

# Díl IV.

## Matematika pro každý den

*Existence života není existencí kamene,  
ale existencí víru na vodě.*

**Norbert Wiener: Kybernetika a společnost**

*Nikdo už nemůže zodpovědně říci,  
jak vlastně psi vyvinuli robota.*

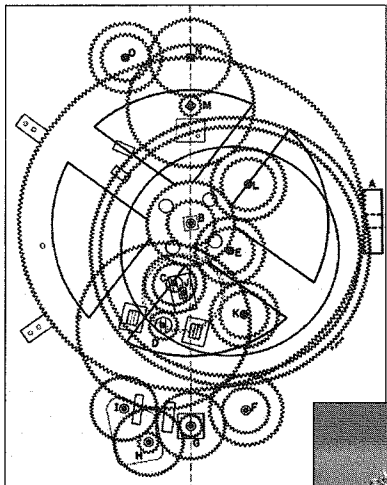
**Clifford Simak: Město**

Zatím jsme sledovali vývoj matematiky od prostého všednodenního počítání ke stále abstraktnějším strukturám pojmů a vztahů. Je to vývoj přirozený a ve svých konečných důsledcích nezbytný pro to, aby matematika mohla nabízet stále sofistikovanější řešení stále zamotanějších problémů. To ale nic nemění na pocitu laiků, že se některé partie matematiky čím dál víc vzdalují od toho, co jsou lidé běžně zvyklí vidat kolem sebe.

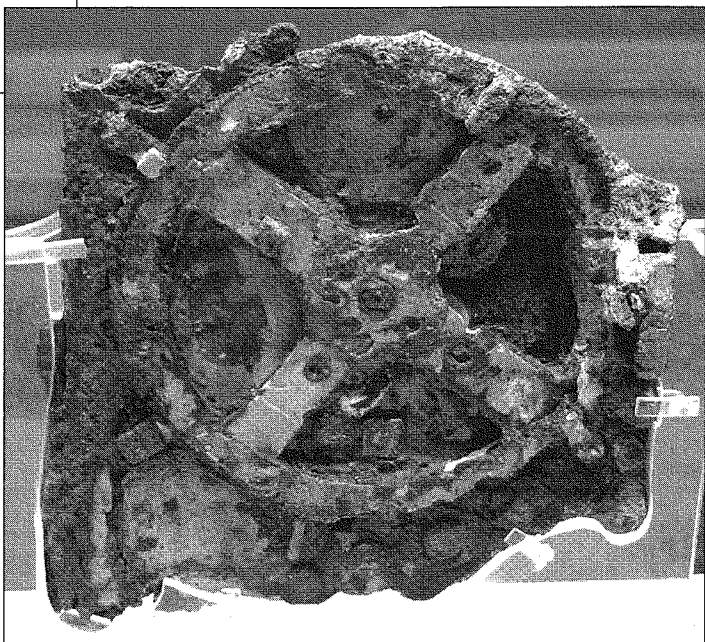
Druhá polovina dvacátého století obohatila matematiku o nový obor, který nabízí přímou cestu od matematických teorií včetně těch nej-abstraktnějších ke každodennímu životu a tak, aniž si to většina lidí vůbec uvědomuje, ukazuje jejich reálnou a naléhavou potřebnost pro obyvatele současného světa. Jmenuje se *kybernetika* a je jí věnována závěrečná část našeho příběhu matematiky. Než se jí budeme věnovat, zdůrazníme několik věcí.

Především, většina lidí má pocit, že kybernetika (a obory, které z ní vzešly) je technická věda, že v ní jde o stroje, ponejvíce počítače, a o programy, které je řídí. Jistě, bez počítačů a technických aplikací by kybernetika nebyla kybernetikou, ale právě ony jsou prostředníkem, který teorii spojuje s každodenním životem. To však nic nemění na tom, že by jí nebyla ani bez (často hodně náročné) matematiky, na které všechno ostatní v kybernetice stojí. Umělá inteligence, neodmyslitelně spojená s kybernetikou, je v podstatě jenom matematika realizovaná pomocí počítačů. Proto bude hodně témat zmíněných v této části souviset (někdy možná trochu zprostředkovaně) právě s metodami umělé inteligence. Bývá zvykem dělit kybernetiku a následně i informatiku na „teoretic-

Rekonstruované schéma mechanismu od Antikythéry...



...a jeho zbytky



kou“ a „technickou“, přičemž její teoretická odnož je především matematika. Tato kniha je o matematice, a proto se v její závěrečné části omezíme, s výjimkou několika vsuvek, na to, co kybernetika dostala právě od matematiky.

Druhá poznámka se týká výběru témat, o kterých se tady podrobněji zmíníme. Kybernetika sama o sobě vlastně není tak docela jednoduchá věda. Je to mnohem spíš jakýsi souhrn oborů, které spojuje podobný styl práce, jednotné paradigma o tom, že vnějškově velmi odlišné struktury mají společnou podstatu, a snaha zanést exaktní metody do oborů, ve kterých byly dosud opomíjeny. Proto je těžké najít jeden kořen – a jeden příběh – kybernetiky. Má víc kořenů i víc zajímavých příběhů a v historii bylo mnoho lidí, kteří ji od základů vytvářeli. Nezapomínejme ani na to, že věda dvacátého století, a to platí nejen o matematice, se stala

týmovou prací, kde se významných tvůrčích nápadů vytvořených vynalézavými jedinci okamžitě ujímá mnoho dalších, neméně tvořivých osobností, rozvíjejí je, obohacují a vedou obor kupředu. Aby se tato závěrečná část našich příběhů nestala pouhým katalogem jmen a podoborů, musíme si z klíčových okamžiků historie kybernetiky vybírat jen ty nejklíčovější a nespravedlivě opomenout mnoho velkých myšlenek a lidí.

Na závěr úvodních odstavců už jen krátce zasadíme tuto kapitolu do širších souvislostí. Kybernetika a to, co z ní vzniká, není vyústěním matematiky, ale jedním z mostů mezi matematikou a ostatními obory (vědeckými i praktickými). Matematika jde dál a půjde dál, dokud budou lidé lidmi. Včetně tvorby stále obecnějších a abstraktnějších modelů. Kybernetika je jednou z cest, po kterých se matematika dostává k lidem. Velké je na ní to, že při tom změnila svět jako sotva který obor před ní.

## 15. Kořeny

(Jak vznikala kybernetika)

Napřed si něco řekneme o začátcích kybernetiky, trochu o tom, co bylo před nimi, a také, co dává každému z jejích oborů právo počítat se za její součást nebo předzvěst.

Nuže, podle klasické definice je kybernetika „věda o sdělování a řízení v živých organismech, lidské společnosti a ve strojích“. Citát z díla Norberta Wienera, uvedený v záhlaví této části knihy, vystihuje podstatu definice zcela jasně. Pro kybernetiku není podstatná hmota, která do zkoumaných procesů a objektů vstupuje, ale struktura, kterou v nich tvoří, a zákonitosti, kterými se ona struktura řídí. Považujme to také za jeden z hlavních argumentů pro to, abychom kybernetiku vnímali jako matematickou vědu – stejné paradigma o vztahu mezi strukturami a jejich hmotnými „nosiči“ respektuje vlastně celá matematika.

Obory, které se setkávají, vzájemně prolínají, ovlivňují nebo naopak míjejí ve světě kybernetiky, se dají velmi zhruba rozdělit do třech skupin:

- vědy o řízení systémů a rozhodování,
- vědy o zpracování a přenosu informací,
- počítačové vědy v užším smyslu slova (o automatech a algoritmech).

V dalších odstavcích bude mít právě uvedené dělení spíše okrajový význam, usnadní nám ale orientaci v pojmech.

### 15.1 Dřív než kybernetika dostala jméno

Myšlenka o tom, že by mohla existovat podobnost mezi mechanickým zařízením a činností živého organismu, nebo dokonce lidského mozku existovala už poměrně dávno. Nejednalo se přitom o hrací strojky renesančních hodinářů ani podobné mechanismy ještě staršího data, jen vnějškově podobné živým vzorům, ale o zařízení, jejichž vnitřní organizace a funkce respektovala základní obecné principy automatické regulace.

V Alexandrii, přesněji v její knihovně, působil Řek Ktesibios (296 až 228 př. n. l.), který sestrojil vodní hodiny.<sup>330</sup> To by samo o sobě ještě nebylo tak výjimečné, ale ty jeho už měly automatické řízení založené na zpětné vazbě. Bylo jednoduché, ale stačilo k tomu, aby jeho hodiny regulovaly „samy“ svůj chod. A na to jsme zvyklí spíš u lidí a živočichů. Do doby jen o málo mladší patří mechanismus nalezený v roce 1900 v moři u ostrova Antikythéry. Pochází z Řecka z doby kolem roku 80 př. n. l., skládá se z 37 ozubených kol (a dalších drobných součástek) a byl schopen plnit kalendářní funkce, předvídat zatmění Slunce a Měsíce a podle některých interpretací i pohyby tehdy známých planet. Astronomický přístroj už vyžadoval přinejmenším pasivní znalost na onu dobu dost náročného počítání.

O něco později, v 11. století, žil v daleké Číně astronom, státník, kartograf a přírodovědec Su Song. Baval se konstrukcí různých mechanismů, nezávisle na Evropanech také objevil princip zpětné vazby a využíval ho v automatickém řízení svých strojků. Tady bychom si měli ujasnit jeden občas tradovaný omyl. Zpětná vazba byla zpočátku v principu technické, ale ne matematické řešení – Wattův regulátor parního stroje, plováková napouštěcí komora karburátoru a podobná zařízení, to vše vzniklo bez matematiky a obejde se bez ní. Kybernetická je na zpětné vazbě především samotná myšlenka, že by mohl neživý stroj inteligentně (a cílevědomě) kontrolovat a řídit sám sebe. V moderní teorii řízení už je ale spojená s pokročilými matematickými (hlavně algebraickými) metodami teorie řídicích systémů a k matematické kybernetice patří.

Do doby podstatně novější patří výzkumy a objevy, u kterých začínáme být opravdu na rozpacích, zda historii kybernetiky nepočítat už od nich. První z nich je dokonce spojen s jedním z našich rodáků, který ale svým životem patří o něco východněji.

**Jaroslav Hrdina** (1871–1931) se narodil v Plzni v rodině sládků ze známého pivovaru. Ještě v dětství se s rodiči odstěhoval do Ruska<sup>331</sup> a od té doby se jmenoval **Jaroslav Janovič Grdina**. Jeho otec tam přijal místo hudebníka v armádě, což znamenalo natolik zajištěnou existenci, že Jaroslav mohl studovat na vysoké škole. V roce 1884 se stal báňským inženýrem, nějakou dobu sbíral zkušenosti a nakonec se v roce 1900 usadil na Ukrajině, na Vyšším hornickém učilišti v Jekatěrinoslavi. Tam pak vydržel po zbytek života. Byl úspěšným vedoucím katedry mechaniky, vychoval řadu schopných inženýrů, přežil první světovou a pak i občanskou válku včetně revoluce mezi nimi a přejmenování města na Dněpropetrovsk. Po revoluci byl nějaký čas dokonce vládním poradcem pro budování nových závodů, krátce byl děkanem fakulty a rektorem univerzity – zkrátka, prožil život úspěšného vysokoškolského učitele.

<sup>330</sup> Nejenom je. Proslul vynálezy založenými na proudění a tlaku vzduchu. Slovo „pneumatický“ se odvozuje od výrazů použitých v jeho spisech. Některé jeho technické nápady převzali například Heron z Alexandrie a architekt Marcus Vitruvius Polio (asi 70–25 př. n. l.).

<sup>331</sup> Car se tehdy rozhodl zvýšit úroveň vojenských kapel a Jaroslavův otec byl nejen sládek, ale také nadšený muzikant, a díky tomu i jeden z těch, kdo přijali pozvání.

Kromě toho ale trávil čas bádáním. Začal zkoumat lidské a živočišné tělo jako mechanické zařízení, končetinu po končetině a kloub po kloubu. Kosti bral jako páky, svaly jako pomocné motory,<sup>332</sup> šlachy jako táhla, klouby jako pohyblivé spoje. Mezi roky 1898 a 1924 o tom napsal a vydal dvacet sedm odborných článků,<sup>333</sup> bohužel psaných většinou předrevolučním pravopisem ruštiny.

Norbert Wiener, označovaný za „otce kybernetiky“, o Grdinově práci věděl. Dokonce na ni upozorňoval a na prvním mezinárodním kongresu IFAC<sup>334</sup> v roce 1960 v Moskvě označil Grdinu za zdroj, který ho inspiroval k prvním úvahám o kybernetice. Grdinova práce v sobě skutečně měla hodně kybernetického – zkoumala společné struktury technických zařízení a živých organismů. Na rozdíl od pozdější kybernetiky se ale Grdina soustředil na čistě mechanické struktury a prakticky pominul řízení a přenášení informací v nich, zajímal ho jen přenos sil. Nevytvořil také novou matematickou teorii. Matematiku ale ve své práci přirozeně využíval a především za nápad s analogií mezi strojem a biologickým organismem si zmínku zaslouží.

Poslední, o kom se v této podkapitole zmíníme, je rumunský lékař Stefan Odobleja (1902–1978), žijící v Paříži. V roce 1938 uveřejnil knihu,<sup>335</sup> ve které je celá řada kybernetických myšlenek a principů. Je jich dokonce tolik, že ho někteří autoři označují za skutečného „otce“ kybernetiky deset let před Wienerem.

Po Odoblejovi už přišli na řadu vlastní tvůrci kybernetiky a týmy jejich blízkých spolupracovníků. Byli mezi nimi matematici, inženýři, biologové, lékaři i ekonomové.

## Heslo XVI. Mechanické kalkulátory

I když je tato kniha věnována matematice a tento díl teoretické kybernetice, není dost dobře možné zcela ignorovat i výpočetní techniku, která s ní souvisí a kterou kybernetika používá jako nezbytný nástroj nebo ji vytváří jako realizaci svých teorií. V několika vsuvkách se proto budeme stručně zmiňovat i o ní. Následující odstavce budou o té nejstarší a vesměs předkybernetické.

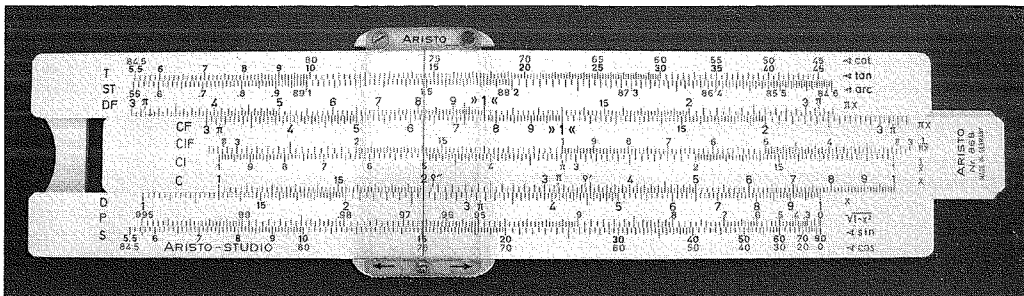
S prvními výpočetními pomůckami, abaky, jsme se už setkali. Vydržely s lidmi hodně dlouho a teprve poměrně moderní doba přinesla něco dokonalejšího. Novověk pak přinesl opakované pokusy o sestrojení mechanických kalkulátorů, z nichž některé byly úspěšné. Jednalo se o přístroje, které usnadňovaly počítání (nad některými z nich máme

<sup>332</sup> Čímž nevědomky zavedl pojem servomotoru o nějakých třicet až čtyřicet let dřív, než to v roce 1934 udělal H. L. Hazen v práci *Theory of Servo-Mechanisms*.

