

Jan Romportl

Kapitoly z historie
kybernetiky



Jan Romportl

Kapitoly z historie kybernetiky



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Recenzent: doc. Dr. Ing. Vlasta Radová

Tato publikace byla vydána v rámci projektu „Mezioborové partnerství pro umělou inteligenci“ (MOAINet, CZ.1.07/2.4.00/17.0055), podpořeného Evropským sociálním fondem v ČR a státním rozpočtem České republiky.



Copyright © Ing. Mgr. Jan Romportl, Ph.D., 2013

ISBN 978-80-261-0184-0

ISBN 978-80-261-0185-7 (elektronická verze)

Vydala Západočeská univerzita v Plzni

Předmluva

Tato skripta vznikla primárně pro potřeby výuky historie kybernetiky na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni (ZČU), avšak jsou určena mnohem širšímu okruhu čtenářů než jen studentům.

Jejich vydání bylo podpořeno projektem „Mezioborové partnerství pro umělou inteligenci“ (MOAINet), realizovaným na odboru Mezioborové aktivity Výzkumného centra Nové technologie ZČU v těsné spolupráci s Katedrou kybernetiky Fakulty aplikovaných věd ZČU. Kybernetika jako bytostně mezioborová vědecká oblast se totiž stala důležitým předmětem zájmu tohoto projektu a jeho klíčových aktivit, v rámci nichž bylo možné navázat kontakty vedoucí k informacím důležitým pro přípravu celého textu.

Původní text skript byl zpracován v mé diplomové práci „Historie kybernetiky a umělé inteligence v kontextu filozofie vědy“, obhájené v září 2012 na Fakultě filozofické ZČU. Celý tento text jsem pro účely skript zrevidoval, provedl drobné opravy, vypustil část o umělé inteligenci a doplnil české překlady všech

použitých citací z anglické literatury. Originální anglické citace jsem však ponechal, neboť se domnívám, že mohou být pro čtenáře zajímavé, ať už samy o sobě, nebo v konfrontaci s českými překlady. Autorem všech českých překladů kromě jediného na s. 74 jsem já, a to i v případech, kdy byl daný text již v minulosti publikován v češtině.

Na tomto místě bych chtěl za cenné připomínky a náměty poděkovat prof. Ing. Josefu Psutkovi, CSc., doc. Dr. Ing. Vlastě Radové, doc. Ing. Ivanu M. Havlovi, CSc., Ph.D., prof. Ing. Miloši Schlegelovi, CSc., Mgr. Michalu Polákovi, Ph.D., Mgr. Radku Schusterovi, Ph.D., a PhDr. Evě Žáčkové.

Jan Romportl

Katedra kybernetiky FAV ZČU
&
Mezioborové aktivity NTC ZČU

Obsah

1	Úvod	1
2	Rané sprážení	7
2.1	Řízení střelby	8
2.2	Lodivod	12
2.3	Řízení a komunikace	17
3	První sjednocení	31
4	Zrození kybernetiky	37
4.1	Člověk ve zpětné vazbě	37
4.2	Wienerova chvíle	49
4.3	Kybernetika je na světě	60
4.4	Cyberspeak a hra metafor	66
4.5	Ontologie černé skříňky	70
5	Závěr	73
5.1	Co je kybernetika	73
5.2	Pokračování	78

KAPITOLA 1

Úvod

V následujících několika kapitolách se pokusím vyprávět příběh, jehož hlavní hrdinkou je kybernetika. Není mým cílem podat zde historiografický záznam vzniku a vývoje kybernetiky ani kritickou analýzu dějin kybernetiky vedenou pohledem a metodami historické vědy. Mým cílem je seznámit čtenáře (ať už je jím student, doktorand, akademický pracovník či kdokoli jiný) s jedním z úhlů pohledu na vznik a dnešní postavení kybernetiky.

Motivace pro tato skriptá vychází z mého působení na Katedře kybernetiky FAV ZČU, kde se již více než deset let podílím na výzkumu a vývoji v oddělení umělé inteligence. Během této doby jsem si povšiml jevu, který zde pracovně nazvu „krize kybernetiky“ – a to zejména jako určitého poměrně neartikulovaného, avšak namnoze sdíleného a mými kolegy (i mnou) často zakoušeného pocitu nepohodlné nejistoty a nejasností, co vlastně kybernetika skutečně je a proč jsme zrovna na katedře

kybernetiky. Někteří z nás se zabývají umělou inteligencí. Je to kybernetika? Je to (sou)část kybernetiky? Vznikla z kybernetiky? Souvisí vůbec nějak s kybernetikou? A co ostatní oblasti, kterými se zabývají jiní kolegové: teorie řízení (control theory, control engineering), teorie systémů (systems theory), teorie informace (information theory), robotika (robotics). Jaký je jejich vztah ke kybernetice? Vždyť teorie řízení byla rozvíjena již dávno před kybernetikou (Mindell, 2002) a stejně jako ostatní zmíněné oblasti v dnešní podobě spíše definuje již zcela samostatný vědní obor. Jak se tedy mohou vztahovat ke kybernetice? Není to dnes již jen historicky daný přežitek? Že by tedy „kybernetika“ byla pouhým vyprázdněným termínem formálně a ze setrvačnosti používaným coby tmel jisté osvědčené organizační struktury v rámci vědeckovýzkumné a akademické praxe?

Tato latentní nejistota je pak ještě posilována odklonem západního světa od používání slova „kybernetika“¹ (cybernetics), kdy mnozí mladší vědci, byť sami z relativně blízkého oboru (např. computer science), netuší, co si pod tímto pojmem představit. Ilustrovat to mohu příkladem z osobní zkušenosti, kdy se mě na jedné zahraniční konferenci zeptal finský účastník, jaké je mé pracoviště. Řekl jsem mu, že „department of cybernetics.“ Jeho reakce byla lakonická: „That sounds very soviet.“²

Většina z nás nějakým poměrně vágním způsobem tuší, že kybernetika má cosi společného s Norbertem Wienerem, zápornou zpětnou vazbou, lodivodem,³ řízením a buržoazní pavědou začátku padesátých let. Leckdo si možná vybaví i podtitul jedné Wienerovy knihy (Wiener, 1965) a usoudí, že důležitou složkou kybernetiky je „řízení a sdělování v živých organismech

¹Nikoli však slov tvořených předponou „kyber-“ (cyber-) – např. kyberprostor, kyberterrorismus, kybersex, apod. K tomuto kulturně podmíněnému přenosu předpony „kyber-“ se dostanu později.

²„To zní velmi sovětsky.“ Tj. narážka na doby Sovětského svazu, kdy se finští vědci s kybernetikou setkávali zejména z důvodů vzájemné družby s vědci z Estonska, tedy z tehdejší svazové republiky SSSR.

³Slovo „kybernetika“ pochází z řeckého *kybernētēs*, kormidelník.

a strojích“.⁴ Většinou si také kybernetiku spojíme s principem „Black Boxu“,⁵ ačkoli vlastně ani přesně již nevíme, jaká je skutečná podstata a důvod tohoto konceptu. Málokdy však dovedeme říct, jak s kybernetikou souvisí naše aktuální práce na řízení motoru pomocí PID regulátoru, na návrhu umělé neuronové sítě, na vývoji systému rozpoznávání či syntézy lidské řeči nebo na tvorbě pravidel pro znalostní systém.

Mým cílem tak je zejména na základě historického kontextu vzniku a vývoje kybernetiky zrekonstruovat, čím je kybernetika dnes. Tato práce je tedy věnována všem mým kolegům a studentům s přáním, aby jim pomohla – budou-li o to vůbec stát – nalézt pevnou oporu a osvětlení základních ontologických a epistemologických pilířů jejich badatelské, výzkumné a vývojové činnosti praktikované s určitým přesvědčením, že nějak souvisí s kybernetikou. Mým cílem je taktéž nastínit možnou cestu k překonání „krize kybernetiky“ a ukázat, čím je kybernetika stále nesmírně prospěšná pro rozvoj lidského poznání a že nejde o pouhý přežitek z kybernetického nadšení padesátých a šedesátých let dvacátého století.

Tím se však opět vracím k nutnosti poukázat na to, že moje práce bude příběhem z oblasti filozofie vědy, nikoli historickou studií – poněvadž pro historickou studii by bylo nepřijatelné, abych si na jejím začátku vytyčil, co chci o kybernetice ukázat, nerकुli když to má být ukázání její důležitosti.

Na druhou stranu nelze však upírat ani takovému příběhu vcelku pevný argumentační charakter, byť tento nesleduje principy historickovědní kritické analýzy. Pickering (2010) sám explicitně zmiňuje, že „historií kybernetiky“ lze vytvořit nepřeborné množství – co badatel, to jiná interpretace. Dle mého soudu má „ideální historiografie“ kybernetiky – tj. v abstraktní rovině vytvořený zcela dokonalý a úplný soupis všeho, co se kdy

⁴Název českého vydání této knihy z roku 1960 je „Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích“

⁵Raději budu upřednostňovat původní anglický termín „Black Box“ (být s počestným skloňováním) oproti „černé skřínce“.

s kybernetikou a v kybernetice dělo – povahu navýsost fraktální: ať vybereme jakýkoli její výsek libovolného měřítka, zjistíme, že sestává ze struktur velmi podobných a velmi podobně uspořádaných; že se všude opakují podobné vzorce myšlenek, postupů, snah, očekávání, zklamání, výsledků – vždy nějak specifické a unikátní, avšak pokaždé připomínající ty ostatní.

Velmi obtížná je také volba referenční dimenze historiografického popisu. Lineární časové uspořádání výčtu událostí podle roku, kdy k nim došlo, je zcela nevhodné, neboť kybernetika se odvíjela paralelně na různých místech světa velmi odlišně a časově sobě blízké události z různých míst tak spolu vůbec nemusejí souviset, čímž se ztíží nebo zcela zatemní možnost jejich interpretace. Omezení se na jistou geopolitickou lokalitu s sebou přinese zásadní zpřehlednění, avšak znemožní zabývat se důležitými aspekty vyplývajícími z rozdílností přístupů v různých lokalitách. Poměrně účinná pak může být konfrontace díla a profesních životů významných badatelů v oblasti kybernetiky či analýza důležitých výzkumných a vývojových projektů (které se mnohdy prolínaly s životy oněch badatelů). Právě tento přístup těží z již zmíněné fraktální soběpodobné struktury, v níž životy a vývoj jednotlivců reflektuje celá vědecká paradigmatata, práci různých od sebe vzdálených výzkumných skupin i snahy, motivace a naděje oddělené od sebe celými desetiletími. Jde však o metodu nesmírně komplikovanou na veškeré zdroje – od nutnosti přístupu k primárním pramenům až po časovou náročnost – které by výrazně překračovaly rámec i dispozice tohoto textu.

Ze všech možných struktur nacházejících se v historii kybernetiky ovšem výrazně vyčnívají tři kybernetické „školy“ (uskupení, proudy): Americká kybernetika, Britská kybernetika, Sovětská kybernetika.⁶ Neznamená to, že by neexistovaly jiné školy nebo že by tyto tři školy byly uvnitř zcela jednotné a koherentní – rozhodně však vytvářejí neopominutelné a svébytné celky.

⁶Záměrně píšu velké počáteční písmeno u adjektiv, neboť jsem zmíněné kybernetické školy zde takto pracovně pojmenoval.

Americká kybernetika je významně definována právě snahou o *řízení* a původně vzešla z dlouhé tradice amerického meziválečného výzkumu a vývoje v oblasti teorie řízení. Zcela zásadní roli zde sehrála *inženýrská kultura* na jedné straně a vojenský výzkum na straně druhé. Počátky Americké kybernetiky jsou spjaty se jmény jako Warren Weaver, Vannevar Bush, Norbert Wiener, John Bigelow, Arturo Rosenblueth, Harold Black, Claude Shannon, Harry Nyquist, Hendrik Bode, John Atanasoff, John von Neumann, Warren McCulloch, Walter Pitts, Heinz von Förster, Joseph Licklider a další (Mindell, 2002). Zejména pro Wienera bylo důležité nalezení jednotících principů mezi stroji a živými organismy, avšak jinak Americká kybernetika vznikala zejména za účelem automatizace.

Britská kybernetika naproti tomu hledala svoji primární inspiraci v člověku, zejména v jeho mozku a mysli. Kybernetika zde měla sloužit jako nová alternativní a slibná vědecká metoda popisu a pochopení lidské mysli. Mozek byl brán jako předobraz zcela zásadního kybernetického systému a mnozí britští kybernetici měli silné odborné vazby k psychiatrii. Oproti Americké „militantně“ laděné kybernetice měla Britská kybernetika zřetelné rezonance s alternativní kulturou, generací beatníků, změněnými stavy vědomí či východním náboženstvím a mystikou. Představiteli Britské kybernetiky byli zejména Grey Walter, Gregory Bateson, Ronald David Laing, Ross Ashby, Gordon Pask či Stafford Beer (Pickering, 2010).

Třetím vrcholem tohoto zajímavého trojúhelníku je pak Sovětská kybernetika, jejíž nejvýstižnější charakteristikou je ideologický a politický boj. Hodnocení vztahu kybernetiky k řízení společnosti, k člověku, k živým organismům, k výpočetní technice, k automatizaci či k vojenské technice bylo v Sovětském svazu tak výbušně proměnlivé a poplatné aktuálním politickým tendencím, že je lze těžko v krátkosti shrnout. Jména, která působila ve prospěch Sovětské kybernetiky, jsou např. Andrei Kolmogorov, Aleksei Liapunov, Sergei Sobolev, Nikolai Timoféeff-Ressovsky, Andrei Markov (Sr. i Jr.), Anatolii Kitov, Ak-

sel' Berg a další (Gerovitch, 2002).⁷

Vznik kybernetiky jako samostatné vědní disciplíny je všeobecně připisován badatelskému okruhu kolem Norberta Wienera působícího v USA, a proto jsem se rozhodl, že příběh založím na kybernetice Americké.

⁷Rozhodl jsem se k zápisu ruských jmen využívat „mezinárodní“ notaci namísto českého fonetického přepisu, který by byl při dohledávání v literatuře jen matoucí. Ale ani mezinárodní notace není zcela sjednocená, a tak jsem se v případě rozporů přiklonil k notaci používané Gerovitchem (2002). Používám tedy například zápis „Aleksei Liapunov“, přičemž Wikipedia uvádí „Aleksey Lyapunov“ a běžný český zápis je „Alexej Ljapunov“.

KAPITOLA 2

Rané spřažení

Každý příběh o kybernetice by měl začít jménem Norberta Wienera. Obecně je považován za otce kybernetiky a za osobu, která v podobě jedné knihy (Wiener, 1965), původně vydané roku 1948, odstartovala dekády překotného vývoje i překotného útlumu kybernetiky. I já zde jeho jménem začínám, avšak ze zcela jiného důvodu: abych zmínil, že jeho přínos nebyl z individuálního hlediska tak zásadní, jak se obvykle traduje. Tento netradiční úhel pohledu na Wienera přebírám ze závěrů bádání Davida A. Mindella (2002), jenž ovšem dle mého soudu roli Wienera místy až příliš bagatelizuje (Mindell, 2002, s. 6). Mindell se však ve své práci zabývá právě jen počátky Americké kybernetiky (či „proto-kybernetiky“) ve vztahu k automatizaci, a proto bych řekl, že plně nereflexuje roli Wienera pro jiné kybernetické školy či jeho závěry platné pro obecnou metodologii vědy, epistemologii, filozofii či jiné obory.

Podle mého názoru je Wienerova role v kybernetice sice skutečně do značné míry přeceňovaná, avšak stále je nesmírně důležitá a přelomová. Dostanu se k ní však až později, neboť skutečný začátek příběhu Americké kybernetiky je jinde.¹

2.1 Řízení střelby

První světová válka přinesla zcela zásadní zlom do způsobů vedení boje, spočívající v nasazení doposud nevidané techniky. Tato změna se dramaticky projevila v námořním loďstvu, které do své výzbroje získalo bitevní lodě s obrovskou palebnou silou a dostřelem 10 mil. Námořní bitvy se tedy začaly vést na obrovské vzdálenosti a velení muselo začít řešit vážný problém, jak vůbec zasáhnout nějaký cíl, který je tak daleko. Pokud byla tím cílem jiná bitevní loď pohybující se rychlostí 20 uzlů a vypálený dělostřelecký granát k ní letěl přibližně minutu, nebylo již v silách individuálního střelce vzít v potaz veškerou aktuální situaci pohybu obou plavidel a v zápalu boje ještě vypočítat trajektorii, po níž vystřelit.

Britské námořnictvo vypracovalo metody a techniky, s jejichž pomocí skupiny speciálně školených důstojníků prováděly v útrokách lodi modelování celé aktuální bojové situace, předpočítávaly střelecké trajektorie a instruovaly obsluhu palebných zbraní. Zaměřování se tedy již neodehrávalo v mysli a schopnostech individuálního „střelce“ pozorujícího svůj cíl, nýbrž v kolektivním systému bez přímé vizuální vazby na nepřítele.

Takto systémově a formálně chápaný proces zaměřování se tak rozdělil na tři základní prvky: percepci, integraci a arti-

¹Poznámka k citacím: drtivou většinu historických faktů v rámci této a následující kapitoly a v rámci prvního oddílu kapitoly 4 čerpám z knihy Davida A. Mindella (2002). Pokud tedy ve zmíněných částech mé práce u historického faktu nebude uveden zdroj jeho původu, pochází z této knihy. Jinou zásadu však zavádím pro interpretace či závěry činěné z historických faktů: pokud u nich není uveden zdroj, pak jsem jejich autorem já. Ve všech ostatních případech zdroj uvádím, a to i pokud interpretace pocházejí z Mindellovy knihy.

kulaci (Mindell, 2002). Percepce v tomto smyslu znamená, jak je systém řízení střelby schopen pozorovat prostředí a získávat z něj přesná data o pozici nepřátelských lodí vzhledem k lodi vlastní. Součástí percepce jsou i různá zařízení, jejichž hodnoty odečítá lidský operátor, stejně tak i tento vlastní proces odečítání (konverze) dat.

Data získaná v procesu percepce byla zpracovávána důstojníky a zařízeními v zakreslovací místnosti (silně opevněná místnost hluboko v podpalubí), kde vznikal model aktuálního bojiště. Docházelo tak k integraci dat. Artikulace pak znamená provedení konkrétní akce, ať již lidským operátorem nebo strojem – zde šlo o stisknutí spouště a vystřelení.

