavo, že ich efektívne a cenovo dostupné uskutočnenie zatiaľ nevidno ani na vzdialenom obzore. Myšlienka vysokorýchlostného cestovania vo vákuu (pravdepodobnejšie vnútri trubíc s tlakom vzduchu zníženým na malý zlomok atmosférického normálu) je na svete už vyše dvesto rokov. Jej nedávne médiami rozsiahlo pokrývané vzkriesenie pod zavádzajúcim označením hyperloop mi ponúklo skvelú príležitosť vysvetliť, ako tento sen starý celé generácie stále ešte len čaká na svoju praktickú, pohodlnú, spoľahlivú a ziskovú komercializáciu.

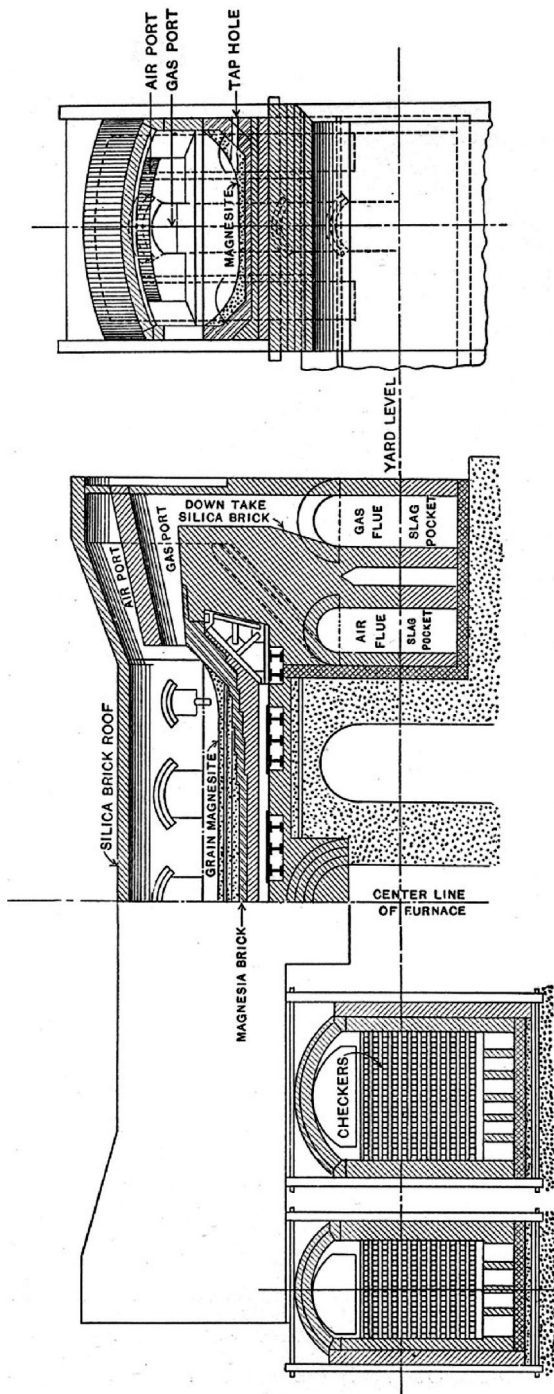
Môj druhý príklad prisľúbeného vynálezu, na ktorý stále čakáme, patrí do mediálne oveľa menej pokrývanej kategórie potrebného pokroku. Jeho príchod by však patril medzi najdôležitejšie úspechy ľudstva v celej histórii. Ak by totiž hlavné svetové obilniny (pšenica, ryža, kukurica, cirok) dokázali – do značnej miery podobne ako strukoviny fazuľa, sója, šošovica a hrach – získať významnú časť svojej potreby dusíka prostredníctvom symbiózy s baktériami viažucimi dusík, nielenže by sme zvýšili globálne výnosy obilnín, ale mohli by sme tiež obmedziť výrobu a používanie syntetických hnojív, čím by sa ušetrilo mnoho energie a zabránilo by viacerým podobám znečisťovania životného prostredia. Mojm úplne posledným príkladom je komerčné využitie jadrovej fúzie na generovanie elektriny. Taký úspech prvý raz prisľúbili niektorí poprední fyzici ešte v štyridsiatych rokoch minulého storočia. Ide o azda najznámejší a médiami určite najviac prepieraný príklad z kategórii zlyhávajúcich očakávaní. Pokúsim sa vysvetliť príčiny pozoruhodne dlhého pretrvávania tohto sna, pri ktorého realizácii sa vždy javí, ako by bola hneď za horizontom.

