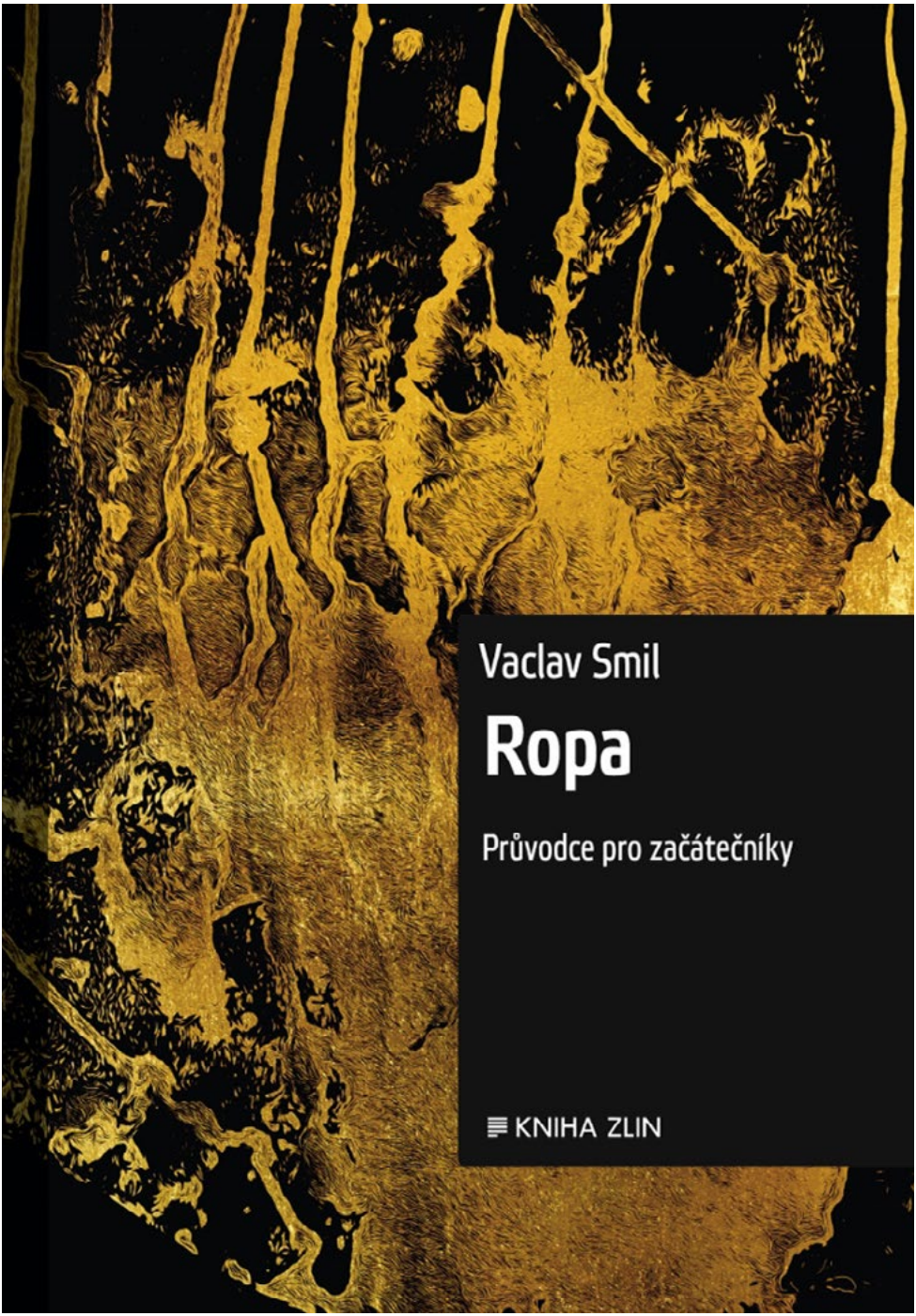


Vaclav Smil

Ropa

Průvodce pro začátečníky

KNIHA ZLIN

Ropa

Vyšlo také v tištěné verzi

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

KNIHA ZLIN

Vaclav Smil
Ropa – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2018

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

ALBATROS MEDIA

TEMA

Vaclav Smil

Ropa

Průvodce pro začátečníky

V překladu Pavla Kaase

KNIHA ZLIN

Obsah

Přehled ilustrací | 9
Předmluva | 13
Svět ropy | 17

1. **Přínosy ropy a její stinné stránky** | 23
2. **Co je ropa a jak vznikala** | 83
3. **Jak se ropa hledá a kde byla objevena** | 123
4. **Produkce, přeprava a zpracování ropy** | 173
5. **Jak dlouho nám ropa vydrží?** | 219

Příloha A: Jednotky a zkratky, jejich definice a převody | 257
Příloha B: Doporučená literatura a weby | 259
Rejstřík | 263

Přehled ilustrací

1 **Otcové automobilového věku** (ve směru otáčení hodinových ručiček): **Nicolaus Otto, Karl Benz, Gottlieb Daimler a Rudolf Diesel** | 27
2 **Celosvětové rozložení vlastnictví automobilů v období let 1900–2005** | 30
3 **Exponenciální nárůst celkově ročně nalétaných osobokilometrů na pravidelných leteckých linkách v období let 1920–2005** | 40
4 **Ceny surové ropy v období let 1859–2007** | 48
5 **Meziroční změny cen ropy uvedené zde za pětadvacetileté období mezi roky 1981 a 2007 ukazují na prakticky náhodné kolísání, jež není možné předvídat** | 65
6 **Země Středního východu bohaté na ropu a nevyužívající plně svůj potenciál** | 68
7 **Struktura nejběžnějších tekutých alkanů, cykloalkanů a arenů** | 88
8 **Geologická časová osa** | 96
9 **Důmyslné uhličitanové schránky mořské řasy ze skupiny kokolitek (druh *Emiliania huxleyi*) a dírkonošce *Ammonia parkinsoniana*** | 108
10 **Čtyři běžné typy ropných pastí** | 115
11 **Východozápadní řez vrstvami největšího ropného pole světa Ghawar a rozsah pole** | 118
12 **Zjednodušené schéma mořského seizmického průzkumu** | 127
13 **Kresba z období dynastie Čching zobrazující starobylou čínskou techniku nárazového vrtání s využitím bambusové těžní věže** | 135
14 **Moderní otočná vrtná souprava** (přetištěno s laskavým svolením BP) | 139
15 **Ilustrace prvního valivého dláta v patentové přihlášce Howarda Hughese z roku 1908** (vlevo) **a první tříkuželové valivé dláto,**