<sup>333</sup> Některé se dosud dají najít v knihovnách, z dalších už známe jen názvy, když se na ně v pozdějších pracích odvolával. Události, které se za tu dobu přehnalý Ukrajinou, se před univerzitními knihovnami rozhodně nezastavily.

<sup>334</sup> *International Federation of Automatic Control*, významná mezinárodní organizace pro automatické řízení.

<sup>335</sup> S. Odobleja: *Psychologie consonantiste*. Paříž. 1938 a 1939.

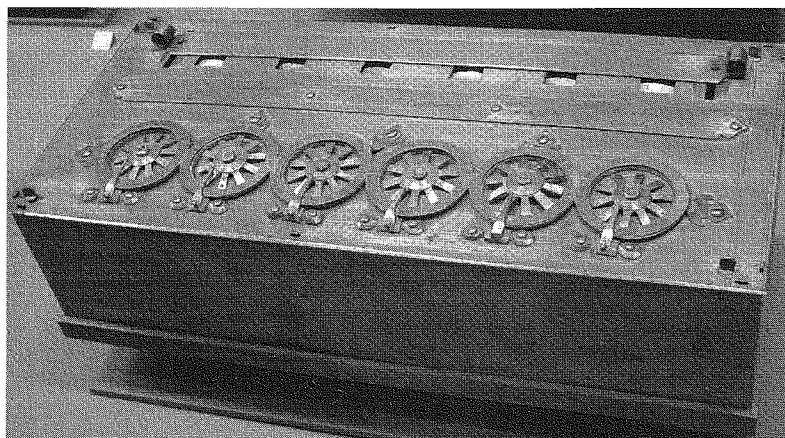


Logaritmické pravítko

pocit, že snad ani moc ne), a proto si tady zaslouží stručné připomenutí. Neměli bychom však zapomínat, že použitelnost při výpočtech z nich ještě vůbec nedělá součást kybernetiky, stejně jako ji nedělala z abaků. K tomu by bylo třeba, aby v takových výpočetních pomůckách probíhaly vnitřní řídicí procesy, nebo aby v nich byla přenášena a zpracovávána data. Jinými slovy, aby byly programovatelné. I to se v závěrečné fázi vývoje mechanických výpočetních pomůcek vyskytlo, a my na to upozorníme.

První dostatečně novověká, zato ale účinná výpočetní pomůcka byla sice také mechanická, ale jinak, než si většina lidí obvykle představuje – jedná se o *logaritmické pravítko*. Obvykle ho máme v myšlenkách spojené s inženýry konce devatenáctého a prvních dvou třetin dvacátého století, kterým sugestivně vyčnívalo z náprsní kapsičky bílého pláště, je ale mnohem starší. Z kapitoly o funkcích víme, že je roku 1623 sestrojil anglický duchovní William Oughtred, bez nadsázky se dá říci, že bez něj by to měla technická a průmyslová revoluce nesrovnatelně těžší. Ani na něm ale nic kybernetického není.

Za tvůrce prvních novodobých mechanických kalkulátorů s ozubenými kolečky a páčkami bývají (obvykle v závislosti na národnosti posuzovatelů) označováni dva matematici, Francouz Blaise Pascal a Němec Gottfried Wilhelm Leibniz. Pascal přišel se svým kalkulátorem časově dříve – už v roce 1642. Byla to dřevěná skříňka s řadou samostatně nast-



Pascalův kalkulátor, pro každý řád jedno nastavovací kolečko

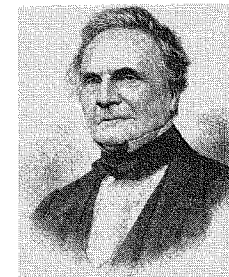
vitelných ozubených koleček na horní stěně. Leibniz vytvořil svůj stroj až o dost později – v roce 1671, je na něm ale znát, že vznikl nezávisle na Pascalově konstrukci. Jeho principy, například osa s několika ozubenými kolečky, se ve zdokonalených modifikacích využívaly v mechanických kalkulačkách až do posledních desetiletí dvacátého století.

Spor o prvenství má však trochu nečekané vítěze. Už v roce 1623 sestrojil profesor univerzity v německém Tübingenu Wilhelm Schickard (1592–1635) fungující počítačový stroj, který uměl počítat, odčítat a násobit. Podle nákresů, dochovaných v univerzitním muzeu, se v roce 1900 podařilo sestrojiti fungující repliku. Ještě před ním doběhl do cíle slavný všeučel Leonardo da Vinci (1452–1519). V jeho poznámkách se zachoval nákres mechanického kalkulátoru a v moderní době byl také podle da Vinciho nákresu sestrojen fungující exemplář.

Mechanické početní pomůcky se sice postupně mírně zdokonalovaly, jejich princip ale zůstal beze změny a jejich užívání moc rozšířené také nebylo. Nejspíš proto, že zručný a zkušený účetní nebo komputista byl levnější a rychlejší.<sup>336</sup> Teprve kolem poloviny devatenáctého století vzniklo zařízení, které si poprvé, přestože se jednalo o čistě mechanický přístroj, zaslouhuje název „počítač“. Bylo výsledkem téměř neuvěřitelné fantazie, vynalézavosti a tvůrčí odvahy.

Jeho autor, **Charles Babbage** (1792–1871), absolvent univerzity v Cambridgi, se začal kolem roku 1820 zajímat o výpočetní mechaniky a v roce 1822 navrhl zařízení, které nazval *analytický stroj*. Od návrhu k přesnému plánu byla ještě dlouhá cesta, takže hlavní nákresy stroje dokončil až v roce 1839.<sup>337</sup> Stroj byl výrobně náročný, pravděpodobně na hranicích možností tehdejších mechaniků. Babbage byl však houževnatý člověk, sháněl podporu od státních nadací i soukromých mecenášů a vytrvale pracoval. Státní podpora byla zastavena v roce 1832, on ale soukromě a s přestávkami pokračoval do roku 1842, pak stavbu stroje zastavil, ale dál promýšlel a vylepšoval plány jeho dalších částí. Znovu zkusil pokračovat se stavbou po roce 1854 a definitivně nedokončenou práci zastavil, s trpkým pocitem, až kolem poloviny šedesátých let.

On sám byl zajímavá osobnost. Narodil se v Londýně v rodině bankéře, matematika ho zajímala natolik, že ji napřed studoval sám, dokonce tak dobře, že po nástupu na univerzitu zjistil, že o matematice už ví víc, než jeho učitelé. Brzy po úspěšném zakončení studia se stal vedoucím katedry matematiky v Cambridgi. Je zajímavé, že se matematiku učil z „kontinentálních učebnic“, čímž jsou patrně míněny učebnice podle Leibnizova pojetí infinitezimálního počtu. V tehdejší Anglii, kde se ještě nezapomnělo na spor mezi Newtonem a Leibnizem, to byl



Charles Babbage

<sup>336</sup> Není se co divit, například první klávesnice se objevily až v roce 1901.

<sup>337</sup> Časové údaje jsou nejisté a v různých pramenech se liší. Není to ani tak tím, že by nebyl znám sled událostí, jako spíš tím, že se časově prolínaly. V době, kdy Babbage dokončoval návrhy některých částí, už dávno pracoval na výrobě jiných a další teprve ideově domýšlel. Proto se může zdát, že se některé časové údaje kolem jeho práce vylučují. Ve skutečnosti spíš zachycují různé etapy konstrukce jednotlivých částí stroje.

projev intelektuální nezávislosti, ale také objektivitu. Byl zřejmě organizačně zdatný a navíc „spolkařský“ typ, takže spoluzakládal Astronomickou společnost, založil Analytickou společnost, která podporovala výuku kontinentální matematiky, byl aktivní ve Statistické společnosti.

Stroj, který navrhl a vymyslel, měl mít funkce, jež se znovu vynořily až s konstrukcí moderních elektromechanických a elektronických počítačů a mají nesporně kybernetické rysy. Především byl programovatelný (musel tedy mít paměť – programy byly zaznamenány na perforovaných kartách z tvrdého papíru, jaké se tehdy už používaly v Jacquardových tkalcovských stavech). Program se mohl větvit (to znamená, že obsahoval logické kroky a instrukce a tím nutně i zpětné vazby), stroj umožňoval přeskoky na různá místa programu, některé části programů mohly probíhat paralelně a postup výpočtu byl řízen sekvenčně.

I když Babbage celý stroj nedokončil, zůstaly po něm funkční fragmenty. Švédský tiskař a zdatný technik Georg Scheutz je koupil, uvedl do chodu a úspěšně používal při tisku matematických, navigačních a úrokových tabulek, které stroj počítal s dosud nevídanou přesností. Díky tomu získal Scheutz dokonce i vládní zakázky od Velké Británie a USA a navíc slušnou proslulost.

Když se blížilo dvouleté výročí Babbageova narození, rozhodlo se londýnské Muzeum vědy stroj podle dochovaných nákrešů a hotových částí dokončit. Práce začaly v roce 1985 a po jejich dokončení v roce 1991 vzniklo fungující zařízení sestavené ze 4 000 součástek a vážící 3 tony. V roce 2000 pak dokončili i tiskárnu (také podle Babbageova plánu). I ona má 4 000 součástek, váží 2,5 tony a také funguje.

Při vyprávění o Babbageovi není dost dobře možné vynechat ještě jedno jméno. Přesněji, protože jde o ženu, která se časem vdala, je těch jmen víc. **Augusta Ada Lovelaceová** (1815–1852) se narodila jako Byronová, když se v roce 1835 vdala, získala příjmení Kingová, po roce 1838, kdy byl její manžel povýšen do šlechtického stavu, měla titul hraběnka Lovelaceová (přesně tedy The Right Honourable Augusta Ada, Countess of Lovelace). Ani před tím nepatřila do nevýznamné rodiny – její otec byl známý básník Lord Byron.

Hrála velmi dobře na piáno, nosila dlouhé sukně vyztužené mnoha spodničkami, konverzovala v salonech a byla první programátorkou na světě – o nějakých sto let dřív, než takové povolání a jeho název vůbec vznikly. V roce 1834 se na večírku u paní Somerwillové<sup>338</sup> seznámila s Charlesem Babbagem a jeho myšlenka na počítačový stroj ji zaujala. Uvědomila si něco, co tehdejší doba ještě plně nestrávila – že se totiž objevila (jakkoli vzdálená) naděje na umělou inteligenci. Při svém uměleckém založení si představovala počítačové skládání hudby a rozhodla se Babbagovi pomáhat. Naučila se matematiku a začala připravovat

<sup>338</sup> Mary Fairfax Somerwillová (1780–1872), ve své době označovaná za „královnu anglické vědy“, byla velká podporovatelka vědců. Hojně překládala vědecké spisy, hlavně astronomické, ve svém salonu pořádala setkání intelektuálů, velmi dobře znala matematiku a Somerwill College v Oxfordu se jmenuje podle ní.

programy (říkali jim „plány práce“) pro ještě nedostupný počítač. Při tom prohlubovala i své matematické znalosti, od roku 1841 dokonce pod vedením Augusta de Morgana. S Babbagem spolupracovala skoro až do svého skonu, tedy i v době, kdy už stavbu stroje postupně vzdával a omezoval se na přípravu (a vylepšování) konstrukčních plánů.

Je pravda, že hraběnka Ada nebyla vhodný příklad pro autory výchovných knih pro mládež. Její aféry s muži byly pověstné, vínu holdovala mnohem víc, než by se hodilo, a její sázení na dostihy stálo rodinu celé jmění.<sup>339</sup> Je ale také pravda, že Ada několik let umírala na rakovinu dělohy a ve věku, kdy měla prožívat největší společenské úspěchy, procházela utrpením psychickým i fyzickým. Sledovala, jak odcházejí její síly i svěžest, a věděla, že s tím vším musí dojít až na dno. Na jejích fotografiích z posledního období je už jenom vyhublá a bledá troska dříve příjemné a energické ženy.

Ta žena ale dokázala něco, co se povede jen málokomu. Z ničeho stvořila způsob myšlení a typ tvůrčí práce, které až po mnoha desítkách let znovu objevili programátoři dvacátého století. Měla svůj velký sen o strojích, jež budou skládat krásnou hudbu. Snad ji v posledních okamžicích slyšela.



Ada Lovelaceová v roce 1838, bylo jí 23 let, už pět let pracovala s Babbagem a podle paní de Morganové „...prokazovala krásu i inteligenci...“

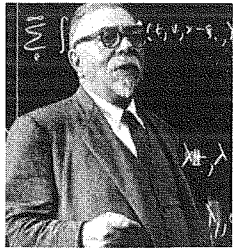
## 15.2 Kdo kybernetiku pojmenoval

Protože kybernetika vznikla vlastně setkáním několika poměrně různých oborů, bude přesné určení doby jejího vzniku vždy tak trochu věcí dohody. Jedna událost se však pro to nabízí – rok, kdy nový obor dostal své jméno. Stalo se tak krátce po druhé světové válce, v roce 1948, kdy vyšla kniha Norberta Wienera *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and Machine* (český překlad *Kybernetika neboli sdělování a řízení v živém organismu a ve stroji* vyšel až v roce 1960), ve které se poprvé vyskytuje pojem kybernetika v dnešním smyslu slova.<sup>340</sup>

Kniha navázala na dřívější časopisecké publikace, takže hodně historiků považuje za okamžik zrodu kybernetiky už článek tří autorů, Norberta Wienera, mexického lékaře-psychologa Arturo Rosenbluetha a Wienerova asistenta, elektroinženýra a matematika Juliana Bigelowa, nazvaný *Behaviour, Purpose and Teleology* (Chování, účel a teleologie)

<sup>339</sup> Podle životopisců po jejím skonu manžel zlikvidoval víc než 100 milostných dopisů. On sám se prý jednou vyjádřil, že Ada nepije víno k jídlu, ale místo jídla. Po její smrti zdědila rodina 2 000 liber hráčekých dluhů. Na tu dobu neuvěřitelnou částku.

<sup>340</sup> Budme spravedliví. Samotné slovo použil, i když v trochu jiné souvislosti, už slavný fyzik André Marie Ampère (1775–1836), když v roce 1834 navrhl klasifikaci věd a nazval tak dosud neexistující, ale jím předpovězenou vědu o řízení lidské společnosti (kybernetes κυβερνητης je řecké pojmenování kormidelníka).



Otec kybernetiky  
Norbert Wiener na MIT  
na přelomu čtyřicátých  
a padesátých let

z roku 1943.<sup>341</sup> Ti tři jsou (se značným důrazem na Wienerovy nesporné zakladatelské zásluhy) všeobecně označováni za zakladatele oboru. Pro to si zaslouží, abychom se s nimi seznámili o něco lépe.

**Norbert Wiener** (1894–1964) patřil k lidem, kteří asi nejvíc ovlivnili podobu a zvyky dvacátého století a zřejmě i dost dlouhého období po něm. Narodil se v ortodoxní židovské rodině v americkém Missouri (v městečku, které se jmenuje Columbia), ale ještě jako dítě se přestěhoval s rodiči do Harvardu. Jeho otec Leo Wiener tam po dost pestrém životě zakotvil na univerzitě jako učitel slovanské literatury.<sup>342</sup> Často se uvádí, že šlo o rodinu ruských emigrantů, ale není to tak docela pravda. Se svou manželkou z německé rodiny usdlé v USA se Leo Wiener seznámil až v Americe a rodina byla jednoznačně americká. Nicméně Norbert si od otce odnesl do života přinejmenším základy ruštiny.

