

Univerzita Karlova v Praze
Pedagogická fakulta

Katedra informačních technologií a technické výchovy

Homeostáza člověka z pohledu kybernetiky a modelování vybraných témat ve výuce

Autor: Jakub Lapeš

Aprobace: Bi – TIV

Vedoucí práce: Doc. Mgr. Ing. Daniel Novák, CSc.

Praha 2007

ABSTRAKT:

Předmětem diplomové práce je kybernetický pohled na některé fyziologické děje probíhající v lidském organismu, které udržují stálost jeho vnitřního prostředí. Cílem je propojení biologické a kybernetické tematiky s možností uplatnění ve výuce na gymnáziích. Jsou zde probírány základy kybernetických metod a postupů, charakteristika živých soustav, vybrané fyziologické regulace lidského organismu, principy modelování a simulace biologických systémů, některé další mezipředmětové vztahy a vybrané didaktické aspekty řešené problematiky. Výsledkem pak je vytvoření názorného mezioborového vztahu (s příslušnou výukovou aplikací), mezi biologickými a technickými vědami, a návrh jeho možného začlenění do výuky na středních školách gymnaziálního typu. Jedním z východisek pro diplomovou práci jsou poznatky z vlastní pedagogické praxe.

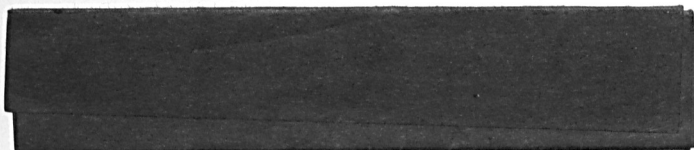
Poděkování

Chci bych tímto velice poděkovat vedoucím diplomových prací prof. Ing. Danielu Novákovi, CSc. za výborné vedení a podporu. Poděkování patří také RNDr. Vladimíru Přivratskému, CSc. za poskytnutí odborných informací k problematice a paní doc. RNDr. Miroslavě Čížkové, CSc. za poskytnutí programu.

Zároveň chci poděkovat rodičům za velkou podporu a pomoc při studiu. Poděkování patří také Daliborovi Balázikovi a Filipu Kapetanovi za další podporu.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Mgr. Ing. Daniela Nováka, CSc. V práci jsem použil informační zdroje uvedené v seznamu.

Praha, 13. dubna 2007



podpis

Poděkování

Chtěl bych tímto velice poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Mgr. Ing. Danielu Novákovi, CSc. za výborné vedení a spolupráci při vlastní tvorbě. Dále panu RNDr. Vladimíru Přívratskému, CSc. za konzultace a cenné připomínky ohledně biologické problematiky a paní doc. RNDr. Miroslavě Černochové, CSc. za diskuzi ohledně výukového programu.

Zároveň chci poděkovat rodině za veškerou podporu při studiích a mým spolužákům Janu Balažíkovi a Filipu Kapounkovi za duševní podporu.

Obsah

PŘEDMLUVA	8
1 ÚVOD.....	10
2 ZÁKLADY KYBERNETIKY	12
2.1 SYSTÉM	12
2.1.1 ČLENĚNÍ SYSTÉMŮ.....	13
2.1.2 VAZBY MEZI SYSTÉMY.....	14
2.2 INFORMACE	15
2.3 ŘÍZENÍ	16
2.3.1 REGULACE.....	17
2.4 LOGICKÉ OBVODY.....	18
3 ŽIVÉ SYSTÉMY	21
4 BIOTERMODYNAMIKA	23
5 BIOKYBERNETIKA	24
5.1 BIOLOGICKÝ SYSTÉM.....	25
5.2 ŘÍZENÍ BIOLOGICKÉHO SYSTÉMU.....	26
6 HOMEOSTÁZA	27
7 FYZIOLOGICKÉ REGULACE.....	29
7.1 BUNĚČNÉ REGULACE	32
7.2 REGULACE KREVNIHO TLAKU	1
7.3 FYZIOLOGIE KRVE.....	36
7.4 TERMOREGULACE.....	41
7.5 ŘÍZENÍ FUNKCE LEDVIN	43
7.6 ACIDOBAZICKÁ ROVNOVÁHA	45
7.7 REGULACE GLYKÉMIE	48
7.8 ŘÍZENÍ DÝCHÁNÍ.....	50
7.9 REGULACE ŽALUDEČNÍ KYSELOSTI.....	52
7.10 ŘÍZENÍ POHYBOVÉ AKTIVITY	54
7.11 VEGETATIVNÍ NERVOVÝ SYSTÉM.....	56
8 MODELOVÁNÍ A SIMULACE	57
8.1 SNÍMÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ BIOLOGICKÝCH SIGNÁLŮ	62
9 DALŠÍ MEZIOBOROVÉ VZTAHY	63
10 DIDAKTICKÉ ASPEKTY ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	64

11 VÝUKOVÝ PROGRAM.....	66
12 ZÁVĚR	67
INFORMAČNÍ ZDROJE	68
PŘÍLOHA Č.1 – RVP GV.....	71
PŘÍLOHA Č.2 – HISTORIE BIOKYBERNETIKY	73
PŘÍLOHA Č. 3 – TRÍDĚNÍ SYSTÉMŮ.....	78
PŘÍLOHA Č. 4 – ZADÁNÍ DP.....	79

Velmi zřejmým by měl být tento přístup a jeho cíle. V rámci učebního obsahu se zaměřujeme na osvojení základních principů a vztahů, propojování a kontextualizaci jednotlivých částí učebního obsahu, na osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů.

Velmi zřejmým by měl být tento přístup a jeho cíle. V rámci učebního obsahu se zaměřujeme na osvojení základních principů a vztahů, propojování a kontextualizaci jednotlivých částí učebního obsahu, na osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů.

Je tedy nutné jednotlivé výstupy učebního obsahu a učebních témat, vytvářet konkrétní učební materiály, které by měly být zaměřeny na osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů.

V blízké době předpokládáme, že bude vypracován učební program pro gymnázium v oblasti informatiky a kybernetiky. Tento učební program bude zaměřen na osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů. Důležitým je také osvojení základních principů a izolaci faktů.

Učební program „RVP“ je dostupný na: <http://www.mpsv.cz>
 Tento učební program je dostupný na některých gymnáziích.
 Tento učební program „RVP GV“ je z r. 2004. Je to učební program pro gymnázium.

Předmluva gymnázii by tedy nemohly

S překotným rozvojem všech vědních disciplín, a tudíž nárůstu velkého množství informací, si žáci (studenti) již nevystačí s běžným memorováním předkládaných faktů. S neustálou záplavou poznatků je déle neúnosné lpět na „encyklopedismu“ a tradičním pojetí výukových předmětů. Je potřeba širších vztahů mezi jednotlivými obory - hledat souvislosti, vazby a logické zákonitosti.

Se zaváděním „Rámcových vzdělávacích programů“ (dále jen RVP)¹ do českého školství je patrný příklon k tomuto trendu - tzn. provázanost poznatků, hledání širších souvislostí a vztahů, propojování a integrování předmětů. Důležité je, aby nedocházelo k roztržičnosti a izolaci faktů. Nese to s sebou sice jistou míru zobecnění, ale za cenu lepšího pochopení. Navíc v době běžně dostupných informačních zdrojů není těžké získat požadovaná fakta, ale to nemusí nutně znamenat, že se mezi nimi vytvoří i kvalitní vazby.

Velmi zřetelným by měl být tento přístup u všeobecných gymnázií, kde by si studenti měli nejenom osvojit určité poznatky, ale hlavně si mezi nimi vytvořit konkrétní vztahy. Je třeba překlenout izolovanost jednotlivých předmětů. Studenti sice mají „encyklopedické“ znalosti, ale často chybí souvislosti. Absolvent gymnázia by měl mít vytvořen určitý komplexní přehled o světě. Měl by se umět orientovat, kriticky myslet a pracovat s informacemi.

Je tedy nutné jednotlivé vyučovací předměty integrovat, využívat okrajových a průřezových témat, vytvářet kvalitní mezioborové vazby apod. Nelze už vycházet jenom z „jednoduchých“ mezipředmětových vztahů, jako je např. biologie – chemie, matematika – fyzika apod. Je potřeba vytvářet provázanost a širší rámce mezi obory.

V blízké době pravděpodobně dojde k zavedení RVP na gymnázia, tzv. „Rámcový vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání (dále jen RVP GV)². Jeho součástí je vzdělávací oblast „Informační a komunikační technologie“ (dále jen ICT). Jedním z očekávaných výstupů (co by měl žák umět) je *teoretické porovnání informačních procesů v mechanických, počítačových a biologických systémech* (viz Příloha č.1)³. Tento fakt je nesmírně důležitý, protože jednoznačně reflektuje a zároveň upozorňuje na potřebu mezioborových vztahů.

¹ Všechny „RVP“ jsou dostupné na: <http://www.rvp.cz/> nebo <http://www.vuppraha.cz/>

² Nyní běží v pilotní verzi na některých gymnáziích a probíhá veřejné připomínkové řízení.

³ Tato verze „RVP GV“ je z roku 2004. Již je zveřejněna obměněná z roku 2006.

Studenti gymnázií by tedy neměli brát ICT jenom jako samostatnou oblast vzdělávání (předmět výuky), ale naopak se snažit ji co nejvíce uplatnit i v jiných předmětech. Obecně tedy umět vyhledávat relevantní a validní informace, orientovat se v nich, třídít a (vy)užívat. A to v jakémkoli předmětu, s využitím právě ICT. Poslání gymnázií, jakožto všeobecně vzdělávací instituce, k tomu přímo vybízí.

Cílem této diplomové práce je pokusit se adekvátně zpracovat konkrétní mezioborovou problematiku a tím reagovat na požadavky vzdělávání v RVP GV. V tomto případě biologickou oblast s oblastí ICT⁴. Poukázat na společné rysy, analogie a vztahy v biologických a technických vědách. Práce by měla sloužit učitelům biologie, ICT a studentům. Netvrdím, že následující pojetí „mezioborovosti“ je jediné možné a správné. Ukazují zde pouze jednu z možných cest, jak se zhostit vytváření mezipředmětových vztahů a aplikovat je do gymnaziální výuky.

⁴ Je zajímavé že v běžné praxi je tato provázanost zřejmá (věda, výzkum, aplikované obory apod.), ale na školách, pokud vůbec, tak jen okrajově.

1 Úvod

Jedním z oborů, kde se provázanost vědních disciplín jednoznačně uplatňuje je *kybernetika*⁵. Účelně v sobě spojuje poznatky matematiky, informatiky, fyziky a technických věd (z nichž původně vznikla). Za zakladatele kybernetiky je považován Norbert Wiener, který svým dílem „*Kybernetika : neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích*“ (vydáno 1948) vlastně založil novou vědní disciplínu. Název díla je i zároveň jednou z definic⁶ kybernetiky. Předmětem jejího zkoumání jsou obecné principy vzniku, přenosu, zpracování a uchování informace ve složitých živých a neživých systémech. Zabývá se též obecnými zákonitostmi řízení těchto systémů (1). Studuje podobnosti v chování živých organismů a složitých strojů a určuje obecné zákonitosti řízení systémů se složitou vnitřní strukturou. Ponechává se stranou hledisko energetické a řeší se otázky jak se chovají různé systémy a nezajímá se o to, proč se tak chovají (2). Jednoduše řečeno neklade si otázku: „Co je to?“, nýbrž „Co to dělá?“.

Mezi živými a neživými systémy se objevuje stále více společných rysů v chování. Tyto společné vlastnosti, které měla původně pouze živá hmota, přestávají být postupně výhradním právem biologie, chemie a fyziky. Z hlediska těchto oborů se jeví různě pochody v systémech živých a neživých, i když jejich chování může být mnohdy značně podobné. Objevila se proto potřeba vědního oboru, který by se zabýval studiem hmotných systémů živých a neživých právě z hlediska těchto podobností. Předmětem studia kybernetiky nejsou nové objekty, ale nové pohledy na objekty již existující. Zajímá se o takové vlivy okolí na systém a systému na okolí, které mají informační obsah.

Její význam je právě v tom, že se může uplatnit téměř ve všech oblastech - přírodovědných, humanitních a technických - protože používá jednotnou terminologii, metody a postupy. Ve svém klasickém díle N. Wiener napsal: „*Po mnoho let jsme byli, dr. Rosenblueth i já, přesvědčeni, že neplodnějšími obory pro rozvoj věd jsou ty, které byly zanedbávány jako země nikoho mezi různými, pevně vymezenými vědními oblastmi. [...] Je-li nesnáž fyziologického problému v zásadě rázu matematického, dostane se deset fyziologů, neznalých matematiky, přesně tak daleko jako jeden fyziolog, který nezná matematiku, a ani o krok dále. Bude-li fyziolog, který nezná matematiku, spolupracovat s matematikem, který*

⁵ Z řec. slova *kybernétes* (Κυβερνήτης) = kormidelník. Slovo kybernetika poprvé použil A. M. Ampér (1834) pro označení budoucí vědy o řízení lidské společnosti. N. Wiener ho použil nezávisle na něm v roce 1948.

⁶ Podle konkrétních aplikací kybernetiky do ostatních vědních oborů se může odlišovat.

nezná fyziologii, nebude jeden schopen určit problém v termínech, se kterými umí pracovat druhý a druhý nebude s to odpovědět takovou formou, aby mu první rozuměl“ (3). Již zde je patrné, že potřeba širšího rámce mezi obory není „výmyslem“ dnešní doby.

Kybernetiku lze tedy aplikovat do různých oblastí – ekonomie, sociologie, psychologie, politologie, biologie, lékařství atd. Vznikají pak samostatné vědní disciplíny, jako např. biokybernetika, neurokybernetika, lékařská kybernetika, sociokybernetika,... Je tedy patrné, že nezáleží na kvalitativní povaze řídicích soustav, ale na jejich kvantitativních a strukturálních zákonitostech, které se vyskytují ve všech řídicích soustavách stejně (4).

V této práci je pozornost věnována biokybernetice⁷, která využívá poznatků teoretické a technické kybernetiky ke zkoumání biologických systémů. Z širšího rámce ji lze začlenit do tzv. *biomedicínského inženýrství*, kam patří rovněž oblasti jako lékařská informatika, umělá inteligence, analýza biologických signálů, modelování a simulace systémů, přístroje pro diagnostiku a monitorování, expertní systémy, funkční náhrady organismu apod.(1)

Pro vytváření mezioborových vztahů při výuce biologie a ICT na gymnáziích se právě poznatky z biokybernetiky ukazují jako vhodný „most“ spojující tyto dva předměty. Například popisná znalost faktů a fyziologických pochodů ještě nemusí nutně znamenat pochopení mechanismů, které se za těmito fakty a pochody skrývají. Fakta tak často zůstávají v paměti studentů vytržena z kontextu příslušného fyziologického pochodu a v pochopení pochodu často chybí kauzalita (5). Stejně tak lze ukázat analogie, že obecné informační principy jsou mezi počítači (stroji) a živými organismy podobné⁸.

V diplomové práci se tedy zabývám konkrétními mezipředmětovými vztahy pro gymnaziální vzdělávání. Jsou v ní zahrnuty základní kybernetické metody a postupy, charakteristika živých systémů, homeostáza člověka s příslušnými regulačními pochody, problematika modelování a simulace.

Součástí práce je CD-ROM s výukovými ukázkami, které doplňují a konkretizují vlastní práci.

⁷ Historie kybernetiky a biokybernetiky u nás je v příloze č.2.

⁸ Právě poznatky o živých organismech bývají často brány jako „vzor“ při návrhu a konstruování různých strojů (obecně), počítače nevyjímaje.

2 Základy kybernetiky

Jako každý vědní obor, má i kybernetika své metody, postupy a terminologii. Je potřeba se s nimi seznámit, neboť jsou to obecně platné principy, které jsou poté aplikovány do dalších oblastí.

Mezi nejdůležitější pojmy patří – systém, informace, signál, sdělování, řízení, zpětná vazba.

2.1 Systém

Je jedním z často používaných pojmů. Běžně se tím označují nějaké objekty, které mají vnitřní organizovanou strukturu s existujícími vztahy mezi jednotlivými prvky struktury. Systém⁹ si tedy můžeme definovat jako:

„Definovaný soubor (množina) prvků, respektive subsystémů, a definovaný soubor (množina) vztahů mezi těmito prvky.“ (6)

Objekt samotný můžeme vyšetřovat z různých hledisek. Na zvoleném objektu pozorujeme nebo měříme hodnoty určitých veličin. Výběr veličin nebo vlastností závisí na tom, co považujeme na daném objektu za zajímavé, nebo co považujeme za významné vzhledem k danému účelu. Jakmile se soustředíme na vlastnosti pro nás podstatné a neuvažujeme vlastnosti nepodstatné, říkáme, že *definujeme systém z určitého hlediska*. Poté již systém nechápeme jako objekt, ale jako soustavu pro účely zkoumání vztahů. Je nutno počítat s tím, že každý systém představuje formu zjednodušeného vyjádření příslušného objektu.

Systém může být realizován hmotným objektem – potom se takové systémy označují jako *reálné systémy*. Nebo se jedná o *abstraktní systém* (např. v matematice, logice) (7). Při vymezení systému na objektu se opomíjejí pro nás nepodstatné vlastnosti objektu, tudíž ve vztahu k realitě je systém vždy abstraktní. Je zde určité riziko, že při specifikaci systému omylem zanedbáme ty vlastnosti objektu, které jsou z hlediska zkoumání důležité – potom i při správných úvahách lze dojít k chybným závěrům.

U systému je ještě nutné definovat několik dalších pojmů. Jsou to VSTUP, VÝSTUP, FUNKČNÍ PRVEK, VAZBA, CHOVÁNÍ a ANALOGIE(6).

⁹ Pojem obecný systém a myšlenku obecné teorie systémů navrhl L. von Bertalanffy ve 30. letech 20.st. Dalšími, kteří se zabývali určením systému, byli např. R. L. Ackoff a G. J. Klir.

VSTUP je souhrn všech vlivů, které mohou na systém působit a které mohou vyvolat nějakou odezvu na jeho výstupu nebo změnit funkční vlastnosti systému.

VÝSTUP je souhrn všech vlivů, kterými může systém působit na své okolí a které jsou obvykle odezvou systému na vstupní vlivy.

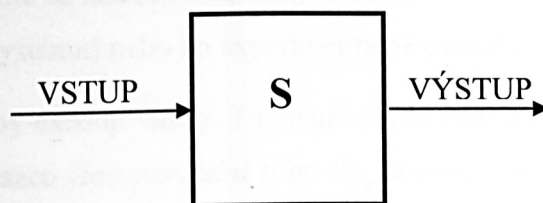
FUNKČNÍ PRVEK je systém, který má buď vstup, výstup nebo obojí.

VAZBA je působení výstupu funkčního prvku na vstup funkčního prvku.

CHOVÁNÍ systému je časový průběh hodnot výstupních veličin systému. Je ovlivněno okamžitou situací na jeho vstupu nebo jeho určitými vlastnostmi.

ANALOGIE jsou vztahy mezi systémy (objekty, procesy), které spočívají v jistých strukturních nebo funkčních podobnostech.

Systémy se graficky zobrazují pomocí tzv. *vývojových diagramů*.¹⁰ Na obr.1 je obecný příklad systému S.



Obr. 1 Systém s jedním vstupem a jedním výstupem.

2.1.1 Členění systémů

Systémy lze kategorizovat z různých hledisek. Podle **druhu veličin** dělíme systémy na *reálné* (fyzikální), jejichž veličiny jsou měřitelné a na ostatní, tzv. *abstraktní* (viz .výše). Podle **počtu veličin** rozeznáváme systémy *ohraničené*, které mají konečný počet veličin (a konečnou strukturu) a systémy *neohraničené* (všechny ostatní). Z hlediska **interakce s okolím** dělíme systémy na *uzavřené*¹¹, u nichž nedochází k interakci s okolím a systémy *otevřené* (např. živé organismy). Podle **časového průběhu veličin** můžeme dělit systémy na

¹⁰ Též se lze setkat s pojmem „*blokový diagram*“ nebo „*blokové schéma*“.

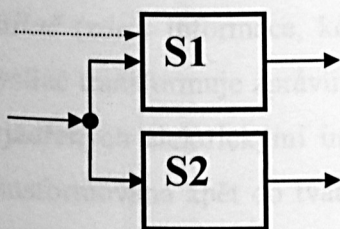
¹¹ Uzavřené systémy se běžně v praxi nevyskytují.

spojité, jejichž veličiny se mění v čase spojitě a *diskrétní*, jejichž veličiny jsou známy pouze v diskrétních časových okamžicích a/nebo nabývají konečného počtu diskrétních hodnot. A v neposlední řadě lze rozdělit systémy na *statické* (tzv. kombinační, bez paměti), pokud výstupní veličiny záleží pouze na **okamžitém stavu** systému a na systémy *dynamické* (tzv. sekvenční, s pamětí), kde výstupní veličiny závisí i na **historii** systému (v jakých stavech byl systém v minulosti). Tento výčet rozlišování systémů není samozřejmě úplný. Lze je dělit ještě z jiných hledisek nebo konkretizovat (např. systém absolutně uzavřený, stochastický = náhodný, deterministický = nenáhodný, lineární, nelineární, atd.). Pro potřeby této práce to však není tak nezbytné.

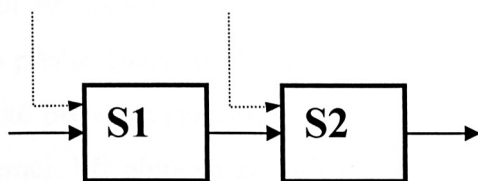
2.1.2 Vazby mezi systémy

Každý systém je složen ze systémů, které jsou vůči němu na nižší úrovni, jde o tzv. *subsystémy*. Systém má tedy určitou *hierarchickou strukturu*. Může se někdy stát, že o struktuře (sub)systému neumíme, nemůžeme nebo nepotřebujeme zjistit nic konkrétního. Potom se takový systém jeví jako tzv. „*temná skříňka*“¹² (angl. „Black Box“), kdy neznáme jeho strukturu, ale můžeme na základě měřitelných vstupních a výstupních veličin zjistit něco bližšího (např. chování systému) nebo ho experimentálně ovlivňovat a pozorovat.

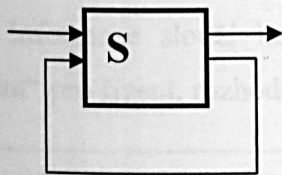
Mezi (sub)systémy existují vazby. To znamená, že jsou propojeny a vzájemně na sebe působí. Základní typy vazeb jsou *paralelní* (obr. 2), *sériová* (obr. 3) a *zpětná*¹³ (obr. 4a, b).



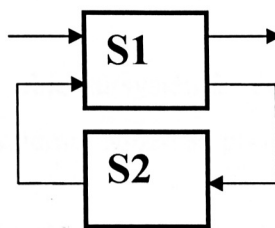
Obr. 2 Paralelní vazba dvou systémů.



Obr. 3 Sériová vazba dvou systémů.



Obr. 4a Bezprostřední zpětná vazba.



Obr. 4b Zprostředkovaná zpětná vazba.

¹² Též se používá označení černá nebo „temná schránka“ (termín poprvé použil W. R. Ashby).

¹³ Anglické označení je „*feedback*“.

V reálném systému je většinou velké množství subsystémů, a tudíž i počet vazeb mezi nimi je značný a komplikovaný. Proto je vždy nutné správně a účelně vymezit systém pro zkoumaný záměr, aby zbytečně nenarůstala jeho složitost – to co nepotřebujeme nebo neuvažujeme můžeme zanedbat.

2.2 Informace

Pod tímto pojmem si většinou představíme nějaká čísla, symboly, slova, zprávy, povely apod. Je ale třeba širšího pojetí. Informace¹⁴ je obecně *sdělení přinášející nový poznatek, jež u příjemce snižuje stupeň nejistoty v dané oblasti* (9). Informace má svou stránku kvantitativní a kvalitativní. Kvalitativní stránka se týká smyslu/významu (sémantika). Kvantitativní se týká množství pojmového obsahu, který je přiřazen příslušnému souboru symbolů.

Pro potřeby kybernetiky se informace definuje jako: „*množina elementárních výroků, jejichž pravdivost známe, nebo můžeme určit*“ (6). Znamená to tedy, že se obecně snižuje neurčitost (entropie¹⁵). Informace má nehmotný charakter (je vázána na energii), ale vždy je spojena s fyzikálním procesem (materiální nosič), který ji přenáší. Fyzikální stav nebo děj, který je nositelem komunikačního děje, se označuje jako *signál*¹⁶. Ten může mít různou povahu – akustickou, písemnou, elektrickou, chemickou, světelnou apod. (obecně diskrétní nebo spojitou). Signál umožňuje získat informaci, přenést ji, transformovat a uchovat. Zařízení umožňující přenášení zpráv se nazývá *systém spojení* (9), jenž má následující části: *vysílač* (zdroj informace, kódovací zařízení), *kanál přenosu* a *přijímač* (dekódovací část). Vysílač transformuje zprávu do kódu vhodného pro přenos (např. posloupnost binárních čísel vyjádřených elektrickými impulsy). Zpráva jde poté přenosovým kanálem a je přijímačem transformována zpět do tvaru srozumitelného příjemci. Při přenosu zpráv bývá signál často zatížen tzv. *šumem*, jenž kvalitu informace snižuje. Jedná se o rušivé vlivy (signály), které ztěžují správný příjem zpráv.