U všech těchto tří prvků je zapotřebí si povšimnout stálého zachovávání antropomorfní metafory: ačkoli již jde o systém formálně i věcně odlučený od lidského jedince, jeho myslí a jeho kognitivních schopností a procesů, pořád tento systém na sebe metaforicky bere lidské schopnosti: vnímá (percepce), uvažuje a rozhoduje se (integrace) a jedná (artikulace).

Celý tento britský systém řízení námořní střelby, do té doby považovaný za nejlepší na světě, potkalo obrovské fiasko v květnu 1916 v bitvě u Jutska, největší námořní bitvě první světové války, kde se střetlo britské a německé válečné loďstvo na vzdálenost od 7 do 9 mil. Nejen že Britové utrpěli porážku ve smyslu ztráty většího počtu lodí, ale ukázalo se, že pouhá 3 % jimi vystřelených dělostřeleckých granátů zasáhla cíl. Navíc se ukázalo, že nejlepší střelecké výsledky měla jedna britská loď, která jako jediná byla vybavena mechanickým výpočetním systémem, jehož autorem byl Arthur Hungerford Pollen.

Shodou okolností pouhé dva měsíce po bitvě u Jutska byl skupině amerických důstojníků na palubě nové bitevní lodi USS Texas demonstrován prototyp zařízení *Mark 1 Ford Rangekeeper*. Šlo o analogový počítač s mechanickými integrátory, jehož účelem (v této první verzi) byl výpočet časového vývoje vzdálenosti nepřátelského plavidla na základě jednorázově za-

daných vstupních údajů.² Američtí důstojníci byli zařízením nadšeni, a patrně právě na základě čerstvého selhání britského systému založeného na „manuálních“ výpočtech se velení amerického námořnictva (konkrétně Bureau of Ordnance, BuOrd) rozhodlo zakoupit celou sérii rangekeeperů. Konstruktorem tohoto prvního rangekeeperu byl Hannibal Choate Ford a výrobcem jeho firma Ford Instrument.

U systému zaměřování tak došlo k nahrazení člověka (či skupiny lidí) zapojeného do procesu integrace dat, neboť rangekeeper tuto integraci prováděl automaticky, a to jak ve smyslu kombinování a usouvstažňování zadaných dat, tak i ve smyslu jejich matematického integrování. Je důležité si povšimnout, že takovéto nahrazení člověka strojem zde rozhodně nebylo ve formě zvýšení jeho fyzické síly (hlavní motivace průmyslové revoluce), nýbrž ve smyslu informačním a rozhodovacím. Stroj se zde stal člověku komunikačním partnerem a vznikly zde oboustranné informační toky a vazby mezi člověkem a strojem. BuOrd a Hannibal Ford tak byli jedni z prvních, kteří v praxi zrealizovali to, co později začalo ztělesňovat jeden z důležitých aspektů kybernetiky.

Další důležitou osobou tohoto raného období byl Fordův přítel a kolega Elmer Ambrose Sperry, který v New Yorku založil firmu Sperry Gyroscope Company. S Fordovou pomocí Sperry vyvinul a začal prodávat důležité navigační zařízení – gyrokompas.³

²V historii amerického válečného loďstva se s postupem času objevila celá řada dalších „rangekeeperů“, které realizovaly mnohem složitější funkce, jako například predikci budoucí pozice cíle či korekci střelby. Název Rangekeeper se tak stával čím dál tím víc neadekvátní, nicméně zařízení byl ponechán. Vrchol rangekeeperů nastal v průběhu druhé světové války, zejména v typech Mark 47 a Mark 68. Poslední bojové nasazení analogových rangekeeperů se odehrálo roku 1991 ve válce o Perský záliv, kdy řídily střelbu bitevních lodí třídy Iowa (viz Rangekeeper. *Wikipedia* [online]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Rangekeeper> [cit. 1.5.2012]).

³Gyrokompas je mechanické zařízení, které je na základě vlastní rychlé rotace schopné identifikovat zemskou osu rotace, a tím pádem nalézt pravý (nikoli magnetický) sever. Slouží tak jako přesný a rychlý kompas (klasický magnetický

A právě gyrokompas se stal další důležitou složkou systému zaměřování – nikoli v oblasti navigace, ale k přenosu informací.

Zaměřování dělostřeleckých věží na bitevních lodích totiž spočívalo ve vzájemné interakci mezi řídícím palby, zakreslovací místností a operátory jednotlivých věží. Tito operátoři tak již prakticky neměli vizuální kontakt a zpětnou vazbu se svým cílem a předchozí palbou. Zpětnou vazbu zde zprostředkoval řídící, který vydával instrukce pro operátory, ovšem nikoli přímo, ale přes zakreslovací místnost, kde důstojníci predikovali pozici cíle a vyhledávali příslušné balistiky v numerických tabulkách. Operátoři se tak v celém procesu stali pouhými artikulátory. Musel však být vyřešen problém efektivního předávání informací mezi jednotlivými stanovišti. Ukázalo se, že hlasová komunikace se neosvědčila (například kvůli silnému hluku z bojiště, nepřesnosti a těžkopádnosti), a tak zde spatřil příležitost Sperry se svým gyrokompasovým opakovačem – zařízením, které na dálku přenášelo odečty z hlavního gyrokompasu do jeho opakovačů. Toto zařízení pak začalo přenášet informace o azimutu cíle mezi zakreslovací místností a věžemi.

Opět zde tedy vznikl strojově realizovaný informační kanál, který v procesu řízení a výměny informací nahrazoval člověka. Ačkoli to tehdy patrně nijak explicitně nereflektovali, stáli Hannibal Ford a Elmer Sperry spolu s BuOrd amerického námořnictva u jednoho z prvních prorůstání strojů do oblasti lidských informačních, řídicích a kognitivních kompetencí. Tento fakt přibližoval jejich tehdejší aktivity kybernetice více než to, že rangekeeper ke korekci svých výpočtů využíval zpětnovazební smyčky.

Příběh automatického řízení střelby v americkém námořnictvu se pak rozvíjel dále. Ford a Sperry postupem času připravili dva vzájemně si konkurující systémy, Sperry nakonec tuto oblast opustil (abychom se pak k němu mohli

kompas je relativně pomalý, s velkou setrvačností a zpožděním při změně kurzu). Gyrokompas je dodnes jedním ze základních přístrojů na palubě každého letadla.

vrátit v oblasti jiné, viz následující oddíl) a naopak se v ní objevili dva noví hráči: General Electric a Arma Engineering Company. Těmi se však již zde zabývat nebudu, neboť jejich role pak už spočívala pouze ve zdokonalování celého systému. Pro historii kybernetiky byl však důležitý zejména ten první krok, který učinili Ford a Sperry.

2.2 Lodivod

Ačkoli se Sperry rozešel ve dvacátých letech s americkým námořnictvem v nepříliš dobrém duchu, jeho role v rozvíjení kybernetických myšlenek zdaleka neskončila. Sperry měl poměrně přesnou představu o tom, co jsou stroje, obzvláště pak stroje pohybující se, a tato představa byla jasně animistická a přisuzující strojům autonomnost podobnou té, kterou mají zvířata:

Of all vehicles on earth, under the earth and above the earth, the airplane is that particular beast of burden which is obsessed with motions, side pressure, skidding, acceleration pressures, and strong centrifugal moments... all in endless variety and endless combination.⁴

Ze všech dopravních prostředků na zemi, pod zemí i nad zemí je letadlo tou zvláštní [spoutávanou šelmou],⁵ která je posedlá pohyby, bočním tlakem, smýkáním, akceleračními tlaky a silnými odstředivými momenty... to vše v nekonečných variacích a nekonečných kombinacích.

Létání a letadla tedy pro Sperryho byla obzvláště důležitá, zajímavá, a dalo by se říci, že i vzrušující. Anglický termín „be-

⁴Sperry (1922), citováno podle Mindell (2002, s. 351).

⁵K tomuto překladu viz dále.

ast of burden“ krásně vystihuje napětí mezi „divokostí“ a „spontaností“ naráz ve zvířeti přítomnou, což se však bohužel ztrácí v českém překladu „soumar“ či „nákladní zvíře“. Rozhodně je mně a patrně i Sperrymu bližší představa letadla jako „šelmy posedlé pohybem“, kterou je navíc nutno řídit kvůli křehké rovnováze v ní neustále přítomné:

The steering of ships, torpedoes, airplanes, dirigibles, etc., where the rudder is aft, presents several problems, some of which, at least, are due to the fact that the controlling of the direction of such a craft is in constant unstable equilibrium.⁶

Kormidlování lodí, torpéd, letadel, vzducholodí, atd., kde je kormidlo na zádi, přináší několik problémů, z nichž přinejmenším některé jsou způsobeny faktem, že řízení směru takového plavidla je v neustálé nestabilní rovnováze.

V tomto duchu firma Sperry Gyroscope představila roku 1922 zařízení s názvem „Gyro-Pilot“ – automatického lodního kormidelníka.⁷ Toto zařízení využívalo klasické zpětnovazební smyčky, kdy výstup senzoru (gyrokompasu) byl přes zesilovač (elektromotor otáčející lodním kormidlem) napojen k akčnímu členu (kormidlo), který ovlivňoval směr lodi, a tím opět hodnoty odečítané senzorem. Sperry tento systém ve svém antropomorfním vidění strojů pojmenoval „železný navigátor“ („iron quartermaster“)⁸ a veřejnost mu v ještě silnějším antropomorfismu dala přezdívku „Metal Mike“. Zcela fascinující totiž bylo, že Gyro-Pilot ke své činnosti nepotřeboval žádného lidského

⁶Sperry (1922), citováno podle Mindell (2002, s. 351).

⁷Povšimněme si, že již zde se nám objevuje pozdější Wienerův *kybernētēs*, kormidelník.

⁸Anglický termín „quartermaster“ je používán k označení poddůstojníka zodpovědného za navigaci lodi.

operátora a pro pozorovatele situace vypadala tak, že kormidlo se otáčí samo od sebe a přitom loď pluje správným směrem. To mimo jiné činilo zařízení ještě zajímavějším, neboť mu propůjčovalo jistý mysteriózní háv, obzvláště spojený s kulturně tak silným obrazem, jako je plavba na moři.

Těchto mysteriózních konotací šikovně využíval k marketingu i Sperry Gyroscope. Vznikl tak například reklamní příběh *A True Story of the Devil*, na nějž Mindell (2002, s. 72) upozorňuje. Tento příběh ale hraje tak silně na xenofobní a rasistickou notu, že bych jej zde snad raději ani nezmiňoval, kdybych jej ovšem nepovažoval za velice důležitý ve smyslu odkrývání klíčových archetypů, představ a pilířů v základech naší moderní vědy.

Příběh vypráví o americkém kapitánovi plavícím se lodí vybavenou Sperryho Gyro-Pilotem. Tento bílý kapitán pozve na palubu nesmírně zkušeného a schopného arabského kapitána, aby se podíval, jak je jeho loď automaticky řízena. Arab ustrne v údivu, když spatří, jak se kormidlo otáčí samo od sebe. Dlouze se snaží najít nějaká skrytá lana či jiné triky, ale když neuspěje, nabude přesvědčení, že loď musí být posedlá ďáblem. Američan mu však začne vysvětlovat, že loď je naopak řízena andělem a že pouze křesťani ho mohou vidět. A pokud by Arab opustil své bezbožné cesty a konvertoval ke křesťanství, sám by pochopil, jak se loď může řídit sama.

Podle Mindellovy interpretace tedy ačkoli loď sama o sobě může být „beast of burden“, Gyro-Pilot ji učiní inteligentní, domestikovanou a křesťanskou (Mindell, 2002, s. 73). K tomu bych jen dodal, že příběh také dobře připomíná dnes již zcela zakrytou skutečnost, jak moc stojí křesťanství v základech novověké evropské (tj. karteziánské a newtonovské) vědy.

Hromadným nasazováním gyropilotů se postupně lidský kormidelník přesunul do role nejslabšího článku řetězu řízení. Jeho úkolem bylo ovládnutí gyropilota, který sám ovládal loď. Vznikl tak nový typ komplexní zpětné vazby a těsnějšího *spřažení* (angl. *coupling*) člověka se strojem.

Po první světové válce se Sperryho produkce gyroskopických zařízení rozrostla o směrové gyro (směrový indikátor) a umělý horizont – opět dodnes základní prvky přístrojového vybavení letadel. A právě na základě těchto zařízení vyvinul v letech 1925–1929 Elmer Sperry Jr.⁹ prvního leteckého autopilota, kterého firma Sperry Gyroscope představila v roce 1931 pod označením A-1. Tento autopilot dokázal stabilizovat letoun pomocí klopení a bočení. Navíc dokázal ovládat i křídélka (klonění). Masového nasazení se pak dočkal vylepšený model A-2, který používal vzduchová gyra a pneumaticko-hydraulické akční členy. Dokázal též udržovat výšku pomocí zesilovače signálu z citlivého tlakoměru a byl vybaven takovým ovládáním, které umožňovalo lidskému pilotovi zasahovat do řízení, aniž by bylo nutno autopilota vypnout.

Opět zde vznikla taková konfigurace, že lidský pilot ovládal autopilota, který ovládal letoun. To později umožnilo vytvořit systém spárování bombardovacího zaměřovače s autopilotem, který udržoval směr a hladinu letu, zatímco bombometčík naváděl letoun na cíl pomocí vizuální zpětné vazby. Docházelo zde tak k ještě těsnějšímu spřažení mezi člověkem a strojem: bombometčík se stával jedním z orgánů bombardovacího stroje, či naopak bombardér se stal ve chvíli zaměřování a bombardování ústrojným rozšířením bombometčíkova fyzického těla, které ve zpětné vazbě reagovalo na pokyny generované jeho kognitivním aparátem.

Na podobné spřažení se strojem explicitně upozorňoval Wiley Post, bývalý dělník, který roku 1926 přišel při pracovní nehodě na ropných polích o levé oko. Z kompenzací za tuto nehodu si zakoupil letadlo a začal intenzivně létat. Říká se, že létal tak přirozeně, že se letadlo stalo rozšířením jeho těla a on se stal mozkiem letadla. Jeden z jeho kolegů o něm prohlásil, že leta-

⁹Elmer Sperry Jr. byl jedním ze tří synů Elmera Ambrose Sperryho. Další z jeho synů, Lawrence Sperry, byl leteckým průkopníkem, který zahynul v roce 1923 při svém letu nad Lamanšským průlivem. Lawrence se spolupodílel na vývoji umělého horizontu a na zařízení pro stabilizaci letadla.

dlo pouze neřídí, ale že si ho přímo obléká (Mindell, 2002, s. 77). Roku 1931 se Post rozhodl obletět svět. Přestavěl kokpit letadla tak, že umístil důležité přístroje (zejména směrové gyro a umělý horizont) před své zdravé oko a letěl s jednou rukou na kniplu a jednou nohou na pedálech směrovky. Pro svůj druhý let kolem světa se rozhodl roku 1933, kdy svůj letoun vybavil Sperryho autopilotem A-2. O svém druhém letu potom referoval tak, že se v jeho průběhu zcela sžil s autopilotem. Autopilot na sebe přebral břemeno dlouhodobého únavného řízení, zatímco Post se věnoval navigaci a zasahoval ve složitějších situacích, kdy autopilot selhával. Oba dva tak vzájemně spoléhali na své silné stránky a kompenzovali své stránky slabé (Mindell, 2002, s. 77).

Sperryho firma však letadla pomáhala nejen stavět, ale i ničit. V roce 1930 vyvinula zařízení pro řízení protiletectké palby nazvané T-6, jehož jádrem byl „počítač“.¹⁰ Tento počítač prováděl predikci polohy cíle na základě sledovacího mechanismu ovládaného lidskými operátory pomocí jejich vizuální zpětné vazby a dále počítal balistiku střely tak, aby granát explodoval v co nejtěsnější blízkosti letadla, které by se v tom čase mělo nacházet na predikované pozici. Požadavkem armády byla co největší jednoduchost obsluhy, „blbuvzdornost“ a co nejnižší nároky na schopnosti a kvalifikaci lidských operátorů (velení si bylo na základě zkušeností z první světové války dobře vědomo toho, že v případě mobilizace bude nesmírně obtížně rychle sehnat větší množství schopného a kvalifikovaného personálu). Zajímavé je, že Sperry nazýval lidské operátory termínem „manuální servomechanismy“.

V průběhu třicátých let a začátkem druhé světové války Sperryho firma průběžně zdokonalovala své systémy a hlavně počítače v nich obsažené, které se přesunuly z mechanické oblasti do oblasti elektricky realizovaných výpočtů a dokonce částečně i numerických kalkulací.

¹⁰ „The heart of the gun control system is the Computer.“ uvedl roku 1930 v technickém memorandu Earl Chafee z firmy Sperry (Mindell, 2002, s. 87).

Vrcholem Sperryho produkce v období druhé světové války byly systémy řízení palebných věží těžkých amerických bombardérů Boeing B-17 Flying Fortress a Consolidated B-24 Liberator. V těchto věžích docházelo k velice těsnému a důvěrnému spřažení mezi člověkem–střelcem a strojem–rozšířením střelcova těla, kognitivních schopností a zároveň jeho ochrany a obrany.¹¹ Střelba tak probíhala v mnohvrstevnatém a komplexním systému zpětných vazeb, na nichž se podílela jak lidská mysl a lidské tělo, tak strojem realizovaný řídicí systém a mechanické akční členy. V tomto smyslu určitě můžeme již i tyto systémy zahrnout do kategorie *human enhancement* či *cognitive enhancement*.¹²

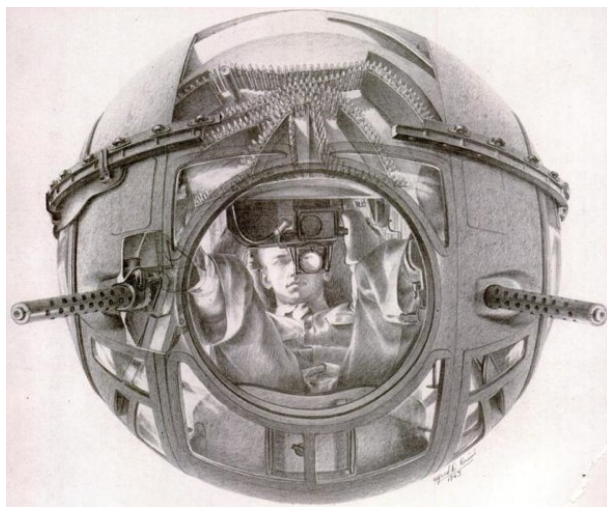
Jistý estetický a pocitový aspekt z tohoto spřažení ztvárnil roku 1943 ve svých kresbách Alfred Crimi, poměrně známý malíř italského původu, který se jinak zabýval freskami a nástěnnými malbami a jehož si najala Sperry Corporation. Některé z těchto kreseb jsou bez dalšího komentáře reprodukovány na obr. 2.1, 2.2 a 2.3.