vynalezené v roce 1933 Floydem L. Scottem a Lewisem E. Garfieldem z Hughes Tool Company | 141
16 **Směrové a horizontální vrtání** | 155
17 **Les dřevěných těžních věží v Baku v roce 1886** | 161
18 **Mapa světa s velikostí zemí a kontinentů podle poměru jejich podílu na zásobách ropy v roce 2005** | 167
19 **Globální poměr rezervy/produkce surové ropy za období let 1945–2005** | 169
20 **Vrtná montáž typu „vánoční stromek"** (přetištěno s laskavým svolením BP) | 177
21 **Ropná plošina *Ursa* v Mexickém zálivu** | 186
22 **Globální produkce ropy v období let 1859–2007** | 191
23 ***Iwatesan*, velmi velký ropný tanker s dvojitým trupem s kapacitou 300 000 dwt postavený v roce 2003 společností Mitsui Engineering & Shipbuilding** | 200
24 **Tok produktů v moderní rafinerii** (zjednodušeně) | 209
25 **Globální podíly primárních energií v období let 1900–2006** | 222
26 **Hubbertova předpověď vrcholu ropné produkce USA a následného poklesu těžby – a skutečný průběh těžby v letech 1970–2006** | 232
27 **Možné křivky produkce ropy v průběhu 21. století** | 235
28 **Extrakce ropy z písků: technologie CSS a SAGD** | 246

Předmluva

Stejně jako další knihy z této série (včetně mé předchozí knihy o energii) není ani toto průvodce pro začátečníky v pravém smyslu slova. V tomto konkrétním případě jsou nezbytné určité minimální odborné znalosti (především přiměřené zvládnutí základních počtů). Základní vstupní úroveň znalostí pro tuto knihu by se dala specifikovat jako ekvivalent severoamerického středoškolského vzdělání; rok dva univerzitního studia (bez ohledu na obor) by čtení usnadnily, ale jako vždy nezáleží ani tolik na formálním vzdělání jako na individuálním zájmu, zvídavosti a ochotě učit se. Z tohoto hlediska se mezi čtenáře, kteří by z této knihy mohli mít užitek, řadí jak skuteční začátečníci, tak lidé, kteří mají bohaté znalosti o určitém segmentu velkého podniku orientovaného na ropu, avšak rádi by se dozvěděli více o dalších aspektech tohoto logicky interdisciplinárního tématu vědeckého zkoumání.

Tato kniha se jen hemží čísly (jsem si jist, že na něčí vkus jich je až příliš), rozhodně se za to však nebudu omlouvat;

původ, geologii, průzkum, těžbu, přepravu, zpracování a využití ropy i její vliv na společnost a životní prostředí lze skutečně pochopit jen tehdy, dokážeme-li posoudit specifická časová rozpětí, hloubky, objemy, trvání, míry, kumulativní množství, koncentrace, ceny, subvence a náklady, které toto rozsáhlé globální podnikání definují a ovládají. Pokud jde o množství technických termínů, snažil jsem se je (ač jen stručně) vysvětlit tam, kde jsem je poprvé použil. Všechny jednotky a jejich zkratky jsou vysvětleny v příloze A, příloha B uvádí dvanáct dalších doporučených knih a nedlouhý výběr webových stránek skýtajících hojnost informací.

Toto je má pětadvacátá kniha. Její psaní bylo radostné, ale nijak snadné. Za každý zajímavý střípek informací, za každé číslo a za každý závěr, který jsem zařadil, jsem musel vypustit několikanásobně vyšší počet fascinujících faktů, vysvětlení a užitečných exkurzů do nečekaných směrů. Shrnout svět ropy do přibližně 60 000 slov textu (anglického originálu – pozn. red.) bylo nekončícím tréninkem ve zkracování a vypouštění. Ačkoliv to neomlouvá všechna opomenutí a nedokonalosti této knihy, žádám jak odborníky (které možná popudí absence témat, jež oni pokládají za nezbytná), tak skutečné začátečníky (kteří by si přáli rozsáhlejší vysvětlení), aby měli na paměti toto zásadní omezení, s nímž jsem musel pracovat. V neposlední řadě děkuji Marshe Filionové za to, že mi poskytla další příležitost psát (v rámci stanoveného počtu slov) bez jakýchkoliv omezení, a Douglasu Fastovi za přípravu dalšího zajímavého souboru vhodných ilustrací.

Svět ropy

Pokud bychom dějiny vnímali jako posloupnost stále pozoruhodnějších konverzí energie, pak si ropa – nebo přesněji řečeno celá škála tekutin z ní vyráběných – vysloužila v evoluci lidstva bezkonkurenční pozici. Přeměny těchto tekutin ve spalovacích motorech rozšířily lidské obzory prostřednictvím nových a ekonomicky dostupnějších prostředků individuální i hromadné přepravy osob. Každý, kdo má k dispozici auto, může v zemi se slušnou dálniční sítí urazit více než 1000 km během pouhého jednoho dne (v Evropě se tak dají projet čtyři země). Do každého města s ranvejí dost dlouhou na přistání velkého proudového letadla se dnes dá z kteréhokoliv jiného města na Zemi doletět během necelých dvaceti hodin. Výlety na Bali nebo Mauritius nejsou o nic exotičtější než cesty do Birminghamu nebo Mnichova. Kapalná paliva dala vzniknout nové krajině betonových a asfaltových dálnic, nadjezdů, parkovišť, nákupních megacenter a donekonečna se rozpínající městské výstavby.

Soukromé vlastnictví automobilu zároveň poskytuje nebývalé možnosti výběru. Usnadňuje nákup importovaných potravin v obchodě na opačném konci města, umožňuje na poslední chvíli vyrazit do restaurace, na koncert nebo fotbalový zápas. Díky automobilům můžeme žít daleko od svého pracoviště, nezávisle si plánovat cesty na dovolenou, trávit volný čas daleko do domova na rybách nebo v garáži instalací monstrózních motorů a kol či puntičkářskou rekonstrukcí automobilového veterána.