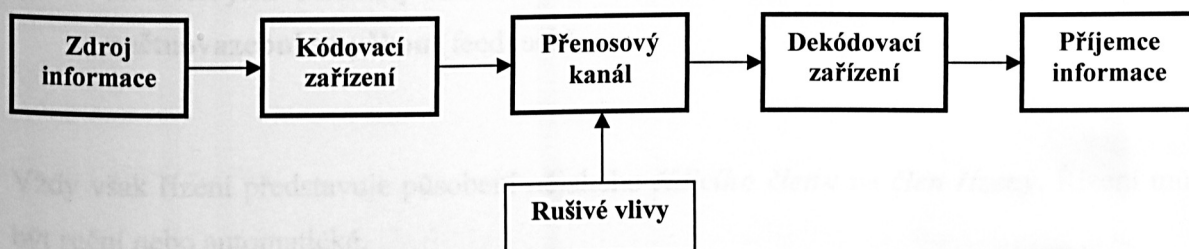
Informace slouží ke vzájemnému kontaktu dvou objektů/systémů. Je základním „prvkem“ pro řízení, rozhodování a organizaci (strukturu) systému. Může se přenášet drátem,

¹⁴ Teorie informace je jedním z mála vědních oborů, u kterých je možné prakticky na den přesně stanovit datum jejich vzniku. Uveřejnění věhlasné 44 stránkové práce Clauda Elwooda Shannona "Matematická teorie komunikace" v Bell System Technical Journal v roce 1948 vymezuje počátek teorie informace (8).

¹⁵ Entropie je mírou neurčitosti, která je dána pravděpodobností. Slovo entropie pochází z řečtiny a znamená „změna uvnitř“ nebo „vnitřní vývoj“. Poprvé byl pojem použit v r. 1865 R. Clausiem.

¹⁶ Pochází z latinského slova *signum* = znak.

bezdrátově, ústně či jinak a zpracovává se stroji (obecně) a živými organismy. Je důležité chápat informaci jako obecný pojem, který je platný jak ve strojích (počítačích) tak i živých systémech (podněty a vjemy) a slouží především pro posuzování chování systému.



Obr. 5 Obecný komunikační kanál.

2.3 Řízení

Z hlediska techniky je řízení chápáno jako: „*cílevědomá činnost, při níž se hodnotí a zpracovávají informace o řízeném objektu nebo procesu, i informace o dějích vně tohoto procesu a podle nich se ovládají příslušná zařízení tak, aby bylo dosaženo jistého předepsaného cíle.*“ (2) Řízení se uskutečňuje přenosem a zpracováním informace.

Tato definice plně vystihuje řízení, jak je chápáno v technických vědách. V přírodě však nalezneme celou řadu systémů, u kterých je požadavek na cílevědomost dosti problematický (např. autonomní nervová centra, která řídí tělesnou teplotu, nejsou závislá na naší vůli, takže jejich cíl nemůžeme vědomě stanovit). Aby bylo možno definovat řízení obecně, jak pro systémy živé, neživé (a vytvořené člověkem), je lepší vymezit pojem řízení z hlediska teorie informace. Z tohoto pohledu jde při řízení v podstatě o „*zobrazování informace na nějaký signál*“ (2). Jde tedy o zobrazení informace nesené jedním signálem na signál jiný (protože nositelem informace vždy musí být nějaký signál). Znamená to tedy, že signály přivádíme na vstup řízeného systému, na jehož výstupu dostáváme jiné signály (většinou odlišné fyzikální podstaty). Každý řízený systém má celou řadu vstupů, z nichž většinou jen několik můžeme řídit – ostatní se uplatňují jako nežádoucí vlivy (poruchy).

Řízení můžeme rozdělit (6):

- **Ovládání** (řízení v otevřené smyčce) – činnost objektu je řízena povely, které neberou zřetel na jeho okamžitý stav (bez zpětné vazby!).
- **Regulace** (řízení v uzavřené smyčce) – činnost objektu je řízena povely, které berou na zřetel jeho okamžitý stav. Přenos informace o okamžitém stavu je zprostředkován **zpětnovazební smyčkou** (feedback).

Vždy však řízení představuje působení nějakého *řídícího členu* na *člen řízený*. Řízení může být ruční nebo automatické.

2.3.1 Regulace

Regulací rozumíme udržování hodnot určité veličiny v předem stanovených podmínkách. Veličina, jejíž velikost je regulací udržována v předepsaných podmínkách, se nazývá *regulovanou veličinou*. Předepsaná velikost, na které má být regulovaná veličina udržována, se nazývá *žádanou hodnotou*. Tato žádaná hodnota se zavádí do regulačního obvodu *řídící veličinou* pomocí řídícího členu. Skutečnou hodnotu regulované veličiny a žádanou hodnotu regulované veličiny je třeba neustále vzájemně srovnávat a vytvářet jejich rozdíl, tzv. *regulační odchylku*. Do regulovaného procesu je třeba zasahovat tak (ručně nebo automaticky), aby tato regulační odchylka byla neustále udržována na své minimální, nejlépe nulové hodnotě (aby byl regulační obvod co nejvíce *stabilní*). To se uskutečňuje *akční veličinou*. Změny regulované veličiny jsou způsobeny různými poruchami, které jsou hlavní příčinou zavádění regulace (porucha je neúmyslná a nepředvídaná). Aby regulovaná veličina byla vždy v žádaných podmínkách, funguje zde *zpětná vazba*, která „informuje“ řídící veličinu o svém stavu, a ta pomocí akční veličiny provede příslušné opatření (kompenzace odchylky)¹⁷. Jinak řečeno, signál z výstupu soustavy působí prostřednictvím regulátoru zpět na její vstup.

Zařízení, které má být regulováno se nazývá *regulovanou soustavou* a zařízení, které provádí regulaci, *regulátor*. Obě tyto části tvoří *regulační obvod*. Je-li tedy s danou přesností dosaženo shody mezi skutečnou a žádanou hodnotou regulované veličiny, nastává v regulačním obvodu klid (jednotlivé veličiny se nemění).

¹⁷ V případě přerušení zpětnovazební smyčky přejde regulace v ovládání.

Ještě je třeba se zmínit o zpětné vazbě v regulačním obvodu. Ta může být buďto *kladná* nebo *záporná*. Kladná zpětná vazba znamená, že výchylku v regulačním obvodu potencuje, tzn. že regulační obvod se nevrací do rovnovážného (stabilního) stavu, ale vzdaluje se od něj (např. akční potenciál na membránách nervových buněk). Záporná zpětná vazba naopak tlumí odchylky a snaží se regulační obvod rovnovážnému stavu co nejvíce přiblížit. Převážná část zpětných vazeb v regulačních obvodech je právě záporných¹⁸.

2.4 Logické obvody

Logický obvod je druh fyzikálního systému, jehož každá veličina nabývá v ustáleném stavu pouze dvou hodnot. K systematickému navrhování logických zapojení se využívá matematické logiky¹⁹ (Booleovy algebry) (10).

Typy logických obvodů:

- **Kombinační logické obvody** – jsou obvody, jejichž výstup závisí pouze na kombinaci vstupních proměnných (obvody nemají paměť).
- **Sekvenční logické obvody** – jsou obvody, jejichž výstup závisí na kombinaci vstupních proměnných a zároveň na časovém sledu vstupních proměnných (obvody s pamětí).

Základní stavy logických obvodů (11):

- Stav „0“ – nepřítomnost signálu, rozepruto (kontakt nevede).
- Stav „1“ – přítomnost signálu, sepnuto (kontakt vede).

Kontakt může být realizován jakýmkoliv fyzikálním způsobem (mechanicky, elektronicky, magneticky apod.). V principu tedy nejde o realizaci kontaktu (spínače), kterým může být např. relé, tranzistor, synapse²⁰, ale o funkci kontaktu – kontakt je sepnut, signál (informace)

¹⁸ Regulační pochody se zpětnou vazbou se také nazývají „*regulace chybou*“. Znamená to, že nejprve musí vzniknout nějaká chyba (odchylka), na kterou je potřeba pomocí zpětné vazby reagovat, aby se odstranila.

¹⁹ Též se používá název *výroková algebra* nebo *výroková logika*.

²⁰ Funkční spojení nervových buněk (česky *zápoj*). Termín „*synapse*“ poprvé použil Sherrington v roce 1897.

prochází; kontakt je rozepnut, signál (informace) neprochází. *Logický signál* tedy také nabývá pouze dvou hodnot (prochází – neprochází)²¹.

Logický člen je logický obvod, který uskutečňuje (realizuje) základní logickou funkci. Rozlišujeme dvě hodnoty *logické proměnné*, která popisuje pravdivost nebo nepravdivost nějakého výroku:

- **Logická nula** – označuje se „L“ (low).²²
- **Logická jednička** – označuje se „H“ (high).²³

Uvedeným logickým hodnotám jsou podle jejich aplikace přiřazeny konkrétní hodnoty veličin, které souvisejí s příslušným objektem. Proměnnou veličinou může být elektrické napětí, magnetická indukce, teplota, tlak, průtok apod.

Logická funkce je tedy přiřazení hodnot závisle proměnné hodnotám nezávisle proměnných. Popisuje pravdivost složeného výroku. Tabulkové vyjádření této závislosti se nazývá *pravdivostní tabulka*. Z používaných logických funkcí dvou proměnných jsou nejdůležitější *logický součin* (konjunkce) – **AND** (i, a zároveň). *Logický součet* (disjunkce) – **OR** (nebo). A *negace* (inverze) – **NON** (ne). Při negaci AND dostaneme **NAND**, při negaci OR dostaneme **NOR**.

Příklady realizace logických funkcí AND, OR a NON si můžeme ukázat na jednoduchém elektrickém obvodu (obr. 6a, b, c) (12).

Logická funkce „AND“



Obr. 6a Sériová zapojení dvou spínačů.

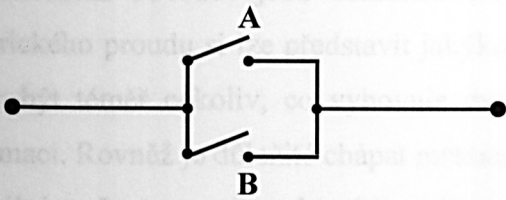
Pokud bude sepnut spínač „A“(H) a zároveň/i spínač „B“(H), bude obvodem protékat elektrický proud (H; jinak L).

²¹ Stejně tak lze použít „všechno nebo nic“, „ano – ne“, „pravda – nepravda“, „sepnuto – rozpojeno“ apod.

²² Používá se též označení „0“ (v matematice „0“).

²³ Používá se též označení „1“ (v matematice „1“).

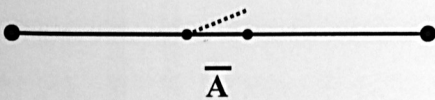
Logická funkce „OR“



Obr. 6b Paralelní zapojení dvou spínačů.

Pokud bude sepnut spínač „A“ (H) a/nebo spínač „B“ (H), bude obvodem protékat elektrický proud (H; jinak L).

Logická funkce „NON“



Obr. 6c Spínač je ve výchozím stavu sepnut.

Spínač je ve výchozí pozici sepnut (H) a obvodem prochází elektrický proud (H). Po stisknutí spínače se kontakt rozepte (L) a proud přestane procházet (L).²⁴

Pro úplnost je zde ještě pravdivostní tabulka (Tab. 1) logických funkcí AND, OR, NAND a NOR.

Tab. 1 Pravdivostní tabulka logických funkcí.

A	B	AND (A a zároveň B)	OR (A nebo B)	NAND (A ne-zároveň B)	NOR (A ne-nebo B)
L	L	L	L	H	H
L	H	L	H	H	L
H	L	L	H	H	L
H	H	H	H	L	L

²⁴ Spínač lze prakticky realizovat např. rozpínacím tlačítkem.

Je třeba si uvědomit, že výše uvedené příklady realizace logických funkcí (pomocí spínačů v elektrickém obvodu) jsou demonstrační - pro názornost a správné pochopení. Místo elektrického proudu si lze představit jakýkoliv nosič (signál) informace. Stejně tak spínačem může být téměř cokoliv, co vyhovuje dvoustavové logice, tzn. pustí informaci – nepustí informaci. Rovněž je důležité chápat matematickou logiku jako obecný princip, bez ohledu na fyzikální podstatu systému, který ji realizuje – se základními logickými funkcemi se můžeme setkat např. v počítačích, strojích, ale i v buňce nebo lidském mozku. Obecně v každém rozhodovacím nebo regulačním systému.

Závěrem této kapitoly bych jenom pro úplnost připomněl fundamentální pravidlo, a tím je *kauzalita*. Znamená to, že nejprve musí být nějaká příčina (akce), která vyvolá konkrétní odezvu (reakci). Nikdy ne obráceně. Např. zpětná vazba je „aktivována“ nějakou příčinou (změnou hodnot), aby poté vyvolala odezvu (úpravu na požadovanou hodnotu).

3 Živé systémy

Z přírody i lidské společnosti známe řadu systémů, které se v průběhu času postupně mění. Změny, ke kterým dochází mohou být vratné nebo nevratné, může k nim docházet rychle nebo pomalu, plynule nebo skokem. Některé změny jsou vyvolány působením okolí na systém, jiné souvisí s vnitřní strukturou systému.

Systém jsou buď s pamětí nebo bez paměti. Na rozdíl od systémů bez paměti se mohou systémy s pamětí postupně měnit, hromadit změny, vyvíjet se – procházet *evolucí*. Systémy bez paměti se mohou v čase měnit (jejich chování) pouze při změnách kombinací signálů přicházejících na jejich vstupy.

Je zřejmé, že organismy patří mezi systémy s pamětí, a tudíž se vyvíjejí. Živé systémy v průběhu evoluce postupně získávají některé vlastnosti, které neexistují (zatím) u systémů neživých. Za vlastnosti typické pro živé organismy jsou považovány *komplexita, uspořádanost, biodiverzita a účelná přizpůsobenost životním podmínkám* (13).

Komplexita (složitost) patří k nejnápadnějším vlastnostem živých systémů – jsou na všech úrovních mikrostruktury a makrostruktury organismu. O strojích sice můžeme prohlásit, že jsou složité a komplikované, ale zdaleka ne tak jako živý organismus. Komplexitu systému můžeme chápat podle počtu prvků nebo podle počtu vztahů a interakcí

mezi prvky. Jedním z faktorů, který je odpovědný za existenci komplexních struktur je třídění systémů z hlediska jejich *stability* (13). Jestliže v libovolném systému kontinuálně vznikají a zanikají určité struktury, potom se zde budeme setkávat právě s těmi, které budou vznikat nejčastěji nebo které budou zanikat nejpomaleji. Jestliže v systému bude vznikat dostatečně široké spektrum různých struktur lišících se pravděpodobností svého vzniku (i odolností proti zániku), budou se v průběhu času v systému postupně kumulovat stabilnější struktury. Struktury vznikají (v čase) zpravidla nezávisle na sobě nebo jedna z druhé.

Na principu třídění systémů z hlediska stability funguje vznik struktur, s kterými se můžeme setkat např. v tzv. *modelech logických sítí* (14). V základu modelů jsou abstraktní, náhodně vygenerované booleovské sítě, vytvářené jednotlivými prvky schopnými přecházet mezi dvěma stavy zapnuto – vypnuto. Každému prvku je na začátku náhodně přiřazena některá z logických funkcí a náhodný stav. Systém se poté v diskrétních krocích postupně vyvíjí a vznikají v něm složité stabilní a nestabilní struktury. Může se vyvíjet třemi směry – ustrnout (přestat se vyvíjet), přejít do stavu chaosu, nebo se vyvíjí směrem ke zvyšování komplexity struktur (když mezi prvky existuje střední počet vazeb). A právě v tomto stavu se nacházejí mnohé biologické systémy.

Další vlastností živých systémů je jejich statisticky vysoce nepravděpodobná vnitřní uspořádanost. Uspořádanost systému souvisí s mírou jeho vnitřní entropie (čím vyšší entropie, tím méně struktur existuje) případně s délkou algoritmu, který nám umožní daný systém popsat. Zatímco délka algoritmu se vzrůstající komplexitou stoupá, se stoupající uspořádaností klesá (13). V případě organismů je měřítkem jejich uspořádanosti životaschopnost organismu a funkčnost jeho orgánů. Existuje nekonečné množství způsobů, jak mohou být uspořádány molekuly tvořící tělo, ale existuje jen málo způsobů, které vytvoří životaschopný a funkční organismus. Znamená to tedy, že v průběhu evoluce se v organismu hromadí účelné, ale často statisticky nepravděpodobné, uspořádané struktury. Mohou vznikat samoorganizací systému na úkor jeho vnitřní energie (případně energie z okolí), tzn. že mohou samovolně zaujmout stav relativně vyšší uspořádanosti a udržovat se v něm. Jestliže v systému budou struktury lišící se mírou své stability, bude se postupně zvyšovat počet těch s vyšší stabilitou (životnost), byť jejich vznik bude statisticky méně pravděpodobnější.

Nejnápadnějším rozdílem mezi systémy živými a neživými je jejich *účelnost*. Tuto vlastnost mají organismy společnou se systémy vytvářenými záměrnou činností člověka. Jednotlivé orgány živých organismů jsou svou strukturou, tvarem a materiálem podřízeny funkci, kterou vykonávají. Jsou dobře přizpůsobeny (adaptovány) této funkci a podmínkám,

v jakých se nacházejí (prostředí). Biologická evoluce tedy vede ke vzniku účelných (adaptivních) vlastností a zároveň je jedinou skutečně unikátní vlastností živých organismů (13).

4 Biotermodynamika

Rozdíl mezi mikroskopickým a makroskopickým chápáním objektů se odráží i v matematickém popisu živých systémů. V prvním přístupu se živý systém chápe jako systém molekulární, tzn. že jeho dynamika chování se vysvětluje na základě interakcí mezi jednotlivými molekulami tvořícími jeho prvky. Matematické metody používané při tomto přístupu jsou statistika a teorie pravděpodobnosti, proto se nazývá statistický nebo pravděpodobnostní²⁵. Fyzikálním oborem je potom statistická mechanika. Druhou možností popisu živých systémů je zavedení určitých globálních veličin charakterizujících dynamiku studovaného systému, jako jsou tok hmoty a energie, rychlost přeměny mezi jednotlivými formami hmoty atd. Chování systému se potom popisuje pomocí změn těchto veličin. Tento přístup vychází z termodynamiky (15).

Pojmy z klasické termodynamiky se ukázaly pro použití v biologii nevhodné, protože procesy probíhající v živých systémech totiž nesplňují předpoklad *vratnosti*. Podle tohoto předpokladu probíhají termodynamické procesy jako posloupnost přechodů mezi rovnovážnými stavy systému, přičemž všechny směry vývoje systému jsou rovnocenné. Pro biologické procesy je vhodnější tzv. lineární nerovnovážná termodynamika, která skýtá matematický aparát pro popis procesů, které mohou probíhat pouze jedním směrem (nevrátne procesy). Každodenní zkušeností je, že právě u biologických systémů existuje jen proces stárnutí, což potvrzuje 2. zákon termodynamiky, že *disipace²⁶ energie je ve všech systémech vždy nenulová a kladná* (15).

Nezávisle na termodynamice se rozvíjely i jiné metody matematického popisu biologických systémů. Jedním z podnětů byl právě vznik kybernetiky. Aplikací kybernetiky na biologické systémy vznikla biokybernetika.²⁷ Začátkem 70. let 20.st. byl pokus o spojení

²⁵ Někdy se používá také označení „kinetický“.

²⁶ Disipace je ztráta části energie nevratnou přeměnou na jiný druh energie (zejména v teplo).

²⁷ O aplikaci kybernetiky do biologie se zasloužil zejména Ludwig von Bertalanffy.

poznatků z nelineární nevratné termodynamiky s kybernetickým přístupem – vznikla tzv. strukturní termodynamika., která převádí spojitý systém na systém diskrétní.

Živé systémy jsou nejsložitější systémy, které v přírodě existují. Přes tuto složitost jsou však tvořeny stejnou hmotou, jaká vytváří i všechny objekty neživé přírody. Proto na ně musí platit všechny fyzikální zákony. Změny probíhající v termodynamickém systému jsou závislé na jeho interakci s okolím. Organismy jsou tedy otevřené systémy, protože si s okolím vyměňují informace prostřednictvím energie nebo hmoty a snaží se tak o udržení rozvážného stavu.

5 Biokybernetika

Biokybernetika je aplikační obor kybernetiky (podobně jako lékařská kybernetika) a zabývá se obecně informačně řídicími problémy v živých systémech. Předmětem jsou systémové vztahy, které jsou podstatné z hlediska řízení, přenosu a zpracování informace v organismech. Hledisko a metody biokybernetiky mají význam pro poznávání složitých dynamických vztahů v organismu, pro jejich exaktní zobrazování a pro různé možnosti aplikace těchto poznatků v lékařství a zdravotnictví (16).

Po teoretické stránce se biokybernetika opírá o poznatky řady vědních oborů – jedná se tedy o vědu interdisciplinární. Po metodické stránce využívá modelování dynamických systémů organismu pomocí matematických prostředků a simulace těchto systémů na počítačích. Podklady pro modely poskytují fakta získaná pozorováním, experimentem nebo výchozí hypotézy. Každopádně biokybernetická problematika i její řešení jsou vždy nedílnou součástí různých biologických věd – fyziologie, neurobiologie, genetiky apod.

Další poznatky pro studium živých soustav získává biokybernetika pomocí různě realizovaných analogických systémů. Např. některé technické systémy mohou být vhodnou výchozí analogií pro studium fyziologických regulací a naopak poznatky o zvlátnostech organizace řídicích a informačních systémů organismů mohou být využity v technice a informatice. Proto se lze setkat v biokybernetice s teorií regulace (původně určená pro technické úlohy), s teorií neuronových sítí, které byly odvozeny z funkčních vztahů mezi neurony a jsou modelovány na počítačích. I základy teorie počítačů obsahují koncepte inspirované určitými představami o fungování nervového systému.

5.1 Biologický systém

Biokybernetika chápe živý organismus jako otevřený dynamický²⁸ systém s vysokým stupněm uspořádanosti a hierarchie²⁹, s autoregulací, s adaptivním a cílovým chováním a se schopností autoreprodukce a vývoje (1). Živý objekt je hierarchicky organizován, takže při definování systému je třeba zvolit vhodnou rozlišovací úroveň.

Jednoduchým příkladem, na kterém lze uvést vlastnosti dynamického systému, je kosterní sval. Pokud se průběhy vstupní a výstupní veličiny nemění, je sval v *ustáleném stavu*. Vstupní veličinou může být velikost zátěže, která na sval působí. Výstupní veličinou je délka svalu. Když se zvýší zátěž a sval se prodlouží a přejde do nového ustáleného stavu, jedná se *přechodový děj*. Ten je určován hlavně vlastnostmi systému (elastičnost svalu). Rychlost prodloužení svalu bude zpomalena třením. Čím větší toto tření bude, tím déle bude přechodový děj trvat, tj. že odezva systému se opožďuje za změnou vstupu. Toto zpoždění se nazývá *dynamické zpoždění*.

Zvláštním případem dynamického zpoždění je *dopravní zpoždění*. Např. při injekčním podání látky tlumící bolest, bude začátek přechodového děje vzdálen od okamžiku podání látky o čas, který je potřebný na to, aby mohla být látka krevním oběhem dopravena k příslušným receptorům.

Pokud systém reaguje na změnu vstupní veličiny tak, že přejde do ustáleného stavu, stává se systémem stabilním. Pokud se systém po vychýlení z ustáleného stavu již neustálí, je nestabilní, případně osciluje kolem stabilní oblasti. Řada systému je stabilních pouze v určitém rozsahu velikosti změny vstupní veličiny a při jejím překročení se stávají nestabilními. Příkladem může být neuronální membrána. Vstupem bude elektrický podnět, výstupem membránový potenciál. Při podprahovém podnětu dojde pouze k malé změně membránového potenciálu, a ten se vrátí zpět do ustáleného stavu. Pokud podnět překročí práh podráždění, začne se hodnota membránového potenciálu v určitém okamžiku vzdalovat od klidové hodnoty stále více, až dojde ke vzniku akčního potenciálu (systém se stal nestabilní) (9).

Systémy na sebe působí prostřednictvím svých vstupů a výstupů – vazby mezi systémy. Jak již bylo zmíněno, v kapitole o kybernetice, základní vazby jsou sériová, paralelní a zpětná. Zpětná vazba existuje tehdy, když působí výstup systému na jeho vstup (ať už

²⁸ Ve smyslu probíhající v čase.

²⁹ Hierarchie znamená vztah nadřazenosti a podřizenosti.

bezprostředně nebo zprostředkovaně). Může být kladná nebo záporná. Záporná zpětná vazba kompenzuje výchylky systému, kladná je potencuje. Záporná zpětná vazba má určité mimořádné postavení – je nezbytnou součástí struktury regulačních systémů organismů (a vyskytuje se i častěji než zpětná vazba kladná).

Příkladem záporné zpětné vazby mohou být baroreceptorové reflexy: pokles tlaku krve je zaznamenán baroreceptory, informace je předána do vasomotorického centra³⁰, a to vyvolá cestou vegetativního nervstva vasokonstrikci, která vrátí hodnotu tlaku krve na původní úroveň.

Příkladem kladné zpětné vazby může být depolarizace membrány neuronu: elektrické podráždění membrány neuronu vede ke změně membránového potenciálu (otevře se malé množství sodíkových kanálů). Čím větší je podráždění, tím více sodíkových kanálů se otevře. Do buňky vstoupí natriové ionty, což vede k dalšímu otevírání sodíkových kanálů. Hodnota membránového potenciálu se nevrací ke klidové hodnotě, ale vzdaluje se od ní (nastává depolarizace membrány) (9). Dalšími příklady zpětné vazby může být placebový efekt léků, návyk na léky, vředová choroba, astma apod.

5.2 Řízení biologického systému

Řízení má rovněž v biokybernetice stěžejní význam, protože regulace je charakteristická pro většinu životních procesů a pochodů. Regulační vztahy jsou v živých systémech také organizovány hierarchicky. Regulačními vazbami jsou jednak navzájem propojeny subsystémy na stejné organizační úrovni a nebo na různých hierarchických úrovních³¹. V organismu je nepřeberné množství regulačních systémů, které jsou velmi složitým způsobem navzájem propojeny a provázány. Regulátory nepracují izolovaně, ale v sítích a zpětné vazby fungují často jen za určitých podmínek. Receptory mění svou citlivost, takže jsou relativně necitlivé na poruchu jednotlivých elementů (17). Je tedy téměř vyloučeno studium řízení funkcí organismu jako celku. Je proto nezbytné si správně nadefinovat řadu (sub)systémů, které se starají vždy o řízení jedné veličiny. Zpětným spojením získaných poznatků pak dostaneme představu o práci celého systému.