2.3 Řízení a komunikace

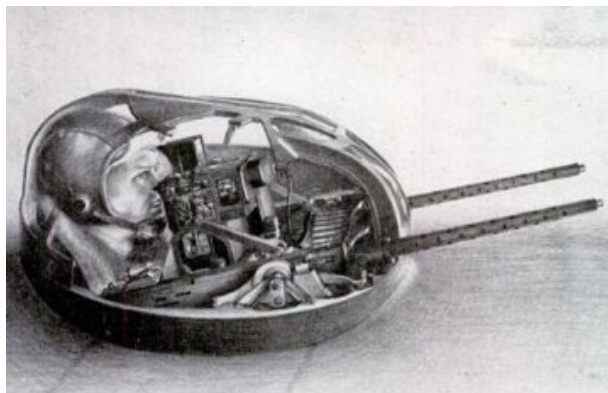
Telefonní síť byla od dob Alexandera Grahama Bella chápána jako pasivní systém, který v podobě elektřiny přenášel hlas z jednoho telefonního aparátu na jiný. Tento systém byl vhodný pro přenos na krátké vzdálenosti, neboť delší elektrické vodiče představovaly obrovský útlum a nesmírné zhoršení přenášeného hlasu (inženýři tehdy kvantifikovali útlum jednotkou, kterou nazývali „míle standardního kabelu“; z té se později stala *transmisní jednotka*, dále přejmenovaná na *bell* a nakonec standardizovaná jako *decibel*). Aby byl co nejvíce snížen útlum,

¹¹Pro milovníky letectví je toto dobře ilustrováno na případu letounu B-17 ve filmu *Memphis Belle*.

¹²Dnes běžně používané anglické termíny pro metody a systémy vylepšování lidských schopností (či lidských kognitivních schopností).



Obrázek 2.1: Operátor v dolní střelecké věži B-17 se Sperryho řídicím systémem. Kresba Alfreda Crimiho, převzato z Life Magazine, January 1944.

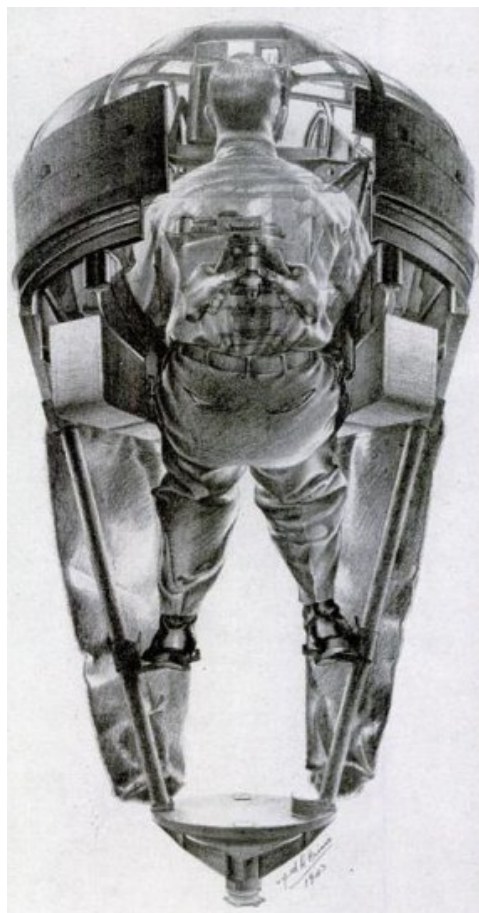


Obrázek 2.2: Operátor v horní střelecké věži B-17 se Sperryho řídicím systémem. Kresba Alfreda Crimiho, převzato z Life Magazine, January 1944.

používaly se širší kabely, avšak více mědi představovalo mnohem větší náklady a také hmotnost, která činila problémy zejména v zimě. Systém byl dále navržen tak, že i na dlouhé vzdálenosti fungoval v tzv. režimu *open wire*, kdy každý okruh měl svůj vlastní vodič, který mohl přenášet pouze jediný telefonický hovor, a aby nedocházelo k překryvu (jeden hovor pronikl do hovoru jiného), musely být mezi vodiči větší rozestupy. Vznikaly tak „klasické“ telefonní sloupy s obrovským množstvím kabelů, které protkávaly americká předměstí a které nám dnes symbolizují Ameriku začátku dvacátého století.

V té době poskytovalo lokální telefonní služby v USA velké množství společností, a tak bylo konkurenční prostředí velmi zaplněné. Výhodu by získala ta společnost, která by nabídla možnost spolehlivého dálkového telefonického spojení. Toho se ujala AT&T (American Telephone and Telegraph) a začala rozvíjet celonárodní telefonní síť nazývanou Bell System.¹³

¹³Síť Bell System fungovala v rozpětí let 1877–1984, zahrnovala nejen USA,



Obrázek 2.3: Operátor v horní střelecké věži B-17 se Sperryho řídicím systémem. Kresba Alfreda Crimiho, převzato z Life Magazine, January 1944.

Aby však AT&T uspěla, musela začít výrazně rozvíjet výzkum a vývoj, což učinila prostřednictvím své dceřiné společnosti Bell Labs, která vznikla roku 1925 spojením inženýrských oddělení AT&T a Western Electric. V Bell Labs se tak zkoncentrovala specifická inženýrská kultura, která výrazně přispěla k rozvoji myšlenek později vtisknutých kybernetice.

Bylo nutno zcela přeformulovat koncepci teorie fungování telefonního systému. Navázalo se na práci Angličana Olivera Heavisida, který koncem devatenáctého století navrhl jednotkovou skokovou funkci k analýze elektrického okruhu či sítě. John Carson z AT&T tuto analýzu zformalizoval a rozvinul do podoby analýzy přechodové funkce. Hlas přenášený při telefonním rozhovoru tak začal být popisován skrze dualitu mezi přechodovou funkcí v časové doméně a ustáleným stavem ve frekvenční doméně. Využívala se Fourierova analýza a začaly tak vznikat metody pro modulaci signálu pomocí změn frekvencí ve frekvenčním spektru. Zcela se tak proměnilo pojetí vztahu mezi elektrickým proudem a hlasem – jestliže doposud byl elektrický proud toliko jinou formou přenášeného hlasu, odtěď se stal formou přenosu informací *kódujících* hlas. Tím se objevila možnost zavedení multiplexního unašeče (multiplex carrier), kdy je v jednom kanálu (vodiči) frekvenčně modulováno více hlasových signálů současně, každý v jiné části spektra.

Elektricky nesený signál šířící se vodičem na velké vzdálenosti je tlumen, a proto je nutno jej v určitých vzdálenostních intervalech zesilovat. K tomu byly používány elektronkové¹⁴ zesilovače. Běžný elektronkový zesilovač však má výrazně nelineární charakteristiku, což znamená, že dochází

ale i Kanadu, a v různých obdobích byla pro telefonní služby monopolem. Původně byla založena společností American Bell Telephone Company, která byla roku 1899 převzata společností AT&T (viz Bell System. *Wikipedia* [online]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bell_system [cit. 1.5.2012]).

¹⁴Elektronka, která se díky své konstrukci anglicky nazývá *vacuum tube* (v českém „elektrobaštlířském“ žargonu pak *lampa*), je zařízení, které usměrňuje nebo zesiluje elektrické signály.

ke zkreslování jím zesilovaného signálu. Pokud je za sebe zapojeno více takových zesilovačů, zkreslení se kumuluje a v případě přenášení řečového signálu může dojít k jeho naprostému poškození a ztrátě srozumitelnosti (o ztrátě kvality a zanášení různých parazitických zvukových jevů ani nemluvě).

Původní *open-wire* transkontinentální přenos těžil z toho, že linka byla vedena jedním širokým vodičem s poměrně nízkým útlumem, a tak bylo zapotřebí méně než 10 telefonních opakovaců (tj. zařízení s elektronkovým zesilovačem) pro hovor napříč kontinentem. Jakmile však začal být využíván multiplexní unašeč a do jednoho přenosového kanálu začalo být modulováno více linek, počet nutných opakovaců při stejné vzdálenosti stoupl na 40. AT&T se dále snažila zvyšovat kapacitu své sítě tím, že nahrazovala zmíněné silné vodiče za kabely, tj. svazky vodičů tenkých, které však měly výrazně vyšší útlum. Při použití kabelů ale stoupl počet nutných opakovaců až na 200 a pokud se zkombinovaly kabely s multiplexním unašečem, toto číslo bylo ještě mnohem vyšší.

Při takovém množství do série zapojených nelineárních elektronkových zesilovačů by docházelo k tak silnému zkreslení přenášeného řečového signálu, že by systém byl zcela nepoužitelný. Proto se snaha v Bell Labs upnula k vývoji co nejlineárnějšího zesilovače s co nejvyšším koeficientem zesílení (aby jich bylo zapotřebí co nejméně).

Tímto úkolem se zabýval i mladý inženýr Harold Black, od roku 1921 nejdříve v Systems Engineering Department firmy Western Electric, později pak v Bell Labs. Roku 1925 Black navrhl laboratorní prototyp zesilovače s *dopřednou vazbou* (angl. *feed-forward amplifier*): nejdříve vytvořil teoretický koncept zesilovače tak, že uchopil jeho výstup jako obsahující dvě signálové složky – žádoucí, tj. čistý zesílený signál, a nežádoucí, tj. zkreslení. Pak vytvořil takový zesilovač, který kromě zesílení ještě generoval signál svého vlastního zkreslování, a ten na výstupu v dopředné vazbě odečítal od původního zesíleného signálu s oběma složkami. Ukázalo se, že tento systém funguje, zesiluje

signál s výrazně nižším zkreslením, avšak pouze v laboratorních podmínkách; do reálného provozu jej ale nebylo možno nasadit kvůli poměrně komplikované konstrukci a nutnosti neustálého složitějšího seřizování.

Se skutečně průlomovou myšlenkou však přišel Black až roku 1927: navrhl teoretickou koncepci *zpětnovazebního* zesilovače. Tato koncepce uvažovala klasický (nelineární) elektronkový zesilovač s koeficientem zesílení μ . Jeho výstup je přiveden pomocí tlumící zpětné vazby s koeficientem $\beta < 1$ zpět na vstup, od něhož je odečten (tj. negativní zpětná vazba – se záporným znaménkem).¹⁵ Black ukázal, že celkové zesílení takového zesilovače závisí prakticky pouze na zpětnovazební větvi a jejím parametru β , nikoli na původním zesílení μ , a to v rozsahu $1/\mu$.¹⁶ Je-li tedy původní zesílení elektronky $\mu = 100$, pak 1 % celkového zesílení zpětnovazebního zesilovače je dáno elektronkou a 99 % je dáno zpětnou vazbou.

Důležité je, že zpětnovazební větev zesilovače lze vybudovat pouze z pasivních elektronických prvků (rezistory, kapacitory, indukty), které mají mnohem lineárnější charakteristiku než elektronky, a proto je – zjednodušeně řečeno – snížení celkového zesílení vykompenzováno odpovídajícím zvýšením lineárnosti zesilovače jako celku (neboť se „lineární“ zpětnovazební větev β podílí na celkovém zesílení mnohonásobně více než nelineární elektronková část μ). Takže například použijeme-li elektronku se zesílením $\mu = 100000$, můžeme jí obalit zápornou zpětnou vazbou, která sice sníží celkové zesílení stonásobně (na $\gamma = 1000$), avšak zároveň stonásobně zvýší lineárnost a sníží zkreslení. A to tehdy představovalo obrovský pokrok. Navíc při sériovém zapo-

¹⁵Jde tedy o opačnou koncepci, než které se využívá v *regenerativních* zesilovačích, kdy je zesílený výstup poslán zpět na vstup s kladným znaménkem. Regenerativní zesilovače jsou schopny vygenerovat velmi silné krátké pulzy, avšak z principu kladné zpětné vazby všechny nelinearity a zkreslení násobí.

¹⁶Celkové zesílení γ zpětnovazebního zesilovače je dáno vztahem $\gamma = \frac{\mu}{1+\mu\beta}$, takže pokud $\mu \gg 1$ (což v případě elektronkového zesilovače platí), získáme $\gamma \approx 1/\beta$.

jení několika zesilovačů se jejich zesílení násobí, zatímco zkreslení pouze sčítá, takže tímto bylo možno vyřešit pokles zesílení u samostatných zpětnovazebních zesilovačů.

Harold Black však se svým návrhem překvapivě neúspěšně narazil. Prvním důvodem byla dle Mindella (2002) jistá animosita mezi dvěma druhy inženýrské kultury v Bell Labs: první byli teoretici s doktorátem, kteří měli provádět základní výzkum a rozhodovat o budoucím směřování, zatímco druzí byli systémoví inženýři „jen“ s bakalářským titulem,¹⁷ kteří měli udržovat aktuální telefonní síť v chodu a maximálně ji nějak z praktického hlediska vylepšovat. Ti první do určité míry pohrdali těmi druhými, a Harold Black patřil k těm druhým. Neočekávalo se od něj, že bude předkládat zcela nové teoretické koncepce zesilovačů.

Druhým, již podstatně korektnějším důvodem Blackova odmítnutí byl fakt, že jeho návrh vůbec neřešil stabilitu systému ve smyslu zabránění vzniku nekontrolovatelných oscilací. Zpětná vazba v zesilovači totiž při určité konfiguraci parametrů a vstupního signálu mohla způsobit rozkmitání výstupu, které do signálu vneslo specifické nežádoucí jevy, v Bell Labs familiérně nazývané „zpívání“. Zatímco pro většinu teoretiků znamenala *stabilita* zesilovače absenci „zpívání“, pro Blacka jako systémového inženýra byl stabilní zesilovač takový zesilovač, který spolehlivě fungoval po dlouhou dobu za každých podmínek, v mrazu, v horku i za vlhka.

Problém se stabilitou a nežádoucími oscilacemi však bylo nutno vyřešit, a tak se Black obrátil s žádostí o pomoc na svého kolegu Harryho Nyquista. Ten v roce 1928 zrealizoval „Morristownský test“ (angl. „Morristown trial“), který měl ověřit přenos signálového unašeče na dlouhé vzdálenosti. Bylo použito 78 opakovacích založených na Blackově návrhu, které byly spojeny kabelem v rozestupech 25 mil. Začátek i konec kabelu byl v labo-

¹⁷Nutno si však uvědomit zásadní rozdíl mezi kvalitou bakalářského titulu před sto lety a dnes...

ratoři v Morristownu v New Jersey. Nyquist na tomto experimentu úspěšně vyřešil problém stability Blackova zesilovače,¹⁸ a to jeho analýzou ve frekvenční oblasti. Dodnes je tak využívána Nyquistova metoda vyšetření stability systému známá jako *Nyquistova křivka*.

Definitivní uplatnění zpětných vazeb v telefonním systému však přišlo až se třetím významným inženýrem z Bell Labs, Hendrikem W. Bodem. Bode nastoupil do Bell Labs v roce 1926 a zabýval se teorií sítí. Vytvořil a v roce 1934 publikoval obecnou teorii zaměřenou na návrhy všech typů filtrů potřebných v nově vznikajících telefonních opakovacích.¹⁹ Tam, kde Nyquist poskytl způsob vyšetření toho, zda je existující zesilovač stabilní, zaměřil se Bode na exaktní návrh stabilního zesilovače splňujícího předem zadané parametry. Stejně jako Nyquist, tak i Bode vypracoval přehlednou grafickou metodu použitelnou při praktických návrzích. Každému studentovi teorie řízení je tak dodnes notoricky znám *Bodeho diagram*.

Příběh vzniku a postupného rozvoje telefonní sítě v USA ilustruje několik aspektů kybernetického myšlení. V rovině technické a matematické šlo o přímé uplatnění záporných zpětných vazeb, o vznik metod explicitního vyšetření stability systému a návrhu signálových filtrů podle požadovaných kritérií. To ovšem není to, co apriorně činí kybernetiku kybernetikou – podobné metody spadají spíše do teorie řízení či signálové filtrace a pod křídla kybernetiky byly zařazeny ex post (alespoň je však nutno si uvědomit, že celé tyto teoretické koncepce vznikly v podstatě na zakázku zcela praktických inženýrských aplikací). Na rozdíl od systémů řízení střelby či letadel zde nemůžeme hovořit

¹⁸Mindell (2002) k tomuto poměrně vtipně místy odkazuje jako ke „stabilizing Black's Box“.

¹⁹V tu dobu se začalo k přenosu signálu využívat nového média – koaxiálního kabelu (jeden vodič obklopení vodivým stíněním), který umožňoval modulovat signál až na frekvencích v řádu megahertz. Jelikož však bylo na transkontinentální linku vedenou koaxiálním kabelem zapotřebí 600 opakováčů, vznikly zcela nové požadavky na jejich kvalitu a přesnost.

ani o strojovém nahrazení činností, které dříve vykonávali lidé, poněvadž zesilování či filtrování elektrického signálu mezi ně rozhodně nepatří. O co zde z kybernetického hlediska jde především, je specifické formální uchopení přirozené lidské komunikace. Komunikace lidskou řečí začala být převáděna do kvantifikovatelné a měřitelné domény signálu, frekvencí, modulací a sítí. Lidská řeč se tak stala něčím, s čím lze manipulovat a co lze měřit a strojově zpracovávat. Telefonní síť začala být nazývána „nervovým systémem společnosti“ či „míchou národa“ (Mindell, 2002, s. 131). K tomu přispěl i vývoj v další oblasti sítě Bell System – automatického přepínacího systému, který umožňoval spojení dvou telefonních aparátů bez účasti lidského operátora, pouze na základě uživatelem provedené číselné volby. Takovýto reléový spojovací systém se později stal technickou metaforou lidského mozku (Pickering, 2010).