Tekutá paliva nám prostřednictvím kombinace rychlých lodí a mohutných osmnáctikolových tahačů umožňují dopřávat si v lednu chilské meruňky a jihoafrické hrozny a celoročně česnek a zázvor z Číny a Filipín. Pomohla nám rovněž racionalizovat produktivní procesy od zemědělské výroby po maloobchod, změny zahrnující takové pozoruhodné organizační výkony, jako jsou dodávky zboží přesně na čas (díky nimž mohou velké montážní závody fungovat bez udržování nákladných zásob dílů), i takové rozsáhlé makroekonomické transformace, jakou je zběsilá globalizace výroby, kde už se snad úplně všechno vyrábí napříč dvanácti časovými pásmy.

Moderní život v současnosti začíná i končí uprostřed spousty plastů, jejichž syntéza začala surovinami odvozenými z ropy – nemocnice jimi totiž přímo překypují. Chirurgické rukavice, hadičky, katétry, infuzní nádoby, sterilní obaly, tácy, umyvadla, ložní mísy i madla a zábradlí, termodeky a laboratorní vybavení – tohle všechno si pochopitelně neuvědomujeme, když jsme na světě pár hodin či několik dnů, ale většina z nás se s tím až nepříjemně bolestně seznámí o nějakých šest, sedm nebo osm desetiletí později. A to jsem se v tomto výčtu omezil jen na nejběžnější nemocniční vybavení vyrobené z polyvinylchloridu;

nesčetné další díly a předměty vyrobené z obrovské škály plastů se objevují v našich automobilech, letadlech, vlacích, domovech, kancelářích a továrnách.

Nový svět, který stojí a padá s ropou, však není jen plný hotových zázraků, okouzlující a plný nebývalých příležitostí. Je to zároveň svět pochybných obchodů, špinavých mocenských her, nekonečného násilí, ekonomické nerovnosti a destrukce životního prostředí. Vysoké sázky, o něž se v ropném byznysu hraje, už od samého počátku provokovaly k nekalým praktikám (vzpomeňme například Standard Oil J. D. Rockefellera nebo Jukos Michaila Chodorkovského) a plodily mnohé pochybné aliance (ať už USA se Saúdskou Arábií, nebo Číny se Súdánem). Vlastnictví ropy a bohatství, jež z něj plyne, jsou zdrojem moci diktátorů (od Muammara Kaddáfího po Saddáma Husajna), opovážlivosti samovládců (mezi nimiž jsou Vladimir Putin a Hugo Chávez jen nejkřiklavějšími příklady z poslední doby) a financí teroristů (včetně mnohých vražedných aktivit al-Káidy). Podněcují masivní korupci (ať už v Nigérii, nebo Indonésii), podporují okázale přehnanou spotřebu (v níž vedou zástupy saúdských velmožů i noví ruští oligarchové), plodí obrovskou nerovnost příjmů a nic dobrého neznamenají pro svobodu jednotlivce ani pro postavení žen.

Mnoho (snad až příliš mnoho) knih o ropě se věnuje těmto ekonomickým, sociálním a politickým vazbám. Nejprve se na ropu stručně zaměřím právě v tomto kontextu a teprve pak se budu věnovat nespočetným každodenním úkolům souvisejícím s objevováním, produkcí, přepravou, rafinací a prodejem požadovaného objemu ropy, který dnes představuje 4 miliardy tun ročně. Tyto činnosti, jakmile pronikneme do jejich tajů a rozsahu, nejsou o nic méně

fascinující než svět politických tahanic o ropu, a pouze díky jejich nezměrné důmyslnosti se surová ropa stala nejvýznamnějším zdrojem primární energie v našem světě.

1

Přínosy ropy a její stinné stránky

Nejrozšířenější energie a s nimi spojené hnací stroje zanechaly ve společnosti hlubokou a specifickou stopu. V éře dominance dřeva lidstvo spoléhalo na paliva z biomasy s nízkou energetickou hodnotou. Tato paliva nebyla vždy skutečně obnovitelná, protože poptávka po otopu a tavbě kovů vedla často k rozsáhlému odlesňování a nadměrnému využívání posklizňových zbytků. Drobné mechanické hnací stroje poháněné vodou a větrem hrály jen okrajovou roli, protože energii pro většinu prací poskytovaly svaly lidí a zvířat. Následujícímu období dominovalo uhlí jakožto palivo s energetickou hustotou vyšší než dřevo. Bylo dostupné ve vysoké koncentraci a v ohromném množství v poměrně malém počtu dolů a mohlo ekonomicky zásobovat energií parní stroje. To byly první cenově dostupné mechanické hnací stroje, které nejenže nahradily mnohé stacionární úkony zajišťované do té doby zvířecí silou, ale díky nim se staly ekonomicky dostupnou realitou dávné sny o rychlém cestování po souši i přes oceán.

Ještě významnější kvalitativní posun v moderní spotřebě energie představovalo zavedení a rozšíření rafinovaných ropných produktů. Nová paliva překonávala uhlí v mnoha ohledech; měla vyšší tepelný obsah, jejich produkce byla snazší a bezpečnější, jejich spalování čistší a pohodlnější, a navíc poskytovala nebývalou flexibilitu finálního využití.

Surová ropa (přesněji řečeno škála rafinovaných ropných produktů) změnila samotné tempo moderního života. Umožnila zavádění účinnějších hnacích strojů, a tím i zvýšení produktivity moderních ekonomik, čímž urychlila a prohloubila proces hospodářské globalizace. Její těžbou a prodejem došlo k zásadním změnám v ekonomické úrovni mnoha zemí a napomohla také ke zlepšení některých aspektů kvality životního prostředí. Zároveň nesmírně přispěla k privátnímu i veřejnému komfortu. Nominální cena těchto přínosů – náklady na hledání ložisek surové ropy, její těžby, rafinace a uvádění produktů na trh – byla zatím překvapivě nízká.