³⁰ Součást mostu a prodloužené míchy (18).

³¹ Na úrovni buňky jsou to např. regulační sítě aktivity a syntézy enzymů.

Na úrovni mnohobuněčného organismu je důležitá regulace mezibuněčných vztahů, regulace ontogenetického vývoje (od rýhování vajíčka po procesy stárnutí), řízení diferenciací buněk, regenerace tkání, řízení imunity apod. Tyto uvedené případy regulací nemají vyhraněný centralizovaný charakter a vyznačují se určitým stupněm samostatnosti. U vyšších organismů jsou však ústředně řízené regulační mechanismy, které jsou specializovány pouze na uskutečňování regulačních zásahů - jedná se o nervový a hormonální systém.

Nutnost podílu regulací na organizaci biologických systémů vyplývá ze skutečnosti, že organismy jsou otevřené z hlediska výměny látek, energie a informace³². Jejich existence je složitou dynamickou rovnováhou, která musí být aktivně udržována, neboť je vystavena rozmanitým poruchovým vlivům vnějšího prostředí nebo vyplývajícím z vlastní aktivity. Rovněž realizace různých forem chování, která umožňuje organismu efektivně dosáhnout potřebného stavu, předpokládá rozmanité regulační funkce (19).

6 Homeostáza

Jednou z výrazných vlastností živých organismů je schopnost udržovat své životní pochody v rovnováze a čelit tak rušivým vlivům (vnitřním i vnějším). Této vlastnosti se říká *homeostáza*.³³ Lze ji definovat jako: „*stav dynamické funkční rovnováhy v živém organismu*“ (20) nebo širěji jako „*stabilita podstatných proměnných vnitřního prostředí k zajištění pokud možno optimálních vnitřních podmínek pro průběh životních pochodů v organismu*“ (19). Jedná se tedy o (relativní) nezávislost organismu na náhodných a rušivých vlivech a základním principem řízení a udržení vnitřní stability jsou regulační systémy a mechanismy. Kromě samotných regulačních pochodů přispívají k této nezávislosti i jiné mechanismy, např. členění organismu na funkční prostory, tlumivé účinky dynamických rovnováh fyzikálně-chemické povahy atd. V těchto případech se již nejedná o regulace,

³² V biologických systémech se přenašeč informace nazývá „*biosignál*“. Bez ohledu na jeho fyzikální realizaci. Většina signálu generovaných lidským organismem je ve své podstatě spojitá (EKG, EEG apod.).

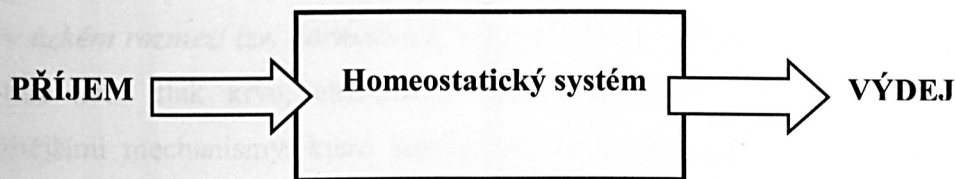
³³ V literatuře se též používá *homeostáze*, *homeostaza(e)*. Ve starší literatuře *homeostasa(e)*. Termín byl poprvé použit A. Rosenbluethem (uvádí se rovněž jeho žák W. B. Cannon) v r. 1929. V diplomové práci používám asi nejběžněji užívaný termín *homeostáza*.

protože nejsou vázány na přenos informace zpětnovazebními obvody. Existenční stabilita organismů je také zajišťována složitějšími formami chování a pohybovou aktivitou.

Vztahy mezi regulací a homeostázou by se daly pojmut takto: homeostáza je koncepce, která celkově charakterizuje jisté vlastnosti biologických soustav, zatímco regulační hledisko se týká systémů s určitými dynamickými vlastnostmi. Tyto systémy jsou v živých soustavách ve velké míře odpovědné za udržení homeostázy, ale také za jiné důležité fenomény. Význam těchto systémů je patrný i z toho, že se uplatňují na všech úrovních organizace – regulace na molekulární úrovni až po sociální interakce (19).

Z obecného hlediska by se homeostáza mohla uvažovat i u strojů (automaty, počítače apod.). Ty totiž také v jistém principu naplňují pojetí homeostázy. Např. počítač při své činnosti produkuje teplo. Aby nedošlo k přehřívání součástí, je potřeba teplo ventilátorem odvádět mimo počítačovou skříň. Podle výkonnostního zatížení počítače se otáčky ventilátoru automaticky regulují, tudíž se v počítači udržuje relativně stálé vnitřní pracovní prostředí (stálá teplota). V souvislosti se stroji se ale častěji používají pojmy jako optimální provozní podmínky, rovnovážný stav, pracovní optimum apod. Přesto ale existují technické realizace, které s homeostazou souvisejí, jedná se o tzv. *homeostat*.³⁴

V této práci budeme uvažovat homeostázu hlavně v souvislosti s živými systémy, a to především s člověkem. Je nutné zmínit, že i stálost vnitřního prostředí lze více konkretizovat, a to z hlediska systému, ke kterému je vztažena, takže např. acidobazická, elektrolytová, osmotická nebo objemová homeostáza. Na obr. 7 je znázorněn obecný homeostatický systém.



Obr. 7 Obecný homeostatický systém.

³⁴ Jde o zařízení (soustavu), které směřuje do rovnovážného stavu. Pojem homeostat a jeho technickou realizaci zavedl W. R. Ashby v r. 1952 (4). V praxi se může jednat např. o automatického pilota v letadle.

7 Fyziologické regulace

V lidském organismu se lze setkat s nepřebernou řadou regulačních obvodů, které jsou komplikovaně propojeny a provázány, a svoji funkcí udržují celkovou homeostázu organismu (stálé složení ICT a ECT)³⁵. Neznamená to ale, že by byly rovnocenné. Některé jsou nadřazeny, další pracují v součinnosti s jinými, metabolické dráhy pracují v kaskádách, některé lze ovlivňovat vůlí (např. dýchání) apod. Vyskytují se jak na buněčné úrovni (v buňce i mezi buňkami), tak i na úrovni celého organismu. Regulační systémy mají různou účinnost, liší se svými kompenzačními účinky (kompenzační funkce je vždy zatížena chybou), citlivostí na poruchu, schopností adaptace (např. práh bolesti), rychlostí reakce atd. Jednou z příčin nedokonalosti regulačních obvodů je přítomnost dynamických zpoždění, a to hlavně dopravní zpoždění (přenos informace nějakou dobu trvá). Je zřejmé, že u různých regulačních systému bude velikost tohoto zpoždění odlišná (např. u nervových regulací bude malá, u hormonálních větší – proto jsou nervové regulace obecně rychlejší než hormonální; obě jsou ale provázány a jsou základní složkou fyziologických regulací). Je třeba si uvědomit, že nelze dost dobře srovnávat regulace různých systémů, protože ty se podle charakteru systému navzájem liší jak v přesnosti tak v citlivosti (např. pH krve musí být řízeno mnohem citlivěji, než třeba hodnota glykémie). Musí se tedy porovnávat odezvy (odpovědi systému na změnu vstupní veličiny) téhož systému, stejně tak podmínky odezvy musí být standardní, zejména změna vstupní veličiny musí mít standardní velikost i časový průběh. Rovněž některé fyziologické meze jsou asymetrické vzhledem ke klidové hodnotě (např. vzestup glykémie o 50% klidové hodnoty při stanovení glykemické křivky zůstává ještě ve fyziologických mezích; pokles o 50% je však závažnou hypoglykemií) (22).

Homeostatický regulační systém lze tedy definovat jako: „*soubor vzájemně funkčně propojených buněk a tkání, které spolupracují na udržení nějaké fyzikální nebo chemické veličiny v úzkém rozmezí tzv. normálních hodnot*“³⁶. „(21) Fyzikální veličinou může být např. teplota těla nebo tlak krve, chemickou třeba koncentrace glukózy v krevní plazmě. Nejdůležitějšími mechanismy, které homeostázu zajišťují, jsou regulace aktivit klíčových intracelulárních enzymů³⁷ a řízení transportních procesů přes biologické membrány. Vytváří

³⁵ ICT – intracelulární tekutiny; ECT – extracelulární tekutiny.

³⁶ Je zřejmé že „normální hodnota“ bude znamenat něco jiného pro novorozence a pro dospělého jedince. Regulační systém se, stejně jako celý organismus, vyvíjí. Např. srdeční frekvence nebo krevní tlak, který souvisí nejenom s fyzickou zátěží, ale i s velikostí a hmotností jedince.

³⁷ Základní vlastností enzymů je řízení chemických dějů a transport v buňce/organismu.

se tak vhodné prostředí pro přežití buněk a výkon jejich funkcí. Řídicím a výkonným článkem homeostázy a homeostatického chování je *hypotalamus* (22). Kromě řízení základních tělesných funkcí má také vztah i k jejich emočnímu doprovodu. Je spoluodpovědný za pocity libosti při naplnění určitého motivačního úsilí (např. uhasení žízně), nebo za nelibost a odpor, které motivační úsilí naopak vyvolávají. Tyto pocity „odměny“ a „trestu“ představují jeden z významných hnacích mechanismů řízení chování.

Principy řízení:

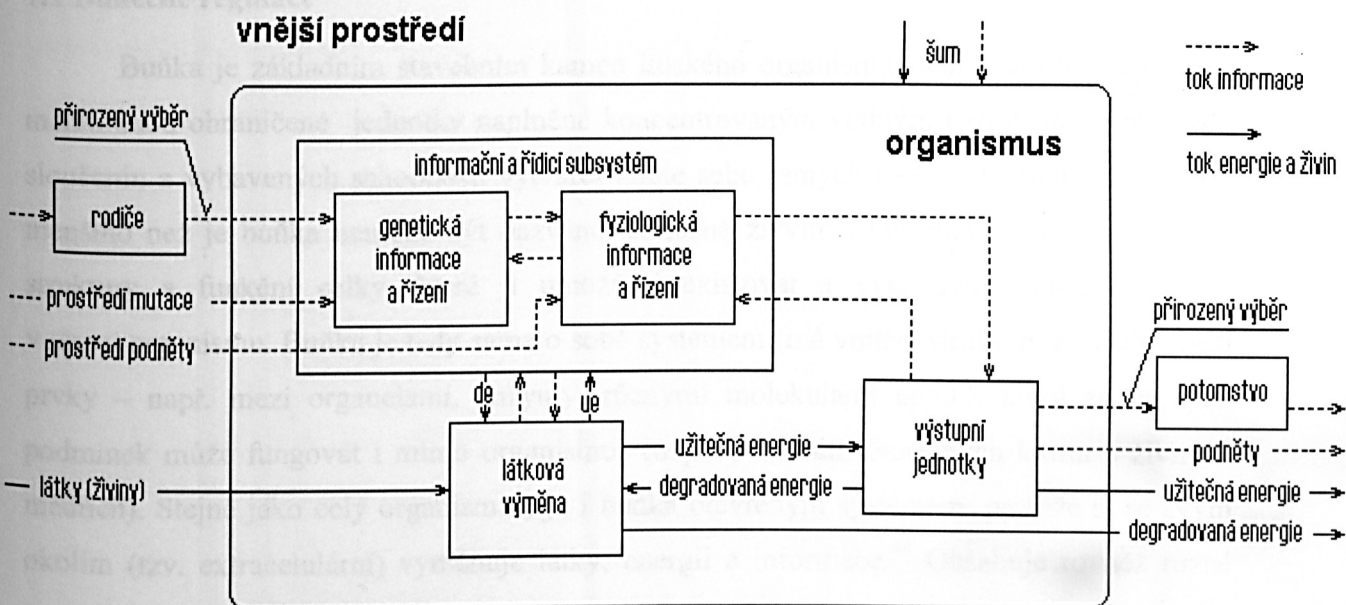
- 1) **Negativní zpětná vazba** – nejčastější, naprostá většina biologických regulací (regulace inzulínu, krevního tlaku apod.).
- 2) **Pozitivní zpětná vazba** – vzdalování od původního stavu (akční potenciál, srážení krve, ovulace, porod apod.).
- 3) **Anticipační regulace** (23) – změna nastává ještě před změnou regulovaného parametru (predikce); regulační obvod reaguje dříve, protože očekává změnu (např. termoregulace – na základě signalizace termoreceptory z kůže při poklesu teploty dojde k vazokonstrikci a svalovému třesu před tím, než poklesne teplota krve).

Všechny látky a procesy probíhající v organismu tedy musí být udržovány v určitém rozmezí hodnot a zpětně kontrolovány. Na obr. 8 je znázorněn celkový pohled na lidský organismus jako otevřený systém. Jsou zde vidět jednotlivé vztahy (látkové a informační) mezi organismem a okolním prostředím. Z informačních vstupů do organismu, žádoucích nebo poruchových, jsou nejdůležitějšími:

- Vlivy mutací na genetickou informaci.
- Podněty z prostředí ovlivňující fyziologické procesy.

Z látkových vstupů je to přísun látek (živin, energie).

Do organismu vstupují i další látkové a informační vlivy, které jsou pro něj nepodstatné nebo nežádoucí – jedná se o tzv. šum. Výstupem jsou pak reakce na podněty a vydaná energie (užitečná a degradovaná).



Obr. 8 Lidský organismus jako systém (24).

Jedním z častých jevů v dynamice biologických systémů je vznik časově periodických změn veličin (tzv. oscilací) charakterizujících jejich stav bez působení vnějšího periodického podnětu. Souvisí to s významem oscilačních jevů pro dynamiku živých systémů – oscilace v organismu nejsou jenom náhodným vedlejším projevem jejich dynamiky, ale důležitým prvkem pro časovou organizaci biologických procesů, tzv. *biologické hodiny* (15). Např. na úrovni buněčných metabolických systémů jsou různé typy oscilací, které jsou důsledkem nelinearit zpětnovazebních systémů.

V následující části budou některé regulační obvody lidského organismu probrány podrobněji. Půjde hlavně o názornost a o pochopení vztahů, než o anatomický a morfologický popis³⁸ (není to ani cílem této práce). K tomuto účelu je každá regulace doplněna příslušným vývojovým diagramem. Je důležité zmínit, že v různých literárních zdrojích se tvorba a zakreslování vývojových diagramů liší - zejména ve znázorňování jednotlivých subsystémů (struktura; statické) a procesů (vztahové děje; dynamické)! V této práci tedy budu vycházet z literatury časově nejaktuálnější.

³⁸ Předpokládá se gymnaziální znalost biologie člověka.

7.1 Buněčné regulace

Buňka je základním stavebním kamen lidského organismu. Jedná se obecně o malé membránou ohraničené jednotky naplněné koncentrovaným vodným roztokem chemických sloučenin a vybavených schopností vytvářet kopie sebe samých růstem a dělením (25). Nic menšího než je buňka nemůže být nazváno skutečně živým³⁹. Obsahuje provázané vnitřní struktury a funkční celky, které jí umožňují existovat a vykonávat patřičnou funkci v rámci organismu. Buňka je tedy sama o sobě systémem (má vnitřní strukturu a vztahy mezi prvky – např. mezi organelami, enzymy, různými molekulami apod.), který za určitých podmínek může fungovat i mimo organismus (např. pěstování buněčných kultur v živných médiích). Stejně jako celý organismus, je i buňka otevřeným systémem, protože si se svým okolím (tzv. extracelulární) vyměňuje látky, energii a informace.⁴⁰ Obsahuje rovněž různé regulační mechanismy potřebné k udržení vlastní homeostázy (a tím celého organismu).

Buňky jsou ve vnitřním prostředí organismu specializovány na různé funkce. Rozdíly mezi jednotlivými typy tkání a buněk těla (morfologické i funkční) jsou způsobeny rozdíly ve spektru bílkovin (proteinů) a dalších vysokomolekulárních látek uvnitř buněk. Různé typy bílkovin jsou zodpovědné jednak za rozdílnou stavbu buněk a jednak za rozdílné enzymatické aktivity bílkovin (zprostředkování chemických reakcí nebo transportu látek přes plazmatické membrány). Pro fyziologické pochody v buňce jsou klíčovými faktory množství enzymaticky aktivních bílkovin a jejich 3D konfigurace. Tvar bílkoviny závisí také na teplotě a pH, ty se však za fyziologických podmínek v organismu nemění (oproti patologickým stavům). Množství bílkoviny pak určuje její tvorba (proteosyntéza) a rychlost odbourávání.

Řízení proteosyntézy

Instrukce pro syntézu bílkovin jsou ve formě sekvence nukleotidů uloženy v molekule DNA (geny). Ta se však přímo neúčastní sestavování aminokyselin do molekuly proteinu, protože DNA je uložena v jádře a proteosyntéza probíhá v cytoplazmě. Přenos informace z jádra do místa proteosyntézy zprostředkovává mRNA.⁴¹ Celý proces lze rozdělit do několika

³⁹ Např. viry obsahují některé stejné typy molekul jako buňka, ale nemají schopnost reprodukovat se sami. Potřebují k tomu „hostitele“ (buňku), aby s pomocí jeho reprodukčního aparátu zkopírovaly sami sebe.

⁴⁰ Uvnitř buňky probíhá transport látek a informací především pomocí cytoskeletu (komunikační síť). Na povrchu má buňka receptory (26) - tech.: čidla, snímače, senzory.

⁴¹ Zkratka pro „messenger RNA“. V češtině se někdy používá iRNA – informační RNA.

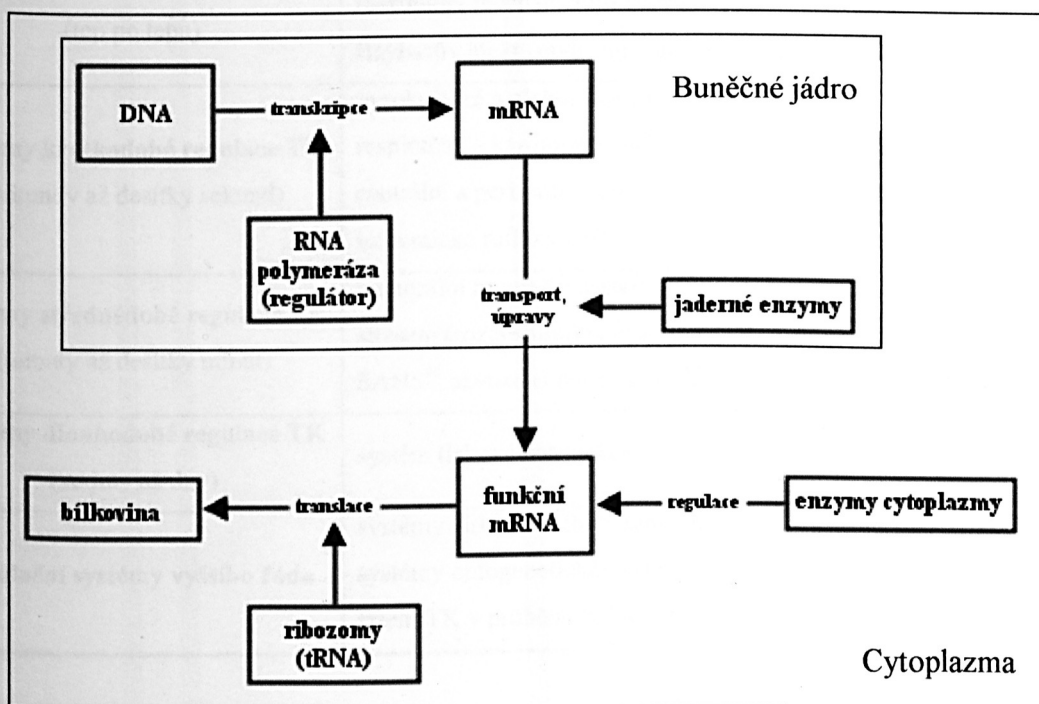
kroků, z nichž každý je samostatně regulován. Je dobré zdůraznit, že proteosyntéza probíhá ve všech jaderných buňkách a je jednou z jejich elementárních funkcí.

Proces probíhá zjednodušeně takto:

- 1) Transkripce genu do mRNA je regulována aktivitou RNA-polymerázy (rychlost vzniku mRNA).
- 2) Dozrávání mRNA do funkční podoby a množství aktivní mRNA přecházející do cytoplazmy řídí jaderné enzymy.
- 3) Množství mRNA, které je k dispozici pro proteosyntézu, je řízeno aktivitou cytoplazmatických enzymů.
- 4) Translace je řízena na úrovni ribozomů – vznik proteinu.

Proteiny tvoří základ struktury živé hmoty. Jejich základní jednotkou jsou aminokyseliny⁴², které se navzájem spojují peptidickými vazbami. Právě spojení jednotlivých aminokyselin určuje charakter výsledné bílkoviny – a to hlavně její prostorovou strukturu, která má funkční význam. Aminokyseliny jsou v organismu ve stavu dynamické rovnováhy a jejich odčerpávání musí být kompenzováno – vlastní syntézou v organismu a v příjmu potravy.

Postup syntézy proteinů znázorňuje obr. 9.



Obr. 9 Proteosyntéza.

⁴² V lidském organismu je zastoupeno 20 aminokyselin.

7.2 Regulace krevního tlaku

Aktuální i dlouhodobé hodnoty krevního tlaku jsou výsledkem působení mnoha faktorů. Za normálních fyziologických podmínek lze krevní tlak popsat jako součin *minutového srdečního výdeje a periferní vaskulární rezistence* (28). Na řízení krevního tlaku se podílejí čtyři základní skupiny systémů:

- 1) **Systémy okamžité regulace** – tep po tepu.
- 2) **Systémy krátkodobé regulace** – sekundy až desítky sekund.
- 3) **Systémy střednědobé regulace** – minuty až desítky minut.
- 4) **Systémy dlouhodobé regulace** – hodiny až dny.

Za normálních okolností všechny tyto systémy úzce spolupracují a vzájemně se ovlivňují. Na tyto čtyři základní typy řízení nasedají regulační systémy vyššího řádu, které jsou zodpovědné za oscilace krevního tlaku v delších časových úsecích.⁴³ V tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny jednotlivé systémy řízení krevního tlaku a k nim příslušný subsystém.

Tab. 2 Přehled regulačních systémů krevního tlaku (27).

<i>Typ systému</i>	<i>Subsystém</i>
Systémy okamžité regulace TK (tep po tepu)	Bainbridgeův mechanismus (síňové mechanismy) Starlingův mechanismus (komorové mechanismy) Baylissův efekt (myogenní autoregulace arteriol)
Systémy krátkodobé regulace TK (sekundy až desítky sekund)	vysokotlaké a nízkotlaké baroreflexy respiračně – kardiovaskulární reflexy a mechanismy centrální a periferní chemoreflex ischemické reflexy CNS
Systémy střednědobé regulace TK (minuty až desítky minut)	humorální regulační systémy stresem (roztažením) navozená relaxace žil SANS ⁴⁴ navozená resorpce sodíku v ledvinách
Systémy dlouhodobé regulace TK (hodiny až dny)	system tlakové natriurézy
Regulační systémy vyššího řádu	systémy cirkadiánního řízení TK systémy ontogenetického řízení TK řízení TK v průběhu týdne, měsíce, ročních období apod.

⁴³ Nejvyšší formou řízení z časového hlediska představují ontogenetické regulační mechanismy, které řídí změny krevního tlaku v souvislosti s vývojem jedince.

⁴⁴ SANS – sympatický adrenergický nervový systém (součástí autonomního nervového systému).

Baroreflex

Systémy krátkodobé regulace umožňují rychlé a přesné změny krevního tlaku. Je toho dosahováno pomocí nervového řízení, tzn. že tyto systémy jsou koncipovány na základě reflexních oblouků. Organismus je využívá hlavně ve spojitosti se změnami polohy těla nebo v neočekávaných situacích.

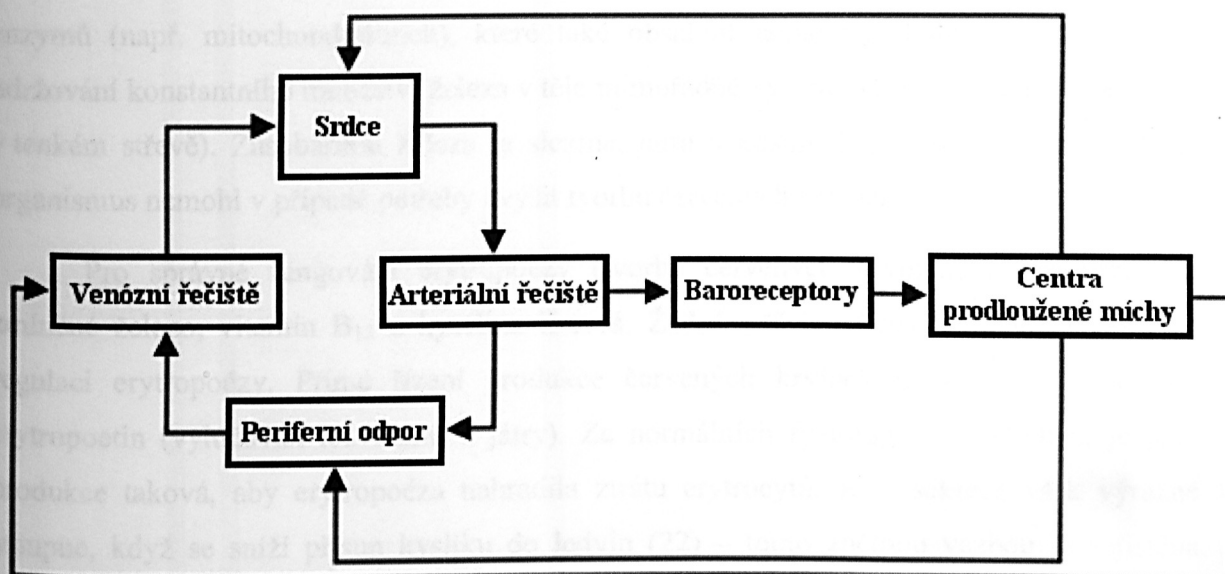
Krevní tlak je řízen celou řadou regulačních mechanismů. Zejména to platí pro tlak arteriální, jehož hodnota je rozhodujícím faktorem pro správné prokrvení tkání. Z jednotlivých typů řízení je podle reakce na skok arteriálního tlaku odezva baroreflexu nejrychlejší a má jedno z největších zesílení (1).