Norbert Wiener sám sebe v prvním dílu svých pamětí označil za zaračné dítě, a měl zřejmě pravdu. Otec ho od raného dětství začal učit sám a teprve v sedmi letech ho posílal do školy (rovnou do třetí třídy, vzápětí byl přeřazen do čtvrté). Učitel si zřejmě nevěděl s žákem mnohem mladším než ostatní, a přitom nesporně nadaným radu a na jeho chování to bylo znát. Nakonec začal mít Norbert potíže se zrakem, natolik vážné, že několik měsíců nesměl číst. Otec ho proto zase vzal na dost dlouhou ze školy a učil ho doma jen ústním výkladem – dokonce i matematiku, ve které to je hodně obtížné. Do školy se Wiener vrátil v devíti letech (hned na vyšší stupeň) a v jedenácti ji úspěšně dokončil – spolu s osmnáctiletými spolužáky.<sup>343</sup>

Byl hned přijat na vyšší střední školu Tuft College a tu ukončil ve čtrnácti letech. V následujícím roce nastoupil na Harvard a začal, dost překvapivě, studovat zoologii. Brzy, hned v dalším roce, přešel na filozofii, krátce si odskočil studovat na Cornellovu univerzitu, ale studia dokončil zase na Harvardu v osmnácti letech, doktorátem za disertaci o matematické logice.

Pak si vyjel na studijní pobyt do Evropy, putoval tam po věhlasných univerzitách a navštívil při tom také Bertranda Russella, Davida Hilberta a několik dalších známých matematiků. Situace v Evropě ale houstla, světová válka (zatím ta první) byla za dveřmi a Wiener se raději vrátil domů dřív, než původně zamýšlel. Za války pracoval pro General Electric a hned po ní začal přednášet na světoznámém MIT (Massachusetts

<sup>341</sup> Slovo „teleologie“ tady znamená (poněkud filozoficky zabarvené) studium principů řízení a účelového jednání. S později naroubovanými připomínkami kreacionistického „inteligentního designu“ článek nesouvisel.

<sup>342</sup> Leo Wiener se narodil v tehdejší Rusku (přesněji v polském Białystoku, ale Polsko tehdy jako stát neexistovalo), začal studovat a nedostudoval medicínu ve Varšavě a techniku v Berlíně, pak odešel do USA, pracoval na farmě i v továrně, učil němčinu a nakonec zakotvil u slovanských jazyků na Harvardu.

<sup>343</sup> Studium mladšího, mimořádně inteligentního chlapce mezi prakticky dospělými a nejspíš průměrnými spolužáky znamenalo především izolaci nejen od vrstevníků, ale i od mládeže jen o málo starší a uzavření do sebe a svého světa. Připočteme-li k tomu život ortodoxní židovské rodiny ve snobském prostředí Harvardu, dá se soudit, že malý Norbert prožil dětství, které ho poznamenalo i do budoucna – našťastí ne osudově.

Institute of Technology). S malými přestávkami tam vydržel po zbytek života, od roku 1931 jako řádný profesor.

I kdyby se nestal „otcem kybernetiky“, rozhodně by se jako matematik neztratil. Aktivně rozvíjel teorii pravděpodobnosti a náhodných procesů,<sup>344</sup> topologii, zabýval se lineárními prostory, teorií potenciálu, teorií čísel, teorií integrálu, analytickými funkcemi a výčet by mohl pokračovat. Vesměs jde o obory, které patří v matematice k těm nejnáročnějším a které v jeho době nabíraly solidní tempo. Napsal také dva díly pamětí, v roce 1959 vydal román *Pokušitel* a v roce 1964 ještě další román *Bůh & Golem*. Jeho populární kniha *Cybernetics and Society*, z roku 1950, seznámila (a smířila) s kybernetickými principy nematematickou vzdělanou veřejností.<sup>345</sup>

Během světové války (tentokrát už druhé) spolupracoval na vývoji počítačů, a nebyl by to on, kdyby problémy, na které při tom narazil, nepojal obecněji – jako problémy řízení a sdělování v jakýchkoli systémech, nejen těch elektronických. Tak vznikl, ve spolupráci s Arturem Rosenbluethem a Julianem Bigelowem, v roce 1943 slavný zakladatelský článek a v roce 1948 kniha, která kybernetice dala nejen jméno, ale i (trochu rozostřené) hranice.

Na Norberta Wienera si občas rádi vzpomenou autoři, kteří potřebují ukázat pošetilost génů nebo střelenost matematiků (a naznačit tak těm ostatním, že vlastně mají štěstí, když matematiky ani génii nejsou). Není to spravedlivé a ani pravdivé. Wienerovy zvyklosti a chování v práci i soukromí byly, zvláště vzpomeneme-li si na jeho dětství a mládí, až překvapivě běžné a integrita jeho osobnosti pozoruhodná. Jistě, byl geniální a věděl to, stejně jako to věděli lidé kolem něj. Vytvořil vědní obor, který už za jeho života měnil svět, byl díky tomu velmi slavný a pohovořit si s ním považovali za čest významní státníci i vědci. Při tom ale své slávě nepodleh. Věděl sám nejlépe, kolik práce bylo za vším, co udělal. Výrok „Matematika je tvrdý sport“ pochází od něj, a právě on moc dobře věděl, o čem mluví – svou genialitu nepoužíval k tomu, aby si práci usnadňoval, vždy pracoval na hranici svých možností. Lidé, kteří ho dobře znali, vyprávěli o tom, jak často prožíval nad svou prací vnitřní nejistotu, jak často potřeboval povzbuzení a ujištění, že to, co dělá, má smysl. Do pozdního věku přitom hýřil originálními nápady.

Pravda, vyprávějí se i zábavné historky o tom, jak po přestěhování do nového bytu bloudil ulicemi a hledal domov, jak čas od času zabloudil v neznámých městech a byl nejistý v neznámém prostředí. Měly svůj důvod – po vleklých chorobách v dětství a celoživotních problémech se zrakem měl Wiener potíže s prostorovou orientací. Často se také soustředil na svou práci natolik, že nevnímal okolí. Ale to všechno byly drobné epizody v životě člověka, který od dětství do konce života nepřetržitě

<sup>344</sup> Jeden z nich se dodnes jmenuje *Wienerův bílý šum*.

<sup>345</sup> *Česky Kybernetika a společnost*, 1962.

podával strhující intelektuální výkony. Ty drobné a nijak časté úsměvné historky k Wienerovi patří a nejspíš se při nich nakonec bavil stejně dobře jako jeho okolí. Rozhodně v něm má kybernetika důstojného otce. Ale vraťme se ke dvěma zbývajícím spoluautorům zakladatelského článku.

**Arturo Rosenblueth** (1900–1970) pocházel z Mexika, takže se podle tamních zvyklostí jmenoval vlastně **Arturo Rosenblueth Stearns**, kde druhé příjmení patřilo matčině rodině. Pod oním slavným článkem je ale podepsán „zkrácenou verzí“ svého jména a také je tak všude (kromě mexických pramenů) uváděn. Narodil se v provincii Chihuahua, medicínu vystudoval na Universidad de Mexico a věnoval se výzkumu ve fyziologii tak slibně, že v roce 1930 získal stipendium Guggenheimovy nadace pro pobyt na Harvardu.

Strávil tam patnáct let a během pobytu v USA se seznámil nejen s Wienerem, ale i s mnoha dalšími z budoucích slavných kybernetiků. On sám se zabýval neurofyziologií, hlavně přenosem signálů v nervovém systému, a k tomu potřeboval dobře znát zákony přenosu informace a vlastnosti nejistoty, která je s ním spojena. Potřeboval rozumět teorii informace, to znamená také teorii náhodných procesů a přílehlým oblastem matematiky. Nakonec to dopadlo tak, že matematiku i přednášel.<sup>346</sup> V té době se také seznámil s Julianem Bigelowem a spolu s ním a s Wienerem napsali proslulý článek o chování, účelnosti a teleologii. Kromě toho organizoval semináře o neurologii z hlediska matematických modelů struktur, zpětné vazby a přenosu signálů v neuronové síti.

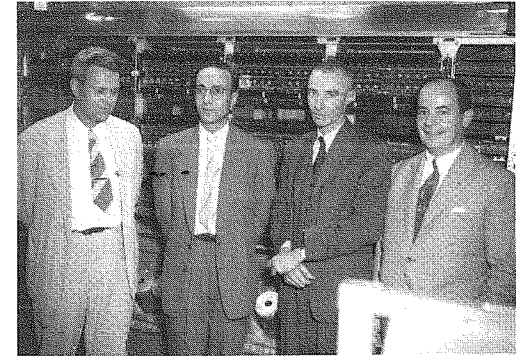
Když se Rosenblueth v roce 1945 vracel do rodného Mexika, aby se stal vedoucím nového oddělení neurofyziologie v Národním institutu kardiologie, přijížděl již jako uznávaný vědec. Doufal, že vytvoří pracoviště, kam budou jezdit lidé jako Wiener, americký neurofyziolog Warren Sturgis McCulloch (1899–1969), který současně s ním vytvářel základy neurofyziologické kybernetiky,<sup>347</sup> nebo Walter Bradford Cannon (1871 až 1945), který měl podobné zásluhy, ale slova „kybernetika“ už se nedožil. Nakonec se věci vyvinuly spíš tak, že Rosenblueth jezdil do Spojených států (dlouhodobě tam byl v letech 1947–1949 a pak 1951–1952) s podporou různých stipendijních nadací.

Dlouhé pobyty v USA nic neměnily na uznání, kterého se Rosenbluethovi v Mexiku dostalo, ani na spolehlivém zázemí, které tam vždy měl. Jeho všestrannost a mezinárodní renomé nakonec přispěly k tomu, že se stal hlavou Národního centra pro vědecký výzkum a pokročilá studia (CINVESTAV), hlavní vědecké instituce v Mexiku. Čtvrt roku po ukončení práce v této funkci a odchodu do důchodu zemřel.

<sup>346</sup> Pokud to někomu připadá málo všestranné, tak ještě přednášel také muzikologii.

<sup>347</sup> Vytvářel je i nezávisle na něm. Práce *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, kterou McCulloch napsal spolu s logikem zaměřeným na kognitivní psychologii Walthrem Pittsem (1923–1969), vyšla také v roce 1943, dodnes je považována za zakladatelskou práci teorie neuronových sítí a pro kybernetiku za prakticky rovnocennou slavné práci trojice Wiener, Rosenblueth, Bigelow. Její záběr je ale pěci jen užší a specializovanější.

Čtyři slavní: Julian Bigelow  
Herman Goldstine (spolutvůrce ENIACu),  
Robert Oppenheimer („otec“ atomové bomby),  
John von Neumann



Zbývá ještě poslední a nejmladší ze slavné trojice. **Julian Bigelow** (1913–2003) byl jedním ze zakladatelů a průkopníků počítačového inženýrství, a díky tomu i kybernetiky a informatiky. Vystudoval elektrotechniku a matematiku na MIT a za druhé světové války asistoval Wienerovi při výzkumu automatického řízení protiletadlové palby. Když po válce v roce 1946 začal matematik John von Neumann v Princetonu práci na digitálních počítačích, přibral do týmu i Bigelowa jako „inženýra“. Jejich počítač IAS považují někteří autoři za první skutečně digitální počítač. Protože von Neumann jeho konstrukční schéma nepatentoval, vzniklo poměrně rychle asi patnáct „klonů“ a mezi počítačovými odborníky panuje shoda v tom, že principy uplatněné v IAS je možné snadno rozpoznat ve všech pozdějších digitálních počítačích.

Myšlenka společných základních struktur komunikace a vzájemného ovlivňování (včetně řízení) v mechanických, biologických a elektronických zařízeních Bigelowovi vyhovovala. Kromě jiného byl společný článek z roku 1943 přímým impulsem pro založení Teleologické společnosti (v té době ještě slovo „kybernetika“ nikdo nepoužil a teleologie se jevila jako dobrý název pro nový vědní obor) a Bigelow byl jejím aktivním členem. Dožil se oslnivého rozvoje kybernetiky i počítačů a zemřel v Princetonu v úctyhodném věku devadesáti let.

#### Heslo XVII. Elektronické počítače

Dostali jsme se ke vzniku kybernetiky, ta je pro mnoho lidí synonymem slova počítač. Víme už, že to není úplně výstižné – kybernetika je především náročná matematická teorie, bez elektronických počítačů by ale měla mnohem těžší uplatnění a některé z jejích významných výsledků by byly v praxi nepoužitelné. Proto si stručně připomeneme, jak počítače vznikaly a vyvíjely se.

Nejdřív se musíme vžít do situace vědy, především fyziky a matematické fyziky, v první polovině dvacátého století. Dnešním pohledem vypadá dost exoticky. Její převratný vývoj měnil vnímání světa, jaderná fyzika, teorie relativity, teorie potenciálu nebo kvantová mechanika (a mnoho dalších oborů včetně statistiky, meteorologie nebo demografie) zkoumaly náročné matematické modely složitých jevů a při jejich

ověřování musely provádět komplikované a dlouhé výpočty. K tomu měly k dispozici vlastně jen mechanické kancelářské kalkulačky s jediným elektrickým prvkem – malým motorkem, který otáčel ozubenými kolečky. Kalkulačky obsluhovali lidé, kteří se v řešených problémech vůbec neorientovali. Mnohdy to byli penzionovaní účetní, již navíc mívali své návyky. Například rádi počítali jen na dvě desetinná místa a někteří si to nechtěli nechat vymluvit. To volalo po zásadním řešení a předchůdci kybernetiky s ním začínali pěkně z gruntu.

První počítačové vlašťovky se objevily o něco dřív, než vznikla kybernetika, a přidávaly nové nápady k dosavadním mechanickým nebo elektromechanickým kalkulátorům.<sup>348</sup> Postupně je doplňovaly o drobná vylepšení a nové vtipné nápady. Některé měly děrnou pásku s daty, ale neměly vnitřní paměť, další byly stavěny jen na velmi úzký okruh specializovaných úloh (a řešily je pomocí něčeho, co se stále víc podobalo programu), jiné nahradily čistě mechanická ozubená kolečka a vačky elektrickými relé. S vědomím blížící se války (a tím spíš po jejím začátku) však rychle rostla potřeba výkonných automatických přístrojů pro řízení palby, navigaci a další technickou podporu náročné lidské činnosti, ke slovu stále víc přicházela elektronika.

Už v roce 1932 byl zkonstruován specializovaný stroj pro balistické výpočty s některými vlastnostmi počítače. V roce 1941 sestrojil v Německu Konrád Zuse (1910–1995) automatické číslicové počítače Z2 a Z3 (pracoval na nich od roku 1936 a oba byly za války zničeny). V Z3 bylo zapojeno 2 500 telefonních relé, byl programovatelný, program se zapisoval na děrované filmové pásce, počítal ve dvojkové soustavě s pohyblivou desetinnou čárkou, měl řadič a vlastní jednoduchý programovací jazyk s programovými „slovy“ o 38 bitech. Vesměs vlastnosti obvyklé u počítačů z mnohem pozdější doby. V roce 1943 vyvinul Howard Hathaway Aiken (1900–1973) ve spolupráci s IBM stroj MARC I, sice osazený relé, ale s řadou počítačových vlastností.<sup>349</sup>

Poměrně známý je příběh rozlomení německé vojenské a námořní šifry Enigma za druhé světové války.<sup>350</sup> V anglickém venkovském sídle Bletchley Park na něm tehdy ze všech sil pracovala skupina logiků, lingvistů a inženýrů. Použili při tom zařízení nazvané Bomba, které navrhl matematik Alan Turing, a po čase, v roce 1943, Max Newman a Tomy Flowers (1905–1998), pořád ještě v Bletchley Parku, sestrojili programovatelný elektronkový počítač Colossus, ve kterém také využívali Turingovy myšlenky. Oba počítače byly na příkaz vojáků po válce rozebrány a plány spáleny.<sup>351</sup> Turing prý věděl o Babbageově stroji.