Závěry teoretického výzkumu v Bell Labs ukázaly, že text, řeč i obraz mohou být při dálkovém přenosu zpracovávány zcela stejným způsobem. Díky tomu zprovoznilo AT&T začátkem třicátých let dálkopisnou službu Telex, která umožňovala vysílání textu z jedné stanice (podobné psacímu stroji) na libovolné množství stanic jiných. Tomu předcházela snaha maximalizovat přenosovou kapacitu telefonních a telegrafních linek, čehož se po teoretické stránce ujal opět Harry Nyquist. Ve svých analýzách z roku 1924 rozdělil telegrafní signál na diskrétní informační signálové elementy a rychlost jejich posílání nazval „rychlost přenosu zprávy“ (Gerovitch, 2002, s. 68).²⁰ Dále například ukázal, že informační propustnost telegrafní linky je rovna polovině provozní frekvence telegrafu. Později se k tomuto poznatku jako k „Nyquistově frekvenci“ (angl. „Nyquist rate“)

²⁰V angličtině jako „the speed of transmission of intelligence“ (Gerovitch, 2002, s. 68). Slovo „intelligence“ tak zde může mít dva různé významy – smysluplnější v tomto kontextu se mi však zdá „zpráva“ než „inteligence“. Nicméně použití slova „intelligence“ místo běžnějšího „message“ zavádí sémantický posun spočívající v tom, že jde o *nové* informace, doposud neznámé, podobně jako u slova „tidings“ (zvěsti).

odkázal Claude Shannon ve svém vzorkovacím teorému.²¹

Ve stejnou dobu další výzkumník z Bell Labs, Ralph Hartley, pracoval na teorii měření informace. V roce 1928 nahradil Nyquistův antropomorfní termín „zpráva/intelligence“ neutrálnějším termínem „informace“ (Gerovitch, 2002, s. 68) a navrhl možnost porovnávání kapacity různých přenosových kanálů pomocí „logaritmu počtu možných symbolových sekvencí“ (Mindell, 2002, s. 134). Nyquist a Hartley tak položili základy pro teorii informace, kterou plně formuloval Claude Shannon až roku 1948.

Ze společných výsledků práce Blacka, Nyquista, Bodeho a Hartleyho je již zřetelně patrný jeden ze základních principů kybernetiky: *jednota řízení a komunikace* (vzpomeňme, že vše začalo snahou „určit“ elektronkový zesilovač). Toto zcela přesně koresponduje s tím, co o bezmála dvě desetky let později píše Wiener:

On the communication engineering plane, it had already become clear to Mr. Bigelow and myself that the problem of control engineering and of communication engineering were inseparable, and that they centered not around the technique of electrical engineering but around the much more fundamental notion of message, whether this should be transmitted by electrical, mechanical, or nervous means.²²

V rovině komunikačního inženýrství již začalo být panu Bigelowovi²³ a mně jasné, že problémy řízení

²¹*Shannonův teorém* ukazuje, že k přesné rekonstrukci spojitého signálu z jeho diskrétně vzorkovaného obrazu je zapotřebí, aby vzorkovací frekvence byla minimálně dvakrát vyšší, než je maximální frekvence přítomná ve spojitém signálu. Z tohoto důvodu je dnes například kvalitní záznam zvuku (tj. v CD kvalitě a vyšší) digitálně vzorkován na frekvencích vyšších než 40 kHz, neboť maximální člověkem slyšitelné frekvence se pohybují kolem 20 kHz.

²²Wiener (1965, s. 8)

²³Julian Bigelow byl asistentem Norberta Wienera, viz dále.

a komunikace jsou od sebe neoddělitelné a že se točí nikoli kolem techniky elektroinženýrství, nýbrž kolem mnohem fundamentálnějšího pojmu zprávy, přenášené ať již elektricky, mechanicky či nervovými prostředky.

Je tedy vidět, že Wienerův přínos v této oblasti skutečně nebyl tak převratný, jak je mu připisováno, a že si jednoty řízení a komunikace mnohem dříve před ním a Bigelowem všimli přinejmenším inženýři z Bell Labs.

Dalším již zde se projevujícím aspektem kybernetiky byla vznikající metafora spojující člověka a stroj: celý systém se antropomorfoval tak, že byl chápán jako jsoucí schopen předávat zprávy, přizpůsobit se prostředí, být nervovým systémem společnosti apod. Tato metafora však měla i opačné působení: člověk (a zejména jeho kognitivní schopnosti) začal být konceptualizován ve strojových pojmech. Například v roce 1935 si další inženýr z Bell Labs, Homer Dudley, patentoval zařízení zvané Vocoder (Gerovitch, 2002, s. 69) a později ještě zařízení Voder (akronym pro Voice Operating Demonstrator), které v roce 1939 předvedl na Světové výstavě. Vocoder bylo zařízení na formantovou analýzu a zpětnou resyntézu lidské řeči (za druhé světové války pak v rámci tzv. „Projektu X“ vznikl z Vocoderu „X-System“, který umožňoval každé složce analyzovaného řečového signálu před dálkovým přenosem přiřadit digitální šifrovací klíč, čímž bylo možné na nejvyšší úrovni vytvořit šifrovaný řečový kanál pro komunikaci mezi Washingtonem a Londýnem (Gerovitch, 2002, s. 69)) a Voder byl v podstatě první elektronický řečový syntetizér. V souvislosti se shora zmíněnou metaforou je však důležité zejména to, že Dudley viděl Voder a Vocoder jako model lidské komunikace:

Speech is like a radio wave in that information is transmitted over a suitably chosen carrier. [...] Communication by speech consists in a sending by one

mind and the receiving by another of a succession of phonetic symbols with some emotional content added. [...] The message consists of those articulating, phonating and inflecting motions of the vocal parts which imprint the information on the carrier sound stream.²⁴

Řeč je jako rádiová vlna v tom, že informace je přenášena nad vhodně zvoleným unašečem. [...] Řečová komunikace sestává z toho, že jedna mysl posílá posloupnost fonetických symbolů s nějakým přidaným emočním obsahem a druhá mysl tuto posloupnost přijímá. [...] Zpráva se skládá z těch artikulačních, fonačních a modulačních pohybů hlasových orgánů, které vtiskují informaci unašeči zvukového proudu.

Z vlastní zkušenosti a částečně i k vlastní hanbě musím konstatovat, že v dnešní době je záznam zvukového výstupu Dudleyho Voderu přehráván studentům částečně pro poučení, spíše však pro pobavení, aby viděli, jak „úsměvné“ byly začátky elektronické řečové syntézy. Zcela se však vytrácí zdůraznění toho, jak nesmírně převratná a důležitá pro dnešní řečové technologie byla práce Dudleyho a jeho kolegů v Bell Labs.

²⁴Dudley (1940, s. 495, 501).

KAPITOLA 3

První sjednocení

Z toho, co zde bylo doposud o rozvoji kybernetických myšlenek uvedeno, je zřejmé, že se inženýři z Bell Labs, Sperry Gyroscope, Ford Instrument a dalších firem velmi intenzivně zabývali problematikou zpětné vazby a jejím uplatněním v řízení a komunikaci. Podle Mindella (2002) však nelze říci, že by už v tu dobu zformovali samostatný vědní obor – *teorii řízení* (angl. *control theory*). Mindell je spíše řadí do zvláštní podskupiny inženýrské kultury, kterou nazývá „kultura zpětné vazby“ (angl. „feedback culture“), viz Mindell (2002, s. 138). Navíc řízení v té době se zabývalo prakticky výlučně systémy v ustáleném stavu (angl. „steady state“), nikoli v přechodovém stavu či při sledování nějaké dynamicky se měnící cílové veličiny (např. motor byl řízen tak, aby běžel na požadovaných konstantních otáčkách i při náhodných změnách zátěže; letadlo bylo řízeno tak, aby udržovalo přímý let v horizontu i přes turbulentní vlivy

okolního prostředí, avšak manévry jako zatačka apod. již musel provádět lidský pilot). Neexistoval také žádný jednotící formální teoretický rámec a každý se vyjadřoval jazykem víceméně poplatným tomu praktickému problému, v němž zpětnovazební řízení uplatňoval.

První raný jednotící pokus do teorie řízení vnesl americký inženýr ruského původu Nicolas Minorsky, který pracoval na zařízení konkurujícímu Sperryho gyropilotu a v roce 1922 publikoval článek „Directional Stability of Automatically Steered Bodies“. V tomto článku poprvé navrhl tříčlenný (angl. „three-term“) regulátor – regulátor, který počítá regulační odchylku zpracovávanou třemi větvemi (složkami): proporcionální (P), integrační (I) a derivační (D). Vznikl tak první návrh tzv. *PID regulátoru* – dnes nejčastěji používaného zpětnovazebního regulátoru v průmyslových řídicích systémech.

Nejdůležitějším jménem pro etablování samostatné teorie řízení a překonání limitů dosavadní kultury zpětné vazby byl Harold Hazen, profesor na MIT (Mindell, 2002, s. 141). V roce 1934 publikoval dva důležité články – „Theory of Servo-Mechanisms“ a „Design and Test of a High-Performance Servo-Mechanism“ – v nichž přesunul důraz z řízení ustáleného stavu na dynamické řízení a zároveň navrhl teorii aplikovatelnou na všechny typy zpětných vazeb od lokálních servomechanismů až po rozsáhlé řídicí systémy. Dále provedl zásadní koncepční změnu v tom, že začal servomechanismy chápat jako zesilovače, a to kvůli jejich schopnosti převést nízkonoenergetický signál vstupující do nich např. z percepčních zařízení na vysokoenergetický akční výstup. Mindell také uvádí, že dřívější články, témata, odborný jazyk a terminologie představitelů kultury zpětné vazby se současným inženýrům jeví podivné a hůře srozumitelné, zatímco Hazenovo uchopení celé problematiky je již velmi blízké tomu dnešnímu.

Položením základů teorie řízení urychlil Hazen rozvoj další oblasti důležité pro kybernetiku – matematického modelování a výpočetní techniky. Zde se poprvé objevuje jméno, které se pak

ukáže být důležité nejen pro další směřování kybernetiky – Vannevar Bush z MIT. Dříve než se stal jednou z klíčových postav managementu amerického výzkumu, věnoval se Bush matematické analýze obvodů (nikoli pouze elektrických – obvod pro něj byl „fyzikální entita, ve které může být proměnná veličina dostatečně popsána v pojmech času a jedné dimenze“ (na rozdíl od dvou a vícerozměrných problémů pole), viz Mindell (2002, s. 146), a přechodových jevů v nich. Ke studiu přechodových jevů navrhoval Bush dva přístupy – modelování a výpočet.

A právě zařízení realizující výpočty se pak staly hlavní oblastí Bushova odborného zájmu. Pod jeho vedením vznikl v letech 1928–1931 na MIT mechanický diferenciální analyzátor (angl. „differential analyzer“), který byl schopen provádět až šestinásobné integrování s přesností 0,1 %. Největším problémem tohoto analyzátoru bylo to, že při každé změně počítané úlohy musel být rozebrán a manuálně překonfigurován na úlohu novou. Proto v roce 1935 inicioval Bush na MIT projekt na vyřešení automatizace tohoto problému. Vzniklo tak nové zařízení, které toto řešilo kombinací servomechanismů a telefonních reléových přepínačů. Toto zařízení bylo známé jako Rockefellerův diferenciální analyzátor (Rockefeller Differential Analyser), neboť prostředky na jeho vývoj získal Bush od Rockefellerovy nadace. Zde se objevuje další jméno klíčové pro rozvoj kybernetiky – Warren Weaver. Weaver byl tehdy ředitelem sekce přírodních věd Rockefellerovy nadace a prostředky na nový diferenciální analyzátor uvolnil.

Vývoj Rockefellerova analyzátoru provázely různé těžkosti. V roce 1938 Bush opustil MIT, aby vedl Carnegie Institution ve Washingtonu, a vývoj se dostal do zpoždění. Analyzátor byl dokončen pod vedením Samuela Caldwellella až v roce 1942, a to poté, co Weaver zajistil další finance z Rockefellerovy nadace, které odůvodnil tím, že úspěšné dokončení projektu je v zájmu národní bezpečnosti.

Zařízení nakonec obsahovalo 18 integrátorů (rozšiřitelných až na 30) s celkovou přesností jedné desetitisíciny. Mechanické

integrátory používaly nové skleněné disky místo původních kovových a byly spojeny moderním servomechanismem navrženým už na základě nových Hazenových teoretických poznatků z teorie řízení, čímž bylo dosaženo mnohem většího výkonu a přesnosti. Rockefellerův diferenciální analyzátor tedy opět nedílně sjednotil řízení a komunikaci.

Analyzátor měl navíc další důležitou vlastnost: čtečku děrné pásky, na níž byly zakódovány informace o řešených diferenciálních rovnicích, které přes servomechanismy automaticky konfigurovaly matematické jednotky analyzátoru. Problém překladu spojitých diferenciálních rovnic do souboru diskretních děr na pásece při nastavování Rockefellerova analyzátoru zaujal studenta MIT Clauda Elwooda Shannona. Ten roku 1937 ve své diplomové práci „A Symbolic Analysis of Relay Switching Circuits“ ukázal, že reléové obvody mohou být popsány binární aritmetikou v rámci boolovské algebry.

Ve stejné době se Spojené státy, znepokojené vývojem mezinárodní situace v Evropě, začaly připravovat na další válku. Jak již bylo zmíněno, v roce 1938 odešel Vannevar Bush z MIT do Washingtonu, a to na jednu z nejvyšších pozic vedení vědy a výzkumu v USA – ředitele jednoho z hlavních zdrojů financování vědy, Carnegie Institution. Z této pozice si mohl dovolit v roce 1940 navrhnout prezidentu Rooseveltovi, aby zřídil radu koordinující výzkum v oblasti obrany. Prezident souhlasil a sestavením rady pověřil Bushe. Vznikla tak NDRC – National Defense Research Committee. Šlo v podstatě o skupinu vyvolených, která rozhodovala o tom, co se v USA bude a nebude v rámci mainstreamové válečné vědy zkoumat a vyvíjet. Vannevar Bush tak získal obrovskou moc, za kterou byl také mnohými kritizován. Sám Bush ve svých pamětech vydaných roku 1970 napsal:

There were those who protested that the action of setting up NDRC was an end run, a grab by which a small company of scientists and engineers, acting outside established channels, got hold of the autho-

rity and money for the program of developing new weapons. That, in fact, is exactly what it was.¹

Byli tací, kteří protestovali, že založení NDRC byl figl, jímž se malá skupinka vědců a inženýrů jednajících mimo zavedené kanály zmocnila pravomocí a peněz k programu vývoje nových zbraní. A v podstatě přesně takhle to bylo.

Za zmínku stojí, že do kompetence NDRC spadal například i Manhattan Project, tj. výzkumný a vývojový program, který vytvořil první atomovou bombu.

Bush rozdělil vnitřní strukturu NDRC do čtyř divizí: Division A, výzbroj a obrnění, vedl Richard C. Tolman; Division B, bomby, palivo, plyny a chemie, vedl James B. Conant; Division C, komunikace a přeprava, vedl Frank B. Jewett; Division D, radar, řízení střelby, nástroje, vedl Karl T. Compton. Pro další rozvoj kybernetiky byla klíčová divize D. Ta byla rozdělena do čtyř sekcí: D-1, detekce a radar; D-2, řízení střelby; D-3, nástroje; D-4, vyzařování tepla. Právě sekce D-2 se zabývala teorií řízení a byla přímo zodpovědná za definitivní vznik kybernetiky jako samostatné vědy.

Rozvoj kybernetiky pak kromě Bushe jako předsedy NDRC nesmírně ovlivnil již zmíněný Warren Weaver, kterého Bush požádal, aby vedl sekci D-2.²

¹Citováno podle Mindella (2002, s. 187).

²Warren Weaver byl v té době díky své funkci v Rockefellerově nadaci vzhledem k Bushovi na vyšším stupni žebříčku prestiže i řízení vědy. Přesto však Bushově žádosti vyhověl, ačkoli se tak stal jeho podřízeným. Svému budoucímu působení v NDRC přikládal dokonce takovou důležitost, že požádal Rockefellerovu nadaci, aby mohl na svojí funkci v ní rezignovat. Nadace si však nepřála jeho rezignaci a vyšla mu dokonce natolik vstříc, že jej nadále finančně podporovala i po dobu jeho působení v NDRC, tj. po dobu války.

KAPITOLA 4

Zrození kybernetiky

Pod Weaverovým vedením D-2 (a později její nástupce Division 7) integrovala, rozvíjela a aplikovala veškeré poznatky teorie řízení a komunikace. Za dobu své pětileté existence podpořila 80 výzkumných kontraktů v celkové výši 11 090 595 amerických dolarů. V této obrovské řadě projektů se nacházel jeden maličkatý, ze všech nejlevnější, podpořený částkou pouhých 2 000 dolarů. Řešen byl jen v průběhu deseti měsíců roku 1942, než byl předčasně zrušen, jeho název zněl „Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series“ a jeho hlavním řešitelem byl Norbert Wiener z MIT.

4.1 Člověk ve zpětné vazbě

Intenzivní rozvoj teorie řízení umožnil na začátku druhé světové války vývoj již velmi rafinovaných a automatizovaných

zbraňových systémů. Tento vývoj byl ještě urychlen a zintenzivněn aktivitami NDRC. Stále však v celém kauzálním řetězci řízení těchto systémů hrál obrovskou roli člověk. V květnu 1941 napsal Hazen Weaverovi zprávu s názvem „The human being as a fundamental link in automatic control systems“¹ (Mindell, 2002):

The idea struck me more and more forcefully that we should know as much as possible of the dynamic characteristics of the human being as a servo and therefore his effect on the dynamic performance of the entire control system.²

Stále silněji a silněji mě zasahovala myšlenka, že bychom měli vědět co možná nejvíce o dynamických charakteristikách lidské bytosti jako servomechanismu, a tudíž jejího vlivu na dynamiku celého řídicího systému.

Právě otázky, jak může lidský operátor ovlivnit stabilitu řídicího systému, jak navrhnout stroj, aby bylo pro člověka co nejsnazší se s ním sžít, jak by měli být operátoři vybíráni a školeni, apod., iniciovaly v souvislosti s Hazenovou zprávou v NDRC podporu výzkumného programu v oblasti interakce člověk-stroj (angl. „human-machine interaction“). Tento program nejenom že zvolil přístup, který se později začal nazývat „kybernetika“, ale zároveň ovlivnil Wienera ve formulování jeho vlastních myšlenek (Mindell, 2002, s. 276).