Mechanismy baroreflexu jsou výhradně nervové. Samotný reflex je zprostředkován pomocí baroreceptorů (ve velkých tepnách hrudníku a krku). Vysokotlaké baroreceptory jsou uloženy v oblouku aorty a v sinus caroticus, nízkotlaké zejména v oblasti pravé síně a plicnice. Oba typy baroreceptorů jsou v podstatě mechanoreceptory (napínací receptory), které reagují na změnu natažení. Vysokotlaké reagují zejména na změnu tlaku, nízkotlaké na změnu objemu. Oba typy působí jako tandem a představují hlavní mechanismus pro krátkodobou regulaci krevního tlaku. Jsou-li tyto receptory vystaveny normálnímu podráždění arteriálním tlakem, vysílají do centrální nervové soustavy (CNS) vzruchy o standardní frekvenci. Při napínání arteriálních stěn (tlak roste) se frekvence vzruchů zvyšuje, při poklesu tlaku naopak klesá. Signály z baroreceptorů jdou nervovými drahami do CNS a jsou zpracovány centry prodloužené míchy.⁴⁵ Vyšší dráždění center vede ke zvýšení jeho aktivity, což se projeví poklesem srdeční činnosti (tepové frekvence). Eferentní⁴⁶ dráhou je v tomto případě nervus vagus a jeho zakončení v sinoatriálním a atrioventrikulárním uzlu. Baroreceptory spolu s příslušnými centry v prodloužené míše a eferentními orgány tvoří reflexní autoregulační obvod (obr. 10). Přestože je baroreflex krátkodobě schopen velmi účinně stabilizovat arteriální tlak, jsou pozorovány při zkoumání tlakových průběhů během denního cyklu rytmické změny, což je v rozporu se stabilizační funkcí baroreflexu – jedná se o tzv. *baroreflexní paradox* (1). Za příčinu této tlakové variability je považována schopnost organismu měnit zesílení zpětnovazební regulační smyčky baroreflexu.⁴⁷

⁴⁵ Kardioinhibiční a vazokonstrikční centrum (22).

⁴⁶ Odstředivý, vedoucí vzruch od centra na periferii.

⁴⁷ Jedná se o tzv. *baromodulaci*.



Obr. 10 Regulační okruh baroreflexu.

7.3 Fyziologie krve

Krev je jednou z hlavních součástí vnitřního prostředí organismu. Svým složením a funkcemi představuje důležitou tekutinu, která spojuje všechny orgány a tkáně těla a má rozhodující homeostatický význam. Proudí v cévách (žíly, tepny) a zajišťuje transport látek a přenos informací.

Ústřední funkcí krve je přivádět kyslík a živiny do tkání a odvádět oxid uhličitý a zplodiny metabolismu. Transportuje však i signální látky, jako např. hormony nebo imunitní faktory. Krev je suspenze buněčných elementů v krevní plazmě – červených, bílých krvinek a krevních destiček.

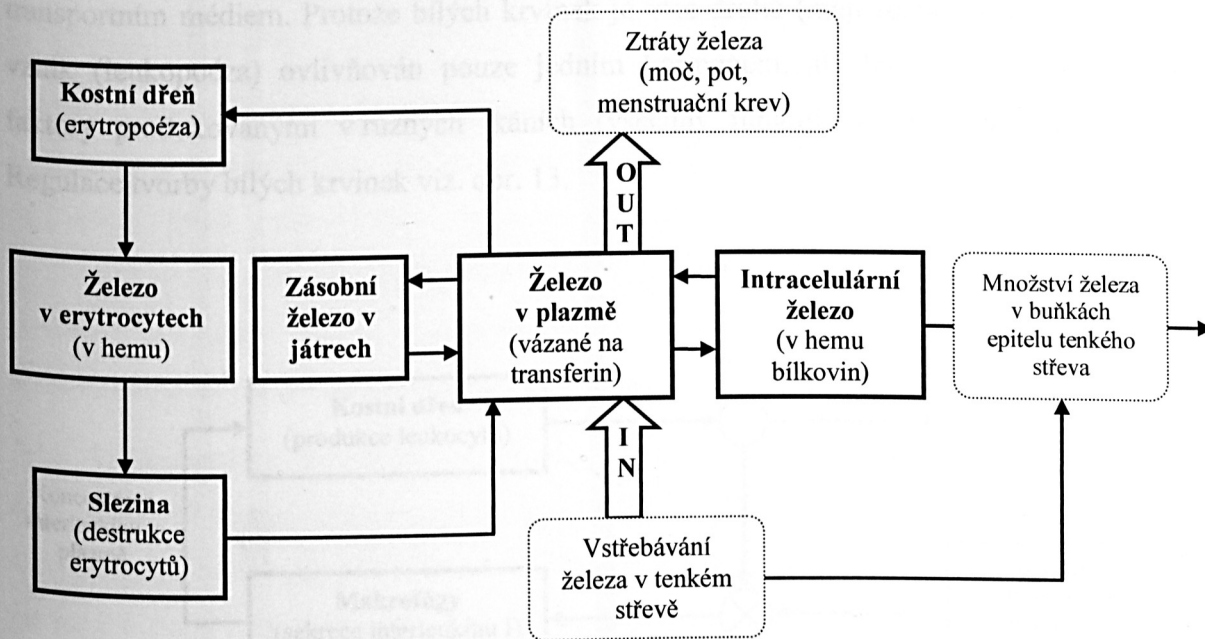
Aby krev mohla plnit všechny své funkce, musí být její složení pečlivě řízeno tak, aby počet krevních elementů i složení plazmy odpovídaly potřebám organismu. Nejpočetnější jsou červené krvinky. Jejich produkce (erytropoéza) je závislá na přítomnosti běžných živin, některých vitamínů a především železa. Železo je totiž klíčovou složkou *hemu*⁴⁸, na kterou se váže kyslík. To je důležité nejenom pro funkci hemoglobinu, ale i myoglobinu a dalších

⁴⁸ Složitá rovinná cyklická sloučenina červené barvy ze skupiny porfyrinů, v jejímž středu je pevně koordinačně-kovalentními vazbami vázán ion železa. V hemoglobinu a myoglobinu existuje ve formě Fe^{2+} a může na sebe reverzibilně vázat molekulu kyslíku O_2 (28).

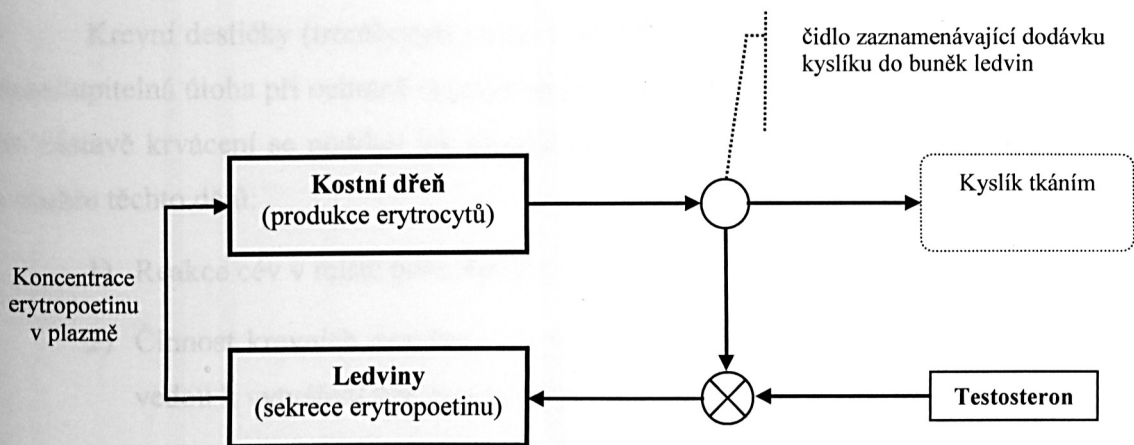
enzymů (např. mitochondriálních), které také obsahují hemovou skupinu (21). Proto je udržování konstantního množství železa v těle mimořádně významné (např. regulace resorpce v tenkém střevě). Zásobárnou železa je slezina, játra a kostní dřeň – bez těchto zásob by organismus nemohl v případě potřeby zvýšit tvorbu červených krvinek.

Pro správné fungování erythropoézy (tvorba červených krvinek) je zapotřebí již zmíněné železo, vitamín B₁₂ a kyselina listová. Žádná z těchto látek se však nepodílí na regulaci erythropoézy. Přímé řízení produkce červených krvinek je vázáno na hormon erythropoetin (vylučován ledvinami a játry). Za normálních fyziologických podmínek je jeho produkce taková, aby erythropoéza nahradila ztrátu erytrocytů. Jeho sekrece však výrazně stoupne, když se sníží přísun kyslíku do ledvin (22) – touto zpětnou vazbou je zajištěna dodávka kyslíku tkáním.

Na následujících dvou obrázcích je znázorněna regulace koloběhu železa v krvi (obr. 11) a regulace erythropoézy (obr. 12).

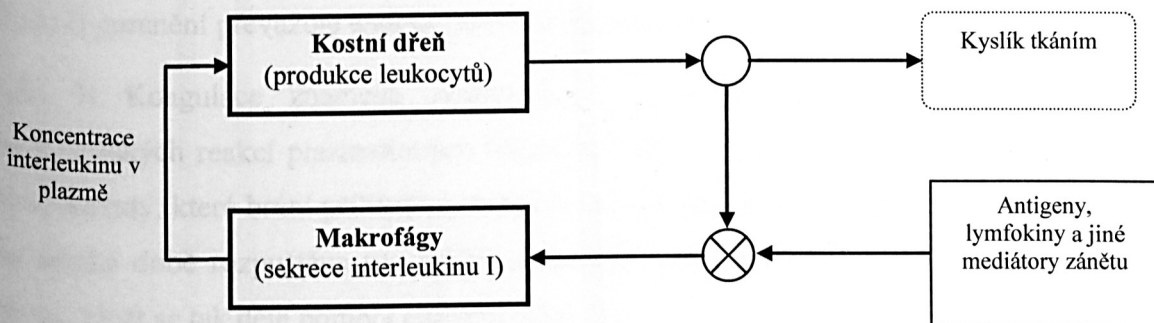


Obr. 11 Řízení koloběhu železa.



Obr. 12 Regulace erythropoézy.

Dalšími krevními elementy jsou bílé krvinky (leukocyty), které představují mobilní jednotky obranného systému organismu (výkonné buňky imunitního systému). Také produkce leukocytů je za normálního stavu udržována na konstantní úrovni a krev je pro ně jen transportním médiem. Protože bílých krvinek je více druhů (mají různé funkce), není jejich vznik (leukopoéza) ovlivňován pouze jedním hormonem, ale hned čtyřmi stimulačními faktory produkovanými v různých tkáních (všechny fungují na principu zpětné vazby). Regulace tvorby bílých krvinek viz. obr. 13.



Obr. 13 Regulace leukopoézy.

Krevní destičky (trombocyty) mají v organismu velmi důležitou funkci, a tou je jejich nezastupitelná úloha při ochraně organismu před ztrátou krve (hemostáza – zástava krvácení). Na zástavě krvácení se podílejí jak mechanicky, tak látkově. Hemostáza spočívá v realizaci a souhře těchto dějů:

- 1) Reakce cév v místě poranění (tzv. vazokonstrikce).
- 2) Činnost krevních destiček – jejich nahromadění v místě poranění a změny, které vedou k vytváření krevní sraženiny (hemostatická zátka).
- 3) Srážení krve (koagulace) – interakce plazmatických faktorů končící vytvořením fibrinu a definitivního trombu. (22)

Add 1) V místě poranění dochází k velmi rychlé a přechodné vazokonstrikci, na jejímž vyvolání se podílí více faktorů, a odhalení kolagenu vede k agregaci trombocytů. Rychlá konstrikce poraněné cévy má charakter přímé odpovědi na poškození (vazokonstrikční reflex). Shlukování krevních destiček je posíleno kladnou zpětnou vazbou zprostředkovanou látkami vylučovanými samotnými destičkami – serotonin, tromboxan A₂, ADP (21). Zároveň tyto látky spolu, s přímým mechanickým drážděním⁴⁹, vedou k posilování vazokonstrikce a k omezení krvácení.

Add 2) Činnost krevních destiček spočívá v jejich adhezi a v tvorbě hemostatické zátky⁵⁰, která ucpává drobné trhliny především v kapilárách a venulách. Aby se agregace destiček nerozšířila příliš mimo místo uzavírání defektu, funguje zde tlumící zpětnovazebný mechanismus, za který odpovídá okolní endotel (pomocí příslušných enzymů)⁵¹. Tak v místě poranění, kde chybí endotel a je nadbytek trombocytů, převažuje podpora tvorby zátky. V okolí poranění převažuje endotel, který agregaci destiček brání (pomocí látky prostacyklin).

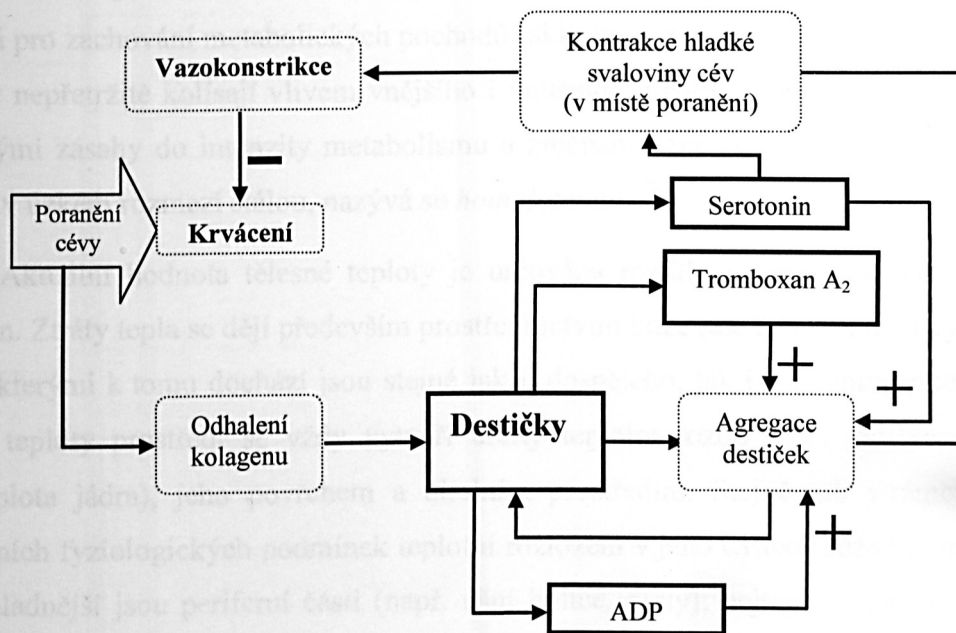
Add 3) Koagulace znamená změnu krve na nerozpustný gel (trombus) kaskádou enzymatických reakcí plazmatických bílkovin. Také v případě tohoto děje existují regulační mechanismy, které brání přílišnému rozšíření krevní sraženiny. Stejně tak musí být sraženina po nějaké době rozpuštěna (po zahojení defektu), aby nebránila normálnímu průtoku krve cévou. Opět se tak děje pomocí enzymu (plazmin).

⁴⁹ Přímá myogenní reakce cév na poranění.

⁵⁰ Označované také jako „destičkový (bílý) trombus“ (22).

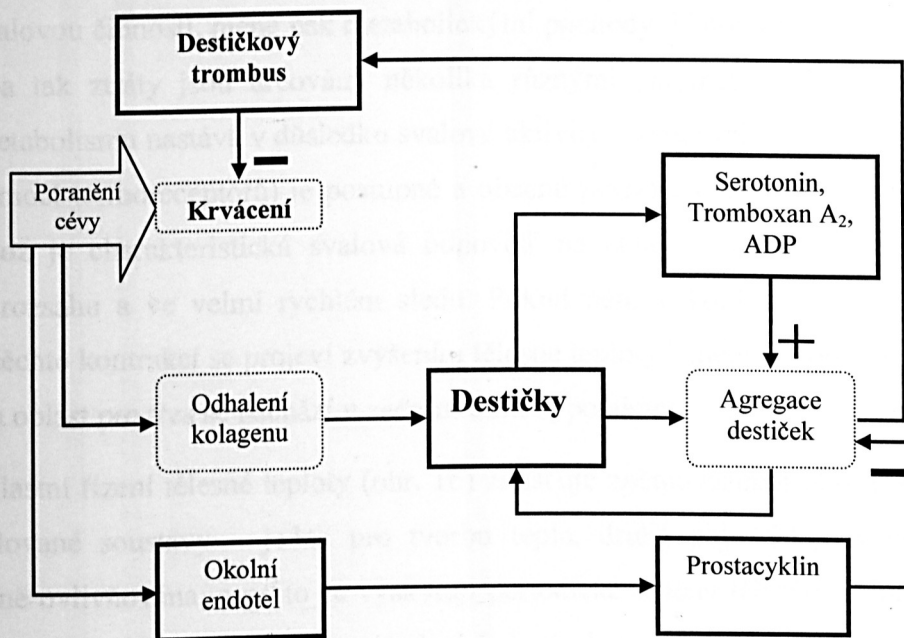
⁵¹ Destičkové odpovědi jsou děje s dvousměrnou regulací. Musí být řízeny tak, aby v normálních cévách nedocházelo k adhezi a shlukování destiček. Tomu zabraňuje endotel cévy vylučováním příslušných inhibitorů.

Na obr. 14 je znázorněna úloha vazokonstrikce v procesu hemostázy.



Obr. 14 Úloha vazokonstrikce.

A na obr. 15 regulace místního omezení vznikajícího trombu.



Obr. 15 Řízení místního omezení destičkového trombu.

7.4 Termoregulace

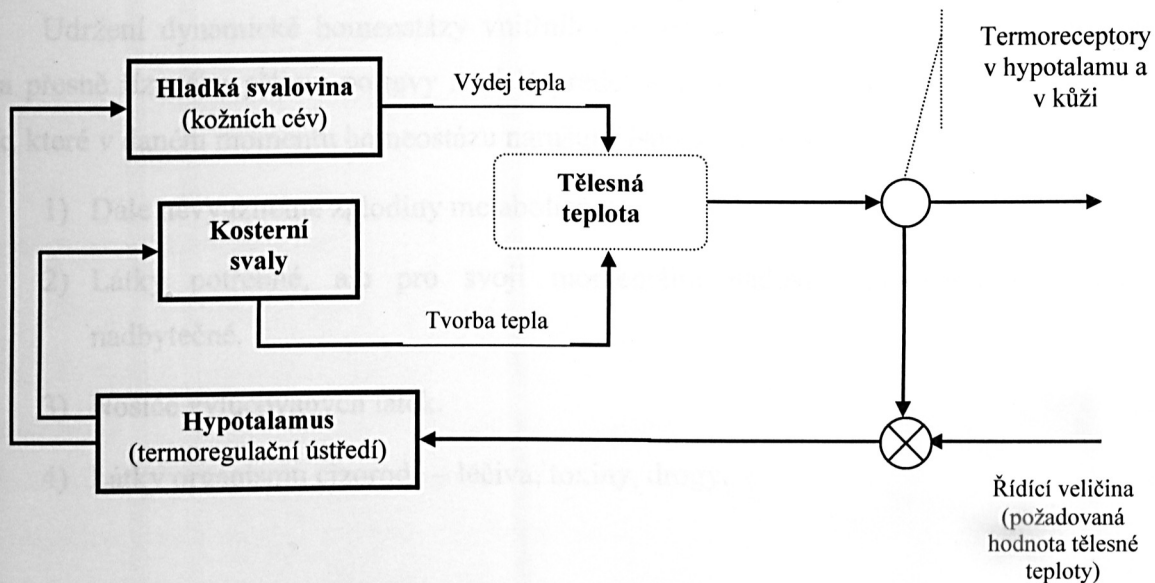
Termoregulací se nazývá schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu. Ta je důležitá pro zachování metabolických pochodů (aktivita enzymů). Produkce tepla, jeho příjem a ztráty nepřetržitě kolísají vlivem vnějšího i vnitřního prostředí. Pokud organismus dovede patřičnými zásahy do intenzity metabolismu a změnami tepelné izolace může udržet vnitřní teplotu v úzkém rozmezí stálou, nazývá se *homoiotermní*.⁵²

Aktuální hodnota tělesné teploty je určována rozdílem mezi produkcí tepla a jeho výdejem. Ztráty tepla se dějí především prostřednictvím kůže (ale i dýcháním a vylučováním). Cesty, kterými k tomu dochází jsou stejné jak u dospělého, tak i u novorozence (21). Podle změny teploty prostředí se vždy vytváří určitý teplotní rozdíl mezi vnitřkem organismu (tzv. teplota jádra), jeho povrchem a okolním prostředím. Stejně tak v rámci těla je za normálních fyziologických podmínek teplotní rozložení v jeho částech různé (nerovnoměrné) – nejchladnější jsou periferní části (např. ušní boltce, prsty); nejteplejší pak vnitřní orgány (např. játra). Rovněž záleží na dalších faktorech, které ovlivňují tělesnou teplotu (fyzická zátěž, rozdíly během dne/noci, u žen měsíční cyklus teplotních změn apod.).

Produkce tepla v organismu je kontinuální proces – vzniká jako nezbytný produkt metabolismu. Tvorba tepla se u dospělého a novorozence liší. Dospělý člověk produkuje teplo hlavně svalovou činností, méně pak metabolickými pochody. U novorozence je tomu naopak. Jak tvorba tak ztráty jsou určovány několika různými parametry. Nejvýraznější zvýšení úrovně metabolismu nastává v důsledku svalové aktivity. První svalovou změnou reagující na chlad (pomocí termoreceptorů) je postupné a obecné zvýšení svalového tonu. To vede brzy k třesu, což je charakteristická svalová odpověď na chlad – kosterní svaly se smršťují v malém rozsahu a ve velmi rychlém sledu. Pokud není vykonávána žádná vnější práce, účinnost těchto kontrakcí se projeví zvýšením tělesné teploty během několika minut. Primární motorická oblast pro třes se nachází v zadní části hypotalamu.

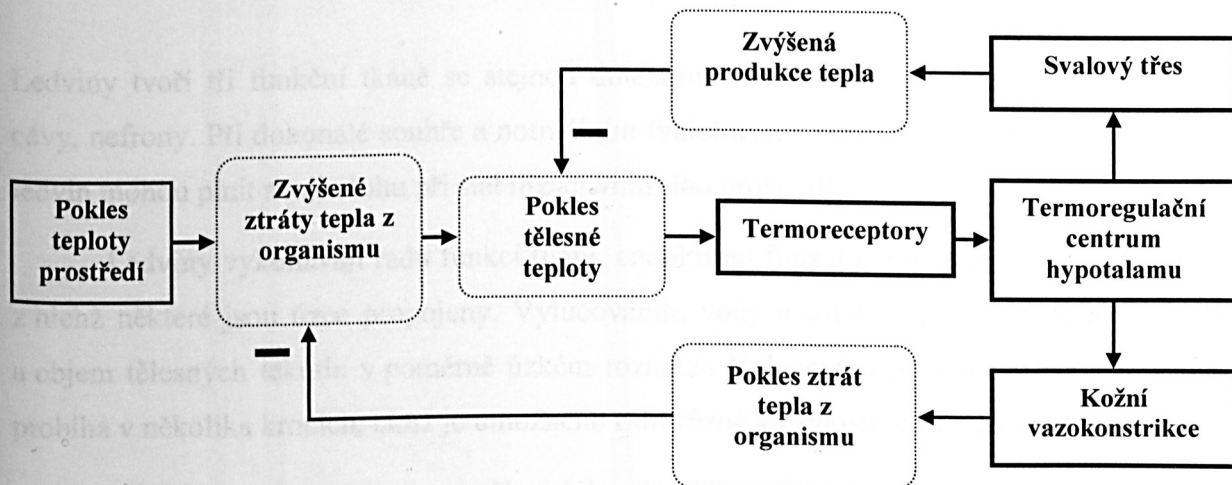
Vlastní řízení tělesné teploty (obr. 16) zajišťuje zpětnovazební okruh, který obsahuje dvě regulované soustavy – jedna pro tvorbu tepla, druhá pro výdej. Řídící veličina je hormonálně ovlivňována, a proto se vyskytují periodické změny tělesné teploty (cirkadiánní a u žen měsíční). Klíčovou úlohu v regulacích hraje hypotalamus, jež je vztažen ke všem soustavám, které se na termoregulaci podílejí – hladká svalovina kožních cév, kosterní svaly, potní žlázy, štítná žláza a dřev nadledvin (21).

⁵² Též se používá endotermní.



Obr. 16 Řízení tělesné teploty.

Při vzniku horečky je řídicí veličina regulačního obvodu nastavena na vyšší hodnotu a výsledkem je regulační zásah stejný jako při poklesu teploty prostředí (obr. 17), který tělesnou teplotu ustálí na hodnotě určené změněnou řídicí veličinou.



Obr. 17 Reakce termoregulačních mechanismů na pokles teploty.