<sup>348</sup> Elektromechanické kalkulátory využívaly elektrické přepínače (relé), tím představovaly jakýsi předstupeň na cestě k elektronice.

<sup>349</sup> V dialektu počítačových konstruktérů se jim v češtině říká spíš „relátka“. Ani ne tak z něhy, jako spíš proto, že existuje několik důvodů, pro které by měla být co nejmenší.

<sup>350</sup> ENIGMA byl mechanický šifrovací stroj. Otáčela se v něm (přestavitelná) ozubená kola a rozhodně nešlo o počítač. Nabízel ale takové množství různých šifer, že nebyla šance si s nimi „ručně“ poradit.

<sup>351</sup> Zdá se, že zdravý rozum tentokrát slavil přeci jenom úspěch. Na internetu před časem pro-

O digitálních počítačích IAS jsme se už zmínili v souvislosti s Julianem Bigelowem. Podle některých zdrojů to byly první digitální počítače, datování jejich vzniku je ale trochu rozkolísané.

Nejčastěji bývá za první elektronický počítač označován až americký ENIAC, osazený elektrickými prvky. Na Pensylvánské univerzitě ho vyvíjeli od roku 1940, první výpočty na něm proběhly v listopadu 1945 a oficiálně byl představen veřejnosti v únoru 1946. Byl mohutný, dlouhý kolem 50 metrů, s dvaceti řadami indikačních světylek na ovládacím panelu a spotřebou proudu, která by uživila střední elektrárnu. Od února 1946 se oficiálně datuje počítačový věk – alespoň v některých publikacích. Po přečtení předchozích odstavců člověka nejspíš napadá, že prvenství ENIACu je možná tak trochu věcí konvence a dobrých „public relations“ Pensylvánské univerzity. Konec konců, v poměrně plynulém procesu vývoje počítačů bylo žádoucí někde vyznačit „bod nula“, a proč ne u ENIACu.

K úzkému kruhu konstruktérů prvních počítačů patřil také náš krajan, kybernetik světového jména i formátu. **Antonín Svoboda** (1907–1980) se narodil v Praze, vystudoval Fakultu strojního a elektrotechnického inženýrství ČVUT a také matematiku na Přírodovědecké fakultě UK a roku 1936, v atmosféře blížící se války, narukoval. Ani na vojně se od výzkumu nevzdálil – pracoval na vývoji automatického zaměřovače pro protiletadlové kanony.

Vývoj, skoro dokončený, přerušil Mnichov a pak okupace. Svobodovi se podařilo, opravdu na poslední chvíli a jen o pár dní dřív, než po něm šlo gestapo, vycestovat v roce 1939 do Francie, která v tu chvíli ještě nebyla ve válce s Německem. Z Francie se na začátku války dostal i s rodinou do Portugalska, pak do Casablanky a nakonec do USA, kde našel práci na MIT. Tam pracoval v týmu, který vyvíjel první počítače. On sám se podílel na vývoji Marc56, přístroje pro řízení protiletadlové střelby na válečných lodích, úspěšně se v něm prosadil a za zásluhy o záchranu životů amerických námořníků dostal vysoké námořnické vyznamenání. Jeho spolupracovníci ho na konci války požádali, aby společné objevy jejich týmu shrnul do knihy. Vyjádřili tím uznání jeho všestranným znalostem a podílu, který na vývoji počítačů měl – všem bylo jasné, že půjde o přelomovou publikaci. Knihu dokončil v roce 1946, to už byl zpátky v Praze, a jednalo se o absolutně první knihu o počítačových vědách, která byla na světě napsána.

Svobodovi ale nepomohlo ani to, že jeho práce byla přeložena do několika desítek jazyků, ani vysoké odborné renomé, které v Americe získal – sny o rozvoji počítačů v Československu, se kterými se po válce vracel do vlasti, rázně ukončil politický vývoj. Jeho tým ve Výzkumném ústavu matematických strojů ještě, přes vleklé administrativní potíže, spustil v roce 1957 první československý reléový počítač SAPO a v ro-

běhla zpráva, že skupina nadšenců Bombu rekonstruovala a postavila její repliku. Musely se tedy zachovat alespoň její plány. Na dostupných fotografiích jsou vidět ozubená kola i elektronické součástky – nejspíš se jednalo o jakousi hybridní konstrukci.



Antonín Svoboda krátce po válce v kresbě kolegy



ce 1964 první elektronkový počítač EPOS,<sup>352</sup> nedostupnost důležitých součástek však nedovolila udržovat tempo s vývojem počítačů ve světě. To, spolu s politickými ústrky, nakonec vyhnalo Svobodu v roce 1964 podruhé do USA. Přednášel na Kalifornské univerzitě, vychoval desítky předních počítačových odborníků, podle ústních zpráv, které o něm občas pronikly do Československa, také spolupracoval s NASA při přípravě letů k planetám. V roce 1977 odešel do důchodu a o tři roky později v Portlandu zemřel.<sup>353</sup> U nás doma se o něm a jeho práci nesmělo až do roku 1990 psát ani mluvit, jeho výsledky nebylo možné citovat a mladší generace informatiků snad ani nevěděly, že existoval.

Zbývá ještě jeden pojem, který bychom si měli objasnit. Stalo se zvykem dělit vývoj počítačů, nebo alespoň jeho první etapy, na „generace“. Uvedme si pro úplnost jejich přehled.

Při maximálním zjednodušení se dá počítač popsat jako hustá síť z vodičů, v jejichž uzlech jsou výhybky, které směřují elektrické signály do různých vláken. Pro rozdíly mezi jednotlivými generacemi počítačů bylo dlouho primární, jak jsou ony výhybky konstrukčně řešeny.

V prvních počítačích, ještě ne tak úplně elektronických, byla ve výhybkách relátka. Počítače založené na takové technologii bychom mohli označit za *nultou generaci*. Byly hlučné, pomalé (v měřítku počítačového věku) a poruchové, protože se relé rychle mechanicky opotřebovávala. Proto se časem ukázalo výhodnější zapojit do počítačů místo relátek elektronky, přesněji diody. Počítače na bázi elektronek tvořily *první generaci*. Přepínání v diodových výhybkách bylo mnohem rychlejší, nicméně každá elektronka je v podstatě vakuová baňka s elektrodami, kterou je třeba zahřát a udržovat na provozní teplotě. Je to energeticky náročné a i při krajní miniaturizaci diod trval start počítače mnoho hodin.

Situace se změnila, když byl vynalezen tranzistor. Stalo se to v roce 1947 v Bell Telephone Laboratories a za objev dostali Walter Houser Brattain (1902–1987), John Bardeen (1908–1991) a William Bradford Shockley (1910–1989) v roce 1956 Nobelovu cenu za fyziku. Vedle nich bývá, hlavně v souvislosti s počátky výzkumu, zmiňován také Robert Gibney (\*1911). Počítače osazené tranzistory tvoří *druhou generaci*. Tranzistory jsou mnohem menší a současně mnohem rychlejší než nejmenší diody a energetické nároky snížily na nepatrný zlomek dosavadního stavu. Výpočty se díky nim tak zrychlily, že omezujícím faktorem v nich přestaly být výhybky oné konstrukční sítě a začaly jím být vodiče, přesněji jejich délka. Závod o miniaturizaci byl odstartován.

Vyplatilo se umístit co nejvíc tranzistorů na co nejmenší plošku protkanou tištěnými spoji. Tak vznikly integrované obvody a s nimi počíta-

<sup>352</sup> Jelikož Svoboda neměl přístup ke kvalitním zahraničním součástkám, použil konstrukční princip, který umožňoval udělat z nekvalitních součástek spolehlivé zařízení (důležité bloky v něm byly ztrojeny a o mezivýsledcích „hlasovaly“). Stejnou metodu později použili Američané při počítačovém zajištění prestižní expedice Apollo k Měsíci.

<sup>353</sup> Symbolický byl i jeho skon. V ten den, 18. května 1980, otiřál výbuch sopky Mount St. Helene krajinou v okolí Silicon Valey, působišti mnoha jeho úspěšných žáků.

če *třetí generace*. Integrovaný obvod vyvinuli nezávisle na sobě dva lidé. Ve firmě Texas Instruments se to v roce 1958 podařilo Jackovi St. Clair Kilbmu (1923–2005) a ve firmě Fairchild Semiconductors uspěl v roce 1961 Robert Noyce (1928–1990). V roce 2000 dostal Kilby (který byl přeci jenom rychlejší) také Nobelovu cenu.

Tím se dostáváme ke čtvrté generaci počítačů, osazené mikroprocesory. Za tvůrce prvního mikroprocesoru je označován Ted Hoff (\*1937) od firmy Texas Instruments a stalo se tak v roce 1968. Pro počítačový věk je typické, že na trhu se tento *počítač-v-jednom-čipu*, jak ho nazval Hoff, objevil už v roce 1971, pod označením Intel 4004. Pokud jde o součástky, byl vynález mikroprocesoru technologicky zatím poslední „velký skok“. Je pravda, že se v prognózách počítačové budoucnosti jeden čas vyskytovaly počítače *páté generace*, zůstalo ale u výhledů a vývoj šel jinudy.<sup>354</sup>

Někdy během „života“ třetí generace se linie počítačů začala větvit. Do té doby existovaly vlastně jen velké sálové počítače, obsluhované speciálními týmy. S integrovanými obvody a mikroprocesory se začaly objevovat počítače pro běžné uživatele – elektronické kalkulačky a osobní počítače. Na druhé straně pak specializované počítače s do té doby netušenou výpočetní silou, pracovní stanice a superpočítače. Každá „vývojová linie“ rozvíjí své technologie (založené na mikroprocesorech a jejich propojování) a dělení na generace ztrácí smysl.

## 16. Anatomie kybernetiky (Hlavní kybernetická odvětví)

Žádný z hlavních proudů kybernetiky by nevznikl, dokonce ani nedostal pevné obrysy bez solidního matematického zázemí. Současně ale existoval a existuje i opačný směr ovlivňování mezi kybernetickými metodami a matematikou. Vždy tady byla skupina matematických problémů souvisejících s praktickými potřebami, o kterých se sice v zásadě vědělo, jak je řešit, ale bylo málo efektivní na řešení pracovat. Metody, které by vedly k cíli, byly tak složité a výpočetně náročné, že se vymykaly praktickému použití a nikdo, snad kromě snilků, je tedy skutečně důkladně nestudoval. To se s rozvojem počítačů začalo rychle měnit. Kategorie výpočetně nezvládnutelných problémů se rychle posouvá. Na jedné straně taje prakticky před očima, takže se teoretickému matematickému výzkumu vyplatí pracovat na jejich dokonalém zvládnutí, na druhé straně ale přibývají kvalitativně nové problémy, tak složité, že donedávna nikoho ani nenapadlo zkusit k nim vytvářet (třeba i zatím jen čistě teoretické) modely. Takový posun nastartovaly kybernetické (mnohdy technické) metody. Právě v kybernetice a ve vědách, do kterých

<sup>354</sup> Výhledy se příliš netýkaly technologie součástek, ale toho, co by příslušně masivní počítač měl umět (dorozumívat se v přirozeném jazyce, sám si dopracovávat rámcově zadané programy a podobně).

se převtělila, především v informatice, je vidět těsná symbióza mezi zdokonalováním technických vlastností existující výpočetní techniky, rozvojem (většinou dost abstraktních) matematických oborů, které poskytují teoretické zázemí pro úlohy, kterými lidé výpočetní techniku zaměstnávají, a do třetice také potřebami nematematických a netechnických oborů lidské činnosti i poznání, které si čím dál víc uvědomují, jak silné nástroje jim matematika (prostřednictvím kybernetiky) nabízí.

Při studiu sdělování a řízení v živých organismech, lidské společnosti a ve strojích se uplatnily (někdy hodně nečekaně) matematické teorie do té doby považované za zcela nepraktické výstřelky abstraktního myšlení – teorie čísel, Boolova algebra, funkcionální prostory, vícehodnotové logiky, mnohodoménové prostory a celá řada dalších. Jiné matematické teorie navíc nově vznikly díky tomu, že kybernetika formulovala otázky, na které ještě nebyla v matematice připravena ucelená a vnitřně konzistentní odpověď.

O třech matematických teoriích, které odstartovaly celá odvětví kybernetiky, a o jejich místech ve vývoji kybernetického myšlení si v této kapitole povíme trochu podrobněji. Nezapomínejme přitom, že reprezentují řadu dalších, i když možná méně nápadných matematických myšlenek, bez kterých by kybernetika nebyla to pravé a jejím uživatelům by něco důležitého chybělo.

### 16.1 Regulace, řízení a rozhodování

Pokud jde o technická řešení, je řízení a jeho metody nejspíš nejstarší částí z oborů, které jsou do kybernetiky zařazovány – mnohem starší než kybernetika sama. K úplně nejstarším principům (teoretickým a současně i praktickým) automatického řízení patří *zpětná vazba*.

Už jsme se setkali s alexandrijským Řekem Ktesibiem a jeho vodními hodinami a se Su Songem v daleké Číně. Každý z nás asi slyšel o Jamesi Wattovi (1736–1819) a regulátoru činnosti parního stroje z roku 1765. Nebyl jediným zpětnovazebním zařízením v parních strojích – regulace napouštění vody do kotle přes plovákový ventil k nim patří také. Nástup průmyslové revoluce byl vůbec silným impulsem pro tvorbu regulačních a řídicích zařízení, z nichž mnohá ukazovala směrem ke kybernetice dlouho před tím, než jako vědní obor vznikla. Jednalo se však vesměs o zařízení technická nebo převážně technická. I když se od devatenáctého století začalo i automatické řízení opírat o matematickou teorii a její vrcholná část, teorie (řídicích) systémů, už vznikla v rámci kybernetiky, je s ní těsně spojená a je opřena o silné matematické zázemí.

Právě v teorii systémů, již vlastně v rámci kybernetiky, dobře vynikla vazba mezi podstatou regulace technických a biologických systémů, které si nezávisle na sobě všimlo několik badatelů. Těžko bychom pro ně hledali lepšího reprezentanta než Williama Rosse Ashbyho (1903 až 1972). Vystudoval psychiatrii, poměrně rychle se ale zmatematizoval (zkybernetizoval) a svou vědeckou dráhu věnoval studiu složitých systémů a jejich regulaci. V roce 1948 Ashby navrhl princip *homeostatu*,

zařízení schopného dosáhnout takzvané *ultrastability systému* (nazval tak stabilitu i při velkých vnějších zásazích). Je také autorem *Ashbyho zákona*, matematické a matematicky dokázané věty určující minimální potřebný počet stavů regulátoru, který má řídit systém s daným počtem vnitřních stavů.