Wiener se kolem roku 1940 zabýval teorií sítí a jeho přáním bylo aplikovat ji na problematiku servomechanismů, a to v kombinaci s frekvenční analýzou a Fourierovou teorií. Nijak se příliš nezajímal o řízení střelby, nicméně koncem roku 1940 aplikoval svoje poznatky na nejnáročnější matematický problém v oblasti

¹ „Lidská bytost jako zásadní článek v systémech automatického řízení“

² Mindell (2002, s. 276).

řízení střelby – na *predikci*. Tehdejší metody, které prováděly diferenciální analýzu polohy cíle, byly limitovány pouze na přímé trajektorie a hlavně byly vysoce citlivé vůči šumu, kterého se při jejich reálném nasazení vyskytovalo hodně. Wiener navrhl metodu novou, založenou na elektrické predikční síti, a spolu se Samuelem Caldwellem provedli slibné simulace na diferenciálním analyzátoru v MIT. Caldwell, který tehdy začal pracovat v D-2, předložil za Wienera návrh k vybudování „anticipační“ sítě. D-2 návrh podpořilo a od prosince 1940 dalo Wienerovi kontrakt na Project 6, „General Mathematical Theory of Prediction and Application“, s náklady 28 209 amerických dolarů a dobou řešení 2 roky. Wiener si v rámci projektu jako asistenta najal mladého elektroinženýra Juliana Bigelowa (po promoci na MIT v roce 1936 pracoval ve Sperry Gyroscope a v IBM) a v průběhu roku 1941 spolu sestavili zařízení, které simulovalo jejich nové predikční metody.

Brzy však také narazili na problém se stabilitou systému, neboť se ukázalo, že i jeho síť je velice citlivá vůči vysokofrekvenčnímu šumu. Wiener brzo pochopil, že jde o problém zcela fundamentální, a dokonce jej v duchu analogické neodstranitelnosti přirovnal k Heisenbergovu principu neurčitosti v kvantové mechanice (Mindell, 2002, s. 278). Rozhodl se tedy vytvořit s Bigelowem zcela nový prediktor založený na statistické analýze korelace mezi minulým projevem funkce času a jejím projevem přítomným či budoucím. Síť tak průběžně kalkulovala predikci budoucí pozice cíle na základě statistických vlastností minulého průběhu a tuto predikci neustále upravovala porovnáváním skutečné letové trajektorie cíle oproti předchozím odhadům. V tomto smyslu pak zpětnovazební síť konvergovala k optimálnímu odhadu.

Weaver byl v roce 1941 s Wienerovými výsledky simulací velice spokojen a zajistil, aby mu D-2 přidělilo další kontrakt v podobě již zmíněného projektu „Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series“ (Project 29). Po Wienerovi chtěl, aby sepsal své teoretické výsledky. V rámci tohoto projektu

Wiener vytvořil vlivnou interní zprávu s názvem „The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications“, v níž explicitně spojil statistiku s teorií komunikace a pokusil se sjednotit různá odvětví elektroinženýrství:

Power engineering differs from communication engineering only in the energy levels involved and in the particular apparatus used suitable for such energy levels, but is not in fact a separate branch of engineering from communications.³

Energetické inženýrství se liší od komunikačního inženýrství pouze v úrovních energie a v příslušném aparátu vhodném pro tyto úrovně, ale ve skutečnosti nejde o samostatné inženýrské odvětví.

Mindell uvádí, že Wiener se v tomto textu vůbec neodkazuje na žádné předchozí práce z oblasti teorie zpětné vazby, ačkoli s nimi byl prokazatelně obeznámen – spolupodílel se na výzkumném programu Vannevara Bushe ve třicátých letech, spolupracoval na MIT se Servo Lab a Radiation Lab, začátkem roku 1940 si korespondoval s Hendrikem Bodem.⁴ Jeho zpráva obsahovala obecný matematický úvod, pojednání o lineární predikci, algoritmus minimalizace chyby predikce, metody syntézy filtrů umožňujících optimální predikci, a rozbor relevantních příkladů vztahujících se k řízení střelby. Za zmínku stojí, že kromě mnoha jiných přínosů také ukázala, že zpětnovazební systém může minimalizovat jakékoli kritérium optimality – ve Wienerově případě statisticky definovanou odmocninu ze střední kvadratické chyby (angl. „root mean square error“, RMSE).

³Citováno podle Mindell (2002, s. 279).

⁴Mindell se dále podivuje, jak mohl Wiener ve svém životopise tak snadno napsat: „I think I can claim credit for transferring the whole theory of the servomechanisms bodily to communication engineering.“ (Mindell, 2002, s. 286), tj. „Myslím, že si mohu nárokovat zásluhy za převedení celé teorie servomechanismů na komunikační inženýrství.“

Ačkoli byla tato práce úspěšná a vlivná po teoretické stránce, Wiener měl problém uplatnit její výsledky v praxi. Algoritmus například předpokládal nekonečný čas sledování minulé trajektorie cíle, zatímco v reálné situaci bylo možné nepřátelské letadlo zaměřovat pouze několik sekund. Navíc zahájení a ukončení predikce v konečném časovém intervalu způsobilo vznik prudkých šumových výkyvů na konci časových řad, které poškozovaly predikci. Dále se pak ukázalo, že RMSE, s níž Wiener pracoval, je nevhodná pro kvantifikaci úspěšnosti úlohy sestřelení letounu, neboť efektivnost výbuchu granátu klesá mnohem rychleji než se čtvercem vzdálenosti od cíle (například pokud granát explodoval dále než 10 yardů od letadla, bylo již zcela zbytečné řešit, jak daleko to bylo, neboť šlo o zcela zmařený výstřel). Weaver v té době napsal:

It is not at all clear, that this study will result in a design practicable for large scale production.⁵

Není vůbec zřejmé, zda tato studie povede k návrhu vhodnému pro produkci ve velkém.

V červenci 1942 Wiener s Bigelowem předvedli svůj prediktor zástupcům D-2. Ti byli vesměs nadšeni, ovšem Weaver stejně vyjádřil pochybnosti, „zda je to užitečný zázrak, nebo zbytečný zázrak.“ (Mindell, 2002, s. 280). Je důležité si totiž uvědomit, o co se to přesně Wiener pokoušel: chtěl vytvořit stroj schopný předvídat budoucnost, kterou má ve svých rukou nepřátelský pilot snažící se za jakoukoli cenu zachránit svůj život.

A zde Wiener učinil další důležitý a nový metodologický krok: dospěl k názoru, že jejich prediktor je limitován nedostatkem znalostí o chování pilotů při únikových manévrech a o zákonitostech jejich letových trajektorií, a že tento nedostatek odstraní tím, že nashromáždí dostatečné množství reálných

⁵Citováno podle Mindell (2002, s. 280).

empiricky získaných dat, která následně statisticky zpracují.⁶ Rozhodl se tedy, že se s Bigelowem vydá na prohlídku různých vojenských zařízení a pokusí se získat potřebná data. Zde ovšem dle Mindella (2002) došla již Weaverovi trpělivost s Wienerovou „naivní“ snahou nalézt ideální analytické řešení. NDRC sice v době svého vzniku kladla důraz na základní výzkum, avšak v roce 1942 již byla silně zaměřena pouze na konkrétní v praxi fungující výsledky. Do takového prostředí se již Wiener přestával hodit. Svoje rozladění shrnul ve svých poznámkách Weaver takto značně ironicky:

[Wiener and Bigelow] have gaily started out on a series of visits to military establishments, without itinerary, without any authorizations, and without any knowledge as to whether the people they wanted to see (in case they know whom they want to see) are or are not available. WW [Weaver] is highly sceptical about this whole business... Inside of twenty four hours my office begins to receive telegrams wanting to know where these two infants are. This item should be filed under „innocents abroad“.⁷

[Wiener a Bigelow] se vesele vypravili na sérii návštěv vojenských zařízení, bez itineráře, bez jakékoli autorizace a bez povědomí o tom, zda ti lidé, které chtěli navštívit (pokud vůbec věděli, koho chtějí navštívit), jsou, nebo nejsou dostupní. WW [Weaver] je ohledně celé této záležitosti velmi skeptický... Během dvaceti čtyř hodin začne moje kancelář dostávat telegramy zjišťující, kde tato dvě děcka jsou. Tato věc by měla být zařazena pod „nevinátka za hranicemi“.

⁶Zde musím upozornit na zcela zřejmou paralelu mezi tímto Wienerovým přístupem a dnešním fungováním metod umělé inteligence založených na statistickém strojovém učení z rozsáhlého množství empirických dat.

⁷Citováno podle Mindell (2002, s. 281).

Zatímco byla „nevinátka za hranicemi“, procestovala řadu vojenských zařízení včetně protiletectvého dělostřeleckého vedení v Camp Davisu. Po svém návratu na MIT připravili Wiener s Bigelowem experiment zaměřený na analýzu chování lidského operátora: testovaný subjekt měl sledovat světelný bod pohybující se po náhodné trajektorii na stěně, zatímco jeho pohyby byly zaznamenávány na papírové pásky. Zde musím opět zdůraznit zásadní charakter tohoto experimentu – z hlediska motivace nešlo o klasický psychologický experiment testující kognitivní schopnosti jedince, nýbrž o empirický sběr dat určený k ovlivnění chování stroje.

Nad Wienerovým výzkumem pro NDRC se však začalo smrákat, neboť v průběhu experimentů s lidskými operátory přepadla jeho asistenta Bigelowa jakási zásadní skepse a vše nejspíše oznámil vedení D-2, neboť Weaver si poznamenal:

[Bigelow is convinced that Wiener's statistical method] has no practical application to fire control at this time [and the young engineer] seriously doubts that W[iener] will be able to bring himself to make this statement.⁸

[Bigelow je přesvědčen, že Wienerova statistická metoda] nemá v tuto chvíl žádný praktický uplatnění při řízení střelby [a tento mladý inženýr] vážně pochybuje o tom, že W[iener] bude kdy schopen přimět se učinit takové prohlášení.

Koncem roku 1942 se D-2 transformovala do Division 7 a Wienerův Project 29 tento přechod nepřežil. Byl předčasně ukončen a Weaver dal přednost konkurenčnímu návrhu Hendrika Bodeho, jehož výsledky byly v praktických testech jen nepatrně horší než u Wienerova systému, avšak s výhodou mnohem snazší

⁸Citováno podle Mindell (2002, s. 281).

realizace. Wienerův Project 6 skončil v lednu 1943, a tak bylo završeno Wienerovo působení pro NDRC.

Mindell (2002) se domnívá, že ani transformace D-2 do Division 7, ani dočasná neschopnost převést Wienerovy výsledky v konkrétní aplikaci řízení střelby nebyla tou skutečnou příčinou, která způsobila předčasné ukončení Wienerova výzkumu v NDRC – obzvláště když byl za celou dobu podpořen zcela směšnou částkou 30 000 dolarů, odpovídající méně než 0,3 % rozpočtu všech projektů NDRC. Podle Mindella byla patrně skutečnou příčinou Wienerova osobnostní nekompatibilita se specifickým prostředím NDRC, jeho někdy až podivínská povaha, neschopnost udržet vojenské tajemství, a možná pro některé členy komise i všeobecná nedůvěra v židovského levicově smýšlejícího profesora (Mindell, 2002, s. 288).

Takovéto interpretaci napovídá i fakt, že Weaver v roce 1944 na jednom z meetingů Division 7 uvedl:

When this was is over, the theory and mechanization of smoothing will be one of the outstanding contributions of the NDRC control group.⁹

Až tato válka skončí, teorie a mechanizace vyhlazování [tj. Wienerova práce] bude jedním z vynikajících příspěvků skupiny řízení v NDRC.

Však také hned po skončení války začala Rockefellerova nadace podporovat Wienerův raný civilní výzkum v oblasti rodící se kybernetiky. V roce 1942 ovšem byl Wiener svým „nezdarem“ v NDRC zklamaný a začal těžiště své práce přesouvat z oblasti vojenského výzkumu do oblasti zaměřené na hledání souvislostí mezi zpětnovazebními systémy a chováním člověka.

Mindell ve své knize (2002) explicitně kritizuje historické interpretace některých autorů (konkrétně například Heimse,

⁹Citováno podle Mindell (2002, s. 281).

Edwardse, Pickeringa), které prý příliš přeceňují Wienerovu zásluhu a prvenství v oblasti snahy o jednotící přístup k popisu chování člověka a stroje, neboť se opírají pouze o Wienerovo vlastní podání tohoto příběhu. Podle Mindella je nutné zasadit i tento aspekt vzniku kybernetiky do mnohem širšího pole inženýrského výzkumu, vývoje, výroby a zkoumání interakcí člověk-stroj. Vrací se zpět k „lidským servomechanismům“ ve Sperryho počítačích a uvádí, že jedna ze zpráv od Coast Artillery Board pro NDRC zmiňovala, že návrh každého nového naváděcího zařízení musí brát v potaz schopnosti a omezení lidského operátora (Mindell, 2002, s. 283).

V květnu 1941 Harold Hazen a psycholog Samuel Fernberger navštívili Sperry Gyroscope, aby „prozkoumali možnosti motorické psychofyziologie ve vztahu k návrhům zařízení.“ Vybrali si Sperry Gyroscope kvůli již zmiňovanému těsnému spřažení jejich strojů (střeleckých věží, ručních a nožních ovladačů, paprskových indikátorů v zaměřovačích apod.) s člověkem. Zjistili však, že Sperry Gyroscope nemá žádné systematické metody, které by optimalizovaly návrh zařízení vzhledem k lidským operátorům. Hazen taktéž navštívil Fort Monroe, kde pozoroval fungování armádních protiletectkých naváděcích zařízení od Sperry Gyroscope. Nyní odcituji část Mindellova textu, kterou považuji za velmi důležitou i ve vztahu k porozumění dnešnímu stavu soužití člověka a stroje:¹⁰

It was after this visit that [Hazen] wrote his memo to Weaver concerning „the human operator as a fundamental link in automatic control systems.“ Hazen suggested that the NDRC study „the fundamental mechanical parameters of the human operator.“ Frequency-response methods borrowed from communication engineering, he wrote, could characterize human reactions under varying conditions. He also proposed optimizing „the nature of the device by which

¹⁰A to dokonce i k takovým tématům, jako například *human enhancement*.

the operator expresses his reactions," that is, the wheels, knobs, levers, or other means of human interaction. „This whole point of view of course makes the human being ... nothing more or less than a robot," Hazen added, „which, as a matter of fact, is exactly what he is or should be." New approaches based on servomechanism and communications theory might better match machines to their operators, Hazen argued, and so amplify the human capacity for judgement, memory, and extrapolating patterns into the future.¹¹

Bylo to po této návštěvě, když [Hazen] napsal Weaverovi svoji zprávu ohledně „lidského operátora jako zásadního článku v systémech automatického řízení." Hazen navrhoval, aby NDRC studovala „základní mechanické parametry lidského operátora." Napsal, že metody založené na frekvenční odezvě, které byly vypůjčeny z komunikačního inženýrství, by mohly popisovat lidské reakce za různých podmínek. Navrhl též optimalizaci „povahy zařízení, kterým operátor vyjadřuje své reakce," tj. koleček, tlačítek, pák a dalších způsobů lidské interakce. „Celý tento úhel pohledu samozřejmě nedělá z lidské bytosti ... nic více či méně než robota," dodal Hazen, „což, po pravdě řečeno, je přesně tím, čím je nebo by měl být." Hazen dále argumentoval, že nové přístupy založené na teorii servomechanismů a komunikace by mohly lépe sladit stroje se svými operátory, a tak zesílit lidské schopnosti úsudku, paměti a extrapolace vzorů do budoucnosti.

Hazenovy myšlenky našly u Weavera velkou odezvu a na jeho popud D-2 iniciovala program výzkumu člověka jako

¹¹Mindell (2002, s. 284).

prvku ve zpětnovazební smyčce. Tento program zpočátku vedl Fernberger a D-2 na něm spolupracovala s Panelem aplikované psychologie, který byl též součástí NDRC. V době, kdy Wiener s Bigelowem začali na vlastní pěst cestovat po vojenských zařízeních kvůli analýzám chování pilotů (tj. druhá polovina roku 1942), již mělo NDRC nastartovaný vlastní program zkoumající i tento aspekt „kybernetiky“ – byť „jen“ ve zcela aplikovaném a inženýrském duchu.

V rámci tohoto programu například Princetonská univerzita zřídila ve Fort Monroe zvláštní laboratoř pro výzkum rozhraní člověk-stroj, John Atanasoff (konstruktér prvního elektronického digitálního počítače) prováděl na Iowa State College experimenty s ovládáním pomocí malých otočných páček ovladatelných pohybem prstů, o nichž předpokládal, že umožní mnohem citlivější ovládání než větší páky, k jejichž pohybu je zapotřebí celé paže a zad (Project 12, „Prediction Devices“), a skupina v Columbii pracovala na elektronických simulacích odezvy lidského operátora.

V roce 1941 proběhl i jeden velmi kontroverzní experiment zaměřený na komplexní stabilitu řídicích systémů včetně jejich lidských operátorů, kdy se psychologové pokoušeli zjistit, jak určit, zda bude konkrétní jedinec pod těžkou palbou emočně nestabilní. NDRC do Princetonské laboratoře ve Virginii pozvala šest britských námořníků, kteří se všichni zúčastnili jako řídicí střelby na palubě HMS Dido těžké bitvy u Kréty. Dva z nich se v průběhu bojů zhroutili, zatímco ostatní čtyři zůstali na svých pozicích až do konce. Experiment spočíval v tom, že se výzkumníci – aniž by jim bylo řečeno, kteří vojáci nevydrželi – pokoušeli všemožnými experimenty (např. Rorschachův test, elektrické šoky, psychoanalýza, EEG, apod.) rozpoznat „nespolehlivé“ muže od těch „stabilních“. Výsledky však byly velmi zkreslené a závěr experimentu byl, že jde o příliš malý vzorek testovaných subjektů.