Historie ropného byznysu a cen surové ropy pro spotřebitele je bohatě zdokumentována i statisticky zpracována a proto jen stručně shrnu některé významné události, změny a trendy. Ceny, které státy a firmy platí za import surové ropy, a ceny, jež platí spotřebitelé při nákupu rafinovaných ropných produktů (přímo v podobě automobilových paliv a maziv, nepřímo v podobě paliv pro veřejnou i nákladní dopravu a pro energii skrytou v produkci prakticky čehokoliv, co se dnes prodává), nic moc nevypovídají o nákladech na vyhledávání zdrojů a na produkci ropy a samozřejmě se nesmírně liší od reálných cen, které moderní společnost za ropu platí z hlediska (jak to ekonomové cudně nazývají) vedlejších ekonomických účinků těžby, přepravy, zpracování a spalování i zajišťování bezpečnosti dodávek.

Proto v závěrečné části této kapitoly popíšu některé širší náklady, které se za výhodami ropy skrývají – environmentální důsledky energetické závislosti moderních ekonomik na tekutých palivech od znečistění moří ropou po fotochemický smog a růst objemu skleníkových plynů, k němuž značnou měrou přispívá spalování rafinovaných produktů; ekonomické, politické a sociální dopady vlastnictví bohatých ropných zdrojů a velmi častého špatného hospodaření s nimi na jedné straně a nutnosti nakupovat je za mnohdy vyděračské ceny na straně druhé; politické, vojenské a strategické plány, kalkuly a rozhodnutí, jejichž cílem má být zabezpečení trvalého přísunu surové ropy z hlavních oblastí produkce, a širší odrazy těchto aktivit.

Čeho jsme díky ropě dosáhli

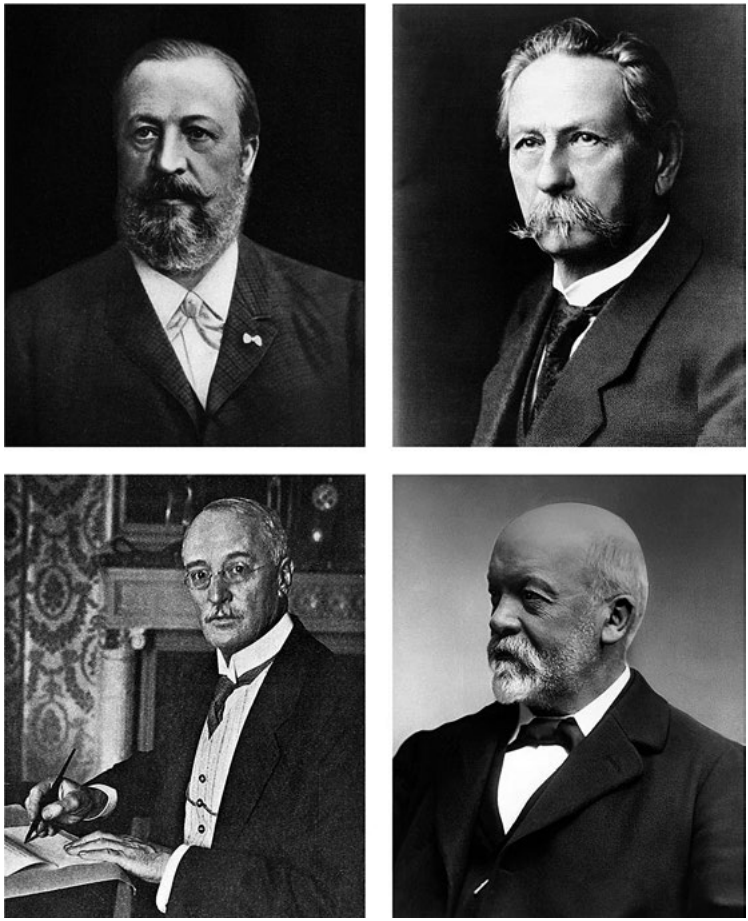
Počátky ropné éry nebyly nijak převratné – začaly jedním produktem omezeným na jediný významný trh, když se petrolej rafinovaný ze surové ropy stal na sklonku šedesátých let a naplno pak v sedmdesátých letech 19. století hlavním zdrojem osvětlení. Nešlo však o jediný zdroj světla, protože v městských aglomeracích si razil cestu také svítiplyn, vyráběný z uhlí. Petrolej i svítiplyn pak záhy nahradila elektřina. V prvních desetiletích rozvoje ropného průmyslu neexistovalo širší využití pro nejlehčí ani nejtěžší kapalné frakce surové ropy. Benzin byl nežádoucím vedlejším produktem rafinace petroleje, příliš těkavým a příliš hořlavým, než aby se dal využít k osvětlení nebo vytápění domácností, a neexistovaly ani vhodné nízkokapacitní kotle, jež by dokázaly spalovat těžký olej pro

vytápění. Alespoň maziva odvozená z ropy tak nabízela levnější a kvalitnější alternativu přírodních olejů a vosků.

Teprve díky vynálezu spalovacích motorů (benzinových v průběhu osmdesátých let 19. století a dieselového v průběhu let devadesátých) získaly lehčí frakce ropy potencionálně na hodnotě, nepostradatelnými se však staly až o dvě desetiletí poději, a to ještě jen v Severní Americe s rozšířením vlastnictví automobilů a nákladní automobilové dopravy (jinde ve světě začal přechod z železniční k silniční dopravě a rozvoj vlastnictví aut až po druhé světové válce). Necelá dvě desetiletí po prvních motorových vozidlech se začaly benzinové pístové motory používat v letadlech a v horizontu pouhé jedné generace po tomto zásadním průlomu se po druhé světové válce začala rozvíjet komerční letecká přeprava. V průběhu padesátých let 20. století pak v tomto novém byznysu došlo k pravé revoluci se zavedením vynikajícího spalovacího motoru, jímž byla plynová turbína.

Rafinovaná paliva pohánějící mohutné dieselové motory rovněž změnila nákladní i osobní lodní dopravu. Tento čistší, levnější, rychlejší, výkonnější a spolehlivější pohon začaly využívat všechny lodě poháněné do té doby uhlím od říčních bárek po zaoceánské kolosy a od rybářských plavidel po ohromné kontejnerové lodě (jejichž zavedení učinilo námořní přepravu klíčovým nástrojem globalizace). Malé závěsné benzinové motory začaly pohánět motorové čluny a umožnily tak vznik nové volnočasové aktivity. Dieselové motory posloužily i nákladním a osobním vlakům, stejně jako četným terénním a stavebním vozidlům a strojům.