Regulace systémů ale nebyla jediná kybernetická disciplína, která mířila k optimálnímu rozhodování a jeho pravidlům. O něco později než první technické automaty, ale pořád ještě o hodně dřív než kybernetika, vznikaly modely ekonomických jevů a procesů, zejména trhu, případně vztahu mezi produkcí a spotřebou, s jasným úmyslem zajistit jejich vhodnou regulací stabilitu a rovnováhu ekonomiky. Už Daniel Bernoulli ze slavné matematické rodiny se v osmnáctém století zabýval pojmem užítka, Francouz Léon Walras (1834–1910) vytvořil první matematický model rovnováhy mezi cenami, nabídkou a poptávkou a italský sociolog, ekonom a filozof Wilfredo Pareto (1848–1923) matematicky studoval principy optimálního rozhodování. Všichni přitom nejen spoléhali na matematiku, ale také k ní přispěli novými výsledky. Matematika se v jejich pracích, asi poprvé, zabývala lidským chováním, a od toho už ke kybernetice není daleko.

Jen o několik málo let předešly vznik kybernetiky další dva obory. Vznikly v atmosféře, kdy už kybernetický pohled na svět alespoň latentně existoval, příští tvůrci kybernetiky pracovali na jejích východiscích a bylo jen otázkou času, kdy nová věda dostane své jméno a vnitřní řád. Tehdy vznikl *operační výzkum*.<sup>355</sup> Stalo se tak na začátku druhé světové války, zpočátku jako metoda zpracování statistických dat pro účely optimálního rozhodování, ale postupně do něj byly zařazovány další a další matematicko-ekonomické a optimalizační postupy a dále také vyspělé metody zpracování dat, které tak mohou být díky sjednocující motivaci vnímány jako relativně ucelený přístup k optimalizačním problémům, i když se od sebe často dost liší.

O málo později, ale také ještě za války, vznikla matematická *teorie her*. Formálně vzato zakladatelská kniha autorů Johna von Neumanna a Oscara Morgensterna (1902–1977) *Theory of Games and Economic Behaviour* (Teorie her a ekonomického chování) vyšla v roce 1944, tedy před vznikem termínu kybernetika, ale po Wienerově, Rosenbluethově a Bigelowově významném článku. Díky tomu je dodnes jedním z argumentů pro názor, že kybernetický způsob myšlení se už dral na svět a jen čekal, kdo mu dá jméno. Teorie her je patrně první čistě matematická teorie o způsobu, jakým se lidé rozhodují ve složitých a konfliktních situacích. Nemá nic společného s radami hazardním hráčům, kterými na sebe kdysi upozornil počet pravděpodobnosti, ani se spekulacemi psy-

<sup>355</sup> Název má svůj důvod. Operační výzkum vznikl za 2. světové války současně (a koordinovaně) v USA a Velké Británii pro využití matematiky při přípravě válečných operací. Řešil a vyřešil problémy optimální velikosti námořních konvojů (malé byly nenápadné, velké zase lépe vyzbrojené), taktiky při bombardování (nízko nebo z velké výšky, plošné nebo cílené), materiálového zajištění válečných operací a podobně.

chologických statistik. Spíš nabízí ucelenou a účinnou analýzu rozumného cíleného rozhodování v případě, kdy výsledek celé situace závisí na rozhodování několika různých subjektů, přičemž každý z nich respektuje jen své vlastní požadavky na konečný rezultat.

Kromě zavedení pojmového aparátu odpovídá na dva typy otázek – jak se má chovat hráč, aby konečný výsledek (ovlivněný i ostatními hráči) pro něj dopadl co nejlépe, a kdy ve hře existují stabilní – rovnovážné – situace, které žádný z hráčů už nemůže a hlavně nechce bez rizika změnit. První z obou otázek studovali a vyřešili už von Neumann s Morgensternem ve své knize a mnoho dalších autorů jejich výsledky dál rozvedlo. Účinně přitom posunuli kupředu i řešení modelů rovnovážného ekonomického růstu. První, neúplná odpověď na druhou otázku, tu o existenci stabilních situací, je ve von Neumannově a Morgensternově knize také. Skutečný průlom do jejího řešení ale udělal až John Forbes Nash na samém konci čtyřicátých let. Oba přístupy k teorii her, i když se to s ohledem na použitou terminologii nezdá, daleko překračují obzor ekonomických modelů a zasahují do překvapivě mnoha oblastí lidské činnosti. Od vojenství přes psychologii chování, sociologii a politologii až po sport.

Protože teorie her je nesporně přínosem kybernetiky matematice a jejím nástrojům (některé věty teorie her posunuly i matematické výsledky, na které navázaly), zaslouží si, abychom si o dvou z jejích tvůrců řekli něco bližšího.

Jednou z osobností, které spojují „předkybernetické“ a „kybernetické“ období matematiky, představuje vynikající a všestranný matematik, kterého v dějinách moderní vědy není možné přehlédnout. Je v nich uváděn jako **John von Neumann** (1903–1957), narodil se ale v Budapešti jako Neumann János, a pokud chceme respektovat maďarské zvyky, tak by jeho plné jméno mělo znít Márgittai Neumann János Lajos. Ona kosmopolitní transmutace jména měla objektivní i subjektivní důvody a on sám k nim přispěl jen částečně. Jeho otec byl významný a úspěšný bankéř, jmenoval se Max Neumann (maďarsky vlastně Neumann Miksa), a za zásluhy byl (dědičně) povýšen do šlechtického stavu. Sám titul nepoužíval, ale jeho syn János, doma mu říkali Janczi, si ho převedl na německý ekvivalent a začal ho u svého jména psát. Když před druhou světovou válkou odešel do USA, bylo pro jeho kolegy nestravitelné nejen ono familierní Janczi, ale dokonce i oficiální János, takže mu mezi sebou říkali Johnny. Aby nemusel pořád vysvětlovat, jak to s těmi jmény vlastně je, raději při získání amerického občanství přijal jméno John také oficiálně.

Už jako dítě byl geniální – vypadá to, že kybernetika geniální lidi přitahovala. Měl dokonalou paměť, v šesti letech žertoval s otcem ve starořečtině a pro pobavení návštěv se uměl rychle naučit z paměti stránku z telefonního seznamu. Není proto divu, že byl také vynikající student s širokými zájmy. Postupně prošel univerzitami v Budapešti, Vídni a Currychu a je zajímavé, že tam nestudoval matematiku, ale chemii. Teprve po dokončení studií si uvědomil, že matematika ho baví víc.

S podobným příběhem jsme se v předchozích kapitolách setkali už několikrát – Wiener začal původně studovat zoologii, Banach techniku, Wilkosz orientální jazyky, Kolmogorov studoval na chemické fakultě, dokonce i Russell začal především s filozofií a „politickou filozofií“, a teď von Neumann začíná od chemie. Přitom všichni (a mnozí další) od začátku směřovali k matematice, bavila je a také je lákala. Přijďme si k tomu Rosenbluetha a Ashbyho, kteří sice nejspíš opravdu chtěli být původně lékaři, ale nakonec se našli v matematice, takže k ní vztah zřejmě měli. To už nevypadá na náhodu – kolem přelomu devatenáctého a dvacátého století se nejspíš mladým a nadaným lidem zdálo, že „velký úklid“ v matematice je víceméně hotov, směry postupu narýsovány (Hilbert je dokonce spočítal a vyšlo mu jich 23), ví se, kudy dál, revoluční změny jsou vlastně dokončeny a vymetání posledních pavučin z koutů už se obejde docela dobře i bez nich. Teprve když se během dalších studií rozhlédli po moderní matematice, viděli, kolik příležitostí a otevřených cest v ní na tvořivé a odvážné typy čeká. Kybernetika měla štěstí, že některé z těchto nekonvenčních a talentovaných lidí zachytila.

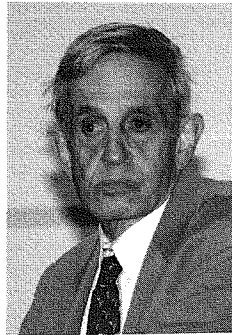
V roce 1930 dostal von Neumann pozvánku do USA a hned v příštím roce tam začal přednášet na univerzitě v Princetonu. Formální pozice v Göttingenu se vzdal až po nástupu fašismu, v roce 1933. Neumannovi byli židovská (i když ve věcech víry spíš hybridní) rodina, a přestože János konvertoval už v roce 1930 ke katolicismu, stále spadal pod Norimberské zákony. Do Maďarska ale mohl jezdit, a jezdil do roku 1937.

V USA prožil kariéru úspěšného vědce. Kromě naprosto mimořádných odborných kvalit byl také společenský, uměl navazovat kontakty a vtipně konverzovat, na večírcích býval duší společnosti, a co je podstatné – uměl o hodně odborných otázkách srozumitelně mluvit i s politiky a finančníky. To mu vedle univerzitní kariéry otevřelo také cestu ke členství v nejrůznějších vládních a hospodářských komisích či výborech.

Jeho matematická kariéra byla pozoruhodná a rozhodně za ni nevděčil úspěšným večírkům. Měl brilantní mozek a nesmírně rychle se orientoval v problémech, takže se pohotově věnoval i velmi odlišným částem vysoké matematiky. Díky širokým znalostem mohl současně vytvářet abstraktní teorie i přicházet s řešením aplikovaných problémů, a nikdy to nebyla řešení laciná. Významně přispěl k teorii funkcionálních prostorů a topologii. Teorií her vlastně navázal na své a Morgensternovy předchozí matematické modely ekonomické rovnováhy. Na jeho jméno jsme už také narazili při zmínce o počátcích digitálních počítačů. Když se v padesátých letech ocitl svět uprostřed studené války a dost často i na pokraji té horké, byla jedním ze stabilizujících faktorů paradoxně i takzvaná „rovnováha strachu“ – ta slova naznačovala zhruba vyváženou schopnost obou stran zničit soupeře atomovými údery. Silným argumentem v ní byla metodika pro optimální zacílení jaderných zbraní, kterou vypracoval s použitím kvalitní matematiky von Neumann a vytvořil tak protiváhu k výhodě rozlehlého území Sovětského svazu. Je ne-



Janczi, známější jako John von Neumann



John Forbes Nash  
v roce 1994

jen možné, ale dokonce dost pravděpodobné, že tím přispěl ke zmrazení atomové hrozby.

Druhé z jmen, o kterých si řekneme něco víc, už tady také zaznělo. **John Forbes Nash** (\*1928) se narodil v Západní Virginii a po absolvování Carnegie-Mellonovy univerzity byl jako mimořádně nadaný student přijat v roce 1948 do Princetonu na postgraduální studium. V té době se tamní prostředí vyznačovalo vědeckými hvězdami i hvězdnými čekateli (dotkli jsme se toho při vyprávění o Kurtu Gödelovi) a Nash se mezi nimi neztratil. Upozornil na sebe díky teorií her, ke které hned v roce 1949 ve své disertaci připojil důležitou větu o zaručené existenci smíšených rovnovážných strategií. Bez nadsázky se dá říci, že tím posunul celou teorii o několik pater výš a nesmírně obohatil také její aplikace. Svět si ho po zásluze všiml, byl pozván k přednášení na MIT a čekala ho oslnivá kariéra.

V té době ho však potkala osobní tragédie. Začala tím, že se choval čím dál podivněji, při přednáškách črtal na tabuli nesmyslné shluky čar a písmen, mezi přednáškami bloumal osaměle po areálu univerzity, vykládal kolemjdoucím cosi o zvláštním posláním (někdy kosmickém, jindy náboženském), které mu bylo svěřeno, nebo zkoušel cestovat po světě za zmatenými cíli. Situace začala být neúnosná a psychiatři se shodli, že se jedná o paranoidní schizofrenii. Poměrně brzy ztratil schopnost komunikovat s okolím i s rodinou a deset let strávil v různých psychiatrických léčebnách. I když se jeho rodina vlastně rozpadla, nepřestala ho manželka hmotně podporovat a jen díky její starostlivosti měl tak kvalifikovanou péči, že mohl po deseti letech strávených v ústavech odejít do soukromí. Další deset let žil v univerzitním areálu v Princetonu, kde osaměle bloumal mezi pavilony a budil úsměvy i posměch studentů, kteří mu přezdívali Fantom.

Pak se stalo něco neuvěřitelného – k překvapení všech, včetně psychiatrů, se začal uzdravovat. Jednou znenadání v univerzitním parku pozdravil svého lékaře a přátelsky s ním pohovořil. Dokonce pochválil jeho dceru, kterou večer předtím viděl v jakémsi televizním pořadu. O něco později už smysluplně komunikoval s okolím, začal se zajímat o svou práci a s údivem se dozvěděl, že je autorem jednoho ze dvou nejslavnějších výsledků teorie her a že díky němu ovlivnil celou řadu věcí, od teorií ekonomické rovnováhy po výpočet žebříčků ve sportovních soutěžích. Postupně se zapojoval do výzkumu i plnohodnotného života.

Jeho osud nezůstal bez povšimnutí. Byla o něm napsána kniha, divadelní hra o něm se hrála na Broadwayi a film dokonce získal cenu Americké filmové akademie, slavného Oscara.<sup>356</sup> Ještě větším oceněním pro Johna Nashe bylo udělení Ceny Švédské banky na počest Alfréda

<sup>356</sup> Knihu napsala Sylvia Nasar a jmenuje se *A Beautiful Mind* (Čistá mysl), divadelní hra podle oné knihy se jmenuje *Proof* (Důkaz) a film režiséra Rona Howarda, nazvaný stejně jako kniha a s hercem Russellem Crowem v hlavní roli, dostal Oscara v roce 2000. John Nash byl při předávání ceny v hledišti a přítomné celebrity spontánně povstaly, když na něj moderátor upozornil.

Nobela za přínos k ekonomickým vědám.<sup>357</sup> Z rukou švédského krále ji převzal (spolu s J. C. Harsanyim a R. Seltenelem) v roce 1994.

Teorie her byla první matematická teorie rozhodování, která se přinejmenším rozvíjela pod přímým vlivem kybernetiky. Postupně k ní přibývaly některé další a kybernetické, to znamená matematické, metody se od té doby v ekonomickém výzkumu rychle prosadily.

## 16.2 Data a informace

Spolu s řízením a rozhodováním je mezi hlavními tématy kybernetiky také sdělování a vše, co k němu patří, tedy i sběr, uchování a přenos dat. Jsou to témata, která do matematiky vstoupila až s kybernetikou, a je třeba přiznat, že jejich vazba na náročnou a obecnou matematiku je nejspíš ještě těsnější než u věd o řízení.

Většinu pozornosti v této podkapitole věnujeme teorii informace, jinými slovy teorii přenosu zpráv. Než se do toho ale pustíme, neměli bychom vynechat alespoň stručnou poznámku o nosiči oné informace, totiž datech. Nebudeme se tady zabývat jejich fyzikální nebo hmotnou podobou, to patří do technické kybernetiky. Pro matematickou práci s daty je důležité něco jiného – jejich kvalita ve smyslu jistoty, která je s jejich hodnotami spojena.

Matematika má pověst vědy, na kterou se dá spolehnout – pracuje s přesnými údaji a poskytuje přesné výsledky. Při pohledu zvenčí to tak může vypadat, pokud ale má být matematika používána pro řešení reálných problémů a na základě údajů převzatých „ze života“, musí se smířit s tím, že nabízené údaje nebudou vždy ideálně přesné a že budou spojeny s určitou nejistotou. Ani pak nesmí matematika ztratit svou spolehlivost a musí i z takových dat vytěžit vše, co se z nich vytěžit dá.