7.5 Řízení funkce ledvin

Udržení dynamické homeostázy vnitřního prostředí organismu je v podmínkách ne zcela přesně řízeného příjmu potravy závislé především na přesně řízeném vylučování těch látek, které v daném momentu homeostázu narušují. Jsou to hlavně:

- 1) Dále nevyužitelné zplodiny metabolismu.
- 2) Látky potřebné, ale pro svoji momentální nadbytečnost nebo koncentraci nadbytečné.
- 3) Nosiče vylučovaných látek.
- 4) Látky organismu cizorodé – léčiva, toxiny, drogy.

Všechny tyto látky jsou vylučovány pomocí různých orgánů a funkčních systémů. Jedná se buď o systémy primární (ledviny), nebo sekundární (dýchání, pocení, trávení). Ledviny jsou tedy hlavním systémem dynamické rovnováhy extracelulární tekutiny.

Pro činnost ledvin je důležitá jejich poloha, která jim zaručuje:

- 1) Mechanickou ochranu (obklopení zádovními svaly).
- 2) Termostabilní prostředí s teplotou jádra organismu.
- 3) Krátký odstup od hlavního přívodu krve (od břišní aorty).

Ledviny tvoří tři funkční tkáně se stejnou důležitostí - *intersticiium*⁵³, krevní a lymfatické cévy, nefrony. Při dokonalé souhře a normálním fyziologickém stavu všech strukturálních částí ledvin mohou plnit svoji úlohu při stabilizaci vnitřního prostředí.

Ledviny vykonávají řadu funkcí (např. endokrinní funkce), a to převážně regulačních, z nichž některé jsou úzce propojeny. Vylučováním vody a solutů⁵⁴ udržují ledviny složení a objem tělesných tekutin v poměrně úzkém rozmezí. Vylučování přebytečné vody a solutů probíhá v několika krocích, čímž je umožněno řídit různé vlastnosti tělesných tekutin:

- 1) Filtrace plazmy z glomerulárních kapilár do tzv. Bowmanova pouzdra.⁵⁵

⁵³ Jedná se o „vmezežené vazivo“ (29).

⁵⁴ Soluty - rozpuštěné látky (lat. *solutio* = roztok)

⁵⁵ Jedná se o první část nefronu (22).

- 2) Úprava složení a objemu moči v tabulárním systému nefronu.
- 3) Definitivní moč je dočasně uskladněna v močovém měchýři.
- 4) Vypuštění moče z těla.

Řízení glomerulární filtrace

Filtrace v glomerulech je určována stejnými zákonitostmi jako v jiných kapilárních sítích. Fyzikální podstatou tvorby filtrátu je tzv. ultrafiltrace krevní plazmy (22). Glomerulární filtrát má tedy stejné fyzikální vlastnosti a chemické složení jako plazma (kromě bílkovin). Velikost filtrace však není proces neměnný, protože je ovlivňován řadou fyziologických okolností – velikost renálního průtoku plazmy, změny filtračního tlaku při změnách systémového krevního tlaku, vazomotorické změny (vas afferens, vas efferens)⁵⁶, velikost filtrační plochy.

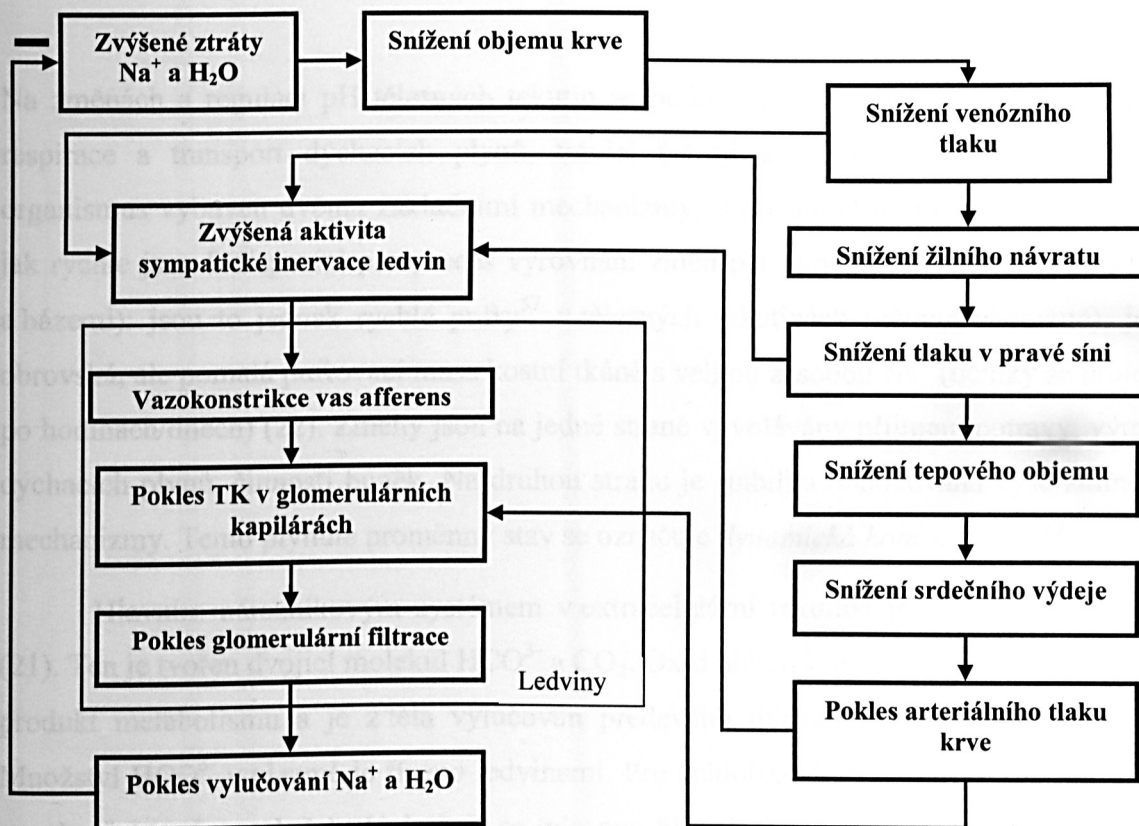
Tlak krve je v glomerulárních kapilárách určován poměrem mezi průsvitem vas afferens a vas efferens a protože hladká svalovina je mohutnější ve vas afferens, je změna průsvitu této cévy rozhodujícím faktorem v řízení glomerulární filtrace. Mechanizmy řídící průsvit se dělí na místní a celkové.

Místní mechanizmy (21):

- **Tubuloglomerulární zpětná vazba** – průtok glomerulární tekutiny je detekován v části distálního tubulu (macula densa) a podle něj je zpětnovazebně upravován tlak v glomerulární kapiláře.
- **Myogenní autoregulace** – zajišťuje konstantní průtok krve glomeruly i při změnách systémového tlaku krve (ve fyziologické rozsahu).

⁵⁶ Vas afferens – céva přívodná; Vas efferens – céva odvodná (30).

Na obr. 18 je znázorněn vývojový diagram reflexního řízení glomerulární filtrace.



Obr. 18 Reflexní řízení glomerulární filtrace.

7.6 Acidobazická rovnováha

Všechny tělesné dutiny jsou vodnými roztoky, v nichž voda funguje jako rozpouštědlo a zároveň se účastní chemických reakcí. Tělesné tekutiny nejsou však tvořeny jenom destilovanou vodou, nýbrž se jedná o složené roztoky elektrolytů a neelektrolytů. Koncentrace vodíkových iontů v extracelulární tekutině (pH), je normálně udržována ve velmi úzkém rozmezí hodnot. Acidobazická rovnováha je regulována celou řadou homeostatických mechanismů:

- 1) Mechanizmy, které neutralizují kyseliny/zásady přijaté potravou nebo vzniklé během metabolismu – takové mechanismy se nazývají *nárazníkové systémy*.

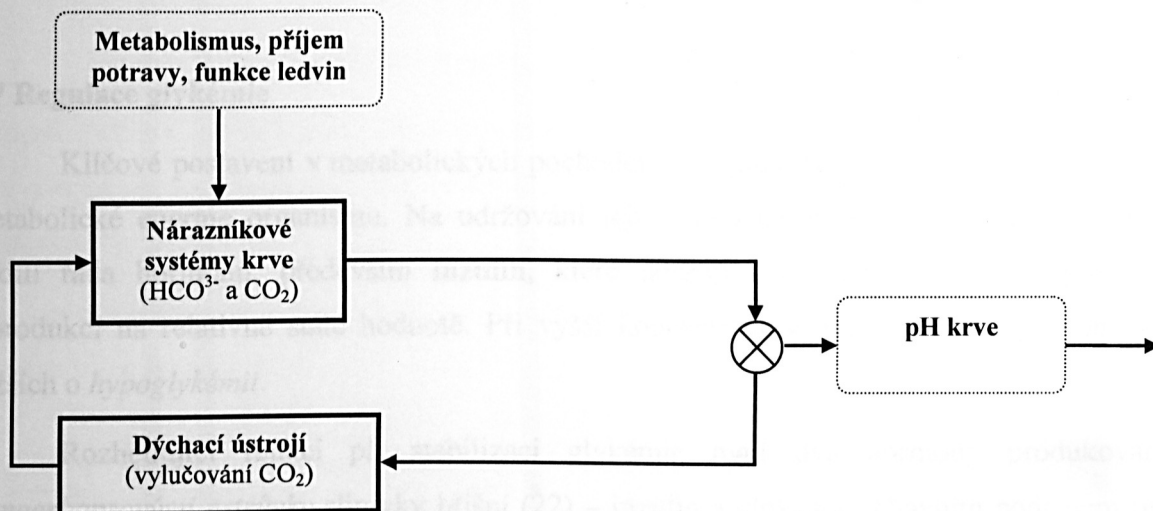
- 2) Odstraňují z těla kyseliny/zásady úměrně jejich tvorbě nebo příjmu, a tím udržují v tělesných tekutinách relativně stabilní množství (koncentraci) vodíkových iontů H^+ ; důležitými jsou ledviny a plíce.

Na změnách a regulaci pH tělesných tekutin se podílejí nejvíce tři funkční mechanismy – respirace a transport dýchacích plynů, trávicí ústrojí a ledviny. Proti změnám pH je organismus vybaven dvěma základními mechanismy, mezi nimiž je podstatný rozdíl v tom, jak rychle jsou k dispozici pro proces vyrovnání změn pH (změny poměru mezi kyselinami a bázemi): jsou to jednak rychlé pufr⁵⁷ v tělesných tekutinách (účinné okamžitě), jednak obrovská, ale pomalá pufrovací masa kostní tkáň s velkou zásobou Na^+ (účinky se projeví až po hodinách/dnech) (22). Změny jsou na jedné straně vyvolávány příjmem potravy, výměnou dýchacích plynů, činností buněk. Na druhou stranu je stabilita obnovována výše zmíněnými mechanismy. Tento plynule proměnný stav se označuje *dynamická homeostáza pH*.

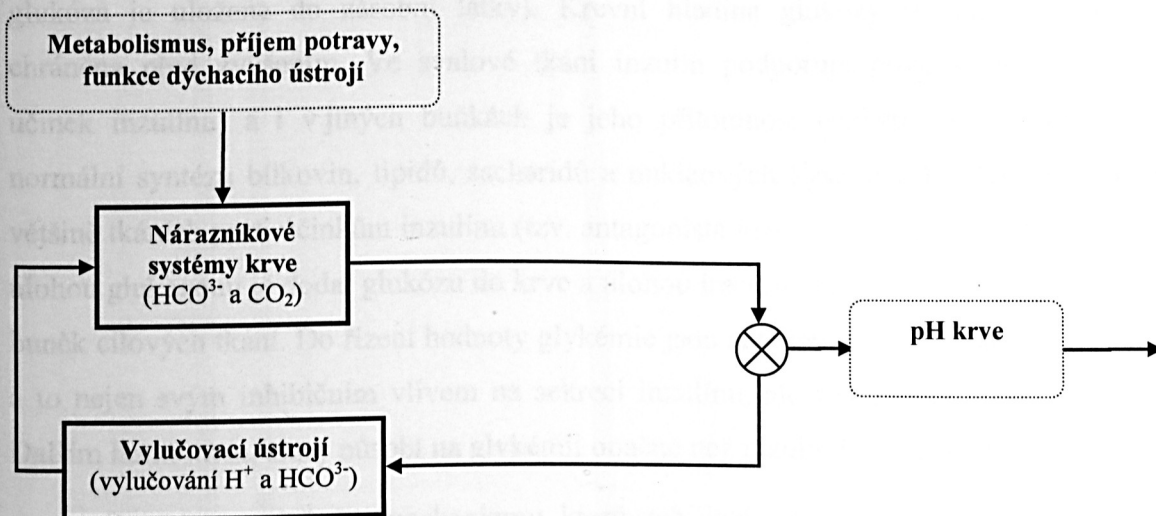
Hlavním nárazníkovým systémem v extracelulární tekutině je *bikarbonátový systém* (21). Ten je tvořen dvojicí molekul HCO_3^- a CO_2 . Oxid uhličitý se trvale vytváří jako konečný produkt metabolismu a je z těla vylučován především dýcháním (úměrně jeho tvorbě)⁵⁸. Množství HCO_3^- v plazmě je řízeno ledvinami. Pro acidobazickou rovnováhu je pak klíčový poměr těchto dvou složek. Uplatňují se zde dva hlavní regulační mechanismy, které tento poměr udržují ve fyziologicky přípustných mezích – mechanismus řídící výdej CO_2 (obr. 19) a mechanismus řídící hladinu HCO_3^- (obr. 20).

⁵⁷ Pufr - konjugovaný pár kyseliny a nebo zásady, který je schopný udržovat v jistém rozmezí stabilní pH po přidání silné kyseliny či zásady do systému. Pufrы jsou obvykle směsi slabých kyselin a jejich solí, nebo směsi slabých bazí a jejich solí (31).

⁵⁸ Parciální tlak CO_2 v krvi je určován především činností dýchacího ústrojí.



Obr. 19 Dýchací ústrojí v řízení acidobazické rovnováhy.



Obr. 20 Vylučovací ústrojí v řízení acidobazické rovnováhy.

7.7 Regulace glykémie

Klíčové postavení v metabolických pochodech má glukóza. Je totiž hlavním zdrojem metabolické energie organismu. Na udržování její stálé koncentrace v krvi (glykémie) se podílí řada hormonů, především **inzulín**, které udržují rovnováhu mezi její spotřebou a produkcí na relativně stálé hodnotě. Při vyšší koncentraci se jedná o *hyperglykémii*, při nižších o *hypoglykémii*.

Rozhodující funkci při stabilizaci glykémie mají dva hormony produkované *Langerhansovými ostrůvky* slinivky břišní (22) – inzulín a glukagon. Hlavním podnětem pro vyplavování většího množství inzulínu je zvýšená glykémie (u glukagonu naopak). Podstatou účinku inzulínu je řízení vstřebávání glukózy ve většině tkání – svaly, játra, tuková tkáň. Pouze některé tkáně spotřebovávají glukózu nezávisle na inzulínu (např. mozková tkáň).

Inzulín podporuje zvýšený přestup glukózy do buněk a mění aktivitu některých enzymů. To má za následek tvorbu glykogenů ve svalech, játrech a ledvinách (přebytečná glukóza je uložena do zásobní látky). Krevní hladina glukózy je tímto mechanismem chráněna před zvýšením. Ve svalové tkáni inzulín podporuje proteosyntézu (anabolický účinek inzulínu) a i v jiných buňkách je jeho přítomnost nezbytným předpokladem pro normální syntézu bílkovin, lipidů, sacharidů a nukleových kyselin (1). Glukagon působí ve většině tkáních proti účinkům inzulínu (tzv. antagonist inzulínu). Zjednodušeně se dá říci, že úlohou glukagonu je dodat glukózu do krve a úlohou inzulínu je pak tuto glukózu dopravit do buněk cílových tkání. Do řízení hodnoty glykémie jsou zapojeny také sympatikus a adrenalin, a to nejen svým inhibičním vlivem na sekreci inzulínu, ale i stimulací sekrece glukagonu. Dalším hormonem, který působí na glykémii opačně než inzulín je např. kortizol.

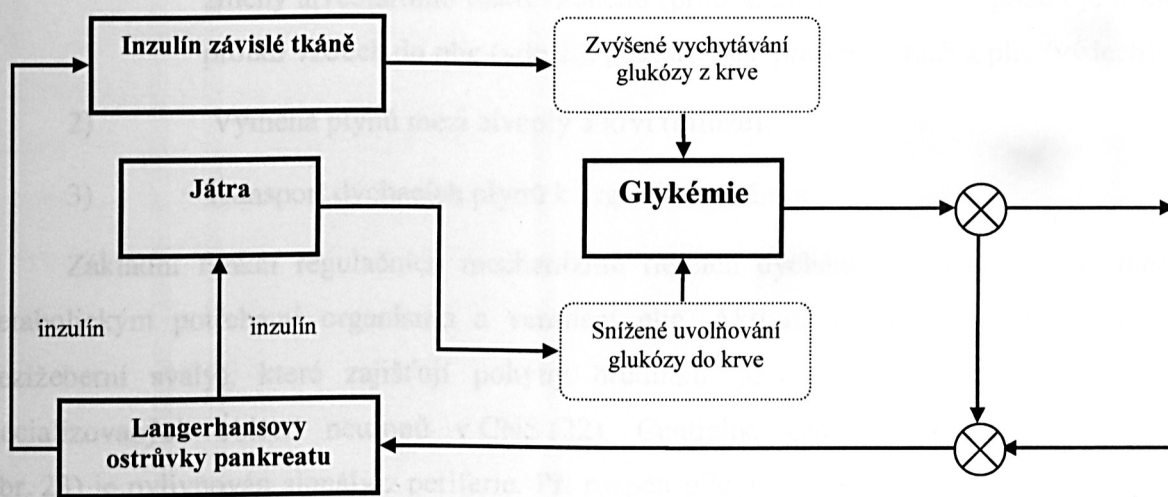
Poruchy regulačního mechanismu, který stabilizuje glykémii, mohou způsobit některá závažná onemocnění – nejznámější je *diabetes mellitus* („cukrovka“). Porucha v inzulínovém řídicím systému se projeví hyperglykemií. Příčinou poruchy může být jak poškození regulátoru (Langerhansovy ostrůvky neprodukují dostatek inzulínu), nebo poškození regulované soustavy (cílové buňky – jejich receptory – jsou rezistentní na inzulín). Dělí se na dva druhy, dle příčin vzniku:

- 1) *Diabetes mellitus I. typu* – způsoben nedostatkem inzulínu v krvi, který je vyvolán poruchou jeho sekrece (omezenou sekrecí nebo jeho úplnou absencí).

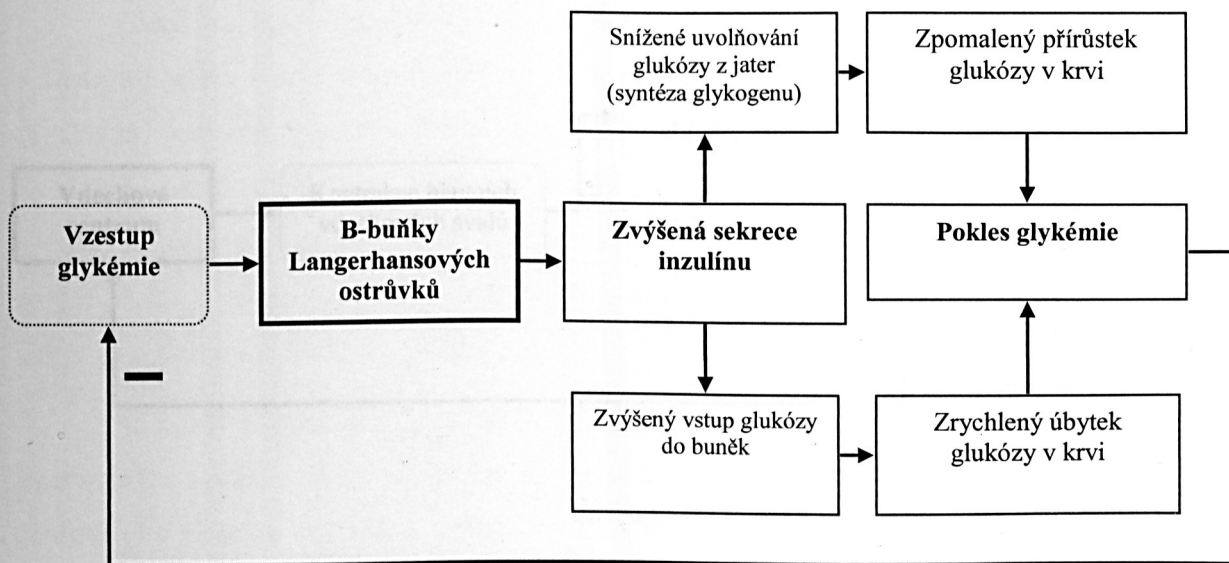
2) *Diabetes mellitus II. typu* – způsoben poruchou působení inzulínu na cílovou tkáň, přičemž jeho koncentrace v krvi je dostatečná.

Naopak přílišná produkce inzulínu (způsobená např. nádorem) způsobuje jeho nadbytek v krvi a následnou hypoglykémii, což má závažné následky hlavně na centrální nervovou soustavu (1).

Na následujícím blokovém schématu je zobrazena regulace glykémie (obr. 21) a řízení sekrece inzulínu (obr. 22).



Obr. 21 Regulace glykémie inzulínem.



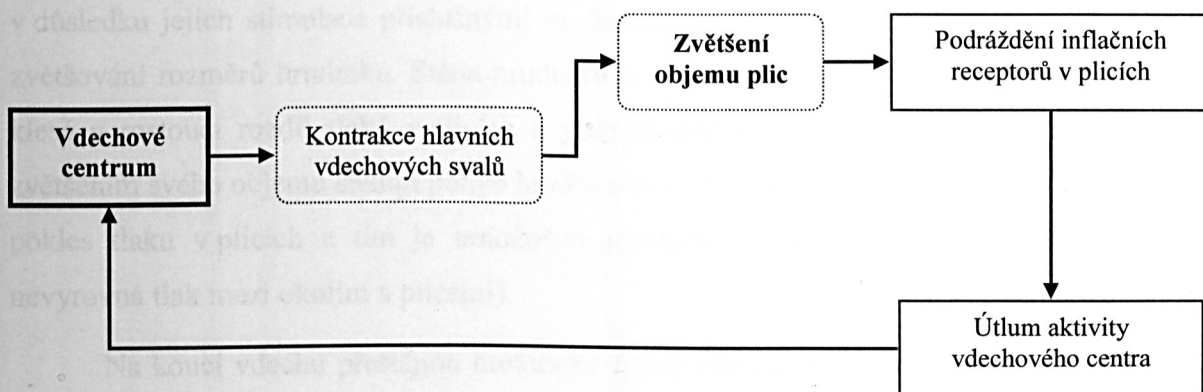
Obr. 22 Řízení sekrece inzulínu.

7.8 Řízení dýchání

Základním úkolem dýchání je příjem kyslíku a jeho transport do jednotlivých orgánů a tkání, v nichž se spotřebovává, a odvádění produkovaného oxidu uhličitého. Jednotlivé děje, které se podílejí na dýchání můžeme rozdělit takto (1):

- 1) Zevní dýchání (plicní ventilace) je výměna plynů mezi okolním atmosférickým vzduchem a plicními alveoly (proudění z míst vyššího tlaku na míst nižšího tlaku); principem zevního dýchání jsou tedy rytmické změny alveolárního tlaku vzduchu (proti atmosférickému) – pokud je nižší, proudí vzduch do plic (vdech), pokud vyšší, proudí vzduch z plic (výdech).
- 2) Výměna plynů mezi alveoly a krví (difúze).
- 3) Transport dýchacích plynů k orgánům a tkáním.

Základní funkcí regulačních mechanismů řídících dýchání je zajistit soulad mezi metabolickým potřebami organismu a ventilací plic. Aktivita dýchacích svalů (bránice, mezižeberní svaly), které zajišťují pohyby hrudníku, je závislá na rytmické aktivitě specializovaných oblastí neuronů v CNS (22). Centrálně generovaný dechový rytmus (obr. 23) je ovlivňován signály z periferie. Při rozpětí plic je reflexně inhibován nádech a je zahájen výdech. Naopak velký pokles objemu plic spouští hluboký nádech. Znamená to, že informace o napětí (mechanoreceptory) plicní tkáně je přenášena k dýchacím centrům a generuje příslušnou protiakci.



Obr. 23 Řízení rytmogeneze dýchání.

Průměrná frekvence dýchání je v klidu mezi 12 a 16 vdechy za minutu (1). Během jedné minuty organismus spotřebuje asi 250 ml kyslíku a uvolní 200 ml oxidu uhličitého (proto je objem vydechovaného vzduchu menší než vdechovaného). Pro zajištění vhodné koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého a vodíkových iontů (pH) v krvi a tkáních se musí dýchání regulovat v závislosti na koncentraci těchto látek. Vzestup koncentrací oxidu uhličitého a vodíkových iontů stimuluje převážně přímo nervové buňky v mozgovém kmeni (chemoreceptory).

Dýchání má zároveň důležitý význam při řízení krevního oběhu – ovlivňuje krevní tlak v systémové i plicní cirkulaci pomocí mechanických i reflexních faktorů (32). Mechanickým vlivem podtlaku při nádechu dochází ke zvýšení návratu krve do srdce a k aktivaci síňových mechanismů (vzestup srdečního výdeje). Při výdechu je situace opačná. Rovněž tak změna frekvence dýchání nebo jeho hloubky vede ke změně návratu krve do pravého srdce (27). V průběhu dechového cyklu dochází ke změnám krevního tlaku a srdeční frekvence (dechová arytmie) přímým vlivem dechového centra na oblasti mozkového kmene (vazomotorická centra).

Dýchací svaly jsou řízeny vzruchy přiváděnými hybnými nervy. Do bránice vedou brániční nervy z krční míchy, do mezižeberních svalů nervy z hrudní míchy. Činnost dýchacích ústředí je sice automatická, je však ovlivňována řadou podnětů nervových i látkových – podmíněně reflexně (změna frekvence dechu při zátěži), emočně (smích, stres, hněv, pláč), vůlí (řeč, zadržení dechu).