Rafinované ropné produkty se tedy nejvýrazněji podepsaly na dopravě a já uvedu klíčové technické milníky těchto



1 | Otcové automobilového věku (ve směru otáčení hodinových ručiček): Nicolaus Otto, Karl Benz, Gottlieb Daimler a Rudolf Diesel

pokroků a popíšu současné palivové nároky těchto aktivit. Automobil je evropský vynález a jeho počátky se datují rokem 1876, kdy Nicolaus Otto (obr. 1) zkonstruoval první čtyřtaktní motor na svítiplyn. První lehký vysokorychlostní

benzinový jednoválcový vertikální motor využívající Ottova čtyřtaktního cyklu zkonstruovali v roce 1885 Gottlieb Daimler a Wilhelm Maybach a v tomtéž roce postavil Karl Benz první motorizovaný vůz na světě poháněný pomalejším horizontálním benzinovým motorem (Benzovy vlastní konstrukce). Po kompletní úpravě, kterou v roce 1891 provedl Emile Levassor, byla v polovině devadesátých let 19. století konstrukce standardního automobilu prakticky hotova. Kombinace čtyřtaktního benzinového motoru, elektrického zapalování a karburátoru stála na počátku největšího výrobního odvětví v dějinách, jehož expanze dosud pokračuje.

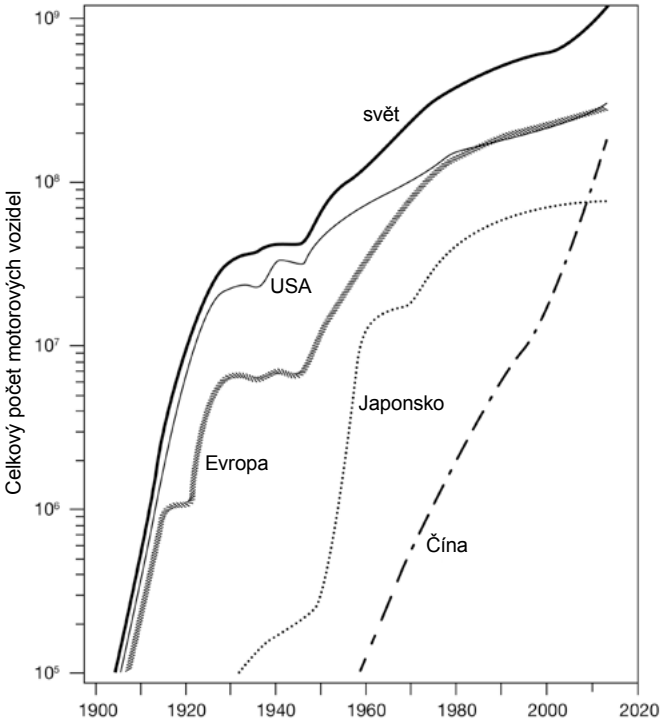
Zcela odlišný způsob zapalování paliva si dal patentovat v roce 1892 Rudolf Diesel (obr. 1). Palivo vstřikované do válce vznětových (dieselových) motorů se vznítí spontánně díky vysokým teplotám generovaným kompresními poměry v rozpětí 14–24, což je dvojnásobek oproti Ottovu motoru. Dieselův motor pracuje s vyšším tlakem a nižšími otáčkami a je logicky účinnější; jeho nejlepší účinnost může překračovat 40 %, kdežto nejlepší Ottův motor dosahuje pouze něco málo přes 30 %. Snad hned další nejvýznamnější výhodou dieselového motoru je fakt, že motorová nafta je levnější než benzin, a přitom není tak nebezpečně hořlavá. Nízká hořlavost činí dieselové motory vhodnou volbou všude tam, kde by požár znamenal okamžitou katastrofu (například na lodích), jakož i v tropech, kde ani při vysokých teplotách nedochází k tak velkému odpařování z nádrží vozidel a lodí. Díky kombinaci vysoké účinnosti motoru a nízké těkavosti paliva pak vozidla na motorovou naftu urazí bez tankování delší vzdálenost než se srovnatelným benzinovým motorem. K dalším mechanickým výhodám patří vysoký točivý moment dieselových

motorů, jejich odolnost vůči zhasínání při poklesu otáček a jejich přirozená spolehlivost.

První dieselové motory však byly jednoduše příliš těžké, než aby se daly použít v automobilech, a ani stroje na benzinový pohon nezaznamenaly okamžitý úspěch. Ještě více než celé desetiletí poté, co Levassor přepracoval základní konstrukci (i po tom, co Charles Duryea v roce 1892 zkonstruoval první americký automobil na benzin), byly automobily nákladné a nespolehlivé stroje, které si koupila hrstka privilegovaných experimentátorů. To se změnilo až po zavedení levného a spolehlivého Modelu T Henryho Forda v roce 1908 a s expanzí a zdokonalováním technologií masové výroby po první světové válce. Větší cenová dostupnost v kombinaci s vyššími disponibilními příjmy a technickým pokrokem v oblasti konstrukce automobilů a vylepšování automobilových paliv vedla k nezadržitelnému nárůstu využívání aut, a to nejprve v USA, po roce 1950 v Evropě a Japonsku, a v současnosti i ve valné části kontinentální Asie.

V Americe se díky jejímu bohatství a zdokonalené masové výrobě na sklonku třicátých let 20. století nacházelo více než 90 % všech automobilů světa. Až hospodářské zotavení Evropy a Japonska po druhé světové válce začalo tento podíl snižovat. V roce 1960 bylo v USA stále ještě 60 % všech osobních automobilů, ale do roku 1983 se Evropa Spojeným státům vyrovnala v celkovém počtu a v současnosti je evropský kontinent největším světovým trhem nových vozidel, zatímco Čína se stala v devadesátých letech 20. století nejrychleji rostoucím trhem nových automobilů. V roce 2005 přesáhl počet registrovaných osobních aut na celém světě 700 milionů (obr. 2) a kromě nich tu máme více než 200 milionů nákladních automobilů, autobusů a osobních

vozů ve firemních vozových parcích. A protože charakteristická účinnost jejich motorů je i nadále poměrně nízká, zůstávají i jejich nároky na rafinovaná paliva vysoké.