V minulých částech této knihy jsme se už setkali s náhodou a s teorií pravděpodobnosti – matematikou, která našla přesné nástroje pro práci s nepřesnými a nejistými náhodnými veličinami. Důležitou roli přitom, dlouho před vznikem kybernetiky, hráli lidé, jako byli Cardano, Pascal, de Fermat a také Kolmogorov, který se dvacet let po vzniku své teorie pravděpodobnosti s kybernetikou setkal a dokonce přispěl k její teorii složitosti. Jiným typem nejistoty, se kterou se uživatelé matematiky setkávali mnohem dřív než s kybernetikou, byla *nepřesnost*. I s ní si matematika dovedla brzy poradit (časem používala to, co se naučila o náhodě) a i tady by nám měla znít povědomě jména jako Bayes nebo Gauss a jeho metoda nejmenších čtverců.

Až po vzniku kybernetiky – a vlastně ještě později, poté co se začala „ve velkém“ používat v matematických modelech jevů, které do té doby matematickému zpracování úspěšně unikaly – bylo stále zjevnější,

<sup>357</sup> Stejná cena byla za pokrok v teorii her udělena také v roce 2005 R. J. Aumannovi a T. C. Schellingovi. Jak už název naznačuje, nepatří mezi původní Nobelovy ceny (vyplácené z výnosu jeho pozůstalosti), je ale udělována stejným mechanismem a předávána stejným ceremoniálem, ve stejné době a se stejnou vážností.

že náhoda nevystihuje každou nejistotu, se kterou se lze v reálných datech setkat, a že pravděpodobnost nemusí být přiměřený nástroj pro matematické zvládnutí nejistých vstupních údajů za všech okolností. Tehdy se v pokročilých aplikacích kybernetiky vynořily dva další typy nejistoty, jejichž podstata není v nahodilosti, ale v jiných vlastnostech dat, a na které se proto dost dobře nehodí nástroje teorie pravděpodobnosti.

I když se v obou případech jedná o vlastnosti reálných praktických dat, nespokojila se kybernetika s povrchním popisným modelem, ale sáhla až k základům matematiky, k teorii množin, aby si s novými typy nejistoty poradila. Už teď je zřejmé, že to byl postup nejen správný, ale také jediný možný.

První z obou typů nejistoty, které dlouho unikaly pozornosti, je *vágnost*. Nazýváme tak nejistotu, která vzniká při užívání přirozeného jazyka k zadávání vstupních dat do matematických algoritmů. Její podstata není v náhodě, ale v „neostrosti“ významu slov běžného jazyka, kterými data zavádíme, a nápadná začala být v úlohách, které souvisejí s umělou inteligencí.<sup>358</sup> Pojem, na kterém je postaven její matematický model, se jmenuje *fuzzy množiny*<sup>359</sup> a z něj jsou odvozeny další důležité pojmy, hlavně *fuzzy logika* nebo *fuzzy čísla*.

Teorii fuzzy množin vytvořil v roce 1965 americký matematik narozený v arménském Baku v manželství ruské lékařky a íránského novináře Lotfi Asker Zadeh (\*1922). Už jako dítě s rodiči emigroval, napřed do Íránu a pak do USA, tam vystudoval matematiku a dlouho působil na univerzitě v Berkeley. Ještě než založil teorii fuzzy množin, stal se známým a úspěšným odborníkem v teorii řízení. Jeho fuzzy množiny se v posledních desetiletích staly jedním z bouřlivě rozvíjených odvětví matematiky s dnes už nepřehledným množstvím aplikací a novými výsledky přibývajícími impozantním tempem.

Druhý typ nejistoty, který se vynořil až s rozvojem kybernetiky a jejími daty, je hodně mladý. Tak mladý, že ještě ani nemá ustálený název, ale snad by bylo možné ho nazvat *granulace*. Zatím je ve stádiu hodně abstraktní teorie, využívané především pro výzkum v teorii množin. Nicméně už dnes se dá čekat, že se v popisech jistého druhu nejistot uplatní. Pro práci s ním navrhl v roce 1991 polský matematik Zdzisław Pawlak (1926–2006) pojem *hrubé množiny* (vžil se spíš anglický název *rough sets*). Svým způsobem představuje pro teorii množin novou a dost převratnou myšlenku. Množina byla až dosud vždy definována pomocí svých prvků – buď jako jejich výčet, nebo pomocí nějaké vlastnosti, jejíž splnění rozhoduje o tom, že konkrétní prvek do množiny patří nebo nepatří. Pawlakovy hrubé množiny nejsou definovány prostřednictvím svých prvků, ale (mírně zjednodušeně řečeno) pomocí třídy některých

<sup>358</sup> Nejde jen o přibližné údaje typu „asi...“, „mezi... a...“ nebo „velký“, „rychle“, „hodně“, ale také o těžko přesně vymezené charakteristiky jako „fialový“, „přiměřeně“ nebo logické výroky začínající slovy jako „možná...“, „skoro jistě...“, „zpravidla...“ a jim podobné.

<sup>359</sup> Slovo „fuzzy“ v angličtině zhruba znamená „rozmazaný“, „mlhavý“, „případně“, „matný“.

jejich podmnožin a třídy (také některých) množin, které leží zcela mimo ně. Budou proto vhodným nástrojem k matematickému modelu nejistých jevů, které nemají individuální, ale „skupinovou“ nebo „množinovou“ povahu.<sup>360</sup>

Hrubé množiny jsou zatím poslední matematický nástroj pro práci s nejistými daty, a uvidíme, jestli budoucnost přinese (nebo špiš zda si vynutí) další.

Naši pozornosti by neměla uniknout jedna skutečnost, na kterou jsme už stručně upozornili o několik odstavců výše. Data jsou na první pohled „technický“ nebo také „praktický“ pojem. Nesou skutečné znalosti a jsou zaznamenána ve hmotném nosiči. Zdálo by se, že netvoří strukturu ve smyslu toho, co čekáme od matematiky, a že na nich budou kybernetiku zajímat hlavně jejich fyzikální vlastnosti. Přesto je kybernetika modeluje pomocí matematiky, a to pomocí té nejzákladnější a nejabstraktnější, jaká je k dispozici, totiž obecných základů teorie množin.<sup>361</sup> Totéž se dá říci o teorii sdělování, chápané jako teorie přenosu dat. Při prvním setkání s jejím názvem většina lidí očekává, že se seznámí s vysloveně technickou disciplínou – k tomu účelu sestavené zařízení přenáší vhodně upravená data. Ale ani tady se kybernetika nespokojila s tím, že by technický proces „napodobila“ specializovanými pojmy. *Teorie informace* vznikla jako matematická věda, opřená o teorii pravděpodobnosti a teorii náhodných procesů. Kolmogorovo moderní pojetí teorie pravděpodobnosti, založené na teorii míry, jí k tomu nabídlo účinné nástroje, se kterými se nemusela omezovat na počítání „příznivých“ výskytů toho či onoho jevu, ale mohla jít na samu podstatu věci. Díky tomu mohla vyvinout účinné matematické metody pro práci s velice širokou škálou reálných situací, od struktury zdroje zpráv přes přenos signálů za přítomnosti šumu až po kódování a dekódování. Takový proces je pro kybernetiku poměrně typický – praktické problémy studuje s použitím těch nejobecnějších matematických nástrojů a díky tomu nachází řešení použitelná ve velmi různých situacích běžného života.

Teorie sdělování znamenala především studium přenosu zpráv reálnými technickými prostředky. Při takovém přenosu je obvyklé, že rušivé vlivy (název pro ně je *šum*) část informace ničí, ale že přesto i porušená zpráva nějakou informaci nese. Bylo třeba zjistit, co ona informace vlastně je.

Kybernetici první v měření informace nebyli. Informace je obsažena v každých konkrétních datech, nejen v těch přenášených, a to platí i pro data statistická. Už ve dvacátých letech minulého století zkoumal slavný statistik Ronald Aylmer Fisher problémy takzvané analýzy rozptylu.

<sup>360</sup> Například geoeconomické a geopolitické údaje typu „nezaměstnanost“, „porodnost“ nebo ekologická data o výskytu druhů v biotopech a podobně.

<sup>361</sup> To platí i o náhodě a náhodných datech – v moderní teorii pravděpodobnosti je náhodný jev definován jako množina a náhodná veličina jako hodně obecný typ funkce na prostoru, kterým se zabývá teorie míry.

Mezi nimi i statistický parametr, který byl později nazván *Fisherova informace* – články o něm vycházely ve druhé polovině dvacátých let, částečně i v následujícím desetiletí. Tento parametr má některé formální znaky společné nebo alespoň podobné pozdější kybernetické informaci, jeho motivace ale byla trochu jiná – charakterizovat nejistotu způsobenou náhodností naměřených statistických údajů.

Když nastala potřeba nějak porovnávat a měřit informaci obsaženou ve vysílaných a přijímaných zprávách, položila si teorie informace na začátku celkem prostou otázku: Je možné měřit něco tak nehmotného a subtilního, jako je informace? Zdánlivě vypadá taková otázka trochu esotericky, odpověď ale nakonec nebyla tak složitá. Jsme-li schopni mluvit o tom, že informaci získáváme a ztrácíme, mluvíme tím o jejím množství, a tudíž bychom měli být schopni nějak změřit, jak je ono množství veliké. Otázku je tedy třeba posunout od „zda“ se dá informace změřit, k „jak“.

Pro množství informace se povedlo najít docela přirozené měřítko. K tomu, aby kybernetici postavili vejce na špičku, trochu pomohly i okolnosti, za kterých teorie informace vznikla. Bylo to za druhé světové války, zprávy, jejichž přenos vědci studovali, byly zašifrované skupiny písmen zdánlivě bez věcného smyslu. Museli tedy velikost informace pokud možno oddělit od obsahového kontextu. Soustředili se na nejmenší stavební kameny zpráv, na jednotlivé znaky, a začali zkoumat informaci nesenou jediným znakem.

Pro kybernetiku zavedli pojem informace v roce 1948 v článku nazvaném *A Mathematical Theory of Communication* badatelé z laboratoří Bellovy telefonní společnosti, Claude Shannon a Warren Weaver (1894 až 1977).<sup>362</sup> Přišli s geniálně jednoduchou myšlenkou – zpráva nám přinese tím víc informace, čím méně jsme ji čekali; jinými slovy, čím méně pravděpodobná ona zpráva byla. Je tedy nepřímě úměrná pravděpodobnosti zprávy, a protože by informace obsažená ve dvou nezávislých zprávách měla být součtem informací v každé z nich (zatímco pravděpodobnosti se v podobné situaci násobí), bude vhodné zapojit do vzorce pro množství informace také logaritmus.<sup>363</sup> To se dá říci o zprávě jako celku i o každé její části včetně jednotlivých znaků.

Také o informaci nesené jedním znakem se dá říci totéž, co platí pro celou zprávu – je tím větší, čím méně pravděpodobný je výskyt onoho znaku. Když předchozí úvahu přeložíme do řeči vzorců a  $p(x)$  označíme pravděpodobnost znaku  $x$ , pak informace, kterou znak  $x$  nese, má velikost

$$I(x) = \log_2 (1/p(x)) = -\log_2 (p(x)).$$

Pojem informace v jediném znaku umožnil charakterizovat neurčitost (případně organizovanost) celého zdroje jako průměr z informací nesených jeho jednotlivými znaky. Tato charakteristika se nazývá *informační entropie*.

<sup>362</sup> Je to, kromě jiných prvenství, také článek, ve kterém se poprvé objevilo slovo „bit“.

<sup>363</sup> Právě logaritmus se vyskytoval i ve Fisherově informaci.

K právě popsaným pojmům dodejme tři stručné poznámky. Informační entropie si svůj název zaslouží, má totiž se svou termodynamickou jmenovkyní společného víc, než se na první pohled zdá.<sup>364</sup> Pro zdroje s konečnou abecedou je entropie (tedy nejistota nebo, chcete-li, zmatek) největší, když jsou všechny znaky stejně pravděpodobné. To má důsledek i pro moderní dešifrovací metody – zašifrované zdroje s nižší entropií (to znamená se silnějšími zákonitostmi ve výskytu znaků) se snáze rozlamují.

Rok 1948, kdy vyšel Shannonův a Weaverův článek, byl současně také rokem vydání slavné Wienerovy knihy, čímž se článek vlastně stává jednou ze zakladatelských prací celé kybernetiky. Někteří historici ho dokonce označují za „Magnu chartu“ informačního věku a od jeho vydání datují existenci informační společnosti. Hlavní zásluha na jeho vzniku se přičítá, zjevně právem, Shannonovi, jehož podíl na zavedení a prvních krocích kybernetiky zahrnuje ještě další významné zásluhy.

**Claude Elwood Shannon** (1916–2001) se narodil v Michiganu a už jako školák byl zvědavý a technicky nadaný. Zajímal se o radiotechniku, což v té době byla oblíbená zábava bystrých a šikovných kluků, a nesmírně obdivoval T. A. Edisona.<sup>365</sup> Po absolvování michiganské univerzity vstoupil v roce 1936 na MIT jako asistent.

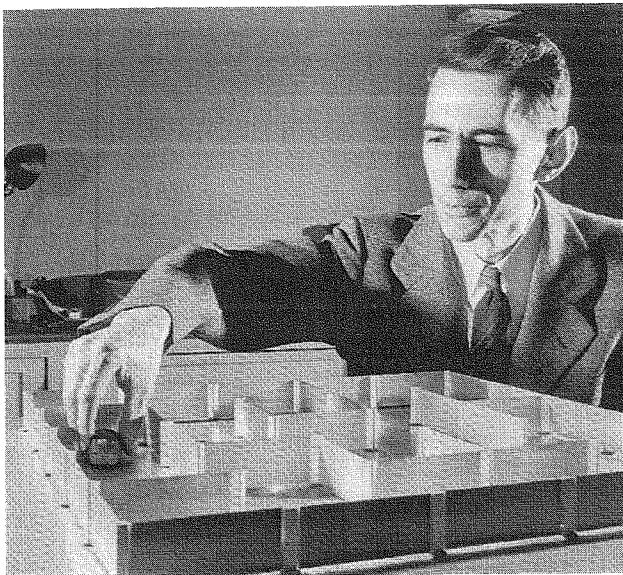
Hned v příštím roce tam obhájil diplomovou práci a stalo se něco naprosto neuvěřitelného – magisterská diplomová práce založila nový vědní obor. Shannon totiž, jako jeden z mála tehdejších inženýrů, znal Boolovu algebru a její význam pro logiku. Jeho diplomová práce se zabývala návrhem reléových sítí, které se používaly v telefonních ústřednách a pomalu i v předchůdcích budoucích počítačů. Do jeho doby vymýšleli nová zapojení zkušební praktici, kteří sítě tvořili spíš intuitivně pomocí zkušenostmi ověřených pravidel. Shannon si uvědomil, že relé má dva stavy (zapnuto a vypnuto), jako je má logický výrok (pravda, nepravda), a že jejich propojení vlastně napodobuje logické spojky. Dal si to dohromady a navrhl postupy pro konstrukci sítí opřené o Boolovu logiku, do té doby zvláštní hříčku pro milovníky neškodných abstrakcí. Vědní obor, který tak založil, se jmenuje *teorie konečných automatů* a bez ní by se dnes nemohly rozvíjet počítače.

Za války Shannon přešel do Bellových laboratoří, kdy měl hlavní podíl na vzniku teorie informace. Před tím ale ještě v MIT pracoval na vývoji automatických zaměřovačů pro protiletadlové kanony. Po válce byl jednou z vůdčích osobností vznikající kybernetiky, a nebyl by to ani on, kdyby na diskuse o možnosti existence umělé inteligence neodpověděl sestrojením prvního učícího se stroje. Nebylo to nic složitějšího – malý vozík, napojený na počítač, projížděl bludištěm a hledal „lákadlo“.