Každú z týchto troch kategórií inovačného neúspechu, samozrejme, možno rozšíriť uvedením ďalších výrazných príkladov. Keď sa tak obzerám do histórie na vynálezy, ktoré sa premenili z vítaných

na neželané, mohol by som pridať príbeh hydrogénových olejov. Ich komerčný úspech sa začal v roku 1911 čiastočnou hydrogenáciou oleja zo semien bavlníka. Firma Procter & Gamble tomu vďačí za svoj produkt Crisco (kryštalizovaný bavlníkový olej), tuk, ktorý pri izbovej teplote zostáva v pevnom skupenstve. Používanie transtukov (stuhnutých olejov) sa rozšírilo na pestrú paletu druhov lacných náhrad masla a sadla, ktoré mali dlhú expiračnú dobu. Umožnili prípravu výborných pečených produktov a stali sa aj bežnou voľbou pri vyprážaní – až pokým ich výsledky výskumu stravovania nespojili s nárastom hladiny cholesterolu v krvi a vyšším rizikom srdcových chorôb a vlády nepristúpili k prísnej kontrole ich každodenného používania.

Do výkladu o vynálezoch, ktoré mali ovládnuť príslušnú oblasť, avšak na túto métu nikdy nedosiahli, som mohol zaradiť opis vzostupu a pádu Blackberry, mobilného telefónu generálnych riaditeľov a predsedov správnych rád. Preslávil sa vysokou úrovňou bezpečnostných parametrov, čo ho očividne predurčovalo, aby suverénne prevládol vo svete firiem. Popredné postavenie v tejto sfére si však udržal iba približne desať rokov: prvý smartfón z tohto radu uviedli na trh v roku 2002, ale v roku 2013 už jeho výrobca nedokázal odolávať tlaku konkurencie a odvtedy pomaly sklzával nižšie a nižšie. Skvelým príspevkom do diskusie o vynálezoch, na ktoré stále čakáme, je aj príbeh vodíkovej ekonomiky, azda definitívneho, avšak znovu a znovu odkladaného riešenia čoraz naliehavejšej potreby globálnej dekarbonizácie.

O vynálezoch, ktoré po generácie, ba aj vyše storočia, prevládali v špecifickom výrobnom alebo spotrebnom segmente, aby potom relatívne rýchlo úplne opustili scénu, alebo sa zachovali len ako marginálne kuriozity, udržiavané pri živote excentrickými oddanými priaznivcami, prípadne boli odsunuté na okraj ekonomiky, by sa dala napísať dlhočizná, no zaujímavá kniha. V prvej z týchto kategórií predstavujú azda najlepší príklad už spomenuté martinské vysoké pece: od sedemdesiatych rokov 19. storočia do začiatku päťdesiatych rokov 20. storočia sa všetka primárna oceľ vyrábala znižovaním podielu uhlíka v liatom železe vnútri týchto veľkých nádob. Následne v horizonte jedinej generácie takmer úplne vymizli v Japonsku a Európe, o čosi dlhšie pretrvali v Severnej Amerike a niektoré tieto artefakty z 19. storočia prežili až do 21. storočia (Obr. 1.3). Príklad ešte rýchlejšieho



Obr. 1.3 Rezy martinskou vysokou pecou zo začiatku 20. storočia. Zľava doprava priečný rez regeneračnými komorami, pozdĺžny rez v stredovej línii pece a priečný rez v stredovej línii pece. Zdroj: Harbison-Walker Refractories: *A Study of the Open Hearth* (Pittsburgh: Harbison-Walker Refractories, 1909). Poslednú martinskú pec v USA zatvorili v roku 1992, v Číne v roku 2001 a v Rusku v roku 2018.