2 | Celosvětové rozložení vlastnictví automobilů v období let 1900–2005

Jakékoliv stručné shrnutí klíčových ekonomických, sociálních a behaviorálních dopadů globálního využívání automobilů musí na kladné straně zmínit bezprecedentní svobodu cestování, rozšíření individuálních obzorů, flexibilitu, pohodlí a enormní přispění k prosperitě moderních

ekonomik, kde je výroba aut největším samostatným průmyslem (z hlediska přidané hodnoty) a kde aktivity související s vlastnictvím a řízením automobilů vytvářejí velkou část hrubého domácího produktu. Zápornou misku vah pak nejvíce zatěžují dva hlavní problémy, jimiž jsou vysoký počet úmrtí a zranění (celosvětově každoročně zhruba 1,2 milionu mrtvých a kolem 20 milionů úrazů řidičů, spolucestujících a chodců) a nejrůznější ekologické dopady. Dalšími běžnými negativy jsou dopravní zácpy, jež jsou dnes v největších městských aglomeracích téměř chronickým jevem, úbytek půdy (často té nejkvalitnější zemědělské) zabírané dálnicemi a parkovišti a destrukce tradičních městských modelů.

SPOTŘEBA BENZINU AUTOMOBILY

Nejlepší praktická účinnost čtyřtaktního Ottova motoru použitého v osobním automobilu na benzinový pohon je kolem 32 %, v každodenním provozu však motory obvykle nedosahují více než 25procentní účinnost. Ztráty třením omezují celkovou účinnost o zhruba 20 %, faktory parciálního zatížení (nevyhnutelné během ježdění po městě, které představuje většinu času stráveného jízdou) ji snižují o dalších 25 %; používání příslušenství a (stále běžnější) automatické převodovky mohou zbylou účinnost snížit téměř na polovinu, takže efektivní účinnost může klesnout až na 7–8 %. Auta navíc po valnou část své historie nebyla konstruována s cílem minimalizace spotřeby benzinu, což platí zejména

pro nejvýznamnější automobilový trh světa. Americká preference velkých aut, celá desetiletí nízkých cen benzinu a robustní detroitské modely vedly po druhé světové válce ke klesající účinnosti automobilů brázdících silnice USA.

Specifická spotřeba benzinu (vyjadřovaná v Evropě v litrech na 100 km) byla v roce 1974 o zhruba 15 % vyšší ve srovnání s vozy z třicátých let. V USA se používá opačné měření výkonnosti, totiž míle na galon (mpg), a tento ukazatel tudíž od poloviny třicátých let do roku 1974 naopak poklesl. Až zvyšování cen ropy ze strany OPEC přineslo rapidní obrat, protože nová federální pravidla (ukazatel CAFE, tj. korporátní účinnost automobilových paliv – *corporate automobile fuel efficiency*) specifikovala postupně se zlepšující výkonnost; průměr se za pouhých 12 let zdvojnásobil z 13,5 mpg v roce 1974 na 27,5 mpg (8,6 l/100 km) do roku 1985. Celková výkonnost se dále zlepšila díky růstu dovozu účinnějších evropských a japonských automobilů. Zhroucení vysokých cen ropy v roce 1985 a následný hospodářský rozmach devadesátých let však tento trend bohužel zvrátily. Téměř polovinu automobilového trhu USA obsadily pickupy, malé dodávky a SUV (sportovně užitková vozidla, což je monumentálně nevhodné označení), přičemž všechny tyto typy vozů jsou primárně využívány jako osobní auta, zároveň jsou však vyjmuty ze standardů CAFE. Právě ty stáhly průměrnou účinnost automobilů ke dnu.

Specifická účinnost těchto nadměrně velkých a výkonných vozidel je většinou pod 20 mpg (více než 11,8 l/100 km),

některá váží přes 4 tuny a při jízdě po dálnici spotřebují nejméně 15 l/100 km (v roce 2005 do této monstrózní kategorie patřil Yukon od GMC a modely Suburban a Tahoe od Chevroletu). Klesající účinnost byla navíc provázena trvalým nárůstem průměrné ročně ujeté vzdálenosti: v letech 1950–1975 se tento ukazatel téměř neměnil (vzrostl o pouhá 3 % na 15 400 km na vozidlo), do roku 2005 však stoupl o více než čtvrtinu na téměř 20 000 km. Vysoké ceny benzinu v letech 2005 a 2006 trh SUV oslabily, závislost amerických řidičů na těchto obludných strojích bychom však neměli v žádném případě podceňovat.

Lepší alternativy jsou přitom snadno dostupné; bestseller Honda Accord spotřebuje na dálnici méně než 6,5 l/100 km, Honda Civic 5,7 l/100 km a hybridní model Honda Insight pouhé 3,3 l/100 km. Obnovením míry zlepšování podle CAFE z let 1973–1985 by se americké automobily dostaly do roku 2015 na průměr 40 mpg a agresivnější prosazování hybridních modelů by mohlo tento ukazatel dostat až na 50 mpg (4,7 l/100 km), čímž by se aktuální automobilová spotřeba benzinu snížila na polovinu a globální ceny ropy by se podařilo zatlačit na ústup.

V roce 2005 představoval benzin přibližně 25 % globální produkce rafinerií, celkem zhruba 900 Mt. Spojené státy se na globální spotřebě benzinu podílely přibližně 43 procenty. Země v současnosti spotřebovává víc benzinu než EU, Japonsko, Čína a Indie dohromady. Evropská unie s počtem obyvatel přibližně o 50 % vyšším než USA a s téměř stejným počtem automobilů

spotřebovala v celosvětovém měřítku pouze asi 13 % benzinu. Klíčovými faktory vysvětlujícími tento rozdíl jsou vyšší počet dieselových motorů, menší a účinnější benzinové automobily a průměrná roční vzdálenost ujetá jedním autem na úrovni zhruba poloviny amerického průměru. Japonsko spotřebovalo 5 % veškerého benzinu, Čína (s desetkrát vyšším počtem obyvatel než Japonsko) téměř stejné množství a Indie se na celosvětové spotřebě benzinu podílela pouhým jedním procentem. Tato srovnání ukazují na enormní potencionální poptávku po motorovém benzinu plynoucí z narůstajícího počtu automobilů ve dvou nejlidnatějších ekonomikách Asie. Rovněž je z nich jasné, že tyto enormní trhy se podaří uspokojit pouze v případě radikálních změn v konstrukci automobilů.