Vdech začíná kontrakcí dýchacích svalů, bránice a zevních mezižeberních svalů v důsledku jejich stimulace příslušnými motoneurony. Kontrakce zmíněných svalů vede ke zvětšování rozměrů hrudníku. Stěna hrudníku se vzdaluje od povrchu plic, pohrudniční tlak klesá a rostoucí rozdíl tlaků v plicích a pohrudniční dutině vede k rozpínání plic⁵⁹ (plíce zvětšením svého objemu sledují pohyb hrudní stěny). Zvětšení alveolárního prostoru znamená pokles tlaku v plicích a tím je umožněno proudění vzduchu z okolí do plic (dokud se nevyrovná tlak mezi okolím a plícemi).

Na konci vdechu přestanou motorické nervy stimulovat svaly a ty začínají relaxovat. Hrudní stěna i plíce se díky své pružnosti pasivně vracejí do původních rozměrů. Zmenšování objemu plic vede ke stlačování vzduchu v alveolech a tedy i ke zvyšování jeho tlaku (oproti atmosférickému). Výsledkem je proud vzduchu z plic do okolí.

⁵⁹ Do jaké míry uzpůsobí plíce svůj objem závisí na jejich roztažnosti (elasticita plicní tkáně).

7.9 Regulace žaludeční kyselosti

Trávicí soustava průběžně zásobuje organismus vodou, živinami a elektrolyty. Jejím úkolem je rozložit přijímanou potravu na elementární sloučeniny a následně je vstřebat do krve. Funkce GIT⁶⁰ lze zjednodušit do čtyř základních dějů – *motilita, sekrece, trávení a vstřebávání* (21). Vstřebávání je proces, který je téměř nevyčerpatelný a zároveň ve značné míře neregulovaný. Řízení složení vnitřního prostředí je tak úlohou především procesů vylučování (ledviny, plíce). Regulační pochody, které jsou za řízení trávicího ústrojí zodpovědné mají několik odlišností:

- 1) Na rozdíl od mechanismů, které řídí vnitřní prostředí, regulují hlavně podmínky uvnitř trávicího ústrojí.
- 2) Většina řídicích mechanismů trávicího ústrojí vykonává svoji činnost spíše dle aktuálního objemu a složení tráveniny než podle momentálních potřeb organismu.

Řízení trávicího ústrojí je založeno na reflexních mechanismech. Tyto reflexy mohou být vyvolány několika typy podnětů – roztažením stěny příslušné části trávicího traktu zvýšenou náplní (detekce přes mechanoreceptory) nebo zvýšenou osmolaritou obsahu v důsledku štěpení živin (přes osmoreceptory). Efektorovou složku reflexů představuje hladká svalovina ve stěně traktu nebo exokrinní žlázy (vylučují své produkty do trávicího ústrojí).

Důležitou roli v procesu trávení hraje žaludek, který funguje jako rezervoár přijaté potravy, jejíž pevné části jsou zde zkapalňovány, a produkuje žaludeční šťávu. Jejími hlavními složkami jsou *pepsinogeny, kyselina chlorovodíková (HCl) a mucin*⁶¹. V kyselém prostředí (pH = 2) vytvářeném žaludeční kyselinou dochází k přeměně pepsinogenů na pepsiny, což jsou enzymy schopné štěpit bílkoviny na nízkomolekulární peptidy. HCl se uplatňuje při vstřebávání vápníku a chrání trávicí soustavu před většinou choroboplodných zárodků. Žaludeční kyselina je produkována vysoce koncentrovaná (pH < 1), potrava kyselinu ředí a neutralizuje. Dosažení optimální hodnoty pH v žaludku je úkolem neurohumorální regulace (1).

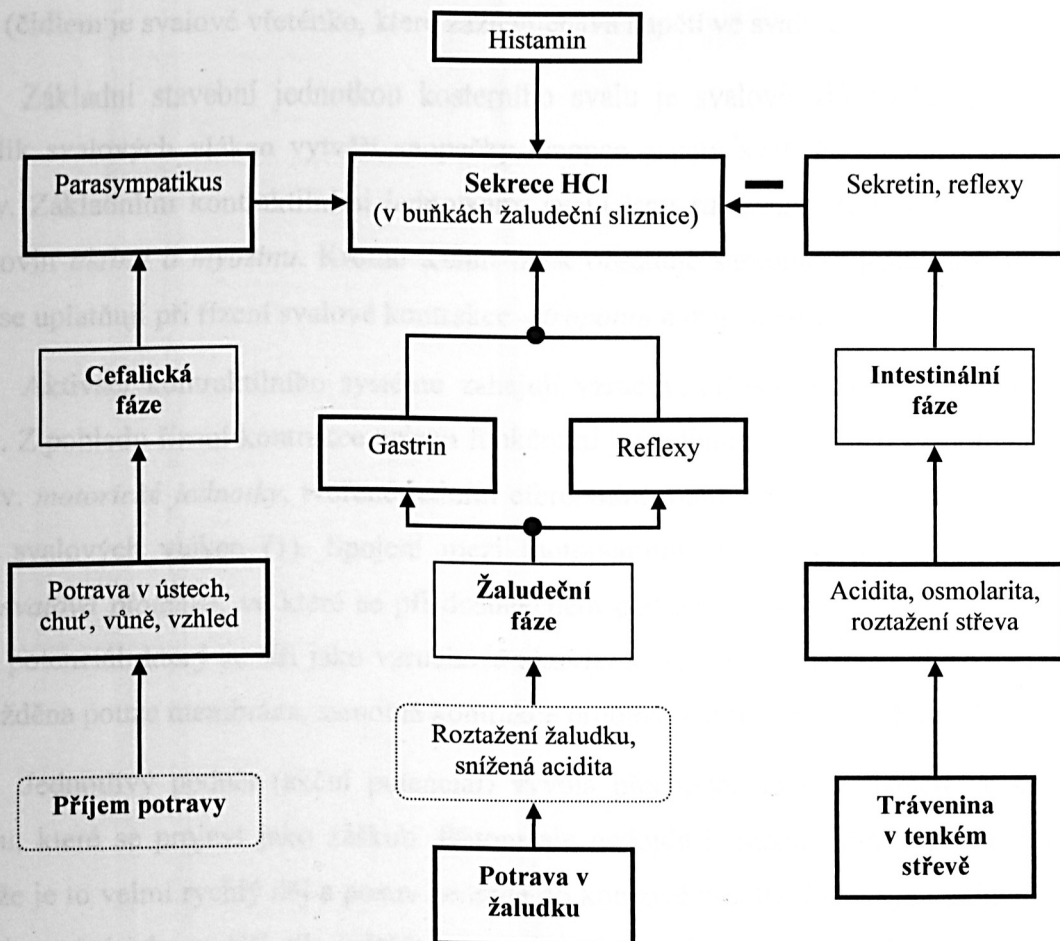
⁶⁰ GIT – gastrointestinální trakt.

⁶¹ Chrání žaludeční sliznici před vlastním natrávením.

Podle časového sledu a místa stimulace lze rozdělit většinu nervových a hormonálních regulací na 3 fáze:

- 1) *Cefalická fáze* – má reflexní charakter (vzhled, chuť nebo vůně potravy), dochází k sekreci hormonu gastrinu a HCl.
- 2) *Žaludeční fáze* – přítomnost potravy v žaludku vede k podstatnému zvýšení produkce kyseliny (je spuštěna stimulací chemoreceptorů), roztažení žaludku stimuluje mechanoreceptory.
- 3) *Střevní fáze* – přítomnost tráveniny v duodenu a tenkém střevě tlumí sekreci HCl, uplatňuje se hlavně hormonální řízení.

Vývojový diagram znázorňuje řízení produkce HCl (obr. 24).



Obr. 24 Řízení produkce HCl v žaludku.

7.10 Řízení pohybové aktivity

Vykonání koordinovaného pohybu vyžaduje souhru celé řady dílčích procesů, které zahrnují především činnost nervů a svalů, jež pohybují opěrným aparátem organismu. Neurony a příslušné nervové struktury, které jsou zodpovědné za řízení pohybu, jsou hierarchicky uspořádány (obr. 25), přičemž každá úroveň má v této hierarchii přesně definovanou funkci. Teprve vzájemná koordinace uspořádaných struktur a návaznost jejich funkcí zaručuje plynulou schopnost pohybového (motorického) aparátu. Důležitý je jak systém negativních zpětných vazeb, tak i pozitivních, aby bylo docíleno plynulého a přesného pohybu.

Základem řízení svalové činnosti je reflexní oblouk. Jedná se o regulační obvod, kde akční veličinou je jeho eferentní složka a přenos informace od čidla k regulátoru zajišťuje aferentní složka (21). Regulovanou soustavou je kosterní sval a regulovanou veličinou jeho délka (čidlem je svalové vřetenko, které zaznamenává napětí ve svalu).

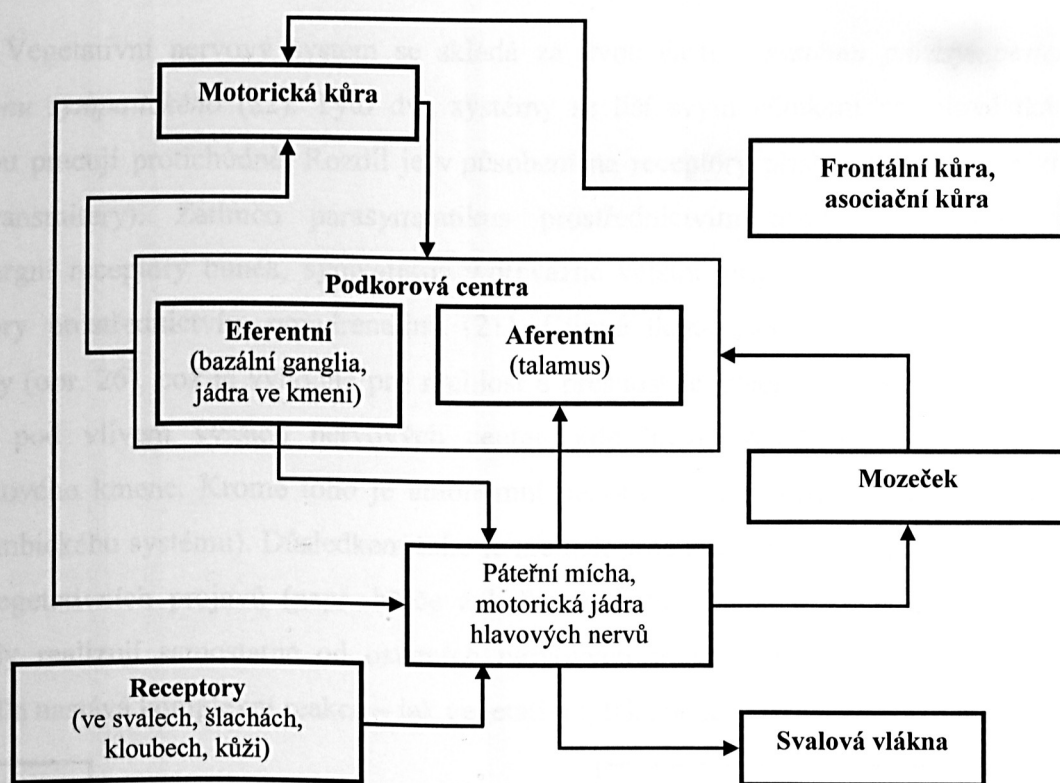
Základní stavební jednotkou kosterního svalu je svalové vlákno (svalová buňka). Několik svalových vláken vytváří snopečky, snopce a celý sval. Na koncích přechází ve šlachy. Základními kontraktilními jednotkami svalu jsou *sarkomery* (22) – ty jsou složeny z bílkovin *aktinu* a *myozinu*. Kromě těchto látek obsahuje sarkomera ještě další bílkoviny, které se uplatňují při řízení svalové kontrakce – *troponin* a *tropomyozin*.

Aktivaci kontraktilního systému zahajují vzruchy, přiváděné do svalu motorickými nervy. Z pohledu řízení kontrakce nejsou funkčními jednotkami svalu jeho jednotlivá vlákna, ale tzv. *motorické jednotky*, tvořené jedním eferentním motoneuronem inervujícím jedno až tisíce svalových vláken (1). Spojení mezi motoneurony a svalovými buňkami zajišťuje *nervosvalová ploténka*, ve které se při dostatečném podráždění nervovým vzruchem vybaví akční potenciál, který se šíří jako vzruchová aktivita k okrajům svalových vláken. U nich je podrážděna pouze membrána, samotná kontrakce probíhá uvnitř svalových buněk.

Jednotlivý podnět (akční potenciál) vyvolá přechodné zvýšení napětí ve svalovém vlákně, které se projeví jako záškrub. Přitom ale nedojde k maximálnímu zkrácení vlákna, protože je to velmi rychlý děj a posuv nedojde do koncové polohy. Pokud je vyvinuto napětí, které je stejné jako vnější síla (zátěž), nemění se délka vlákna a dochází k tzv. *izometrické kontrakci* (15). Když je zátěž větší než generované napětí, vlákno se prodlužuje. Když při konstantním napětí dochází ke zkracování vlákna, jedná se o *izotonickou kontrakci* (15).

Velikost napětí, které sval vyvine, závisí na frekvenci stimulací, počtu kontrahujících se svalových vláken, složení svalových vláken a počáteční délce svalových vláken.

Kosterní svalstvo lze většinou ovládat vůlí (oproti hladké svalovině, která je součástí vnitřních orgánů). Zároveň je dobré si uvědomit, že **sval se může aktivně vždy jenom zkracovat, ne protahovat**. To znamená, že např. pohyb končetin v obou směrech (v rámci jedné roviny) vyžaduje dvě skupiny svalů – jedna pro pohyb jedním směrem a druhá opačným. Svaly které se v tomto případě na aktivním pohybu nepodílejí se pasivně prodlužují (např. aktivní zkracování bicepsu a zároveň pasivní protahování tricepsu).

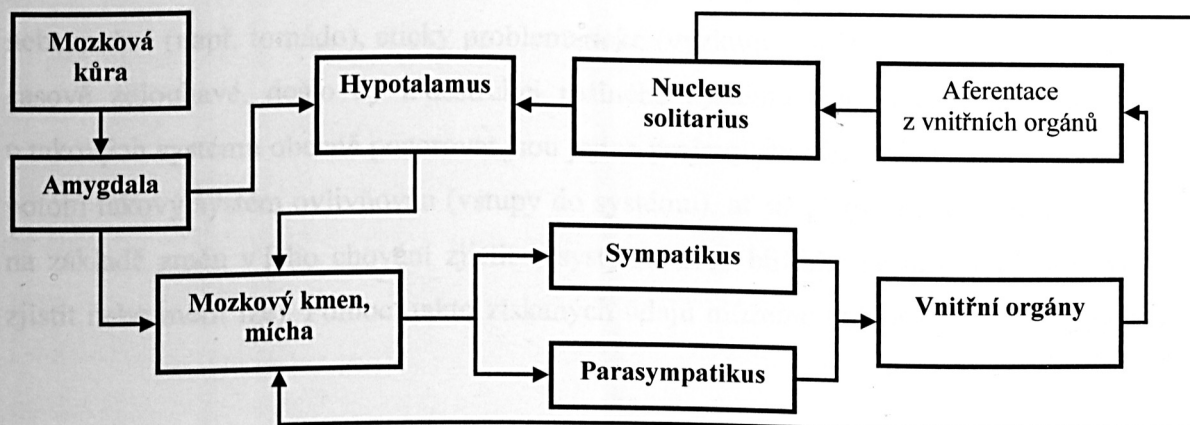


Obr. 25 Hierarchie řízení pohybu.

7.11 Vegetativní nervový systém

Dynamickou rovnováhu základních, pro život nezbytných funkcí zabezpečuje autonomní (útrobní) část nervové soustavy. Vegetativní systém je zapojen do řízení homeostatických regulačních mechanismů a je tak nepostradatelný pro udržování stálosti vnitřního prostředí. Kromě toho má ještě význam pro přizpůsobení aktivity vnitřních orgánů aktuálním požadavkům. Řídí prostřednictvím neurotransmiterů svých nervových vláken činnost vnitřních orgánů – resp. hladkých svalů, myokardu a žláz. Svým funkčním základem (reflexní oblouk) je shodný se somatickým nervstvem a také s ním úzce spolupracuje (je ale pomalejší pro přenosu signálů, protože vlákna jsou tenčí). K jejich propojení dochází na úrovni páteřní míchy, v prodloužené míše (funkce dýchací a srdečně cévní) a v hypothalamu.

Vegetativní nervový systém se skládá ze dvou částí – *systému parasympatického* a *systému sympatického* (22). Tyto dva systémy se liší svým účinkem na cílové tkáně – většinou pracují protichůdně. Rozdíl je v působení na receptory příslušných tkání (různými neurotransmitery). Zatímco parasympatikus prostřednictvím acetylcholinu působí na cholinergní receptory buněk, sympatikus v převážné většině případů působí na adrenergní receptory prostřednictvím noradrenalinu (21). Cílové tkáně jsou většinou řízeny oběma systémy (obr. 26), což je výhodné pro rychlost a přesnost regulací. Vegetativní reflexy jsou ovšem pod vlivem vyšších nervových center, kde hlavní regulační zásahy pocházejí z mozku. Kromě toho je autonomní nervstvo řízeno z hypothalamu (a ostatních částí limbického systému). Důsledkem toho je zřejmé, proč mají některé silné emotivní stavy řadu vegetativních projevů (např. křeče žaludku, nevolnost apod.). Vegetativní funkce se málokdy realizují samostatně od ostatních nervových funkcí (např. zúžení zornice oka), zpravidla nastává komplexní reakce – jak vegetativní, tak somatická.



Obr. 26 Řízení vegetativních funkcí.

Tento výčet regulačních mechanismů není samozřejmě úplný. V lidském organismu existuje spousta regulačních obvodů, které plní rozličné funkce a jsou na různých hierarchických úrovních. Lze vyčlenit rozmanité typy, které se liší svou realizací, strukturou systému, dynamickými vlastnostmi, složitostí regulačních soustav a zpracování informace.

Důležité však je, že všechny tyto regulační systémy mají v principu jednu funkci – kompenzovat vlivy (výchyly) působících poruchových veličin z vnějšího i vnitřního prostředí a udržovat organismus v relativně stabilním stavu. Je to jedna z elementárních podmínek existence živého systému vůbec. Druhým předpokladem existence organismu je jeho schopnost různých forem chování, které mu umožňují např. aktivně vyhledávat nebo vytvářet příhodné podmínky a situace (nebo se na nepříhodné adaptovat), čelit ohrožení, rozhodovat se (ať už cíleně nebo instinktivně) apod.

Vzhledem k tomu, že lidský organismus patří k nejsložitějším kybernetickým systémům vůbec, zdaleka ne všechny jeho regulační obvody jsou beze zbytku prozkoumány nebo začleněny do příslušných vztahů a souvislostí. Souvisí to nejenom s komplexností organismu, ale někdy i s otázkami etickými a filozofickými⁶².

8 Modelování a simulace

Modelování a simulace jsou velmi důležitým prostředkem pro studium vlastností systémů. Obecně totiž existují systémy, které z různých důvodů nemůžeme (nebo nechceme) zkoumat přímo, nebo se zkoumají velmi obtížně – jsou buď extrémně malé/velké (např. subatomární částice, černá díra), nebo nedostupné (např. jádro Země, hvězdné galaxie), nebezpečné (např. tornádo), eticky problematické (výzkumy na člověku), finančně neúnosné, časově zdlouhavé, došlo by k destrukci reálného systému apod. Jediné, co pak můžeme u takových systémů obecně pozorovat jsou jejich projevy chování (výstupy ze systému). Je-li potom takový systém ovlivňován (vstupy do systému), ať už přirozeně nebo uměle, můžeme na základě změn v jeho chování zjistit o systému něco bližšího (vstupy i výstupy většinou zjistit nebo měřit lze). Pomocí takto získaných údajů můžeme vytvořit jiný dostupný systém

⁶² V minulosti se vyskytovaly i takové „názory“, že kybernetika je věda nad vědami nebo že nahrazuje boha apod. Samozřejmě jsou všechny tyto pohledy a názory neopodstatněné a nesmyslné!

(model), který bude vykazovat stejné (hodně podobné) chování jako příslušný reálný systém, a ten příčinně zkoumat.

Princip modelování je běžný jak v denním životě (např. sochy, mapy, kopie), tak i ve vědeckém výzkumu jako jeden ze způsobů poznávání. Zjednodušeně se dá říci, že model představuje jednoduchou soustavu, která funguje jako originál (33). Abstrahujeme v něm ty prvky systému a okolí, které nejsou z hlediska zkoumání podstatné nebo potřebné. Modelování je tedy obecně zobrazování nějaké předlohy (originálu), kde se téměř vždy jedná o zjednodušení reálné skutečnosti (hlavně u složitých systémů).

Pro modelování existuje řada definic, které jsou si ale v principu podobné. Modelování tedy můžeme definovat jako: „*Reprodukce charakteristik určitého systému na jiném systému, speciálně připraveném nebo vytvořeném pro výzkum těchto charakteristik*“ (17). Jinak řečeno je to vytváření umělých systémů (stejných nebo jiné fyzikální povahy než je originál), které jsou si podobné chováním a/nebo strukturou s originálem. Modelování je tedy založeno na **analogii**⁶³. Podobnost modelu s originálem je různá, což souvisí s použitou rozlišovací úrovní, která je při pozorování systémů použita. Analogie můžeme rozdělit do dvou typů (33):

- 1) **Izomorfismus** – originál se podobá modelu tak, že oba dva vyhovují stejnému matematickému popisu. Oba systémy lze tedy vzájemně zaměňovat (jsou relativně identické) a vztah modelu a originálu je symetrický.
- 2) **Homomorfismus** – model nevystihuje originál zcela, neplatí vztah symetrie. Originál má méně nebo více prvků/vazeb než model. Nelze tak každému prvku originálu přiřadit jeho obraz na modelu.

(v praxi jsou častěji užívány homomorfní vztahy, hlavně u složitých systémů)

Výsledkem modelování je **model**. Podle definice se jedná o: „*myšlenkově nebo materiálně realizovaný systém, který má určitou definovanou podobnost s originálem, takže ze systému můžeme činit závěry o originálu.*“ (17) Znamená to tedy, že modelem může být nejenom konkrétní fyzický objekt (realizován mechanicky, elektronicky nebo jinak), ale i třeba abstraktní (např. logický systém realizovaný počítačem) nebo matematický popis (tzn. model realizován soustavou rovnic, grafy, funkcemi, maticemi apod.). Důležité je, aby bylo

⁶³ Analogie je existující nebo zjištěná shodnost některých vlastností mezi netotožnými předměty (objekty), jevy apod. (20)

umožněno (u modelu) relativně snadné měření výstupních veličin a manipulace se vstupními veličinami, tzn. jednoduše měnit vztahy mezi prvky, působit na model různými vstupními podněty a sledovat jeho chování na výstupu, manipulovat s modelem.

Fyzikální modely mohou být realizovány různými prostředky. Relativně nejjednoduššími (a nejstaršími) jsou modely mechanické. Jedná se o soustavy prvků (páky, převody, ozubená kole, hydraulické písty, lana, táhla, pružiny atd.), které jsou funkčně propojeny do požadovaného celku. Sledovanými veličinami v takovém modelu jsou pak změny v délce, tlaku, úhlu pootočení, objemu apod. Nespornou výhodou takových modelů je jejich názornost⁶⁴ a manipulace s nimi. Nevýhodou je hlavně velikost a malá přesnost (případně přenosové zpoždění) při modelování složitějších soustav. Nicméně i mechanické modely se uplatňovaly (a dodnes uplatňují) při modelování některých soustav člověka – např. mechanický model svalů, modely pohybového aparátu (funkční náhrady), modely krevního systému apod.

Další realizace modelů mohou být pomocí elektronických prvků⁶⁵ (rezistory, kapacitory, cívky, tranzistory, relé, integrované a logické obvody, diody apod.). Tyto modely postrádají některé „neduhy“ mechanických provedení (hlavně přesnost a přenosové zpoždění). Výhodou je, že pomocí relativně malého počtu standardizovaných prvků můžeme vytvářet i rozsáhlé a velmi složité modely. Lze tak napodobit v základních principech např. funkci neuronu, svalovou buňku, vzrušivou tkáň, reflexní a některé rozhodovací procesy atd. Měřenými a zjišťovanými veličinami jsou hlavně změny proudů, napětí a odporů.

V dnešní době se k modelování a vytváření modelů nejčastěji využívá počítačová technika. Je to dáno především univerzálností (a dostupností) počítačů při zpracování různého typu informací. K vytváření modelů slouží vysoce specializovaný a sofistikovaný software⁶⁶, který dokáže přijmout příslušná vstupní data (a to většinou v enormním množství) a zpracovat je podle příslušných algoritmů. Obecně je veškeré modelování vysoce náročné (hlavně časově) na technické vybavení počítačů, tudíž se na vytváření složitých a komplexních modelů využívají desítky i tisíce počítačů propojených dohromady (tzv. clusterů) a spolupracujících na zadaném úkolu. Není ani neobvyklé, že některé úlohy řeší i desetitisíce

⁶⁴ I proto se ve školách při výuce nejčastěji používají různé mechanické modely – ve fyzice (např. model spalovacího motoru, hydraulické soustavy, třífázového motoru apod.), v biologii (modely jednotlivých orgánů člověka, model pestíku rostliny apod.).

⁶⁵ Existují samozřejmě i modely hybridní – elektromechanické, které využívají výhod obou dvou typů modelů.

