

ÚSTŘEDNÍ KOMISE BIOLOGICKÉ OLYMPIÁDY

**BIOLOGICKÁ OLYMPIÁDA**

1996-1997

31. ročník

**VÝŽIVA A POTRAVNÍ VZTAHY ORGANISMŮ**

Přípravný text pro kategorie A, B

Michal ANDREAS

Michal BÍLÝ

Jan ČERNÝ

Alice EXNEROVÁ

Jiří GABRIEL

Lenka KRATZEROVÁ

Radka PICHLOVÁ

Antonín REITER

Zuzana STORCHOVÁ

Jana ŠKORNIČKOVÁ



Institut dětí a mládeže  
Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR  
Praha 1996

## OBSAH

### I. Metabolismus

- I.1. Dělení organismů podle typu metabolismu
- I.2. ATP - energetické plátidlo v buňce
- I.3. Krebsův cyklus
- I.4. Dýchací řetězec
- I.5. Metabolismus sacharidů
  - I.5.1. Typy sacharidů*
  - I.5.2. Glykolýza*
  - I.5.3. Přeměna pyruvátu na acetyl-CoA*
- I.6. Metabolismus lipidů
  - I.6.1. Složení a význam lipidů*
  - I.6.2.  $\beta$  - oxidace*
- I.7. Metabolismus bílkovin
- I.8. Fotosyntéza

### II. Výživa mikroorganismů

- II.1. Úvod
- II.2. Viry
- II.3. Bakterie
- II.4. Kvasinky a houby

### III. Výživa hub

- III.1. Úvod
- III.2. Nároky na růst hub
- III.3. Houby terestrické
- III.4. Houby dřevokazné
- III.5. Houby symbiotické
- III.6. Houby parazitující na zelených rostlinách
- III.7. Houby parazitující na jiných houbách
- III.8. Houby parazitující na živočiších
- III.9. Laboratorní kultivace hub

### IV. Výživa rostlin

- IV.1. Úvod
- IV.2. Výživa řas a mechorostů
- IV.3. C3 - rostliny
- IV.4. C4 - rostliny
- IV.5. CAM - rostliny
- IV.6. Minerální výživa
- IV.7. Transport živin
- IV.8. Mimokořenová výživa
- IV.9. Biogenní prvky
- IV.10. Heterotrofie u rostlin

## V. Výživa bezobratlých

### V.1. Prvoci (*Protozoa*)

### V.2. Mnohobuněční (*Metazoa*)

- V.2.1. Houby (*Porifera*)
- V.2.2. Žahavci (*Cnidaria*)
- V.2.3. Ploštěnci (*Plathelminthes*)
- V.2.4. Hlísti (*Nemathelminthes*)
- V.2.5. Kroužkovci (*Annelida*)
- V.2.6. Měkkýši (*Mollusca*)
- V.2.7. Chapadlovci (*Tentaculata*)
- V.2.8. Ostnokožci (*Echinodermata*)
- V.2.9. Členovci (*Arthropoda*)
  - V.2.9.1. Klepátkatci (*Chelicerata*)
  - V.2.9.2. Korýši (*Crustacea*)
  - V.2.9.3. Vzdušnicovci (*Tracheata*)

## VI. Výživa obratlovců

- VI.1. Obecný úvod
- VI.2. Míhulovci (*Petromyzontes*)
- VI.3. Ryby (*Osteichthyes*)
- VI.4. Obojživelníci (*Amphibia*)
- VI.5. Plazi (*Reptilia*)
- VI.6. Ptáci (*Aves*)
- VI.7. Savci (*Mammalia*)

## VII. Teorie optimální potravní strategie

## VIII. Potrava z ekologického hlediska

- VIII.1. Koloběh látek
- VIII.2. Tok energie
- VIII.3. Producenti, primární produkce
- VIII.4. Konzumenti, sekundární produkce
- VIII.5. Rozdíly mezi teplokrevnými a studenokrevnými organismy
- VIII.6. Trofická úroveň
- VIII.7. Potravní řetězec, potravní síť
- VIII.8. Potravní nika
- VIII.9. Potravní vztahy mezi organismy
  - VIII.9.1. *Predace*
    - VIII.9.1.1. *Predace a predátor*
    - VIII.9.1.2. *Adaptace kořisti na působení predace, reakce predátorů*
    - VIII.9.1.3. *Vliv predace na populaci kořisti*
    - VIII.9.1.4. *Vliv predace na složení společenstva*
  - VIII.9.2. *Kompetice*
  - VIII.9.3. *Mutualismus*
  - VIII.9.4. *Komenzalizmus*

## IX. Použitá a doporučená literatura

## SLOVO ÚVODEM

Tato brožurka pojednává o „výživě a potravních vztazích organismů“, tedy o tématu velmi širokém, které prochází napříč téměř všemi biologickými disciplínami. To nám může pomoci při pochopení komplexity a propojenosti biologických věd, což je důležité zvláště nyní, kdy s prohlubujícími se znalostmi v dílčích oborech biologie dochází k úzké specializaci a ztrátě syntetického pohledu na studovanou problematiku.