Dieselový motor se na proměnách světa nepodepsal o nic méně než jeho lehčí, ale méně účinný benzinový protějšek. Vysoký poměr hmotnosti a výkonu zpomalil nástup využívání dieselů v osobních automobilech až do doby po druhé světové válce, ale už ve třicátých letech byly na nejlepší cestě k ovládnutí veškerých sektorů, kde na jejich vyšší hmotnosti příliš nezáleželo, tj. lodní dopravy, železnic, nákladní silniční dopravy a zemědělství.

Ještě těsně před druhou světovou válkou byla dieselovými motory poháněna každá čtvrtá nákladní loď. Přechod na diesely se zrychlil po roce 1950 a v současnosti pohánějí zhruba devět nákladních lodí z deseti, a to včetně největších tankerů na surovou ropu a kontejnerových plavidel, jejichž nepřetržité plavby jsou základním spojením mezi

producenty a trhy globální výrobní ekonomiky. Největší lodi mají dnes kapacitu přesahující 100 000 dwt a dokážou přepravovat více než 6000 na sobě nastavěných kontejnerů rychlostí blížící se 50 km/h. Nejvýznamnějšími světovými výrobci velkých lodních dieselových motorů, jejichž výkon stále roste, jsou německá Maschinenfabrik Augsburg-Nürenberg (MAN), japonská společnost Mitsui a Hyundai z Jižní Koreje.

Spalování motorové nafty znásobilo energetickou účinnost železniční přepravy, protože náhrada parních lokomotiv na uhlí dieselovými motory posunula typickou účinnost konverze z méně než 10 % na minimálně 35 %. Hlavní železniční tratě celého světa jsou v současnosti buď elektrifikovány, nebo využívají dieselem poháněnou trakci.

V těžké silniční přepravě začaly diesely nahrazovat benzinové nákladní automobily v roce 1924, kdy byl vyroben první naftový motor s přímým vstřikováním a kdy společnosti MAN a Benz a Daimler (dva roky před svou fúzí) začaly vyrábět nákladní automobily na dieselový pohon. Na sklonku třicátých let už byla většina nových náklaďáků a autobusů vyrobených v Evropě poháněna dieselovými motory a po druhé světové válce se tato dominance rozšířila na všechny ostatní kontinenty. Diesely pohánějí také většinu těžkých strojů používaných ve stavebnictví a v povrchové těžbě surovin, celou škálu terénních vozidel (včetně trucků sloužících při seizmickém průzkumu ropných ložisek) i stroje, jež jsou ztělesněním moderní pozemní války, totiž tanky (ačkoliv americký Abrams M1/A1 pohání plynová turbína).

V roce 1926 začala společnost Daimler Benz s vývojem dieselového motoru pro osobní automobily; její první model, mohutná limuzína představená v roce 1936, se stal

oblíbeným taxíkem. Lehčí a také méně znečisťující dieselové motory byly vyvinuty po roce 1950. Dieselové motory v dnešních osobních autech jsou proto jen nepatrně těžší než jejich benzinové protějšky a splňují přísné normy ochraňující kvalitu ovzduší. Ačkoliv v Severní Americe jsou naftové osobní automobily stále vzácné, v západní Evropě (kde je benzin dražší) se nyní na trhu nových automobilů podílejí zhruba 45 procenty.

Lehký benzinový čtyřválcový spalovací motor vyvinutý bratry Wrightovými také posloužil při prvních letech stroje těžšího než vzduch, které se uskutečnily 17. prosince roku 1903 v Kill Devil Hills ve státě Severní Karolína, poté co Wilbur a Orville Wrightovi vyřešili zásadní otázky rovnováhy, řízení a správné konstrukce křídel během výroby série experimentálních kluzáků. Vojenské letouny poháněné vysoce výkonnými pístovými motory se do akce ve větším měřítku dostaly v závěrečných letech první světové války. Komerční letecký provoz byl zahájen na počátku dvacátých let, necelá dvě desetiletí po průkopnickém vzletu bratří Wrightů, a na sklonku třicátých let už vícemotorové hydroplány s mezipřistáními křižovaly Tichý oceán. Výkonnost leteckých pístových motorů se až do konce čtyřicátých let trvale zlepšovala, jejich limity však byly jasně dané. Jejich poměr hmotnosti a výkonu byl poměrně vysoký, cyklický chod vystavoval letoun trvalým otřesům, nedokázaly vyvinout rychlost nad 600 km/h a nezvládaly lety ve vysokých nadmořských výškách, kde panují mnohdy silně turbulentní podmínky.

Vyhlídky dálkových komerčních letů se zásadně změnily s vynálezem proudových motorů a s jejich rychlým zavedením v aerolinkách. Přídavné jméno „proudový“ je ovšem zavádějící, protože tyto stroje mohou spalovat paliva

kapalná i plynná. Přesné technické označení proudových motorů zní plynová turbína. Jde – stejně jako u motorů pohánějících silniční vozidla, vlaky a lodě – o motory spalovací, liší se však od Ottova a dieselového motoru ve třech zásadních aspektech. U proudových motorů dochází nejprve ke kompresi vzduchu, k němuž je ve spalovací komoře přidáváno palivo; spalování probíhá kontinuálně a nikoliv přerušovaně; a energie proudu horkého vzduchu je čerpána turbínou, která je hřídelí spojena s kompresorem. Plynové turbíny nejprve stlačí vzduch (oproti atmosférickému tlaku 20–35×) a zvýší jeho teplotu (na více než 500 °C), než ho proženou spalovací komorou, kde se jeho teplota více než zdvojnásobí. Část energie horkého plynu roztáčí turbínu a zbytek při úniku výstupní tryskou generuje dopředný tah.