<sup>364</sup> Podobnosti mezi oběma mírami neurčitosti si podle některých životopisců všiml také John von Neumann a byl to údajně on, kdo přesvědčil váhajícího Shannona, aby termín „entropie“ použil.

<sup>365</sup> Thomas Alva Edison (1847–1931) v době Shannonova dětství ještě žil, nebyl to pro něj historický pomník, ale obdivuhodný vynálezce. Když Claude Shannon dospěl, vyčetl někde, že byl s Edisonem vzdáleně příbuzný.

Claude Shannon  
se svou myší Theseus  
v roce 1950 v Bellově laboratoři



Poprvé zkoušel cestu náhodně, ale ukládal do paměti správné varianty, takže podruhé už jel nejkratší cestou k cíli. Od té doby se tomu říká *Shannonova myš*, on sám svou myš pojmenoval *Theseus* podle hrdiny z krétského bludiště.

Neklidné srdce objevitele si zachoval celý život. Když mu bylo 45 let a ocitl se na vrcholu vědecké slávy, rozhodl se, že chce trochu užít života, a odešel do důchodu. Cestoval, věnoval se hudbě a bavil se sestrojováním absurdních vynálezů. Už dříve občas jezdil do práce na jednokolce nebo pro zábavu žongloval na ulici s míčky – obojí mu prý výborně šlo. V důchodu, aby se nenudil, sestrojil dvousedadlovou jednokolku a robota, který také pohazoval několika míčky. Přidal k tomu ještě kalkulačku s římskými číslicemi.<sup>366</sup> Později sestavil stroj na skládání Rubikovy kostky a do své pracovny vyrobil krabici s vypínačem po straně a nápisem *Konečný stroj* (Ultimate machine) na víku. Když někdo přepnul vypínač, otevřelo se víko, vysunula se ruka, přepnula vypínač zpátky, zasunula se a víko se zavřelo. Když to člověk čte, ani mu v první chvíli nedojde, že to všechno musely být nesnadné konstrukční problémy. Život si „důchodce“ Shannon užíval dost dlouho – celých čtyřicet let a zemřel poměrně svěží v osmdesáti pěti letech.

Teorie informace se rozvíjela a stále rozvíjí. Především v šedesátých letech se v ní proslavila i naše republika – Pražská škola teorie informace si získala mezinárodní věhlas a její poznatky o přenosu zpráv kanály různého typu byly vysoko ceněny.<sup>367</sup> Pojmy, které Shannon navrhl, se dnes používají nejen v teorii komunikace, ale i třeba v literárních vě-

<sup>366</sup> Dokážeme se vůbec vžít do pocitů takového člověka, když se dozvěděl, že je Edisonův příbuzný?

<sup>367</sup> Její těžiště bylo v Ústavu teorie informace a automatizace tehdejší ČSAV.

dách, lingvistiky, zoologii nebo při studiu genomů a stále se objevují nové možnosti.

Nejen podobností názvu, ale do značné míry i otázkami, které si klade, a metodami, s kterými pracuje, je teorii informace blízký obor, do něhož část kybernetiky přirozeným vývojem vplynula, totiž *informatika*. Ale to už je novější historie a my zatím zůstaneme u původní struktury kybernetiky.

### 16.3 Věda o počítání a počítačích

Mnoho lidí si spojuje kybernetiku zvláště (nebo dokonce výhradně) s počítači. Nemají pravdu – kybernetika je věda o sdělování a řízení, zabývá se především teoretickými (a to znamená matematickými) modely procesů, které probíhají v živých organismech a ve strojích, a počítače jsou spíše prakticky použitelným vyústěním těchto obecných teorií. Neměli bychom však upadnout do druhého extrému a myslet si, že se teoretická kybernetika počítači vůbec nezabývá. V počítačích nebo s jejich pomocí kybernetika často realizuje své matematické a teleologické principy, počínaje teorií regulace a přenosu signálů, přes teorii algoritmů a teorii automatů až po počítačovou kryptografii a další specializované nástroje vhodné pro studium jevů, ke kterým v počítači během jeho činnosti dochází.

V předchozí podkapitole jsme si v odstavcích o Claudiu Shannonovi ukázali, že ani tady se kybernetika nezastavila na povrchu nebo těsně pod ním, ale že v řadě případů sáhla až k základům matematiky, k logice a Boolově algebře, tedy k nástrojům, které před tím byly považovány za abstrakci vzdálenou reálnému životu. Ukázalo se, že nikterak vzdálená není.

Jiný takový praktický problém, pro jehož řešení sáhla kybernetika hodně hluboko do matematických struktur, je složitost – v daném případě především složitost výpočetních algoritmů. Intuitivně a na první pohled „zvenku“ by se mohlo zdát, že o složitosti je celkem jasno – složitě je prostě to, co se dá jen těžko zvládnout, buď proto, že to dá neúnosně moc práce, nebo proto, že nikdo neví, kudy na to. Problémy začnou, když máme začít složitost něčím měřit.

V počítačových vědách se jedná většinou o první ze zmíněných typů složitosti, o výpočty spíše „zdlouhavé“ než nesrozumitelné. Snaha sestavit program pro výpočet nějaké úlohy je obvykle signálem, že v samotném postupu výpočtu, ve zvolené teoretické metodě, je jasno, ale zbývá „pouze“ problém, jak vlastní výpočet realizovat a dokončit dřív, než počítač příliš zestárne. I když se výpočetní technika zdokonaluje závratným tempem, vždy tady budou výpočetní postupy – algoritmy, u kterých sice bude jasno, jak mají probíhat, aby vedly ke správnému výsledku, ale jejich komplikovanost či zdlouhavost zabráni jejich praktickému uskutečnění. Zákonitosti, kterými se řídí výpočetní složitost, dodnes patří k nejzřetelivějším problémům matematiky. Většinou není hlavní zájem upřen na jeden konkrétní výpočet, ale spíše na rychlost, se kterou

musí jeho délka růst se zvyšujícím se počtem proměnných, které do výpočtu vstupují.<sup>368</sup>

Dokud se výpočty dělaly ručně a na mechanických kalkulátorech, čekala nadměrná složitost vždy velmi blízko, téměř na dosah, a nebylo neobvyklé narazit na teoreticky dobře zdůvodněné cesty ke správnému řešení významných problémů, které „pouze“ nebyly lidskými silami zvládnutelné. Už tehdy však začaly první pokusy výpočetní složitost a její zákonitosti pochopit.

Trochu skrytě jsme se s pojmem složitosti setkali už v podkapitole o teorii pravděpodobnosti a seznámili jsme se tam s návrhem měřit náhodnost nějaké posloupnosti znaků délkou programu, který by ji generoval. Nyní konečně víme, že jsme se tehdy dovolávali její složitosti. Vhodným měřítkem složitosti výpočetního algoritmu totiž skutečně je délka programu, který takový výpočet řídí.

První, kdo se složitostí soustavně zabýval, byl **Alan Turing** (1912 až 1954), britský matematik, logik a kybernetik. Začal s tím už v polovině třicátých let, když v roce 1934 dokončil studia v Cambridgi. Tehdy rozvířil hladinu matematické logiky Gödelův revoluční výsledek o neúplnosti axiomatických systémů a Turing si položil otázku, jak to je s výpočetními postupy – zda je možné podle každého výpočetního algoritmu také dovést výpočet ke konci (v teorii algoritmů se tomu říká, zda je vyčíslitelný). Mimochodem, jako první se tím dotkl druhého z výkladů slova „složitost“, o kterých jsme se zmínili v úvodu – ne toho, jestli je výpočet zvládnutelný, ale toho, jestli se vůbec dají postupy, které k řešení vedou, do nějakého fungujícího programu převést.

Při úvahách o vyčíslitelnosti navrhl jakýsi ideální model počítače – abstraktní schéma, zjednodušené až „na dřeň“. Dodnes se ve studiích o teorii algoritmů běžně uvádí pod názvem *Turingův stroj* a podle potřeby zkoumaného problému je používán v několika modifikacích. Vždy jde o variace na jedno schéma „počítače“, který se skládá z oboustranně neomezené pásky s políčky (v každém je zapsán znak nějaké abecedy – úplně stačí **0** nebo **1**), čtecí hlavy, jež může být v některém z několika možných stavů, a z „paměti“, ve které jsou návody k dalšímu postupu (skládají se ze tří tabulek). Stroj funguje tak, že v každém kroku čtecí hlava přečte znak na pásce, sdělí ho programu a ten (podle dvou parametrů – přečteného znaku a stavu čtecí hlavy) určí následující tři zásahy do stavu počítače: jak má být přepsán znak na políčku pásky, jak má být změněn stav hlavy a kterým směrem se má páska posunout (případně může i zůstat stát). Každý zásah se dá najít v jedné ze tří tabulek programu. Turing dokázal vztah mezi vyčíslitelností algoritmu a existencí svého teoretického stroje, který by algoritmus realizoval.

<sup>368</sup> Existuje domněnka, že každý výpočet je možné nakonec zjednodušit na algoritmus (program), jehož délka je polynomičnou funkcí počtu proměnných. Její případný důkaz (tak zvaný P–NP problém, přesněji jeho řešení) je dokonce jedním ze sedmi nejvýznamnějších matematických problémů pro 21. století, na jejichž vyřešení vypsala Clayova nadace odměny ve výši milionu dolarů „za kus“.

Nedejme se zmást slovem „stroj“ ani poměrně názorným popisem – je to poněkud obrazný název pro teoretickou konstrukci, obecnou a v podstatě dost složitou matematickou strukturu, která vystihuje podstatu každého výpočetního postupu a jednoznačně patří mezi ty nejobecnější matematické pojmy. Ještě uvidíme, že se Alan Turing proslavil mezi předními zakladateli kybernetiky, můžeme u něj pozorovat schopnost, která mezi nimi byla velmi obvyklá. Nacházet nástroje pro řešení zdánlivě konkrétních a technických problémů až v samých základech matematiky, v tom nejobecnějším, co nabízí.

Turingovy úspěchy návrhem „jeho“ stroje neskončily. Nejen že vlastně založil moderní teorii algoritmů, jeden z pilířů počítačových věd, ale po válce patřil mezi vůdčí osobnosti vznikající kybernetiky a také informatiky a jeho originální nápady obohatily kybernetiku o další odvětví.

Turingovo jméno proslavila účast na rozlomení německé šifry Enigma. Byl předním členem týmu, který Angličané soustředili na nenápadném venkovském sídle v Bletchley Parku a který složitou šifru nakonec skutečně pokořil. Dešifrovací stroj Bomba a počítač Colossus využívaly Turingovy myšlenky (Bombu přímo navrhl). I po válce byl u konstrukce prvních počítačů, zabýval se umělou inteligencí, položil základy teorie neuronových sítí, začal s matematickou teorií biologického vývoje a od roku 1948 působil na univerzitě v Manchesteru.<sup>369</sup>

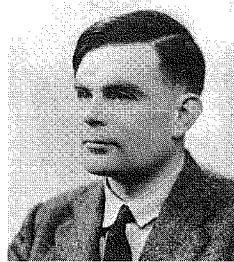
Až do roku 1952 prožíval hvězdné roky úspěšného vědce. Pak se jeho život zlomil. Turingova osobní tragédie byla zpracována už mnohokrát, tak jen stručně.

Jeho rodiče žili v Indii, kde byl otec úředníkem koloniální správy. Matka si jen „odskočila“ do Anglie porodit syna. Zůstala s ním poměrně krátce (různé životopisy se liší v tom, zda to byl jeden rok nebo pět let), pak odjela zpátky do Indie a Alan vyrůstal v péči příbuzných, chův a internátních škol. Nebyl to v době koloniálního impéria osud úplně neobvyklý, ale kvůli tomu o nic snazší. V dospívání pochopil, že je homosexuál, a zamiloval se do svého spolužáka a kamaráda Christophera Morcoma. Když v roce 1930 společně nastoupili na univerzitu, Christopher náhle zemřel<sup>370</sup> a Alan se ze ztráty vlastně nikdy citově zcela nevzpamatoval. Navazoval krátkodobé a bezvýznamné vztahy, někdy i s lidmi na okraji společnosti nebo za ním.

V té době sice byla homosexualita v Británii kriminalizována, ale zdá se, že v tolerantním univerzitním prostředí svou orientaci příliš tajit nemusel – podle pozdějších vzpomínek pamětníků o ní Turingovi spo-

<sup>369</sup> Byl to vtipný i důvtipný debatér, a tak vstoupil i do diskuse o možnosti vzniku umělé inteligence úsměvným návrhem, jak poznat, že je počítač inteligentní. Pokud bude možno s ním dost dlouho debatovat (třeba písemně, aby se neprozradil umělým hlasem), aniž by se poznalo, že nehovoříme s člověkem, je počítač inteligentní. Mezitím byly navrženy programy pro rozhodně neinteligentní osobní počítače, které vydrží test dost dlouho mást (o lidech se to ostatně dá říci také).

<sup>370</sup> Podle životopisů Christopher pravděpodobně homosexuální nebyl, o Alanových citech jistě nevěděl a zemřel dřív, než se mu k nim Alan přiznal.



Alan Turing, matematik, který zkrátil válku, v době největších úspěchů



lupracovníci věděli a přehlíželi ji. Tak tomu bylo i za války, v dešifrovacím týmu v Bletchley Parku, kde jeho kolegové, na rozdíl od vojenských nadřízených, věděli, o co se jedná.<sup>371</sup> V roce 1952, kdy opět pracoval na univerzitě, ho však jeden z jeho krátkodobých partnerů okradl. Turing krádež ohlásil na policii, neuměl ale vysvětlit, proč a jak se k němu zloděj dostal. Případ skončil u soudu, který Turingovi přikázal hormonální „léčbu“ a jedním z vedlejších důsledků aféry bylo i odnětí většiny bezpečnostních prověření, která ke své práci potřeboval. Nesmyslná hormonální kúra měla zdrcující zdravotní následky a společenská izolace, do které se dostal, také vykonala svoje. V roce 1954 už problémy přerostly Alanovy síly. Vždy měl rád Disneyovu pohádku o Sněhurce, zvláště scénu s otráveným jablkem.<sup>372</sup> Teď si ji sám zahrál – namočil jablko do kyanidu, snědl je a zemřel.

Ani aféra, která ho stála život, nic nemění na tom, že jeho podíl na rozlomení šifry byl nejspíš rozhodující a jeho zásluhy o včasný válečný úspěch, které z toho vyplývají, patrně neocenitelné,<sup>373</sup> včetně nikdy neodhadnutelného množství lidských životů, které tím zachránil. Turingův význam však sahá mnohem dál. Teorie algoritmů se rozvíjí dodnes a stále má dost otevřených problémů, aby lákala chytré lidi s neotřelými nápady. Je někde na rozhraní matematiky, logiky a techniky a je jednou z věd, které kybernetice dodnes dávají „pohonné hmoty“.

#### Heslo XVIII. Počítačové sítě

Poslední „technická“ vsuvka do vyprávění o matematických oborech teoretické kybernetiky se bude týkat počítačových sítí. Je těžké určit, co z výpočetní techniky asi změnilo svět na přelomu třetího tisíciletí nejvíc, pokud ale jde o praktické všední návyky běžného života, pak se bude internet bezesporu právem hlásit o velmi významnou pozici v celkovém pořadí.