⁶⁶ Mezi nejznámější SW nástroje patří např. MatLab[®] a Simulink[®].

počítačů po celém světě prostřednictvím internetu (tzv. distributivní počítání) nebo jsou úlohy řešeny a vyhodnocovány pomocí umělé inteligence⁶⁷. Výhodou počítačového modelování je to, že pokud existuje příslušný software, dostatečný výpočetní výkon a potřebné množství relevantních a validních vstupních údajů, lze namodelovat prakticky cokoliv, co existuje v reálném světě – od modelů kvantových jevů, přes modely duševních činností až po modely vesmíru. Experimentování s počítačovým modelem se pak obecně nazývá **simulace**, což úzce souvisí s modelováním a jedná se vlastně o konkrétní práci s počítačovým modelem (kdy příslušnými zásahy ovlivňujeme jeho chování) za účelem lepšího pochopení struktury a chování studovaného systému. Slouží hlavně k získávání nových informací o originálu nebo potvrzování informací již známých. Při dobře realizovaném modelu a správném postupu simulace se dokonce může objevit nová vlastnost nebo situace, která ještě nebyla u příslušného reálného systému pozorována. Stejně tak lze při simulaci navodit takové vstupní podmínky, s kterými by se reálný objekt normálně nestkal, a pozorovat jeho reakce (neboli testovat a ověřovat jakoukoliv logicky vypadající myšlenku nebo hypotézu).

Modelování jako proces se obecně skládá z několika fází (17):

- 1) Formulace problému, který má model řešit.
- 2) Analýza originálu a vytvoření „vnitřního modelu“ ve vědomí poznávajícího subjektu (člověka).
- 3) Formální popis systému.
- 4) Vytvoření modelu a jeho ověření pro řešení daného problému.
- 5) Srovnání funkce modelu s funkcí originálu a formulace kritérií platnosti řešení.
- 6) Přenos poznatků získaných na modelu na originál v praxi.

Modelování v biologických systémech

Modelování a simulace jsou v biologii velmi častým prostředkem studia živých systémů. Z definice modelování v obecném pojetí vyplývá, že modelem v biologii může být živý objekt (např. laboratorní zvířata), různé mikroorganismy, buněčné kultury atd., nebo

⁶⁷ Dnes je „umělá inteligence“ samostatným interdisciplinárním oborem s velkou dynamikou rozvoje. Její použití je hlavně v rozhodovacích a vyhodnocovacích procesech. Není neobvyklé, že některé její prvky se využívají i prakticky ve spotřební oblasti – např. v elektronice, automobilovém průmyslu apod. Zajímavá je i její aplikace v lékařství pro diagnostiku, rozhodování a vyhodnocování medicínských dat.

různé neživé objekty (fyzikální, fyzikálně-chemické). Potřebu modelování biologických systémů vyvolala především jejich složitost a komplexnost, které činí přímé studium velice obtížné, ne-li nemožné. Sestavení biologického modelu, který by byl výstižný a prakticky použitelný ke studiu systému, je velmi složité a zahrnuje experimenty jak s originálem tak i s modelem. Jedním z nejdůležitějších kroků je správně vymezení systému, který nás zajímá. Z hlediska biokybernetiky jsou nejdůležitější matematické modely systémů definovaných na živém objektu (1).

V biologii a v lékařství se nejčastěji používají stochastické modely (náhodné) a pravděpodobnostní a statistické metody⁶⁸. Vzhledem ke složitosti biologických systémů, velkému počtu parametrů, mnoha vzájemným vazbám a mnohostranným vlivu okolního prostředí je stochastický model biologického systému velmi užitečný a často nezbytný. Stochastické procesy můžeme rozdělit podle spojitosti veličin na (1):

- 1) *Procesy diskrétní v úrovni i čase* – např. modely funkce neuronů, některé typy učení.
- 2) *Procesy diskrétní v úrovni a spojité v čase* – např. model radioaktivního rozpadu, kinetiky chemických reakcí, procesů rození a úmrtí u populační dynamiky.
- 3) *Procesy spojité v úrovni a diskrétní v čase* – jsou nejčastěji aproximací procesů spojitých v čase, které měříme v diskrétních časových okamžicích.
- 4) *Procesy spojité v úrovni i čase* – modelují chování stochastických systémů se spojitými stavy a vstupy. Např. modely růstu a diferenciací tkání, difúzní systémy.

Sestavení vhodného a prakticky použitelného matematického modelu biologického systému je obtížná a časově náročná činnost, které probíhá v mnoha etapách. Střída se zde experimentování na reálném objektu s experimenty na modelu. Rovněž se na práci podílí více lidí, takže je zde i organizační náročnost.

Mezi hlavní výhody modelování a simulace v biologii patří:

- Shrnutí velkého množství dílčích experimentálních poznatků a teoretických představ o strukturách a funkcích systému do obecnějšího závěru.

⁶⁸ Používají se pro zpracování biologických signálů, při vyhodnocování různých experimentů, při identifikaci systémů apod.

- Možnost prověření více hypotéz o systému.
- Na modelu lze realizovat složité experimenty, které by na reálném objektu byly obtížné, nemožné nebo nákladné.
- Opakovanými experimenty lze zdokonalovat model a využívat ho pro prognózy, případně objevit nové vlastnosti.

8.1 Snímání a zpracování biologických signálů

Aby mohl být vytvořen funkční model reálného objektu, je nejprve nutné získat příslušné informace o jeho chování. K tomu je zapotřebí změřit a zpracovat signály, nesoucí pro nás důležité informace, z výstupů systému.

Dynamické děje, probíhající v lidském organismu, se navenek projevují různými způsoby. Z hlediska přenosů informací o takových dějích se jedná o biosignály⁶⁹, které jsou reprezentovány změnami konkrétních fyzikálních veličin (tyto změny jsou pak nositelkami informace o sledovaných jevech). Snímané mohou být různé veličiny – elektrické (např. EEG, EKG), teplotní, tlakové, množstevní, objemové apod. V některých případech se za biosignál považuje i veličina, která je generována vnějším zdrojem a při průchodu organismem je přetvářena – ultrazvuková echografie (7). Biosignály se uplatňují nejenom při sledování fyziologických hodnot (nebo k vytváření biologických modelů), ale samozřejmě i v lékařské diagnostice. Pro jejich analýzu není podstatné, jestli jsou povahy elektrické, mechanické, chemické nebo jiné, protože se většinou převádí pomocí vhodných převodníků na elektrická napětí.

Biosignál vzniká jako důsledek určitého procesu v biologickém systému. Tyto procesy mohou být buď náhodné (stochastické) nebo nenáhodné (deterministické). Pokud signál vzniká na základě náhodného procesu, nelze jednoznačně předpovědět jeho průběh, protože dynamický děj nevykazuje žádnou zákonitost (např. EEG). U nenáhodného procesu lze předpovědět opakování dynamických dějů, takže lze i u signálu předpovědět jeho budoucí vývoj (např. EKG). Je ale důležité poznamenat, že právě u biosignálů není přesné vymezení vždy jednoznačné (9).

⁶⁹ Biosignál je měřitelným výstupem biologického systému, který nám přináší informaci o stavu tohoto systému (pokud známe jeho vstupy) nebo o jeho vstupech (pokud známe jeho stav) (9).

Snímání spojitých biosignálů a jejich zpracování má určitou obecnou posloupnost. Samotná detekce a snímání signálu se provádí příslušným senzorem (např. elektrodou). Poté následuje fáze předzpracování signálu, která se realizuje v časové nebo frekvenční oblasti – provádějí se amplitudové úpravy (hlavně zesílení signálu), aby se většinou nízké hodnoty původního signálu přizpůsobily přístrojové technice, která provede další zpracování. Často je též potřeba zbavit signál nežádoucích zkreslení nebo omezit zkoumané spektrum biosignálu – k tomu se využívají frekvenční filtry. Vlastní zpracování poté znamená vyhledávání amplitudových, frekvenčních či tvarových abnormalit. V dnešní době probíhá skoro výhradně prostřednictvím počítačové techniky (signál je převeden ze spojitého na diskrétní pomocí AD převodníku) a pomocí příslušného software. Stejně tak zpracování a vyhodnocení výsledků může provádět výpočetní systém. Využití takto získaných dat, případně rozhodování co s nimi, už záleží většinou na člověku (experimentátorovi, lékaři apod.).

9 Další mezioborové vztahy

Propojení biologických a technických věd není samozřejmě realizováno pouze a jenom prostřednictvím biokybernetiky. Existují i další vědní disciplíny a aplikační obory, které využívají ke svému studiu poznatků z těchto věd. Jedná se o relativně mladé, ale o to více progresivní oblasti lidského výzkumu. Jedním z nich je např. *bioinformatika*, která se zabývá především zpracováním, prohledáváním a analýzou dat (pomocí výpočetní techniky) o sekvenci a strukturách biologických makromolekul (zejména DNA a RNA) (34). Další oblastí je třeba *bionika*, jejímž úkolem je především vyhledávat ty biologické struktury a procesy, které by mohly mít význam jako podnět pro realizaci technických a technologických zařízení, bez ohledu na to, zda je daný biologický systém již dostatečně znám a prozkoumán. Obecná bionika tedy především studuje všechny dosud poznané rostlinné a živočišné druhy a vyhledává nejnadějnější biologické principy (35). Dále sem patří *biomimetika*, která studuje organické struktury, vzory a materiály a snaží se je technologicky napodobit (např. robotický hmyz, přilnavé povrchy apod.). A v neposlední řadě je to např. umělá inteligence⁷⁰, biomechanika, robotika, umělé neuronové sítě, molekulární počítače apod.

⁷⁰ Patří pod kybernetiku a využívá poznatků z psychologie.

Mezi zajímavou, z hlediska mezioborové problematiky, patří „nekonečné“ diskuze ohledně podobnosti lidského mozku a počítače. Citoval bych tady názor W. D. Hillise (36): „...Pokud víme, všechny důležité výpočetní vlastnosti neuronu můžeme simulovat na běžném počítači. Je-li tomu skutečně tak, pak je rovněž možné simulovat síť desítek miliard takových neuronů, což ve výsledku znamená, že lidský mozek lze simulovat na univerzálním stroji. [...] Teoretická omezení počítačů nerysují žádnou dělící čáru mezi lidskými bytostmi a stroji. Pokud víme, mozek je typ počítače a myšlení je jen složitý výpočetní postup.“

10 Didaktické aspekty řešené problematiky

Jedním z podnětů k sepsání této diplomové práce byl návrh „Rámcového vzdělávacího program pro gymnaziální vzdělávání“ z roku 2004 – konkrétně vzdělávací oblast „Informační a komunikační technologie“. V jejím vzdělávacím obsahu „Informační gramotnost v procesu vzdělávání“ je jako jeden z očekávaných výstupů (co by měl žák umět) uvedeno: „**teoreticky porovná informační procesy v mechanických, počítačových a biologických systémech**“. Což v podstatě znamená uvědomění si mezipředmětových souvislostí (ICT s jinými obory) a jejich implementace do učiva. Je třeba ale říci, že konkrétní provázanost s jinými výukovými předměty (než biologií) nebo alespoň využívání ICT v jiných oblastech, zde nastíněna nebyla (snad jenom s oblastí práva a legislativy). V roce 2006 byla zveřejněna nová a upravená verze RVP GV, která výše zmíněný mezioborový vztah (s biologií) již neobsahuje. Jedná se tedy pouze o oblast ICT bez konkrétnějších (vnějších) návazností. Na druhou stranu je ale zřejmé, že RVP GV je obecný dokument, který poskytuje gymnáziím určitou volnost při zaměření výuky, tudíž se jednotlivé školy mohou realizovat podle svých aktuálních podmínek a různé odlišnosti ve výuce můžou zohlednit při tvorbě školních vzdělávacích programů (SVP). Rovněž definitivní podoba RVP GV není ještě dána, takže lze očekávat dílčí úpravy.

Dalším materiálem pro diplomovou práci byly vlastní zkušenosti a pozorování z pedagogické praxe na všeobecném čtyřletém gymnáziu, kde jsem vyučoval biologii a informační a výpočetní techniku. Gymnázium pochopitelně nebudu jmenovat, ale jedná se o jednu z tzv. „elitních“ škol⁷¹. Zajímal jsem se především o vztah učitelů k informačním a komunikačním technologiím v rámci jejich výukových předmětů a o využívání

⁷¹ Elitní škola ve smyslu počtu přijatých absolventů na VŠ nebo jiné pomaturitní studium.

mezioborových souvislostí při výuce. Zároveň jsem se snažil do vlastní výuky integrovat mezioborová témata a pozorovat reakce studentů.

Následující zjištění nechci v žádném případě zobecňovat, neboť se jedná spíše o subjektivní názor na danou věc získaný vlastním pozorováním, případně podpořený informacemi při rozhovorech s učiteli:

- 1) Mezioborové vztahy ve výuce využívají nejčastěji učitelé, kteří vyučují úzce příbuzné předměty, např. biologii – chemii, český jazyk – dějepis apod. Jedná se tedy o „tradiční“ kombinace předmětů a z nich vyplývajících vazeb.
- 2) Spolupráce mezi učiteli je spíše dána jejich vlastní aprobací, takže dochází k jakémusi neformálnímu rozdělení na přírodovědnou (Bi, Ch, Fy, Ma,...) a humanitní oblast (Cj, Aj, Dě, Nj,...). Výuková spolupráce mezi těmito dvěma skupinami je sporadická. Předmět ICT („počítače“) stojí mimo obě oblasti.
- 3) Při výuce využívají možnosti ICT většinou mladší katoři, např. v anglickém jazyce.
- 4) Někteří vyučující se domnívají, že ke svému předmětu prostředky ICT nepotřebují, nebo nevědí jak je využít (didakticky i technicky).
- 5) Z technických prostředků se při výuce využívá nejčastěji video recorder nebo zpětný projektor.

Ve vlastní výuce jsem začlenil mezioborovou problematiku v rámci rozšiřujícího biologického semináře pro maturanty⁷². Hodinu jsem koncipoval jako diskuzi o mezipředmětových vztazích mezi biologií a ICT⁷³. Zjištění jsou následující:

- 1) Studenti byli aktivní a reagovali pozitivně (se zájmem) na probíranou problematiku.
- 2) Podobný mezipředmětový vztah s nimi nebyl probírán ani v biologii ani v ICT.
- 3) Bylo zřejmé, že většina z nich má určitou míru roztržitosti poznatků – např. pojmy jako systém, signál nebo informace pro ně byly úzce spojeny s konkrétním předmětem (Bi, Fy, ICT). Nebylo patrné určité širší zobecnění těchto pojmů.

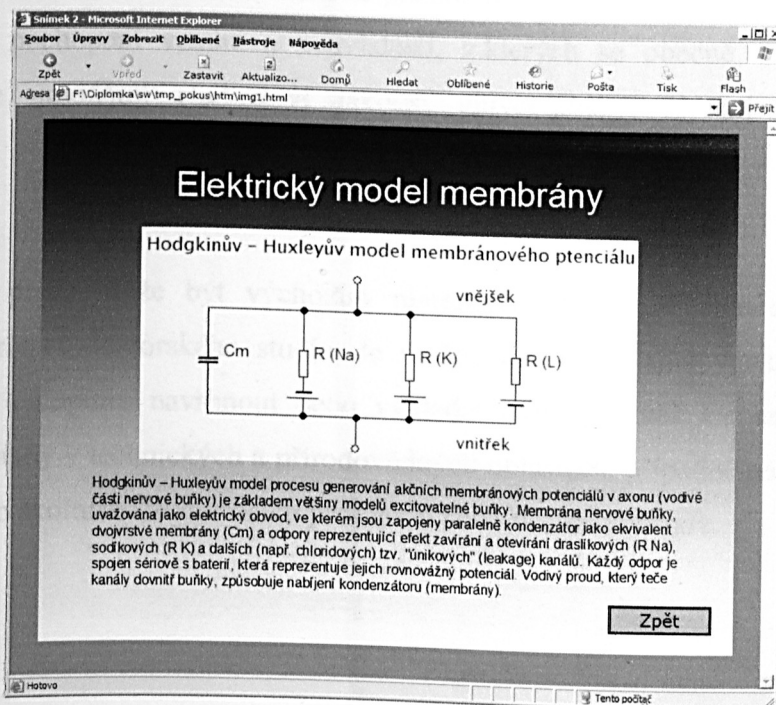
⁷² Jednalo se o jeden z povinně volitelných předmětů pro čtvrté ročníky. Studenti si tyto předměty volí s ohledem na maturitní zkoušku a svou osobní dohodu.

⁷³ Probíraná problematika byla totožná s tématem diplomové práce.

Domnívám se tedy, že je potřebné a možné začlenit takovýto druh konkrétního mezipředmětového vztahu do výuky – v biologii při probírání fyziologických pochodů v živých organismech, v ICT při teoretických základech oboru, rovněž lze realizovat samostatný volitelný předmět. Velmi důležitá je samozřejmě i mezioborová spolupráce a komunikace vyučujících.

11 Výukový program

Součástí diplomové práce je CD-ROM s výukovým programem, který doplňuje a konkretizuje vlastní práci. Aplikace je koncipována jako learning object (LO), který lze umístit na webový server a přistupovat k němu prostřednictvím internetového prohlížeče. Je zaměřena na modelování některých fyziologických procesů a regulačních obvodů, které jsou reprezentovány mechanickými, elektrickými a kompartmentovými modely. Mechanické a elektrické analogie byly zvoleny záměrně, protože jejich předností a výhodou je vhodná názornost pro studenty. Zároveň je zde patrný mezioborový vztah s předmětem fyziky, kde se probírají kapitoly z mechaniky a elektromagnetismu. Rovněž některá schémata mohou sloužit jako návod k sestavení reálného modelu. Na obr. 27 je ilustrační ukázka z výukové aplikace. Příslušná pedagogická dokumentace je součástí CD-ROMu.



Obr. 27 Ukázka z výukového programu.

12 Závěr

V této diplomové práci jsem se pokusil uchopit mezipředmětovou problematiku a vytvořit konkrétní oborový vztah mezi biologií a obecně informačními a komunikačními technologiemi, který by se dal uplatnit v gymnaziální výuce. Jsou zde nastíněny základy kybernetiky, teorie informace a logiky, které jsou platné napříč předměty, a využívají jednotnou terminologii i metodiku. Dále je zde charakteristika živých systémů a jejich různý popis z hlediska příbuzných vědních oborů. Konkrétní mezipředmětová problematika je pak aplikována na homeostázu lidského organismu a jeho některých regulačních mechanismů. Další kapitoly se zabývají různými možnostmi a pravidly využití modelování/simulací systémů, nastíním jiných možných mezipředmětových vztahů z biologických a technických věd, didaktickým aspektem řešené problematiky a možnostmi jejího začlenění do gymnaziální výuky.

Hlavním cílem práce bylo poukázat na fakt, že lze běžně dostupnými způsoby propojit na první pohled spolu nesouvisející oblasti, které se jinak vyučují „striktně“ odděleně, a vytvořit tak provázanost a širší vztahy mezi výukovými předměty. Z rozhovorů s učiteli a studenty při vlastní pedagogické praxi vyplynulo, že mezioborové vazby jsou sice využívány, ale převážně v úzce příbuzných výukových předmětech – což dostatečně nereflektuje reálnou životní zkušenost. Studentům pak chybí určitý přesah a nadhled, který primárně vychází z roztržitého a neuceleného poznatku. Důraz v diplomové práci byl tedy kladen hlavně na pochopení vztahů a souvislostí, z kterých se obecně v praxi vychází nejčastěji, protože umožňují studentovi jakousi univerzálnější životní a informační „pružnost“.

Diplomová práce může být výchozím materiálem pro další činnost, kterou lze realizovat např. v rámci doktorského studia. Je možné ověřit stávající výukovou aplikaci v praxi, rozšířit ji a doplnit, navrhnout nebo vyhledat další. Rovněž lze analyzovat jiné mezipředmětové vztahy v technických a přírodovědných oblastech, případně navrhnout jejich vhodné začlenění do školních vzdělávacích programů nebo učebních osnov.

Informační zdroje

1. ECK, V., RAZÍM, M. *Biokybernetika*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1996. 150 s. ISBN 80-0101445-2.
2. KOTEK, Z., VYSOCKÝ, P., ZDRÁHAL, Z. *Kybernetika*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1980. 182 s.
3. WIENER, N. *Kybernetika : neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích*. 1. vyd. V. Čihák, O. Hanš, J. Wehle, Z. Wunsch. Praha : SNTL, 1960. s. 7-8.
4. ASHBY, R. *Kybernetika*. K. Berka. 1. vyd. Praha : Orbis, 1961. 372 s. Malá moderní encyklopedie; sv. 23.
5. KITTNAR, O. et al. *Fyziologické regulace ve schématech*. A. Pokorná. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, 2000. 232 s. ISBN 80-7169-782-6.
6. NOVÁK, D. *Automatizace a kybernetika I*. 1. vyd. Praha : UK v Praze. Fakulta pedagogická, 2004. 193 s.
7. WÜNSCH, Z. et al. *Základy biokybernetiky a modelování*. 1. vyd. Praha : SPN, 1991. 189 s. ISBN 80-7066-317-0.
8. VAJDA, I. Civilizační přínos teorie informace. Akademický bulletin [online]. 1999 [cit. 2007-03-10]. Dostupný z WWW: <http://abicko.avcr.cz/bulletin_txt_show_clanek.php?Cislo=04/1999&Poradi=25>.
9. KASAL, P. et al. *Lékařská informatika*. 1. vyd. Praha : Karolinum, 1998. 543 s. ISBN 80-7184-594-9.
10. CHVÁLA, B., NEDBAL, J., DUNAY, G. *Automatizace*. 2. nezměněné vyd. Praha : SNTL, 1987. 608 s.
11. NOVÁK, J., PAVLOVKIN, J. *Automatizace a kybernetika II*. 2. nezměněné vyd. Praha : Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, 2001. 73 s. ISBN 80-7290-044-7
12. KŘENEK, M. et al. *Elektrotechnika kolem nás : pro 6. - 9. ročník základních škol*. 1. vyd. Praha : Fortuna, 1999. 120 s. Praktické činnosti. ISBN 80-7168-466-X.
13. FLEGR, J. *Evoluční biologie*. 1. vyd. Praha : Academia, 2005. 559 s. ISBN 80-200-1270-2.
14. KAUFFMAN, S. A. *The origins of order : Self-organization and selection in evolution*. 1st edition. New York : Oxford University Press, 1993. 709 s. ISBN 0-19-505811-9.
15. MARŠÍK, F., DVOŘÁK, I. *Biotermodynamika*. 2. upravené a rozšířené vyd. Praha : Academia, 1998. 270 s. ISBN 80-200-0664-8.

16. WÜNSCH, Z., NOVÁK, V. *Úvod do lékařské biokybernetiky*. 3. přeprac. vyd. Praha : SPN, 1983. 166 s.
17. PAICHL, P. *Lékařská kybernetika*. 1. vyd. Praha : SPN, 1980. 171 s.
18. PETROVICKÝ, P. *Malá neuroanatomie*. 1. vyd. Praha : Univerzita Karlova, 1993. 243 s. ISBN 80-7066-765-6.
19. WÜNSCH, Z., DOSTÁL, C., VESELÝ, A. *Základy lékařské kybernetiky*. 1. vyd. Praha : Avicenum, 1977. 496 s.
20. AV ČR. *Akademický slovník cizích slov*. 1. dotisk vyd. Praha : Academia, 2001. 834 s. ISBN 80-200-0982-5.
21. KITTNAR, O. et al. *Fyziologické regulace ve schématech*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, 2000. 232 s. ISBN 80-7169-782-6.
22. TROJAN, S. et al. *Lékařská fyziologie*. 3. doplněné a rozšířené vyd. Praha : Grada Publishing, 1999. 616 s. ISBN 80-7169-788-5.
23. Přednáškový materiál (pdf): Homeostáza-regulace-chronobiologie. *Homeostasa* [online]. 2006 [cit. 2007-03-15], s. 1-5. Dostupný z WWW: <http://www.med.muni.cz/patfyz/powerpnt/0607/9_homeostasa.pdf>.
24. Přednáškový materiál (prezentace) ČVUT FBMI (v Kladně) – „Úvod do systémů a signálů“.
25. ALBERTS, B. et al. *Základy buněčné biologie : Úvod do molekulární biologie buňky*. A. Kotyk. 1. vyd. Ústí nad Labem : Espero Publishing, 2000. 740 s. ISBN 80-902906-0-4.
26. TROJAN, S. et al. *Nárys fyziologie člověka : Sešit I. A*. 1. vyd. Praha : Karolinum, 1992. 133 s. ISBN 80-7066-684-6.
27. Regulace krevního tlaku. *Zdravcentra* [online]. 2004 [cit. 2007-03-13], s. 1-22. Dostupný z WWW: <https://www.zdravcentra.sk/cps/rde/xbcr/zcsk/KPH_1.12.pdf>.
28. KODÍČEK, M. *Biochemické pojmy : výkladový slovník* [online]. 2004 [cit. 2007-03-16]. Dostupný z WWW: <http://www.vscht.cz/eds/knihy/uid_es-002/hesla/hem.html>.
29. KÁBRT, J., CHLUMSKÁ, E. *Lékařská terminologie*. 1. vyd. Praha : SPN, 1971. 188 s. ISBN 17-202-71.
30. *Zdravotnický Informační Server* [online]. [2007] [cit. 2007-03-18]. Dostupný z WWW: <http://zis.naskok.cz/index.php/slovniky/cesko-latinsky_slovník>.
31. Pufř. *Wikipedie : Otevřená encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2007-03-18], s. 1. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pufř>>.

32. KÁLAL, J. *Aplikovaná medicína. Kapitoly lékaře pro pedagogy : 1. díl - dýchací systém*. 1. vyd. Praha : UK PedF, 2000. 78 s. ISBN 80-7290-008-0.
33. BENEDÍK, J., NOVOTNÝ, I. *Programování a kybernetika pro biology*. 1. vyd. Praha : SPN, 1983. 251 s.
34. CVRČKOVÁ, F. Jak se čtou genomy : Bioinformatika jakožto obor na pomezí biologie a exaktních věd. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 2006, roč. 51, č. 4, s. 288-300.
35. Bionika. *Wikipedie : Otevřená encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2007-03-18], s. 1. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bionika>>.
36. HILLIS, D.W. *Vzor v kameni : Jednoduché myšlenky, které řídí počítače*. Matěj Hoffmann. 1. vyd. Praha : Academia, 2003. 158 s. ISBN 80-200-1067-X.