PLYNOVÉ TURBÍNY V LETECTVÍ

Samotná konstrukce prvních životaschopných prototypů proudového motoru je pozoruhodným příkladem nezávislého souběžného vynalézání, protože první prakticky použitelné proudové motory zkonstruovali na konci třicátých let 20. století Frank Whittle ve Spojeném království a Hans Joachim Pabst von Ohain v Německu. Von Ohainova verze byla poprvé otestována 27. srpna roku 1939 v experimentálním letounu Heinkel-178 a Whittleův motor poháněl experimentální stroj Gloster, jenž vzlétl 15. května 1941. Vylepšené verze těchto motorů byly do válečného úsilí nasazeny

příliš pozdě (v červenci 1944) na to, aby se nějak projevily na výsledku války.

Většina významných inovativních konstrukcí vojenských proudových motorů motivovaných potřebou stále vyšších rychlostí, letových výšek a manévrovatelnosti pochází z USA a SSSR, ale britský letoun de Havilland Comet, poháněný čtyřmi motory de Havilland Ghost, se stal prvním osobním proudovým letadlem zavedeným do pravidelného linkového provozu mezi Londýnem a Johannesburgem. Poprvé odstartoval 5. května roku 1952.

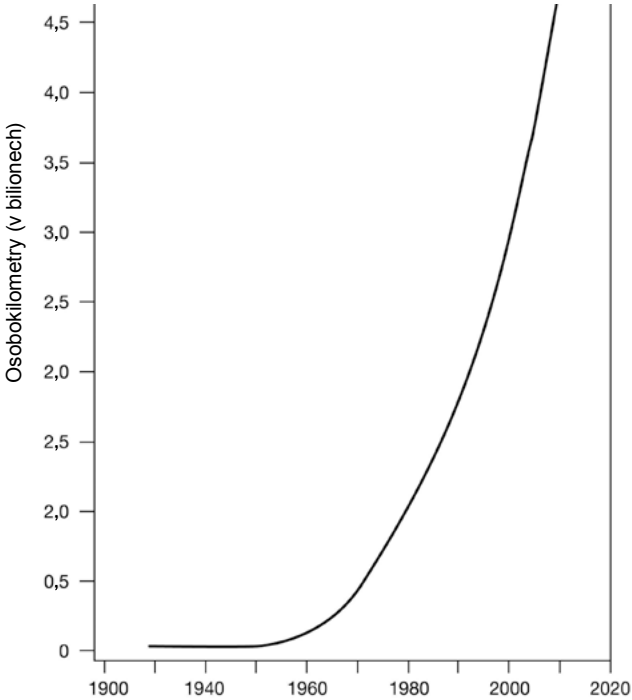
S rychlostí 640 km/h byl Comet dvojnásobně rychlejší než nejlepší komerční vrtulové letouny, unesl však pouhých 36 osob a jeho motory měly velmi slabý tah, takže byl náchylný ke ztrátě akcelerace při vzletu. Tyto nedostatky však nebyly příčinou katastrofálního konce stroje: poté co se tři letouny v letech 1953 a 1954 ve vzduchu rozpadly, byly všechny další lety Cometu pozastaveny a vyšetřování těchto fatálních nehod bylo uzavřeno s tím, že příčinou byla únava materiálu a následné roztržení přetlakové kabiny. Když v říjnu roku 1958 začal létat kompletně inovovaný Comet 4, byly už v pravidelném provozu další dva proudové stroje: sovětský Tupolev Tu-104 a Boeing 707. Model 707 byl prvním z dlouhé řady typů nejúspěšnějšího komerčního proudového letounu, mezi něž patří model 737 (nejprodávanější dopravní proudový letoun vůbec) a Jumbo 747, první proudové letadlo se širokým trupem (v pravidelném linkovém provozu od ledna 1970). Provoz tohoto obrovského letounu s maximální vzletovou hmotností

téměř 400 tun byl umožněn vývojem turbodmychadlových (dvouproudových) motorů.

Změnou komprese plynu a přidáním dalších dmychadel před kompresor jsou vytvářeny dva proudy výfukového plynu – vysokorychlostní jádrový výfuk, který je obtékán pomalejším obtokovým vzduchem, čímž je omezována hlučnost a generován vyšší tah. Zatímco proudové letouny dosahují vrcholného tahu při mimořádně vysokých rychlostech potřebných pro bojové letouny, stroje s dvouproudovými motory vrcholného tahu dosáhnou při nízkých rychlostech, což je značná výhoda pro vzlet těžkých letounů. Rychlá celosvětová expanze komerčního letectví po roce 1970 by byla nemožná bez velmi vysoké spolehlivosti a poměrně nízké spotřeby paliva dvouproudových motorů.

Specifická spotřeba kerosinu (obvykle měřená osobokilometry) se trvale snižuje a nový Boeing 787 (Dreamliner) bude zhruba o 15 % účinnější než jeho konkurenti. Přesto je spotřeba paliva při dálkových letech stále vysoká: pro transoceánský let představuje téměř 45 % (kolem 175 t) hmotnosti Boeingu 747 kerosin a čtyři motory tohoto stroje po dosažení cestovní výšky (obvykle 10–12 km nad mořem) spotřebovávají každou sekundu přibližně 3,2 kg paliva. Ze souhrnných statistik vyplývá, že v průběhu uplynulých 50 let vykazovala letecká doprava nejvyšší míru růstu ze všech způsobů dopravy. Celkové globálně nalétané osobokilometry pravidelných aerolinek přesáhly na počátku padesátých let 20. století 40 miliard a poté, co se tento ukazatel (v průměru) zdvojnásoboval každých necelých šest

let, dosáhl v roce 2000 téměř 3 bilionů a o pět roků později 3,7 bilionu (obr. 3). Služby letecké nákladní dopravy pak v roce 1950 představovaly pouhých 200 milionů tunokilometrů (tkm), ale roku 2005 dosáhly více než 140 miliard tkm, z toho téměř 90 % na mezinárodních trasách. Úhrnná spotřeba paliva v komerčním letectví představuje méně než čtvrtinu celkové spotřeby benzinu; v roce 2005 se letecký kerosin na celkové produkci rafinerií podílel zhruba 6 %, v USA to bylo přibližně 8 %.



3 | Exponenciální nárůst celkově ročně nalétaných osobokilometrů na pravidelných leteckých linkách v období let 1920–2005