Počítače pracovaly poměrně dlouho izolovaně, i když v počítačovém světě existoval pocit, že by nebylo špatné, kdyby mohly občas spojit síly nebo vzájemně využívat svůj pracovní čas. Právě pro vyhledávání, třídění a „rovnání“ informací z různých zdrojů, bez nutnosti spoléhat na omylný, nepozorný a unavitelný lidský faktor, ale také pro posílání balíčků dat k výpočtům na vzdálených superpočítačích vznikly počítačové

<sup>371</sup> Jeden z členů týmu, Jack Good, ve vzpomínkách vydaných dlouho po válce doslova píše: „Naštěstí nahoře nevěděli, že je homosexuál. Jinak jsme také mohli prohrát válku.“ Je vůbec možné výstižněji popsat autoritu, kterou Turing mezi spolupracovníky měl?

<sup>372</sup> Královninu píseň „Vlož jablko do lektvaru, dej mu sílu smrti, zmaru“ si prý při práci často prozpěvoval.

<sup>373</sup> Čist dost rychle šifry připravené Enigmou znamenalo mnohem víc než úspěch v jednotlivých akcích. Umožnilo to plánovat trasy konvojů se znalostí pohybu německých ponorek. Díky tomu byla včas připravena invaze přes Kanál (dřív než ji zamezilo počasí a dřív než Němci doobudovali atlantický val) a tím podstatně urychlen konec války. Někteří vojenští odborníci se domnívají, že bez rozlomení Enigmy mohla válka v Evropě trvat do roku 1948 (a nemusela skončit úspěchem). I když Turing už v závěrečné fázi prací nebyl (například Colossus už konstruovali bez něj), děly se podle jeho myšlenek.

sítě. To, s čím si samotné počítače neporadí, mohou zvládnout při vzájemném propojení a dobře organizované spolupráci.

První zmínky o nevelkých sítích počítačů se objevovaly na konci šedesátých a začátkem sedmdesátých let 20. století. Počítačová síť znamená nejen přenosové trasy, ale hlavně programy, které provoz na nich umožňují, a soustavu pravidel (říká se jí *protokol*), kterými se onen provoz řídí. Při čtení následujících odstavců bychom na to neměli zapomenout.

Koncem šedesátých let vznikla jako projekt Ministerstva obrany USA síť *Arpanet* a první „balík“ dat poslal po Arpanetu student programování Kalifornské univerzity v Los Angeles už v roce 1969.<sup>374</sup> V roce 1974 se poprvé objevuje slovo *internet*, zatím jenom jako název pro některé protokoly Arpanetu. V polovině osmdesátých let vznikl v laboratořích firmy Bell Telephone Company operační systém *Unix*, který podstatně usnadnil vývoj nových síťových protokolů a díky tomu se v té době sítě začínaly množit.<sup>375</sup>

Skoro současně s vojáky se do výzkumu vložila Americká vědecká nadace NSF. Už v roce 1979 začala vyvíjet svou síť *CSNET*, a když se po roce 1984 začala (s podporou NSF) tvořit univerzitní superpočítačová centra, dala popud k jejich propojení sítí *NSFNET*. Ta upozornila vědeckou komunitu na možnosti, které počítačové sítě nabízejí, a síťová exploze mohla začít.

Ve druhé polovině osmdesátých let už i v (západní) Evropě fungovala síť *BITNET*, která propojovala velké sálové počítače firmy IBM. Koncem osmdesátých let konečně vznikla síť *INTERNET*, jak ji známe dnes. Význam onoho slova ze sedmdesátých let se postupně posouval, nakonec se stal jménem pro jakousi multisíť – propojení menších a větších sítí, různě větvených a vnořených do sebe, které přes všechnu zdánlivou anarchii tvoří dobře fungující strukturu s jednotným protokolem. První páteří vnitrostátní trasu internetu v USA otevřela NSF v roce 1986. Měla kapacitu 56 kb za sekundu.

Prakticky exponenciální růst internetových sítí a jejich služeb je dostatečně znám. Jednu ze služeb však není možné nezmínit. Slavný *Web*, přesně *World Wide Web* nebo zkráceně *www*, vyvinuli v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN u Ženevy, aby usnadnili celosvětový přístup k ohromnému množství naměřených dat. Jeho autory byli Tim Berners-Lee (\*1955) a Robert Cailiau (\*1947), kteří v roce 1989 vytvořili předběžnou verzi, nazvanou *ENQUIRE*, a koncem téhož roku už otevřeli první webovou stránku. Od roku 1993 uvolnil CERN užívání webu bezplatně pro veřejnost, tím odstartoval informační revoluci.

Jednou z největších výhod webu, kromě toho, že je službou internetu s jeho pružností a ostatními přednostmi, je i to, že pro vyhledávání infor-

<sup>374</sup> Zcela přesně se tak stalo 29. 10. pozdě večer – ve 22.30.

<sup>375</sup> Firma ho začala vyvíjet vlastně už na samém konci šedesátých let jako systém pro sdílení počítačového času. Postupně rosl, stával se složitějším (a lepším) a kolem poloviny 80. let se dostal do stadia, ve kterém zaujal průmyslové analytiky využívající počítače a sítě.

mací užívá takzvaný *hypertext*. Označením (kliknutím myší) důležitého slova ve sledovaném textu je možné přeskočit na další webovou stránku (fyzicky třeba na jiném světadílu, než byla ta původní) a tam sledovat další část informace podle přání uživatele.

Hypertext nebyl vynalezen až s webem, ale je jedním z mála jevů v počítačových sítích, které mají svou (i když také ne dlouhou) historii. První myšlenka na něj se objevila v eseji *As We May Think*, kterou v roce 1945 vydal Vannevar Bush (1890–1974), za druhé světové války poradce prezidenta Roosevelta pro otázky vědy. Popisuje tam Memex, fiktivní stroj s takovou kapacitou, aby mohl (v zásadě hypertextovým způsobem) analyzovat textové informace. Po delší přestávce se myšlenky ujal Ted Nelson, který v roce 1960 prosadil a zahájil projekt, později pojmenovaný jako *Xanadu*, velkoryse pojatý výzkum umělé inteligence, kde šlo hlavně o to, vytvořit síť, která by kladla co nejmenší nároky na uživatele. Myšlenka hypertextu byla hlavní ideou projektu.<sup>376</sup> Nelson mu věnoval podstatnou část svého aktivního života, a i když projekt *Xanadu* nakonec neuspěl, připravil půdu a potřebné zkušenosti pro web.

V zástupu lidí, kteří se významně podepsali na vývoji a využití počítačových sítí, představuje **Ted Nelson** (\*1937), sociolog, filozof a průkopník výpočetní techniky, osobnost, která se jen těžko dá přehlédnout. V prostředí, ve kterém originalita patří k dobrému tónu, je řazen mezi nejoriginálnější a také nejkontroverznější hledače nových cest a jeho projekt *Xanadu* má na této reputaci svůj podíl. Jeho rodiče, pozdější nositel Emmy za filmovou režii a pozdější nositelka Oscara za herectví, spolu vydrželi jen krátce a jejich syna vychovávali prarodiče v proslavené umělecké čtvrti Greenwich Village v New Yorku. Vystudoval sociologii na Harvardu a získal také doktorát v oboru sdělovacích prostředků na univerzitě Keio v Japonsku. Přišel s vizí „počítače pro každého“ – tedy počítače, se kterým může zacházet i neodborník jen po několika minutovém zaškolení. Od roku 1960 tuto vizi rozšířil na představu počítačové sítě, která by pokrývala celý svět a byla pro každého dostupná. Na tu dobu to byla revoluční myšlenka, od které už byl jen krok k projektu *Xanadu*.

Obvykle se zahájení prvních předběžných prací na *Xanadu* (zřejmě v podobě dost mlhavých úvah) klade do roku 1960, jméno dostal projekt až v roce 1967 a ukončen byl v roce 1998.<sup>377</sup> Nelson neměl dostatečné technické zázemí na to, aby vůbec dokázal profesionálním konstruktérům vysvětlit, co od nich vlastně chce. Neváhal a obrátil se na mladé nadšence, časem mezi ně patřili také hackeři, aby mu pomohli. Konečným ideálem bylo zpřístupnit hlavně světové kulturní dědictví tak, aby každý mohl do svého počítače stáhnout a okopírovat záznamy uměleckých a vědeckých děl odkudkoli na světě. Na projektu se intenzivně pracovalo, vznikaly analýzy řady dílčích problémů, byla propracována lo-

<sup>376</sup> V roce 1974 Nelson dosavadní výsledky shrnul v knize *Computer Lib/DRAM Machines*.

<sup>377</sup> Jméno *Xanadu* převzal Nelson z Coleridgeovy romantické básně o Kublaj Chánovi, kde označuje místo spojené se svobodou a neomezenými, otevřenými možnostmi.

gická struktura vyhledávání v hypertextu, výzkumný tým vyřešil mnoho kroků postupu, nevznikl však ani jeden použitelný program. Odborníci se dodnes neshodli na všech příčinách neúspěchu tak velkolepé myšlenky, v obecné rovině ale nejsou příliš tajemné. Vedle obtížné komunikace mezi Nelsonem a profesionálními konstruktéry hrálo svou roli jistě i to, že projekt předběhl svou dobu. Na to, jak široké a mnohostranné cíle si kladl, také probíhal příliš živelně a neprofesionálně. Současný web opakuje ve skromnějším rozsahu mnohé z Nelsonových cílů.

Sám Ted Nelson nepatří k jednoduchým nebo snadno srozumitelným osobnostem. Už rodinné poměry, ve kterých vyrůstal, nebyly standardní. S rodiči se skoro nestýkal, ve škole byl sice mimořádně nadaný, ale trpěl poruchou sníženého soustředění, která mu komplikovala život, v dospělosti měl potíže se společenským zařazením. Podvědomě to řešil tím, že provokoval, jak svými výroky, tak chováním a styky, které udržoval. Autoři jeho životopisů obvykle nezapomenou uvést krédo, které hlásal a kterým dráždil etablovanou společnost – mělo čtyři body: „Většina lidí jsou blázni. Většina autorit je škodlivých. Bůh neexistuje. Všechno je špatně.“ Když si však odmyslíme záměrnou snahu šokovat, zbude nám člověk s velkou tvůrčí fantazií, se sny, které předběhly dobu a její technologické možnosti, a také člověk, který jako první použil slova *hypertext*, *hypermedia*, *virtuální realita* a *transcluse*.<sup>378</sup> Od devadesátých let se postoj odborné komunity vůči němu posunul směrem k uznání a respektu, začal dostávat vědecká ocenění a získal i zaslouženou autoritu.

Kolem přelomu tisíciletí se o internet začala opírat další významná síťová počítačová aktivita, takzvané *gridy*. Jedná se o metodu propojování sil poměrně malých počítačů, třeba i geograficky hodně vzdálených, k řešení společného projektu. Připojí se ke společnému (pro okolí uzavřenému) řídicímu programu a dělí se o volný počítačový čas. V podstatě stačí, když majitel z internetu nahraje správný protokol a na noc svůj počítač nevypne ani neodpojí od počítačové sítě. Myšlenka na gridové počítání vznikla v roce 1990 a je spojována s jmény Ian Foster, Carl Kesselman a Steve Tuecke.

Gridovou spoluprací proslavili v roce 1999 a po něm pátrači po mimozemských civilizacích, když pro projekt SETI spojili dobrovolné nadšence mezi internetovými uživateli k vyhodnocování rádiových signálů (zatím pohříchu jen přirozených), přijímaných z vesmíru.

<sup>378</sup> Například také „teledildonics“ pro šíření erotických materiálů po internetu.

## 17. Existuje ještě kybernetika?

(Současnost kybernetiky)

Zhruba během sedmdesátých let začalo slovo „kybernetika“ pomalu mizet ze sdělovacích prostředků, názvů vysokoškolských přednášek a z celkového povědomí. Bylo to přirozené – jak už jsme si řekli, kybernetika byla (a je) vždy spíš jakýmsi souhrnem vědních disciplín spojených společným vnímáním shody řídicích a sdělovacích struktur ve velmi různých systémech. Každý z jejich podoborů se dál vyvíjel, větil na dílčí směry a také s vědeckým pokrokem nabýval nový obsah. Nejen vědci, ale i veřejnost si na kybernetický způsob myšlení postupně zvykli a už tak nepřekvapoval, když se s ním někde setkali. Počítače, jakási ikona technické kybernetiky, se staly běžnou (a pro někoho trochu otravnou) realitou. Mnoho z otázek, které lidi vzrušovaly v počátcích kybernetiky, například vztah umělé a přirozené inteligence, meze použitelnosti výpočetní techniky, zahlcení společnosti informační explozí a řada dalších, bylo postupně zodpovězeno, nebo se ukázalo, že vlastně ani jako otázky neměly smysl.

To, že se mnohem méně užívá její název, ještě neznamená, že zmizela i kybernetika jako věda. Její postupy a principy spíš zdomácněly natolik, že už nebylo potřeba je zvlášť pojmenovávat. Částečně se materializovaly v četných technických zařízeních prostupujících náš každodenní život – od mobilních telefonů přes automatickou regulaci křižovatek po internetový obchod. Částečně pak vplynuly do nových vědních oborů, odvozených z kybernetiky – nejvýznamnější a nejcitovanější z nich je zřejmě informatika. V obou případech by bylo užitečné nezapomínat na to, že v kořenech těchto „dědiců“ kybernetiky je dobře zvládnutá matematika a na ní postavená umělá inteligence.

Po počátečním náporu kybernetiky ale nezůstaly jen „nástupnické“ obory. Ani kybernetika v tradičním pojetí se nevytratila. Jen trochu posunula důraz na jiný typ problémů.

Uvnitř kybernetiky se už nějakou dobu stále hlasitěji ozývá proud, kterému se někdy říká *nová kybernetika* nebo *kybernetika kybernetiky* a který postupně přichází s novými pohledy na kybernetiku a její problémy. Na rozdíl od „klasické“ kybernetiky, která přeci jen byla orientována spíš technicky, zdůrazňovala principy samoorganizace v systémech, výpočetní algoritmy a počítačové vědy, je „nová“ kybernetika orientovaná víc na biologické systémy a jejich schopnosti, případně na sociologické a společensko-vědní modely. I k tomu je nutné nejen dobře znát existující matematiku, ale také rozvíjet její nové směry.

Navzdory slovu „nová“ ve svém názvu má nová kybernetika poměrně historické (alespoň v časovém horizontu kybernetiky) kořeny. Od roku 1946 (tedy dřív, než kybernetika dostala své jméno) se pravidelně pořádaly takzvané *Macyho konference*, zaměřené na interdisciplinární přístup k řešení problémů. Už na první z nich vystoupili John von Neumann a neurofyziolog Rafael Lorente de Nó (1902–1990) s navazujícími referáty o počítačích a šíření elektrických impulsů v nervovém

systému. Další ročníky Macyho konferencí v nastoupeném trendu pokračovaly.

Hluběji do biologického území vstoupila nová kybernetika v sedmdesátých letech studii o molekulární biologii z hlediska teorie autonomních systémů. V osmdesátých letech se významně zabývala politickými vědami, především studii o autonomním a koordinovaném chování politických skupin a o reprodukci politických struktur.

Na konci osmdesátých a během devadesátých let už se začaly jednotlivé myšlenkové proudy spojovat do uceleného programu se společným názvem, pod kterým o ní referujeme i tady. Do jisté míry se program představuje jako alternativa ke klasické „wienerovské“ kybernetice, i když z dnešního mírného odstupu už se dá označit spíš za její logické pokračování v době, kdy přestává být klíčovou badatelskou otázkou konstrukce dost výkonných počítačů a automatů a začíná být důležité spíš to, jak jich využívat k poznání světa a jeho živých i neživých struktur. Není snad ani třeba zdůrazňovat, že i ona stojí na matematických základech a že bez nich by ztratila svůj smysl.