(Bibliografické citace dle normy ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690 – 2; mimo položky č.24)

Veškeré vývojové diagramy vztahující se k fyziologickým regulacím byly převzaty a upraveny dle publikace č. 21.

Při tvorbě většiny obrazové dokumentace byl použit SW společnosti „Institute for Human and Machine Cognition“: **CmapTools v3.10** (<http://cmap.ihmc.us/>).

Internetové stránky „Principia Cybernetica Web“, z kterých jsem čerpal inspiraci pro vlastní práci jsou dostupné na: <http://pespmc1.vub.ac.be/>

3.8 INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE

Charakteristika vzdělávací oblasti

Oblast Informační a komunikační technologie na gymnáziu navazuje na stejnojmennou oblast ICT v základním vzdělávání zaměřenou na zvládnutí základní úrovně informační gramotnosti, tj. na dosažení znalostí a dovedností nezbytných k využití výpočetní techniky pro komunikaci a práci s informacemi v digitální podobě. Oblast Informačních a komunikačních technologií v gymnáziu seznamuje žáka s nově vznikajícími potřebami informační společnosti, prohlubuje jeho schopnost využívat informační technologie a informační zdroje, aplikační i výukový software s cílem dosáhnout lepší orientace v množství informací, využívat výpočetní techniku při řešení úloh, k přípravě na vyučování a k dalšímu vzdělávání, a má tak usnadnit a zefektivnit transformaci dosažených poznatků v systematicky uspořádané vědomosti. Výpočetní technika a moderní technologie zkvalitňují a urychlují dostupnost časově i prostorově rozptýlených informací a umožňují získané informace dále obsahově i graficky tvořivým způsobem zpracovávat. Usnadňují komunikaci mezi jednotlivci a institucemi a zvyšují dostupnost vzdělávání žákům.

Cílové zaměření vzdělávací oblasti

Vzdělávání v dané vzdělávací oblasti směřuje k utváření a rozvíjení klíčových kompetencí tím, že vede žáka k:

- porozumění jazyku používajícím ikony a piktogramy
- využívání moderních informačních technologií (on-line vzdělávání, spolupráce na zahraničních projektech) ke vzdělávání
- vytváření pozitivních postojů k potřebám informační společnosti
- uvědomění si a respektování negativních vlivů moderních informačních a komunikačních technologií na společnost a na zdraví člověka
- tvořivé využívání spektra možností komunikačních technologií a jejich kombinací k rychlé a efektivní komunikaci
- získávání údajů z většího počtu alternativních zdrojů a k odlišování informačních zdrojů věrohodných a kvalitních od nespolehlivých a nekvalitních
- poznání nejdůležitějších zákonů a norem týkajících se práce s informacemi a výpočetní techniky, respektování duševního vlastnictví, copyrightu, zásad správného citování článků a publikací přečtených autorů
- využívání výpočetní techniky ke zvýšení efektivity své činnosti, k dokonalejší organizaci práce a k týmové spolupráci na úrovni školní, republikové a mezinárodní
- prezentování výsledků své práce s využitím softwarových a hardwarových prostředků

Vzdělávací obsah

INFORMAČNÍ GRAMOTNOST V PROCESU VZDĚLÁVÁNÍ

Očekávané výstupy

žák

- ☉ *uplatňuje základní zákonitosti světa informací*
- ☉ *využívá a propojuje znalosti a dovednosti počítačové, funkční a informační gramotnosti*
- ☉ *teoreticky porovná informační procesy v mechanických, počítačových a biologických systémech*

- ⌚ *respektuje potřeby informační společnosti a její požadavky v oblasti informační gramotnosti*
- ⌚ *posuzuje tvůrčím způsobem relevanci a věrohodnost informačních zdrojů a informací*
- ⌚ *využívá nabídku informačních a vzdělávacích portálů, webblogů, encyklopedií, knihoven, databází a výukových programů*
- ⌚ *využívá k získání informací a kontaktů možnosti komunikace v celosvětové síti*
- ⌚ *využívá v případě potřeby interaktivní distanční a jiné formy vzdělávání*
- ⌚ *respektuje při využívání informačních technologií právní normy související s ochranou duševního vlastnictví*

Učivo

- **terminologie světa informací** (informační věda, algoritmizace, informace, poznatek, znalost, virtuální realita, síť)
- **informační zdroje pro vzdělávání** (informační instituce, databáze, internet)
- **relevance a kvalita informačního zdroje** (stárnutí, životnost, rozptyl informací, impaktový faktor, pravdivostní hodnota informací)
- **ochrana autorských práv včetně počítačových programů, zákon o právu autorském**

KOMUNIKACE, ZPRACOVÁNÍ A PREZENTACE INFORMACÍ

Očekávané výstupy

žák

- ⌚ *transformuje informace z libovolného média do elektronické podoby a dále je zpracovává*
- ⌚ *prezentuje výsledky své práce s využitím speciálních softwarových a multimediálních programů*
- ⌚ *využívá informační a komunikační služby v souladu se stávajícími etickými, estetickými a legislativními požadavky*

Učivo

- **principy práce počítače a jeho periférií, operační systémy, bezpečnost práce s výpočetní technikou**
- **aplikační software pro práci s informacemi, grafická a typografická úprava dokumentu**
- **digitalizace, vizualizace a prezentace informací, publikování na webu**
- **sdílení odborných informací** (diskusní skupiny, elektronické konference)
- **informační ekologie, hygiena, etika a legislativa**

**POČÁTKY KYBERNETIKY A JEJÍHO PRONIKÁNÍ DO
BIOMEDICÍNSKÉ OBLASTI U NÁS**

Zdeněk Wünsch
Fyziologický ústav I. lékařské fakulty Univerzity Karlovy

Článek je převzat ze Sborníku lékařského, Vol. 99 (1998), No. 4, p.387-395. Jedná se o doplněný a upravený překlad přednášky "Medical Cybernetics and Informatics - the First Steps", přednesené na symposiu Computers in Medicine v Praze, 2. ledna 1998. Část textu byla použita i pro článek v Čs. Fyziol. (48) 3, p.122-6, 1988.

SOUHRN: *V polovině padesátých let bylo v tehdejším Československu nejvýše pár desítek jedinců, kteří věřili v budoucnost počítačů a kybernetiky. Poté, na začátku šedesátých let, se ustavila při ČSAV Československá kybernetická společnost a na Ministerstvu zdravotnictví také Hlavní problémová komise pro lékařskou kybernetiku (1962). V druhé polovině šedesátých let bylo započato pokusně s výukou lékařské kybernetiky a biokybernetiky na pražské lékařské fakultě. Rostoucí zájem o tuto problematiku vedl od poloviny sedmdesátých let k organizování odborných konferencí, z nichž některé se staly periodickými. Zúčastňovali se jich i hosté ze zahraničí. Je zachyceno bohaté spektrum všech aktivit, jež svou cílevědomostí v podmínkách ne právě vždy příznivých, vytvářely předpoklady pro úspěšný rozvoj těchto disciplín v budoucnu.*

V roce 1999 uběhlo 50 let od prvního vydání knihy Norberta Wienera *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* [1]. Dnes snadno akceptujeme další perspektivy všestranného vývoje např. informatiky (která je v současnosti jednou z nejaktivnějších odnoží kybernetiky), avšak již jen velmi obtížně si uvědomujeme onu myšlenkovou a technickou vzdálenost, která nás dělí od padesátých let. Lze vést diskuse o nejhodnější definici kybernetiky, ale mimo diskusi je dopad komunikaci poznatků, problémů i jejich řešení mezi různými oblastmi matematiky, techniky, biologických i jiných dalších věd. Efektivnost tohoto působení lze přisuzovat také tomu, že se kybernetika zrodila právě v době, kdy některé vědecké a technické problémy začínaly nabývat nových obrysů a jejich prolnutí na platformě kybernetiky otevřelo nové možnosti jejich zvládnutí. Např. základní problémy medicíny a zdravotnické péče, které se snaží řešit současná lékařská informatika, byly zřejmě nebo alespoň tušené již před érou počítačů. Jako příklad z jiné tematické oblasti lze uvést Laufbergerovu Vzruchovou teorii, která vyšla v roce 1947 [2] a byla pokusem o formalizaci procesů v nervovém systému; je příbuzná modelů neuronových sítí, které také patřily ke konstitutivním prvkům výchozích koncepcí kybernetiky.

Počítače a způsob myšlení, který byl evokován kybernetikou, otevřely v padesátých letech nové perspektivy možných řešení pro řadu dosud dřímajících otázek. V té době byla v naší zemi pouze malá skupina jednotlivců, kteří měli koncepční a teoretickou vizi budoucnosti a byli tak schopni předvídat mnohé z toho, co je dnes samozřejmou realitou. Myslím tím naše současné počítače, možnosti jejich využití a také naše způsoby myšlení o těchto věcech. Tito lidé byli přesvědčeni o tom, že mohou přispět k realizaci svých futurologických vizí - a je patrné, že mnozí i uspěli. Ovšem v padesátých letech většina veřejnosti pohlížela na tyto vize - v lepším případě - jako na čirou sci-fi. V našich podmínkách byla tato situace složitější o ideologickou kritiku, neboť kybernetika byla označována za buržoazní pavědu; to se postupně měnilo až na zlomu padesátých a šedesátých let.

Byly ovšem také oblasti příznivých podmínek. V roce 1950 bylo započato s konstrukcí prvního číslicového počítače v této zemi, který byl nazván SAPO, tj. SAMočinný POčítač.

Byl to pravděpodobně první počítač na světě, který byl koncipován jako odolný proti poruchám (fault-tolerant). Počítač SAPO byl konstruován pod vedením profesora Antonína Svobody, který se v roce 1946 vrátil z USA, kde předtím velmi úspěšně vedl vývoj mechanických počítačích zařízení v MIT Radiation Laboratoře A pak zde byla kniha Norberta Wienera *Cybernetics* (český překlad O. Hanše, J. Wehleho a Z. Wünsche vyšel v roce 1960 [3]), která cirkulovala v jedné nebo jen několika kopiích mezi jedinci různých profesí. Kybernetika provokovala řadu různých otázek a to stimulovalo jinou významnou osobnost, matematika Antonína Špačka, aby zorganizoval několik setkání zájemců o tuto novou problematiku. Špaček v té době vedl pracovní skupinu, která se zaměřila na problematiku teorie informace, statistických rozhodovacích funkcí a stochastických procesů. Zemřel však záhy, v roce 1961.

Avšak ještě v roce 1956, po jednom z takových setkání, pokračovala skupinka účastníků v diskusi v mé laboratoři na psychiatrické klinice, a to byl začátek dlouhé série dalších schůzek skupiny, označované někdy jako kybernetický kroužek. Odtud také později vycházela iniciativa k vytvoření Komise pro kybernetiku při ČSAV, která se počátkem šedesátých let přeměnila na Československou kybernetickou společnost při ČSAV. Kybernetického kroužku na psychiatrické klinice se zúčastňovali počítačovní odborníci (A. Svoboda a někteří jeho spolupracovníci; většina z nich unikla do ciziny v letech 1964 a 1965), matematici, filozofové, lékaři, psychologové a fyziologové. Není zde místo, abych vyjmenoval a představil všechny, neboť chci pouze naznačit prostředí ve kterém se diskutovali možnosti a projekty pro blízkou i vzdálenější budoucnost počítačů a teoretických nástrojů, které sebou přinesla kybernetika. Nemohu ovšem nevzpomenout jednoho z pravidelných účastníků kroužku, Antonína Svobodu. Excerptum několika bodů z jeho životního kurikula přiblíží alespoň něco z jeho přínosu k atmosféře kybernetického kroužku (výňatek z materiálu [4]).

Antonín Svoboda (1907-1980), hlavní architekt nejméně 20 velmi originálních počítačových systémů.

- 1943-46: člen Radiation Laboratory of MIT (vyvinul metodologii návrhů výpočetních mechanismů, aplikoval ji při návrhu analogového počítače, který se stal součástí protiletectvého obranného systému MARK56, publikoval např. originální knihu *Computing Mechanisms and Linkages*),
- 1950-56: navrhl a řídil konstrukci prvního českého počítače SAPO,
- 1958-64: konstrukce druhého samočinného počítače EPOS I a zahájení projektu EPOS2,
- 1964: podařilo se mu odejít m hranice a emigrovat do USA,
- 1965: vědecký pracovník v General Electric Co. Research Center,
- 1966-77: profesor na UCLA v oboru Computer Science.

Hlavní přínos v oblastech: Architektura a návrhy počítačů (počítačová aritmetika, odolnost proti chybám, sdílení času a multiprogramování, zřetězené zpracování, paralelní zpracování informací), metodologie návrhu počítačů (mechanické spojky, metody logických návrhů, automatizace návrhů počítačů) atd.

V oněch dobách působila kybernetika jako rozbuška, neboť rušila bariéry mezi různými vědními obory. Vnímali jsme to jako otvírání nových horizontů vědeckého poznání, jako nové prostory teoretických a technických možností, které mohou přinést plodné podněty myšlení. Vzhledem k politickým poměrům té doby měla zasedání kybernetického kroužku v počátečním období poněkud konspirativní charakter a bylo zde možno otevřeně diskutovat jakékoli ideje. Setkám často probíhala jako svého druhu brain storming a učili jsme se od sebe navzájem. Nepochybně byla tato vzájemná interakce idejí, názorů a poznatků velmi důležitá (což nepřekvapuje, neboť takové interakce patří k tradici

kybernetiky - viz předmluvu k Wienerově knize *Cybernetics*). V jiných souvislostech, v jednom článku z roku 1980 o historii počítačů [5] A. Svoboda vzpomíná:

Prof. H. Aiken, prof. V. Bush a prof. Caldwelli pracovali velmi blízko mne. V té době jsem se s nimi stýkal, diskutoval s nimi o problémech a přirozeně se učil. To je ten bod, který chci zdůraznit, že my všichni - a jsem rád, že to mohu říci - se můžeme od někoho učit. A exploze v oblasti vědy, jejímiž jsme svědky, je důsledkem skutečnosti, že toto učení se uskutečňovalo.

Potud A. Svoboda. Uvedený citát snad pomůže přiblížit i atmosféru tehdejších dní a to, co jsme pociťovali při setkáních kybernetického kroužku. Bylo vzrušující vstupovat do oblastí bílých míst na mapě věd a bylo to dobrodružství. A ovšem měli jsme také to štěstí, že jsme se mohli v Praze osobně setkat a diskutovat s N. Wienerem, A. N. Kolmogorovem a L. von Bertalanffym.

Takový byl intelektuální kontext na konci padesátých a na začátku šedesátých let. Na jedné straně se otevřel široký prostor témat organizace biologických procesů a jejich informačních aspektů - metabolickými systémy buňky počínaje až po problematiku psychických schopností - do kterého bylo možno vstupovat s novou metodologickou výzbrojí. Tato oblast, kterou zastřešuje termín biokybernetika, zahrnovala od začátku např. problematiku regulačních systémů organismu, funkčních vlastností nervové soustavy a ovšem také (tehdy ještě jen perspektivně) využití počítačových modelů jako nové metody vědeckého experimentu a poznání. Lékaři, kteří byli členy kybernetického kroužku, si velmi silně uvědomovali zaprášené a ladem ležící archivy klinických chorobopisů, problémy se sběrem a ukládáním relevantních dat o pacientech a zdravotnické péči, s organizací provozu nemocničních zařízení apod. Takový materiál skutečných problémů byl ovšem také zajímavý pro ty, kteří se ohlíželi po aplikaci svých teoretických a matematických metod. V této souvislosti je třeba připomenout jednoho z dalších pravidelných účastníků schůzek kybernetického kroužku matematika Alberta Pereze. A. Perez byl později dlouholetým předsedou Československé kybernetické společnosti a jeho charakteristickou tvář i jeho původ vystihuje karikatura z té doby. Je odborníkem v oblasti teorie informace a zabýval se - mimo jiné - aplikacemi informačně-teoretických metod v medicínských rozhodovacích procesech.

Tematika strojového zpracování medicínských dat byla v té době zaměřena na otázky diagnostiky s podporou počítače a na metody výběru podstatných informací pro lékařské rozhodování. V padesátých letech šlo ovšem především o demonstrace principů a použitelnosti a teoretické experimentování s možnostmi různých aplikací. Koncem padesátých let se začaly v zahraničních žurnálech objevovat články o aplikacích počítačem podporované diagnostiky a s odstupem se domnívám, že to byla tato tematika celý ten balík problémů informace v lékařské a zdravotnické péči.

Praktická aplikace výchozích, pouze teoretických koncepcí ovšem vyžadovala, aby účastníci kroužku entuziastů vystoupili z izolace a pokoušeli se infikovat zájmem biomedicínskou veřejnost a ovlivňovat nadřízené orgány - což vyžadovalo organizační směr bylo vytvoření Problémové komise pro lékařskou kybernetiku při Vědecké radě Ministerstva zdravotnictví (VR MZd) v roce 1961, která po roční činnosti byla transformována na Hlavní problémovou komisi pro lékařskou kybernetiku při VR MZd (dále jen HPK LK). Byl jsem předsedou těchto komisí po dobu jejich existence a v této souvislosti musím vzpomenout bývalého přednosty III. interní kliniky Lékařské fakulty Univerzity Karlovy (LF UK) v Praze, profesora J. Charváta, který v té době byl vlivným členem VR MZd. Byl také prvním, který kolem roku 1950 napsal do Biologických Listů projekt práce komise. Projekt byl přijat.

V oněch nepříliš příznivých dobách prvotních snah a pokusů jsme měli podporu u trojice velmi vážených mužů, a těmi byli již zmíněný profesor Charvát a profesor Svoboda a dále profesor Vondráček, tehdejší přednosta psychiatrické kliniky LF v Praze. Nebyla to náhoda, neboť tito pánové se v soukromí pravidelně scházeli. Díky prof. Ví. Vondráčkovi se mohl kybernetický kroužek brzy po svém vzniku scházet v knihovně kliniky, namísto v mé, mnohem méně komfortní, laboratoři. Dnes je třeba připomenout, že v padesátých letech nebylo vůbec samozřejmé, aby se skupina okolo deseti osob pravidelně a v podstatě tajně scházela bez souhlasu nějakých orgánů a navíc k diskusím tak ideologicky problematickým.

HPK LK, která vznikla až po tomto období, měla za úkol navrhovat výzkumné programy v daných problémových oblastech, koordinovat jejich řešení, hodnotit a oponovat dosažené výsledky a informovat o nich lékařskou veřejnost. Měla také pověření kooperovat s jinými problémovými komisemi rezortního výzkumného plánu, což umožňovalo - mimo jiné - přístup k širší medicínské a zdravotnické problematice. V prvním přiblížení lze komisi koordinované výzkumné úkoly zařadit do dvou tématických okruhů. Jeden okruh tvořily problémy analýzy a řízení subsystémů organismu a lze jej označit jako tematiku teoretické a aplikované biokybemetiky. Tematiku druhé části bychom dnes nazvali lékařská a zdravotnická informatika. Programy této části sestávaly z výzkumných rozhodovacích procesů, sběru dat a jejich standardizace, problematiky lékařských protokolů apod. Je třeba si uvědomit, že v té době, tj. na začátku šedesátých let nikdo, kdo se pokoušel řešit takové problémy, neměl ani počítač ani technické prostředky pro experimentů a studií, využívajících lidskou sílu s papírem a tužkou. Mnoho práce šedesátých let se tato situace začala postupně měnit. Bylo možno sehnat strojový čas ze známosti, za peníze nebo v rámci nějaké spolupráce. V roce 1967 HPK LK iniciovala vytvoření pracovní skupiny, sestávající z expertů různých profesí - lékařů, inženýrů, ekonomů - která vypracovala a předložila Vědecké radě Ministerstva zdravotnictví podrobný projekt na postupné vybudování komplexního zdravotnického informačního systému s celostátní působností (tzv. ZIS). Tento projekt byl v roce 1969 nadřízenými zesnulého Ing. Milana Kotvu, přednostu Oborové hybridní výpočetní laboratoře v Praze, až do roku 1993, kdy zemřel, organizoval vědecké programy a konference v oboru simulace systémů v biologii a medicíně.

V šedesátých letech využívala HPK LK svých oficiálních možností k organizování seminářů a také ke kontaktům s firmami IBM a ICL, které poskytovaly jinak obtížně dostupné informace o počítačích v zahraničí a o jejich využívání v nemocnicích a laboratořích. V polovině šedesátých let vznikla v rámci Výzkumné laboratoře psychiatrické pracovní skupina kybernetiky, která mj. zajišťovala výpočetní servis pro pracoviště fakulty, a která v roce 1970 přešla na Fyziologický ústav jako základ Biokybemetického oddělení. Okolo roku 1966 byly zahájeny na Fyziologickém ústavu LF UK v Praze - nejprve na zkoušku - přednášky pro mediky s tematikou lékařské kybernetiky a biokybemetiky a později i na LF v Hradci Králové a v Plzni. Období, které skončilo zmrazením projektu ZIS, je možno považovat za období prvních kroků.

HPK LK však pokračovala ve své činnosti až do roku 1990, kdy skončil rezortní plán MZd. V letech po zastavení projektu ZIS zájem o tematiku lékařské a zdravotnické informatiky pokračoval v růstu již proto, že postupně - byť pomalu - vznikala nová zdravotnická pracoviště s dostupnou výpočetní technikou, zčásti dotovaná ze státního plánu výzkumu. Problematika lékařské kybernetiky postupně diferencovala na medicínskou informatiku, simulaci systémů v biologii a medicíně a zpracování biosignálu. Tyto tématické okruhy nebyly ovšem principiálně separované, ale měly poněkud odlišné organizační zázemí. Rostoucí zájem o tyto tématické oblasti umožnil, aby přibližně od poloviny sedmdesátých

let byly konány celostátní konference, z nichž některé, např. VPLZ (Využití počítačů v lékařství a zdravotnictví) a SiSy BM (Simulace Systémů v Biologii a Medicíně) byly konány pravidelně a opakovaně i s mezinárodní účastí. Avšak byla i řada jiných významných konferencí, např. BMI 83 (Konference Biomedicínského Inženýrství 1983), konference Computer-aided Medical Decision-making 1985, opakované konference Biosignálu aj. Celé spektrum podobných aktivit nelze zde ani v přehledu uvést a zhodnotit jeho význam.

Literatura:

- [1] Wiener N.: Cybematics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Wiley, New York 1948.
- [2] Laufberger V.: Vzruchová teorie. Nákladem Spolku českých lékařů v Praze 1947.
- [3] Wiener N.: Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích. SNTL, Praha 1960.
- [4] Klir G. J.: Pokus o rekonstrukci přínosu Antonína Svobody k vědě a technologii 20. století. Separát textu předneseného 3. 11. 1994, ČSKI a FEL ČVUT, Praha 1994.
- [5] Svoboda A.: From Mechanical Linkages to Electronic Computers: Recollections from Czechoslovakia. IEEE 1980.

Česká společnost pro kybernetiku a informatiku (ČSKI). Dostupné na Internetu: <http://www.cski.cz/main.php?id=01.01.06.00> > [cit. 2. března 2007]

Příloha č. 3 – Třídění systémů

Třídění systémů (dle Bouldinga)

Třída	Název třídy	Typ systému	Typicky nové vlastnosti
1	statická struktura	strukturní vzorec chemické látky	
2	mechanický systém	hodinový stroj	dynam. a determinist. pohyb
3	kybernetický systém	homeostat. regulátor, regulační obvod	zpětná vazba, přenos a zprac. infor.
4	otevřený systém	buňka	látková výměna, samoreprodukce
5	genetický systém	rostlina	diferenciace, dělb práce, vývoj v čase
6	zoologický systém	zvíře	mobilita, cílové chování, představy
7	systém lidského jedince	člověk	vědomí, vytváření smybolů
8	sociální systém	podnik, město	vytváření rolí, systém hodnot
9	transcendentní systém	bůh	nepoznatelnost

(Převzato z přednáškového materiálu ČVUT FBMI – „Úvod do systémů a signálů“) (23)

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra informačních technologií a technické výchovy

Školní rok 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro: Lapeš Jakub

Obor: Učitelství pro 2. st. ZŠ a SŠ (biologie - technická a informační výchova)

Název tématu: **Homeostáza člověka z pohledu kybernetiky a modelování vybraných témat ve výuce**

Pokyny pro vypracování:

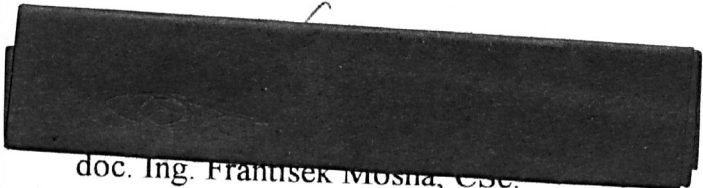
- Prostudujte informační zdroje věnované biokybernetice a koncepcím regulace v biologických vědách. Pozornost přitom věnujte zejména problematice homeostázy člověka a vytváření příslušných biokybernetických modelů regulačních systémů lidského organismu.
- Vytvořte program pro výuku zaměřený na modelování vybraných biologických regulačních obvodů a zpracujte k němu příslušnou pedagogickou dokumentaci.

Vedoucí diplomové práce: doc. Mgr. Ing. Daniel Novák, CSc.

Minimální rozsah diplomové práce: 60 stran

Datum zadání diplomové práce: 7.11.2005

Předběžný termín odevzdání diplomové práce: 30.4.2007


doc. Ing. František Mošna, CSc.
vedoucí katedry ITTV