Mindell (2002) uvádí, že všechny tyto studie vytvářely analogii mezi lidským operátorem a servomechanismem a chápaly

interakci člověk-stroj jako zpětnovazební systém. Tuto analogii zcela konkrétně vyjádřil například Enoch Ferrell z Bell Labs v květnu 1942, a to dokonce přirovnáním člověka ke zpětnovazebnímu zesilovači včetně použití Nyquistova kritéria stability:

The difference in azimuth between the output shaft, as marked by the telescope cross-hair, and the target azimuth is detected by a human eye and brain, amplified by human muscles, and passed through a handwheel and gear-train to the output shaft in such a polarity as to reduce the observed difference. This is a negative feedback system. ... If the higher frequency components are transmitted around the loop with improper phase relations then oscillations may occur and jerky tracking may result.¹²

Rozdíl mezi azimutem výstupní hřídele, jak je značen zaměřovačem teleskopu, a cílovým azimutem je detekován lidským okem a mozkiem, zesílen lidskými svaly a předán skrze volant a převody výstupní hřídeli v takové polaritě, aby byla snížena sledovaná odchylka. Toto je systém se zápornou zpětnou vazbou. ... Pokud jsou vyšší frekvenční složky smyčkou přenášeny s nesprávnými fázovými poměry, mohou nastat oscilace a trhavé sledování.

Když tedy Wiener formuloval své myšlenky o sjednocení přístupu při popisu člověka a stroje, nešlo o ojedinělý a převratný nápad génia, nýbrž o čerpání z mnohovrstevnatého a v inženýrské kultuře té doby všeprostopujícího motivačního ducha. Wiener však na rozdíl od svých kolegů inženýrů pracujících ve firmách a pro NDRC rezignoval na válečný výzkum a vývoj, a tak nebyl zatížen nutností okamžité technické aplikovatelnosti, válečné využitelnosti, ani vojenským tajemstvím. Proto

¹²Citováno podle Mindell (2002, s. 285).

se mu podařilo kybernetiku nakonec vybudovat jako *civilní* intelektuální podnik, nikoli jako válečnou snahu – jak se mnozí její kritici, zejména v Sovětském svazu padesátých let, snažili ukázat.

Domnívám se, že zásadním přínosem Wienera byla jeho schopnost zformulovat kybernetiku jako *fundamentální princip*, tj. jako něco, co ve světě *je*, čím se svět *skutečně řídí* (ontologické hledisko), či jak jej lze skutečně *popsat* (epistemologické hledisko) – v tomto smyslu můžeme chápat kybernetické poznatky ve stejném duchu jako například druhý termodynamický zákon. Vybuďoval kybernetiku jako teorii o světě, a překročil tak stín všech svých předchůdců, kteří sice již s „kybernetickými myšlenkami“ intenzivně pracovali, avšak pouze jako s nástrojem řešení konkrétních inženýrských problémů.

4.2 Wienerova chvíle

Ačkoli Wienerův přínos pro vojenský výzkum v NDRC rozhodně nebyl nevýznamný a jeho matematické poznatky týkající se extrapolace, interpolace a vyhlazování signálu byly pro jeho kolegy nesmírně důležité (Mindell, 2002, s. 287), Wiener po ukončení svých projektů v NDRC zaměřil svou pozornost značně jiným směrem.

Wiener se v době, kdy už nejspíše cítil, že jeho práce není na NDRC přijímána zcela kladně, seznámil na setkáních harvardského Science of Philosophy Club s mexickým lékařem a fyziologem Arturo Rosenbluethem (Gerovitch, 2002, s. 62), s nímž nalezl společnou řeč ve věcech analogií mezi lidskou fyziologií, chováním a servomechanismy. Tyto styčné body sám Wiener charakterizuje takto:

Now, suppose that I pick up a lead pencil. To do this, I have to move certain muscles. However, for all of us but a few expert anatomists, we do not know what

these muscles are; and even among the anatomists, there are few, if any, who can perform the act by a conscious willing in succession of the contraction of each muscle concerned. On the contrary, what we will is *to pick the pencil up*. ... To perform an action in such a manner, there must be a report to the nervous system, conscious or unconscious, of the amount by which we have failed to pick up the pencil at each instant. ... If the proprioceptive sensations are wanting and we do not replace them by a visual or other substitute, we are unable to perform the act of picking up the pencil, and find ourselves in a state of what is known as *ataxia*. ... However, an excessive feedback is likely to be as serious a handicap to organized activity as a defective feedback. In view of this possibility, Mr. Bigelow and myself approached Dr. Rosenblueth with a very specific question. Is there any pathological condition in which the patient, in trying to perform some voluntary act like picking up a pencil, overshoots the mark, and goes into an uncontrollable oscillation? Dr. Rosenblueth immediately answered that there is such a well-known condition [and] it is called purpose tremor. ... We thus found a most significant confirmation of our hypothesis concerning the nature of at least some voluntary activity. ... The central nervous system no longer appears as a self-contained organ. ... On the contrary, some of its most characteristic activities are explicable only as circular processes emerging from the nervous system into the muscles, and re-entering the nervous system through the sense organs, whether they be proprioceptors or organs of the special senses.¹³

Nyní předpokládejme, že zvedám tužku. Abych toto

¹³Wiener (1965, s. 7–8).

udělal, musím pohnout určitými svaly. Nicméně nikdo z nás, kromě několika málo expertů z anatomie, neví, jaké svaly to jsou; a dokonce i mezi anatomy je jen málo, pokud vůbec, těch, kteří dokáží provést tento akt vědomým volným sledem kontrakcí jednotlivých relevantních svalů. Naproti tomu to, co si vůlí přejeme, je *zvednout tužku*. ... K provedení akce takovýmto způsobem musí existovat zpravování nervového systému, vědomé či nevědomé, o míře toho, o kolik se nám v tom kterém časovém okamžiku nepodařilo tužku zvednout. ... Jestliže jsou proprioceptivní vjemy nedostatečné a nenahradíme je vjemy vizuálními či jinými, jsme neschopni provést akt zvednutí tužky a ocitneme se ve stavu známém jako „ataxie“. ... Příliš silná zpětná vazba ovšem může být stejně vážným postiženým organizované aktivity jako vadná zpětná vazba. S ohledem na tuto možnost jsme s panem Bigelowem oslovili Dr. Rosenblutha velmi specifickou otázkou. Existuje nějaký patologický stav, v němž by se pacient snažící se provést určitý volní akt jako zvednutí tužky netrefil a přešel do nekontrolovatelných oscilací? Dr. Rosenbluth okamžitě odpověděl, že takový dobře známý stav existuje a nazývá se intenční tremor. ... Našli jsme tudíž nejvýmluvnější potvrzení naší hypotézy týkající se povahy alespoň některých volních aktivit. ... Centrální nervový systém se dále nejeví jako samostatný orgán. ... Naproti tomu některé z jeho charakteristických aktivit jsou vysvětlitelné pouze jako cirkulární procesy vycházející z nervového systému do svalů a znovuvstupující do nervového systému skrze smyslové orgány, ať již proprioceptivní nebo orgány samostatných smyslů.

V roce 1943 publikovali Rosenbluth, Wiener a Bigelow

důležitý článek „Behavior, Purpose and Teleology“ (Rosenblueth et al., 1943). Tento článek byl psán ve filozofickém duchu a podtrhuje tak Wienerův badatelský odklon od inženýrských vojenských aplikací. Pro Wienera bylo též zřejmě příznivé, že tento filozofický duch mu umožnil vyhnout se problémům s vojenským utajováním informací, které bylo v roce 1943 velmi aktuální. Zmíněný článek zcela explicitně spojoval v teoretické rovině (tj. nikoli jen v úrovni řešení nějaké aplikace) fundamentální koncepty z teorie řízení (zpětná vazba), filozofie (teleologické vysvětlení oproti kauzálnímu) a psychologie (účelovost jednání jednotlivce). Dostával se tak k velmi zajímavému problému: zda a jak může v kauzálně fungujících systémech (kterými dozajista jsou stroje, ale i živé organismy z hlediska fyziologického popisu) vzniknout *účelovost* jednání, tj. kdy lze změnit kauzální (příčinný) výklad fungování systému na výklad teleologický (účelový).¹⁴ Wiener podává jasnou odpověď: možnost teleologického výkladu vzniká přítomností zpětné vazby.

Purposeful active behavior may be subdivided into two classes: „feed-back“ (or „teleological“) and „non-feed-back“ (or „non-teleological“). ... All purposeful behaviour may be considered to require negative feedback.¹⁵

Účelové aktivní chování se může dělit na dvě třídy: „zpětnovazební“ (neboli „teleologické“) a „nezpětnovazební“ (neboli „ne-teleologické“). ... Veškeré účelové chování můžeme chápat jako vyžadující negativní zpětnou vazbu.

Tímto článkem Wiener jasně definoval směr vznikající kybernetiky. Kybernetika není jen „o řízení“, byť sebesofistikovanejším; kybernetika je o tom, co „udržuje při životě“ živé orga-

¹⁴Tj. změnit „něco se stalo, protože...“ na „něco se stalo, aby...“

¹⁵Rosenblueth et al. (1943, s. 19).

nismy, čím fundamentálním se tyto organismy liší od neživých objektů a co z toho mají společné se stroji.

V roce 1942 uspořádala Josiah Macy Jr. Foundation¹⁶ v New Yorku konferenci o cerebrální inhibici, kde Alberto Rosenbluth přednesl výsledky svého společného bádání s Wienerem. Této konferenci se účastnil i Warren McCulloch z University of Illinois Medical School, který spolu s Walterem Pittsem z University of Chicago prováděl výzkum zaměřený na modelování logického fungování mozku (Gerovitch, 2002, s. 75). McCullochovým cílem bylo zodpovědět fundamentální otázky o možnostech a způsobech lidského vědění:

The inquiry into the physiological substrate of knowledge is here to stay until it is solved thoroughly, that is, until we have a satisfactory explanation of how we know what we know, stated in terms of the physics and chemistry, the anatomy and physiology, of the biological system. ... My object, as a psychologist, was to invent a kind of least psychic event, or „psychon“. ... In 1929 it dawned on me that these events might be regarded as the all-or-none impulses of neurons...¹⁷

Otázka po fyziologickém substrátu vědění zde bude přetrvávat do té doby, než bude úplně vyřešena, to je, dokud nebudeme mít uspokojivé vysvětlení toho, jak víme to, co víme, vyjádřené v termínech fyziky a chemie, anatomie a fyziologie, v termínech biologických systémů. ... Cílem mým jako psychologa bylo objevit svého druhu nejmenší psychickou událost, neboli „psychon“. ... V roce 1929 mi došlo, že za tyto události mohou být považovány dvouhodnotové „vše-nebo-nic“ impulsy neuronů...

¹⁶Filantropická nadace, kterou v roce 1930 založila Kate Macy Laddová na počest svého otce Josiaha Macyho mladšího.

¹⁷McCulloch (1960, s. 1, 5–6).

V roce 1943, tedy ve stejnou dobu jako Rosenblueth, Wiener a Bigelow, publikovali McCulloch a Pitts vlivný článek „A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity“, kde jako základní pravidlo nervové aktivity formulovali princip „vše-nebo-nic“ (all-or-none), tj. buď neuron (jako základní nervová jednotka) indukuje nějaký signál, nebo neindukuje žádný signál.

... a psychon can be no less than the activity of a single neuron. ... The „all-or-none“ law of these activities, and the conformity of their relations to those of the logic of propositions, insure that the relations of psychons are those of two-valued logic. Thus in psychology, introspective, behavioristic or physiological, the fundamental relations are those of two-valued logic.¹⁸

... psychon není nic jiného než aktivita jednoho neuronu. ... Povaha „vše-nebo-nic“ těchto aktivit a konformita jejich vztahů s těmi, které platí v logice propozicí, zajišťuje, že vztahy mezi psychony jsou tytéž jako vztahy dvouhodnotové logiky. Tudíž fundamentální vztahy v psychologii introspektivní, behaviorální nebo fyziologické, jsou vztahy dvouhodnotové logiky.

V tomto textu dále McCulloch a Pitts diskutují dopady svého modelu na psychiatrii a na uchopení mysli a myšlení, a právě v tomto kontextu zmiňují kauzalitu a vznik účelovosti jednání. McCulloch se dozvěděl o Rosenbluethově a Wienerově práci na již zmíněné konferenci, a tak jim roku 1943 zaslal svůj a Pittsův článek. I on tak přispěl ke zformování kybernetiky.

Dříve než se dostanu k poválečným kontaktům mezi Wienerem a McCullochem, je nutné zmínit další důležitou paralelu

¹⁸McCulloch – Pitts (1943, s. 19).

větev výzkumu, který se odehrával během druhé světové války. Ten se týkal teorie informace a výpočetních zařízení.

Problematikou sdělování a informace se zabýval Claude Shannon, jehož jsem zmiňoval již v souvislosti s Rockefellerovým diferenciálním analyzátozem. Ten pracoval pro NDRC na projektu „Mathematical Studies Relating to Fire Control“ (Project 7), kde díky spojení svých zájmů o matematickou teorii komunikace a kryptografii vypracoval komplexní teorii informace založenou na formalizaci přenosového kanálu mezi zdrojem a příjemcem informace. Jeho pojetí člověka jako „informačního zdroje“ opět přispělo k vytváření sjednocující metafory mezi člověkem a stroje, a tak dopomohlo k formování kybernetických myšlenek.

Navíc díky teoretické práci Shannona a Turinga stále více sílila potřeba po zařízeních pracujících v diskretním (číslíkovém), nikoli spojitém (analogovém) režimu. Zatímco Shannon popsal číslíkový počítač jako zařízení na zpracování logických operací, Alan Turing vytvořil koncept popisující člověkem realizované výpočty jako logické procedury. Podle Gerovitche (2002) se tyto dvě vize sjednotily v roce 1943, kdy Turing navštívil Bell Labs a setkal se tam s Shannonem. Gerovitch cituje Turingova životopisce Andrewa Hodgese:

Shannon had always been fascinated with the idea that a machine should be able to imitate the brain; he had studied neurology as well as mathematics and logic, and had seen his work on the differential analyzer as a first step towards a thinking machine. [Turing and Shannon] found their outlook to be the same: there was nothing sacred about the brain, and that if a machine could do as well as a brain, then it *would* be thinking.¹⁹

Shannon byl vždy fascinován myšlenkou, že stroj by

¹⁹Citováno podle Gerovitche (2002, s. 75).

měl být schopen napodobit mozek; studoval neurologii stejně jako matematiku a logiku a spatřoval svoji práci na diferenčním analyzátoru jako první krok směrem k myslícímu stroji. [Turing a Shannon] shledali své postoje stejnými: na mozku nebylo nic posvátného a pokud by stroj mohl fungovat stejně jako mozek, tak by *skutečně* myslel.²⁰

Turingův stroj jako teoretický model počítače se spolu s Churchovo-Turingovo tezí²¹ stal základním pilířem nově vznikající digitální výpočetní techniky. Z výše uvedené citace je patrné, jak silně byla tehdy výpočetní technika spjata s metaforou či dokonce s modelováním a algoritmickým uchopením lidského myšlení. Komplexní vize mysli a mozku jako logických výpočetních zařízení se začala rodit v průsečíku McCullochova a Pittsova logického modelu mozku, Turingova logického modelu mysli a Shannonova logického modelu číslicových výpočtů. Těto vize se s výjimečnou silou chopil matematik John von Neumann (Gerovitch, 2002, s. 79).

Gerovitch (2002) uvádí, že těžko by bylo možné hledat tak odlišné osobnosti, jakými byli Norbert Wiener a John von Neumann, a velmi výstižně je charakterizuje:

Wiener was a myopic, absent-minded professor, an armchair scientist, a liberal intellectual with strong ethical convictions, and a vehement pacifist who refused to participate in any US government projects after the bombing of Hiroshima. Von Neumann was an energetic and practical man, a cold-blooded rationalist, an indefatigable traveling consultant, an active contributor to the Manhattan Project, and a

²⁰V dnešní umělé inteligenci je toto východiskem tzv. „silné umělé inteligence“, neboli počítačového funkcionalismu, který předpokládá, že povaha mysli je algoritmická a cokoli, co ten správný algoritmus realizuje, tak skutečně myslí.

²¹Jedna z podob Churchovo-Turingovo teze zní: „Ke každému algoritmu existuje ekvivalentní Turingův stroj.“

member of the Atomic Energy Commission; he knew his way around the Pentagon and the corridors of power. Yet they were very much interested in each other's work, they maintained a „professional friendship“, and they have a productive working relationship that resulted, in particular, in the crystalization, formulation, and mathematical analysis of diverse cybernetic ideas.²²

Wiener byl krátkozraký roztržitý profesor, salónní vědec, liberální intelektuál se silným etickým přesvědčením a vehementní pacifista, který se po bombardování Hirošimy odmítal zapojit do jakéhokoli amerického vládního projektu. Von Neumann byl energický a praktický muž, chladnokrevný racionalista, neúnavný cestující konzultant, aktivní přispěvatel k Projektu Manhattan a člen Komise pro atomovou energii; uměl se pohybovat v Pentagonu a po úředovnách mocných. Přesto se oba velmi zajímali o práci toho druhého, zachovávali „profesionální přátelství“ a měli plodné pracovní vztahy, které konkrétně vedly ke krystalizaci, formulaci a matematické analýze rozličných kybernetických myšlenek.

Jako intermezzo do dějové linie příběhu o von Neumannovi učiním zde malou odbočku k portrétu Wienerovy osobnosti, jak ji vykreslil Gerovitch. Domnívám se, že toto je stereotyp, jímž se Wiener zapsal do povědomí společnosti – v běžném životě nepraktický génius, obrovský pacifista, liberál. Tento stereotyp mnohem lépe totiž zapadá do příběhů o vzniku civilní kybernetiky a i v případě Gerovitchově působí mnohem zajímavěji, když se podaří vybudovat jakousi povahovou komplementaritu Wienera a von Neumanna. Netroufám si říci, jaký skutečně Wiener

²²Gerovitch (2002, s. 79).

byl – ostatně to je poměrně irelevantní vzhledem ke kybernetice jako takové, která si pak začala žít svým vlastním životem – nicméně ve formě další citace z Mindella (2002) zde dám prostor poněkud odlišnému názoru:

Wiener's reformulation²³ had ideological implications, especially in light of his own estrangement from military research. After Hiroshima and Nagasaki, Wiener became critical of the American military's dominance of the country's engineering efforts. Yet in the early 1940s he had been anything but a pacifist. Wiener had suggested to the army filling anti-aircraft shells with flammable gasses to burn enemy planes from the sky, he had pondered what types of forested areas and grain crops were most susceptible to fire bombing. Weaver remembered him as „at least at times, about as savage a fighter as anyone who ever appeared on the front.“ Still, the atomic bombs, and perhaps his disappointing NDRC project, changed Wiener's attitude toward military research.²⁴

Wienerův odklon měl ideologické implikace zejména ve světle jeho vlastního odcizení od vojenského výzkumu. Po Hirošimě a Nagasaki začal být Wiener kritický vůči americké vojenské nadvládě nad inženýrskými snahami celé země. Ovšem na začátku čtyřicátých let byl vším možným, jen ne pacifistou. Wiener tehdy armádě navrhoval plnit protiletadlové granáty hořlavými plyny, aby nepřátelská letadla rovnou lehla z oblohy popelem, a přemýšlel, které typy zalesněné krajiny a obilnin jsou nejvíce náchylné

²³Zde má Mindell na mysli Wienerův odklon od tradice vojenského inženýrského výzkumu k filozofii v jeho článku z roku 1943 a s tím spojenou absencí jakýchkoli odkazů na své předchůdce, jako např. Sperryho, Minorskeho, Blacka, Nyquista, Bodeho, Hazena apod.

²⁴Mindell (2002, s. 287).

zápalnému bombardování. Weaver si ho pamatoval jako „alespoň občas bojovníka stejně divokého jako kdokoli, kdo se kdy objevil na frontě.“ Pořád ale atomové bomby a nejspíše i zklamání z projektů NDRC změnilo Wienerův názor na vojenský výzkum.

Nicméně zpět k von Neumannovi. Bez ohledu na jejich osobnostní profily lze říci, že von Neumannovy a Wienerovy zásadní úvahy byly zcela protichůdné: Wiener se snažil „polidštit“ stroj, zatímco von Neumann „zracionalizovat“ člověka. Přesto však jejich cesty vedly ke stejnému cíli, který v důsledku hrál významnou roli při etablování kybernetiky – k rozšíření metafor člověk-stroj, jež stály v základu *cyberspeaku*, o němž se více zmíním později.

Von Neumann, který měl na starosti složité matematické výpočty pro Manhattan Project a spolupracoval na vývoji prvních číslicových počítačů ENIAC a EDVAC, dostal na jaře 1945 od Weavera žádost na zpracování zprávy shrnující aktuální stav na poli výpočetní techniky. V této zprávě nakonec von Neumann vypracoval to, čemu se později začalo říkat *von Neumannova architektura* počítače. Učinil přitom důležitý metodologický posun: nepopisoval architekturu počítače prostřednictvím reléových a elektronkových struktur, jak tomu bylo doposud běžné, nýbrž se inspiroval u McCullocha a Pittse a jejich logické analýzy nervové struktury mozku založené na abstraktních neuronech s principem „vše-nebo-nic“. Na základě této „neuronální analogie“ vypracoval systém logického formalismu pro návrh struktury počítače – oddělil funkcionalitu jednotlivých komponent počítače od jejich konkrétní technické realizace (Gerovitch, 2002, s. 80).

Von Neumann radikálně reinterpretoval McCullochův a Pittsův článek z roku 1943 tak, že prohlásil, že libovolně komplexní chování, které jde popsat slovy, může být redukováno na výpočty ve formální neuronové síti:

It certainly follows that anything that you can de-

scribe in words can also be done with the neuron method. And it follows that the nerves need not be supernaturally clever or complicated. In fact, they needn't be quite as clever and complicated as they are in reality, because an object which is a considerably amputated and emasculated neuron, which has many fewer attributes and responds in a much more schematic manner than a neuron, already can do everything you can think up.²⁵

Z toho dozajista vyplývá, že cokoli, co může být popsáno slovy, může být uděláno i metodou neuronů. A vyplývá z toho také, že nervy nemusejí být nadpřirozeně chytré či komplikované. Vlastně nemusejí být ani tak chytré a komplikované, jak jsou ve skutečnosti, protože takový objekt, který je jako značně okleštěný neuron, který má mnohem méně atributů a reaguje mnohem schematictěji než neuron, tak již může dělat vše, co vymyslíte.

Von Neumann dále tyto závěry spojil se svojí teorií sebereprodukcí se automatů a navrhl, aby se formální jazyk jejich popisu stal společným jazykem pro popis počítačů i lidského mozku (Gerovitch, 2002, s. 82). Vytvořil tak zásadní dvojitou metaforu – mozek jako počítač, a počítač jako mozek.

4.3 Kybernetika je na světě

Významnou roli v dalším formování myšlenek kybernetiky sehrála série „Macy Conferences“ – řada interdisciplinárních konferencí pořádaných v New Yorku v rámci filantropických aktivit Josiah Macy Jr. Foundation od roku 1946 do roku 1953. Předsedou těchto konferencí byl Warren McCulloch a mezi

²⁵von Neumann (1949), podle Gerovitch (2002, s. 80).

účastníky byly známé osobnosti z celého spektra různých oborů: matematika (Norbert Wiener, John von Neumann, Walter Pitts, Claude Shannon), aplikovaný inženýrský vývoj (Julian Bigelow, Heinz von Förster), filozofie (Filmer Northrop), neurofyziologie (Alberto Rosenblueth, Ralph Gerard, Rafael Lorente de Nó), psychiatrie (Warren McCulloch, Lawrence Kubie, Henry Brosnin), psychologie (Heinrich Klüver, Kurt Lewin, Alex Bavelas, Joseph Licklider), biologie (W. Ross Ashby, Henry Quastler), lingvistika (Roman Jakobson, Charles Morris, Dorothy Lee), společenské vědy (Gregory Bateson, Lawrence Frank, Paul Lazarsfeld, Margaret Mead) (Gerovitch, 2002, s. 85).

V prvním roce svého konání se cyklus konferencí zaměřil na téma „Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems“. Jak je patrné ze shora uvedeného výčtu účastníků a jejich specializací, šlo vskutku o hluboce mezioborové setkání. Domnívám se, že právě jen takovýto bytostně mezioborový dialog může v lidském poznání a vědě otevřít doposud skryté cesty a přinést něco vskutku nového a převratného. Zásadním problémem při jeho uskutečňování je však vhodný jazyk, jímž by se účastníci mohli dorozumět – při absenci takového společné komunikační platformy spojující zcela odlišné specializace pak totiž příspěvek každého účastníka vyzní jako pouhý referát o jeho odborných problémech, kterému stejně většina ostatních neporozumí, a pokud někdo porozumí, tak rozhodně ne natolik, aby se k němu účinně a plodně mohl vyjadřovat.

Nicméně cyklus Macy Conferences společný jazyk měl – byl jím *cyberspeak* (Gerovitch, 2002). Ačkoli tedy příspěvky jednotlivých účastníků přicházely ze zcela odlišných končin vědeckého poznání, a vytvářely tak značně různorodý a chaotický obraz, ukazovalo se, že každý se z pozic svého oboru svým způsobem vyjadřování blíží těm ostatním, takže docházelo k zásadnímu sdílení celé řady analogií a metafor člověk-stroj: tělo jako zpětnovazební servomechanismus, život jako zařízení na snižování entropie, člověk jako informační zdroj, lidská komunikace jako přenos zakódované zprávy, lidský mozek jako síť

logických prvků, lidská mysl jako číslicový počítač (Gerovitch, 2002, s. 86).

A právě skupina účastníků Macy Conferences v letech 1946–1947 se na Wienerův popud rozhodla své nově vzniklé transdisciplinární badatelské pole, jazyk a prostředky nazvat *kybernetika*. Wiener o tom píše:

Thus, as far back as four years ago, the group of scientists about Dr. Rosenblueth and myself²⁶ had already become aware of the essential unity of the set of problems centering about communication, control, and statistical mechanics, whether in the machine or in living tissue. On the other hand, we were seriously hampered by the lack of unity of the literature concerning these problems, and by the absence of any common terminology, or even of a single name for the field. After much consideration, we have come to the conclusion that all the existing terminology has too heavy a bias to one side or another to serve the future development of the field as well as it should; and as happens so often to scientists, we have been forced to coin at least one artificial neo-Greek expression to fill the gap. We have decided to call the entire field of control and communication theory, whether in the machine or in the animal, by the name *Cybernetics*, which we form from the Greek *κυβερνητης* or *steersman*. In choosing this term, we wish to recognize that the first significant paper on feedback mechanisms is an article on governors, which was published by Clerk Maxwell in 1868, and that *governor* is derived from a Latin corruption of *κυβερνητης*. We

²⁶Zde ještě nemá Wiener na mysli Macy Conferences, neboť tento text psal v roce 1948, a tak se odkazuje do roku 1944. Možná šlo o interdisciplinární setkání v Princetonu, které zorganizoval spolu s von Neumannem na přelomu let 1943–1944 (Wiener, 1965, s. 15).

also wish to refer to the fact that the steering engines of ship are indeed one of the earliest and best-developed forms of feedback mechanisms. Although the term *cybernetics* does not date further back than the summer of 1947, we shall find it convenient to use in referring to earlier epochs of the development of the field.²⁷

Takže již před čtyřmi lety si skupina vědců kolem Dr. Rosenbluetha a mě uvědomila zásadní jednotu souboru problémů točících se kolem komunikace, řízení a statistické mechaniky, ať již ve strojích či v živých tkáních. Na druhé straně nám vážně překážela nesourodost v literatuře o této problematice a absence jakékoli společné terminologie, či dokonce samostatného pojmenování této oblasti. Po mnoha úvahách jsme dospěli k závěru, že veškerá existující terminologie má přílišnou předpojatost k té nebo oné straně na to, aby mohla dostatečně dobře sloužit budoucímu rozvoji této oblasti; a jak se tak vědcům často stává, i my jsme byli nuceni vymyslet alespoň jeden umělý novořecký výraz, který by mezeru zaplnil. Rozhodli jsme se nazvat celý obor řídicí a komunikační teorie, ať již ve strojích nebo v živých organismech, jménem *Kybernetika*, které jsme utvořili z řeckého *κυβερνητης*, neboli *kormidelník*. Při výběru tohoto termínu jsme si přáli docenit, že první významný článek o zpětnovazebních mechanismech byl článek o regulátorech anglicky nazývaných „governors“, který byl publikovaný Clerkem Maxwelllem roku 1868, a že *governor* vychází z latinského zkomolení *κυβερνητης*.²⁸ Chtěli jsme též

²⁷Wiener (1965, s. 11–12).

²⁸Tímto „latinským zkomolením“ je *gubernator*, tj. panovník, místodržící, ředitel.

odkazovat k faktu, že kormidlování lodí je bezpochyby jednou z nejstarších a nejlépe rozvinutých podob zpětnovazebního mechanismu. Ačkoli se termín *kybernetika* neobjevil dříve než v létě 1947, budeme považovat za vhodné odkazovat jím i ke starším obdobím vývoje této oblasti.

Wiener se v průběhu konferencí aktivně spolupodílel na tvorbě nového společného jazyka sjednocujícího řízení a komunikaci ve strojích a živých organismech. Upravil například Shannonovu definici informační entropie tak, že obrátil její znaménko (na negativní entropii), čímž nyní odkazovala k míře zbývající informační nejistoty poté, co byla zpráva přijata, místo původního Shannonova pojetí jako počáteční nejistoty. Tím byl schopen zobecnit pojem informace (negativní entropie) jako univerzální míry organizace, jistoty a řádu jak pro systémy technické, tak i živé (Gerovitch, 2002, s. 86). Informace (a jí představovaný řád) totiž stála nyní v opozici proti entropii (a chaosu). Formálně definovaným konceptem informace se mu tak podařilo uchopit jeden ze základních rysů živých organismů:

The metaphor to which I devote this chapter is one in which the organism is seen as message. Organism is opposed to chaos, to disintegration, to death, as message is to noise.²⁹

Metafora, již věnuji tuto kapitolu, je ta, ve které je [živý] organismus viděn jako zpráva. Organismus je v protikladu k chaosu, rozkladu a smrti, stejně jako zpráva je v protikladu k šumu.

Jde vskutku o velmi převratné uchopení *živého*, neboť nám nesmírně rozšiřuje pole toho, co můžeme chápat jako živý organismus. Živý tak může být například jazyk, příběh, mezilidský

²⁹Wiener (1988, s. 95).

vztah, společnost, ale i stroj, který sám sebe řídí prostřednictvím zpětné vazby. Živé se zde oproštuje od biologických požadavků na látkovou výměnu, rozmnožování, pohyb apod.

Wiener dále sjednotil *řízení* a *informaci* tím, že interpretoval řízení jako komunikaci se zpětnou vazbou, a to jak u strojů, tak i u lidí a společnosti:

The information fed back to the control center tends to oppose the departure of the controlled from the controlling quantity...³⁰

Informace přiváděná zpět do řídicího centra má sklon být v protikladu k odchylování se řízeného od řídicí veličiny...

When I communicate with another person, I impart a message to him, and when he communicates back with me he returns a related message which contains information primarily accessible to him and not to me. When I control the actions of another person, I communicate a message to him, and although this message is in the imperative mood, the technique of communication does not differ from that of a message of fact. Furthermore, if my control is to be effective I must take cognizance of any messages from him which may indicate that the order is understood and has been obeyed.

It is the thesis of this book that society can only be understood through a study of the messages and the communication facilities which belong to it; and that in the future development of these messages and communication facilities, messages between man and machines, between machines and man, and between

³⁰Wiener (1965, s. 97).

machine and machine, are destined to play an ever-increasing part.

When I give an order to a machine, the situation is not essentially different from that which arises when I give an order to a person.³¹

Když komunikuji s jinou osobou, sděluji jí zprávu, a když ta osoba komunikuje zpětně se mnou, tak vrací související zprávu, která obsahuje informace primárně přístupné té osobě a ne mně. Když řídím akce jiné osoby, sděluji jí zprávu, a ačkoli je tato zpráva v rozkazovacím způsobu, technika komunikace se neliší od zprávy oznamovací. Navíc má-li být moje řízení efektivní, musím brát na vědomí jakoukoli zprávu od té osoby, která by mohla indikovat, že bylo příkazu porozuměno a byl splněn.

Tezí této knihy je, že společnosti můžeme porozumět pouze skrze studium zpráv a komunikačních možností, které jí přísluší; a že budoucí rozvoj těchto zpráv a komunikačních možností, zpráv mezi člověkem a strojem, mezi strojem a člověkem, a mezi člověkem a člověkem, je předurčen hrát stále vyšší a vyšší roli.

Když dám příkaz stroji, situace se ve své podstatě neliší od té, kdy dám příkaz osobě.

4.4 Cyberspeak a hra metafor

Skupina prvních *kybernetiků* sjednocená kolem Macy Conferences zkombinovala pojmy z fyziologie (*homeostáze a reflex*), psychologie (*chování a cíl*), teorie řízení (*řízení a zpětná vazba*), termodynamiky (*entropie a řád*) a teorie informace (*informace*,

³¹Wiener (1988, s. 16).

signál a šum), zgeneralizovala je, a umožnila tak jejich aplikaci jak na živé organismy, tak i na stroje se sebeřízením a na společnost (Gerovitch, 2002, s. 87).

Známý americký lingvista ruského původu Roman Jakobson viděl v nově vzniklé kybernetice nesmírně účinný rámec pro popis jazyka, v němž přeformuloval klasickou de Saussurovu strukturální lingvistiku: místo *langue* a *parole*³² začal Jakobson používat *kód* a *zpráva*, *kontextové variace* nahradil za *redundantní prvky*, *produkci* a *porozumění* za *kódování* a *dekódování*, *mluvčího* a *posluchače* za *enkodér* a *dekodér* (Gerovitch, 2002, s. 92). Jakobsonova práce se tak stala důležitým teoretickým základem pro budoucí počítačnickou lingvistiku a rozvoj technologií strojového zpracování přirozeného jazyka.

Veškerý tento terminologický posun provázající budování rozsáhlých analogií a metafor mezi člověkem a strojem spoluvytvářel novou vědeckou diskursivní praktiku – *cyberspeak*. *Cyberspeak* tak nejen dokázal vytvořit společnou platformu pro doposud nesouměřitelné vědecké teorie, ale zároveň se mu dařilo působit jako magnet přitahující nové a nové kybernetické reinterpretace vědeckých problémů z obrovského spektra všech možných vědních disciplín. Díky tomu v padesátých a šedesátých letech dvacátého století nesmírně vzrostla popularita kybernetiky, a podle mého názoru by bylo možno ji považovat za jeden z nejúspěšnějších transdisciplinárních podniků v historii moderní vědy.

Proliferace *cyberspeaku* byla nakonec tak silná, že proti ní v polovině padesátých let vystoupil dokonce i sám Wiener, který se podle Gerovitche (2002) veřejně ohradil proti používání slova

³² „*Jazyk* (*langue*, systém) je abstraktní systém jazykových jednotek znakové povahy a pravidel jejich užívání, včetně normy a modelů (vzorců, vzorů, schémat) tohoto užívání. Tyto jazykové jednotky, odlišující se navzájem svou individuální hodnotou, jsou v něm uspořádány do paradigmat. ... *Mluva* (*parole*, text) je obecně oblast realizací jazyka v promluvách, textech, resp. mluvních aktech. Jednotlivé případy *parole* dnes můžeme (i bez písemné podoby) zaznamenávat a vracet se k nim, tj. studovat v textu výskyty toho či onoho slova apod.“ (Čermák, 2001, s. 81–82)

kybernetika „skupinou horlivců“ (angl. „by a group of eager beavers“). V roce 1954 Wiener napsal:

I cannot protest against the free use by any man of a word [cybernetics] that I intended as a common noun but I do protest against the appropriation of words covering a certain philosophy of engineering by many engineers with only a fragmentary idea of what these words mean.³³

Nemohu protestovat proti tomu, aby kdokoli svobodně užíval slova [kybernetika], které jsem zamýšlel jako obecné jméno, ale protestuji proti přivlastňování si slov pokrývajících určitou oblast filozofie inženýrství skupinou inženýrů, kteří mají jen zlomkovitou představu o tom, co tato slova znamenají.

Tím, že kybernetika prostřednictvím velmi slibného a efektivního cyberspeaku začala přitahovat lidi z mnoha oblastí bádání, a to i z oblastí ryze humanitních, začali si cyberspeak osvojovat i ti, kteří nedisponovali dostatečnými znalostmi v oblasti matematiky a technických věd, jež jsou přes veškerá „měkkčí“ rozšíření kybernetiky jejím absolutním základem. Kybernetiku tak vytrhli z kontextu svého vzniku, připravili ji o její formální a rigorózní základ a započali tak dodnes trvající proces kulturního přenosu kybernetiky do laických vrstev společnosti.

„Kybernetický“ totiž od padesátých let dvacátého století začalo konotovat s „novými technologiemi“, „blyštivými futuristickými zařízeními“, „sci-fi vizemi“, „humanoidními roboty“, „lepšími zítřky“, „společností bez diskriminace“, „novými světy“, „technologickou vzrušujícím“ apod.³⁴ V těchto konotacích vůbec nejde o fundamentální roli zpětné vazby, o jed-

³³ Citováno podle Gerovitch (2002, s. 98).

³⁴ V této konotační funkci dnes působí právě předpona „kyber-“.

notu řízení a informace, o výpočetní realizace myšlenkových procesů, a automatizaci kognitivních a rozhodovacích funkcí, ba ani o sjednocující metaforu člověk-stroj. V těchto konotacích totiž jde zejména o kolektivně ventilované ztělesnění archetypálních představ a snů naší společnosti o stvořitelské roli člověka.

Pro dnešní kybernetiku je pak velice důležité, že takovéto „kolektivní ztělesnění snů“ má sociálně-konstruktivní rys, a stává se tak sociální realitou. Dnes je to právě masa laické společnosti, která svými představami určuje, co je a kterým směrem leží ta „vysněná budoucnost“ plná robotů a nových technologií.

Není totiž vůbec náhoda, že se mnohým autorům „klasické sci-fi“ (např. Isaac Asimov, Arthur C. Clarke, Ray Bradbury, Stanisław Lem, Arkadij a Boris Strugačtí, Philip K. Dick, William Gibson a mnozí další), kteří byli silně ovlivněni všeprostopujícími cyberspeakiem své doby, dařilo tak dobře předpovídat technologický rozvoj, jenž přišel až několik desetiletí po jejich novelách a románech. Oni totiž svým sci-fi dílem opírajícím se o cyberspeak doslova vykonstruovali reálný rys společnosti, vtiskující jí poptávku a představy přesně o takové budoucnosti (či jejích technologických artefaktech), která byla v jejich sci-fi dílech vyobrazena.

Musíme si tedy uvědomit, že paradoxně i role těch, kteří ve druhé polovině dvacátého století aktivně participovali na rozvoji cyberspeaku, aniž by vlastní kybernetice rozuměli více než jen velmi povrchně a „jen“ vytvářeli společensky silně prostupné „kybernetické“ metafory, je vposledku pro dnešní kybernetiku velice důležitá. Přes společenský a kulturní přenos nám totiž s časovým odstupem takto vzniklé „kybernetické sny“ určují významné motivační směry, jimiž se má kybernetika a s ní spojený výzkum a vývoj ubírat do budoucna. To vše je však problematika, která by si zasloužila studii dalece přesahující rámec těchto skript.

4.5 Ontologie černé skříňky

V souvislosti s rozvojem kybernetiky nacházel své pevné místo i koncept Black Boxu. Jak jsem již okrajově zmiňoval v úvodu skript, nelze Black Box chápat pouze v té základní inženýrské a relativně přímočaré variantě jako zařízení, o jehož vnitřní struktuře nic nevíme a jsme schopni sledovat pouze závislost námi zaváděného vstupu do zařízení a jeho výstupní reakce na tento vstup. V době raných kybernetických přístupů (např. Blackův zesilovač, viz oddíl 2.3) tato představa byla platná a zároveň plodná. Pro rozvinutou kybernetiku jako vědu o obecných principech společných strojům a živým organismům však Black Box znamená něco jiného: kybernetika vypracovala metodologický koncept, který Pickering (2010, s. 20) nazývá *ontologie černé skříňky* (angl. *Black Box ontology*).

Tato ontologie překračuje klasické metodologické schéma *moderních věd*, které vyžaduje *reprezentační popis* každého fragmentu reality, jemuž se konkrétní věda věnuje. Jinými slovy: klasické přírodní vědy hovoří o světě jako složeném z věcí, o těchto věcech jako o složených z dalších věcí, a tak dále. V rozložení těchto věcí však nikde nehraje roli člověk – ten je postaven stranou mimo *objektivní* svět, přesně v souladu s kar-teziánským dualismem. Kybernetika však zaujímá zcela odlišný postoj: za empiricky zcela platné považuje *performativní* (či behavioristické) vysvětlení – ta a ta věc na základě toho a toho podnětu *dělá* to a to. Explicitně reprezentovaná znalost toho, *jak* to ta věc dělá *uvnitř*, není vůbec nezbytná – může a nemusí se k ní dospět v průběhu zacházení s věcí (Pickering, 2010).

Nejde pouze o jakési zjednodušení role vědy a snížení nároků na její vypovídací schopnost. Uvažujme třeba příklad kliky u dveří: jsem schopen ji běžně a úspěšně používat, aniž bych věděl, jak funguje její vnitřní mechanismus – klika je pro mě Black Boxem a důležitým ontologickým aspektem mého světa je, že vím, co musím udělat, aby mi otevřela dveře.³⁵ A nejen

³⁵V případě kliky u dveří její vnitřní mechanismus náhodou znám. To ovšem

to. Zároveň totiž ani nemám sebemenší ponětí, co s kterým svalem svého těla mám udělat, aby tělo jako celek vyhovělo mému přání vzít za kliku (viz citace Wienera na s. 49). Tedy i mé tělo je v tomto smyslu Black Box. A zde je ten důležitý moment: kybernetická ontologie černé skřínky je zde zcela na místě a její vysvětlení je dokonce „správnější“ („pravdě-podobnější“, ve smyslu *verisimilitude*³⁶) než pokus o „klasickovědní“ reprezentační vysvětlení, které by se snažilo vybudovat a popsat řetězce kauzálních vztahů vedoucích od každého nervu a svalu až po pružinu ve dveřích.

Kybernetika tedy správně popisuje to, *jak skutečně* otvírám dveře – *nic ve mně* totiž neví (tj. nenese explicitní znalostní reprezentaci), kdy a jak přesně napnout který sval. Můj organismus pouze ví, jak vyvolat účelovou aktivitu vedoucí k otevření dveří (ve smyslu Wienerových a Rosenbluethových teleologických akcí daných přítomností negativní zpětné vazby, viz citace Wienera na s. 52).

nemění nic na obecné platnosti tohoto ilustračního příkladu.

³⁶Pomíňme nyní všechny těžkosti, které představu *verisimilitude* provázejí.

KAPITOLA 5

Závěr

Jak jsem již v úvodu nastínil, mým cílem bylo vystavět na historickém exkurzu příběh, jehož vyprávěním by se podařilo ukázat, co je to kybernetika a čím je kybernetika dnes. Příběh už se chýlí ke konci, a tak by bylo vhodné nějak kompaktně zformulovat to, co se o kybernetice průběžně vynořovalo zpoza historických událostí a souvislostí mezi nimi.

5.1 Co je kybernetika

Definic kybernetiky existuje velké množství. Některé z nich se od sebe liší pouze v detailech, jiné jsou vzájemně skoro nesouměřitelné.¹ Některé velmi specifickým výčtem vyjmenovávají, čím vším se kybernetika zabývá, jiné naopak používají

¹Viz. např. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cybernetics>.

obecné metafory. Vývoj definic kybernetiky by tak sám o sobě mohl být součástí historiografie kybernetiky. Pokusím se nyní od již existujících definic zcela odhlédnout a zformuluji definici jinou, založenou pouze na aspektech příběhu podaného na předchozích stránkách – pokusím se pojmenovat to, co spojovalo všechny události a osoby v příběhu figurující.

Kybernetika je transdisciplinární vědecký diskurz, jehož prostřednictvím se snažíme strojům vtisknout to, co činí živé organismy živými.

Za živé organismy zde můžeme považovat nejen organismy biologické, ale i organismy společenské. Je tedy vhodné si připomenout, jak důležitou roli pro formování kybernetického myšlení přinejmenším od Wienera a Macy Conferences hrálo teoretické uchopení paralel mezi živým organismem a samočinně fungujícím strojem.

Parafrázujeme-li významného průkopníka kybernetiky Williama Rosse Ashbyho, můžeme říci, že kybernetika je obrazem živého organismu (nebo „živého stroje“) tak, jako je geometrie obrazem prostoru:

Cybernetics stands to the real machine – electronic, mechanical, neural, or economic – much as geometry stands to a real object in our terrestrial space.²

Kybernetika se má ke skutečným strojům – elektronickým, mechanickým, nervovým a ekonomickým – právě tak, jako se má geometrie k reálným předmětům v prostoru kolem nás.³

V období před druhou světovou válkou analogie mezi člověkem a strojem neměla tak fundamentální a teoretickou

²Ashby (1957, s. 2)

³Český překlad Karel Berka, Státní nakladatelství technické literatury, 1960.

roli, byla však silným praktickým prvkem inženýrsky motivovaného aplikovaného výzkumu a vývoje řešícího konkrétní technické problémy. Tuto inženýrskou motivaci tedy dále považují za nedílnou součást kybernetiky, za další její rys:

Kybernetika je životní, badatelský a inženýrský přístup, jenž je schopen řešit zcela nové a bezprecedentní problémy vyplývající z požadavků nahradit člověka strojem v určitých rolích, které se opírají o lidské myšlení a schopnosti.

Ačkoli toto uchopení kybernetiky vychází z historického kontextu, kde se neustále opakovalo ve všech možných variacích, bude s ním patrně souhlasit každý, kdo se někdy spolupodílel na současném kybernetickém výzkumu a vývoji. Přesně v tomto duchu je totiž v dnešní době rozvíjena činnost na katedrách či odděleních kybernetiky, ať již se týká návrhů a realizací složitých systémů průmyslového řízení či například automatického titulkování televizních pořadů v přímém přenosu. Tyto úlohy by totiž těžko plně spadaly pod některou jinou samostatnou disciplínu, jako například teorii řízení, informatiku, matematiku, lingvistiku, psychologii, apod. Jsou totiž ze své podstaty tak komplexní a provázané jak se světem lidským, tak se světem technologií, že jediné kybernetika je schopna je řešit svým transdisciplinárním rozsahem, vybudovanou teorií a úzkým sepětím s inženýrským přístupem.

U všech historických příkladů, o nichž jsem psal v této práci a které předcházely vzniku Wienerovské kybernetiky, bylo možné nacházet vždy přinejmenším dva „kybernetické“ rysy. Prvním z těchto rysů bylo funkční spojení člověka a stroje nebo nahrazení (vylepšení) některých lidských schopností strojem, případně vznik specifického formálního uchopení a zakódování lidských kognitivních schopností a aktivit (např. zakódování hlasu, přenos hlasu na dálku prostřednictvím frekvenčních modulací apod.). S tímto rysem pak byla spojena i zpětná vazba na

„vyšší úrovní“ – tj. zpětná vazba mezi člověkem a strojem a jejich spřažení.

Druhým ze zmíněných rysů pak bylo využití nástrojů vznikající kybernetiky na „nižší úrovni“ návrhu systému – na úrovni „elektroinženýrské“. Šlo tedy zejména o využití zpětné vazby a metod vyšetření stability v zesilovačích, v integrátorech, při řízení, apod.

Nyní se pokusím shrnout aspekty, jimiž se vyznačuje kybernetika jako explicitně formulovaná vědní disciplína:

- popis reality pomocí formálně definovaných abstraktních systémů
- aktivní vytváření a využívání metafory a analogií člověk-stroj; sjednocený popis pro živé organismy a stroje
- vytváření interakce člověk-stroj a systémů se spřažením (coupling) mezi člověkem a strojem
- využití informační zpětné vazby k vytvoření teleologického chování systému, které lze v mnohých případech ztotožnit s řízením
- ontologie černé skříňky
- silná vazba na inženýrské řešení aplikačních problémů
- cyberspeak a silné sociálně-konstruktivní vlivy

Kybernetika klade důraz na *samočinnost* zkoumaných či konstruovaných systémů. Tuto samočinnost vystihuje řecké slovo *αυτοματου* – automaton. Jedním z důležitých motivačních pilířů kybernetiky je tedy automatizace. Tím systematicky vznikalo ve druhé polovině 20. století celé důležité odvětví kybernetiky, které můžeme nazvat *technická kybernetika* a charakterizovat touto „klasickou“ definicí:

Technická kybernetika je věda, která se zabývá automatizací řídicích, rozhodovacích, monitorovacích a dalších procesů (systémů).

Abychom mohli překonat krizi kybernetiky, o níž jsem psal v úvodu této práce, musíme si ovšem také uvědomit, čím kybernetika *není*. Kybernetika dozajista není teorií řízení. Jejich vazby jsou samozřejmě nesmírně silné a z předchozích kapitol jasně patrné, nicméně teorie řízení vznikla dávno před kybernetikou a od dob Wienera se ve vzájemném souznění rozvíjela paralelně s ní. Rozhodně tedy nemůžeme říci, že by teorie řízení vznikla z kybernetiky. Můžeme však říci, že pro kybernetiku je teorie řízení jedním z jejích nástrojů. Samotná teorie řízení oproti kybernetice neobsahuje onen fundamentální aspekt teoretického vztahu mezi strojem a živým organismem. Teorie řízení je pochopitelně nesmírně silně inženýrsky a aplikačně motivovaná, avšak oproti kybernetice je výrazně omezenější co do typu řešených úloh (teorie řízení například nevyužívá postupů modelujících lidské kognitivní schopnosti).

Kybernetika také není teorií informace, ani informatikou (ve smyslu „computer science“). Její vztah k těmto disciplínám je velmi podobný jako vztah k teorii řízení. Dále kybernetika není ani teorií systémů, byť cokoli, s čím kybernetika pracuje, abstraktním systémem je. Teorie systémů totiž sice vytváří unifikující teoretické koncepty použitelné při popisu strojů i živých organismů, avšak zcela jí chybí reálné a prakticky zrealizované interakce člověk-stroj či skutečně vtělené spřažení mezi člověkem a strojem. Inženýrská a aplikační motivace teorie systémů je též výrazně nižší než kybernetiky.

Kybernetika je holistickým spojením všeho výše uvedeného, navíc spojením, které je schopno *vytvářet* věci, které *fungují*. Jsem tedy naprosto přesvědčen, že kybernetika má i dnes zcela jasně vymezené a nenahraditelné místo na poli vědeckého bádání, neboť v oblasti vědeckého diskurzu stále ztělesňuje jeden z nejvíce motivujících technicko-spoločenských cílů naší ci-

vilizace. „Krise kybernetiky“ je tak pouhým zdáním vzniklým z chybné snahy redukovat bytostně transdisciplinární kybernetiku na některé jiné specializovanější disciplíny a zapomínat při tom na důležitost jejich nedílných aspektů, jež jsem uvedl výše. Kybernetika tak stále existuje a má se čile k světu, byť si to mnozí neuvědomují.

5.2 Pokračování

Mohlo by se zdát, že abychom byli schopni dobře nahlédnout, čím je kybernetika dnes, je nutné zmapovat celý její historický vývoj až do současnosti, a nikoli pouze do poloviny padesátých let dvacátého století, jak jsem učinil v těchto skriptech (navíc pouze pro Americkou kybernetiku).

Domnívám se, že tomu tak nemusí nutně být a že kybernetiku je možno poznat v její nejryzejší podobě právě v období jejího vzniku až do padesátých let. To ovšem neznamená, že by nebylo vhodné se v dalším bádání a příběhu zabývat obdobím, které následovalo, vztahem kybernetiky a umělé inteligence či vznikem tzv. Nové kybernetiky.

Dalším důležitým směrem bádání by byla konfrontace Americké kybernetiky s již zmíněnou Britskou a Sovětskou kybernetikou. Britská kybernetika je zajímavá svou vazbou na psychiatrii a alternativní kulturu, což je v silném kontrastu s armádním základem kybernetiky Americké. Sovětská kybernetika zase měla významný vliv na formování kybernetiky v Československu, a tím i na dnešní přijímání a rozvíjení kybernetiky v České republice. Ostatně v našem prostředí by měl být také kladen důraz na zpracování historie kybernetiky Československé a České, zejména ve vztahu k všem třem hlavním kybernetickým školám.

Jak jsem však již předeslal, cílem těchto skript nebylo podat analýzu vývoje kybernetiky z hlediska historické vědy, nýbrž nabídnout jednu z odpovědí na to, co je kybernetika. Nechť tedy čtenář sám posoudí, jestli se to podařilo.

Literatura

ASHBY, W. R. *An Introduction to Cybernetics*. London : Chapman & Hall, 1957.

ČERMÁK, F. *Jazyk a jazykověda*. Praha : Karolinum, 2001.

DUDLEY, H. The Carrier Nature of Speech. *The Bell System Technical Journal*. 1940, 19, 4, s. 495–515.

GEROVITCH, S. *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*. Cambridge, MA : The MIT Press, 2002.

MCCULLOCH, W. What Is a Number, that a Man May Know It, and a Man, that He May Know a Number? *General Semantics Bulletin (reprint in Vordenker, Winter Edition 2008/2009)*. 1960, 26/27.

MCCULLOCH, W. – PITTS, W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics (reprint in Vordenker, Winter Edition 2008)*. 1943, 5.

- MINDELL, D. A. *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing before Cybernetics*. Baltimore, MD : The Johns Hopkins University Press, 2002.
- PICKERING, A. *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*. Chicago, IL : University Of Chicago Press, 2010.
- ROSENBLUETH, A. – WIENER, N. – BIGELOW, J. Behavior, Purpose and Teleology. *Philosophy of Science*. 1943, 10, 1, s. 18–24.
- SPERRY, E. Automatic Steering. *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*. 1922, 30, s. 53–61.
- NEUMANN, J. Theory and Organization of Complicated Automata. In ASPRAY – BURKS (Ed.) *Papers of John von Neumann*, 1949.
- WIENER, N. *Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine (Second Edition)*. Cambridge, MA : The MIT Press, 1965.
- WIENER, N. *The Human Use Of Human Beings: Cybernetics And Society (Da Capo Paperback)*. Boston : Da Capo Press, 1988.

Jan Romportl
Kapitoly z historie kybernetiky

Vydala Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

Obálku navrhl Tom Vild
V systému L^AT_EX vysázel Jan Romportl
Vytiskl Typos, tiskařské závody, s.r.o.

Plzeň, 2013
Vydání první

ISBN 978-80-261-0184-0
ISBN 978-80-261-0185-7 (elektronická verze)