V úvodní kapitole máte možnost seznámit se s molekulární a biochemickou podstatou metabolismu. Rozsah této publikace nám neumožňuje vše beze zbytku vysvětlit a použít podrobnější a názornější schemata Proto pro úplné pochopení doporučujeme nahlédnout i do některé z knih, jež jsou uvedeny v seznamu použité a doporučené literatury (což ostatně platí pro zájemce o bližší informace k tematice kterékoliv z kapitol). Doufáme, že úvodní část nebude příliš těžká pro mladší ročníky, které se ještě ve škole nesetkaly s biochemií, snažili jsme se však zároveň, aby přinesla něco zajímavého i pro ty studenty, kteří se již touto problematikou v hodinách chemie či biologie zabývali.

V dalších kapitolách podáváme přehled o tom jak si svou výživu opatřují zástupci jednotlivých systematických skupin. Vystává tak před námi celá škála nejrozličnějších fyziologických, morfologických či eko-etologických adaptací, které mají svému nositeli umožnit efektivnější získávání a zpracování živin a energie pro jeho život a reprodukci.

Schopnost opatřit si živiny a energii pro život patří mezi nejdůležitější vlastnosti živých organismů. Proto se potravní podmínky tak jasně promítají jak do fyziologie, morfologie a chování organismů, tak i do vztahů v ekosystému - o čemž pojednává ekologická kapitola.

Doufáme, že tato brožurka Vám přinese nové a zajímavé poznatky, které prohloubí Vaše znalosti biologie i Váš zájem o tuto vědní disciplínu.

Autoři

# Výživa a potravní vztahy organismů

## I. Metabolismus

Vyslovíme-li pojmy výživa či metabolismus, leckdo si představí vypasené morče chroupající zelí nebo mladšího sourozence při snídani. Vyživovat se však musí nejen živočichové, ale i veškeré rostliny a mikroorganismy. Každá buňka musí udržovat v chodu svůj vlastní **metabolismus** neboli **látkovou přeměnu**.

Metabolismus je souhrnný název pro řadu složitých chemických reakcí, které můžeme rozdělit na dvě protichůdné složky: **katabolismus** a **anabolismus**. Při katabolických dějích se složité organické látky rozkládají na omezený počet látek jednodušších a současně vzniká energie, kterou pak buňka dále využívá. Při anabolických dějích se naopak z jednoduchých základních stavebních kamenů tvoří široká škála složitých molekul, ze kterých je vystavěna celá buňka. Tento děj energii přirozeně spotřebovává.

V následujících kapitolách se blíže seznámíme s nejdůležitějšími chemickými reakcemi typickými pro buněčný metabolismus a také si něco povíme o látkách, které do tohoto procesu vstupují nebo jsou jeho produkty.

### I. 1. DĚLENÍ ORGANISMŮ PODLE TYPU METABOLISMU

Podle zdroje uhlíku můžeme rozdělit všechny organismy na **autotrofy** a **heterotrofy**. Autotrofové využívají uhlík z  $\text{CO}_2$ , kdežto heterotrofové jej získávají z organických molekul.

**Autotrofy** dále rozdělujeme na dvě skupiny:

**Fotolitotrofy**, pro které je zdrojem energie sluneční záření a zdrojem uhlíku  $\text{CO}_2$ . Jsou to např. sinice, většina řas nebo buňky rostlin obsahující chloroplasty.

**Chemolitotrofy**, kteří získávají energii oxidací anorganických látek a uhlík si berou z  $\text{CO}_2$ . Příkladem jsou metanové, vodíkové, železité nebo sírné bakterie.

Také **skupinu heterotrofů** lze členit podle stejného principu.

**Fotoorganotrofové** mají jako zdroj energie sluneční záření, zdrojem uhlíku jsou pro ně organické sloučeniny. Do této skupiny náleží např. purpurové nesírné bakterie.

**Chemoorganotrofové** využívají energii získanou oxidací organických sloučenin, jako zdroj uhlíku slouží opět organické sloučeniny. Do této skupiny patří živočichové, některé bakterie, ale i nefotosyntetizující buňky rostlin. V této souvislosti je asi vhodné připomenout, že rostlinné buňky s chloroplasty se ve tmě také vyživují chemoorganotrofně, t.j. zdrojem energie i uhlíku jsou pro ně organické látky, které za světla vyprodukovaly.

Dalším důležitým hlediskem, podle kterého je možné organismy dělit a které úzce souvisí s buněčným metabolismem, je vztah organismů ke **kyslíku**.

**Aerobní organismy** ke svému životu nezbytně potřebují přijímat molekulární kyslík (vzdušný nebo rozpuštěný ve vodě). Přenášejí na něj totiž elektrony v procesu získávání energie (viz. kapitola I. 4. Dýchací řetězec).

**Anaerobní organismy** žijí v prostředí bez kyslíku. Při získávání energie předávají elektrony na jiné anorganické sloučeniny (např. sírany, dusičnany) nebo i na

sloučeniny organické (např. karboxylové kyseliny). **Striktní (obligátní) anaerobové** za přítomnosti kyslíku hynou, kyslík na ně působí jako jed.

Kromě toho existují i **fakultativní (příležitostní) anaerobové**, kteří se v nouzi mohou na nějakou dobu bez kyslíku obejít. V anaerobních podmínkách mohou po určitou dobu přežívat i buňky lidského těla, neboť při větší tělesné námaze nestihne krev přinášet svalům dostatek kyslíku. Svalové buňky pak vyrábějí energii bez kyslíku (anaerobně), neúplně „spalují“ glukózu, čímž vzniká laktát (kys. mléčná), který způsobuje svalovou únavu a bolest. Tento tzv. kyslíkový dluh je poté vyrovnán v klidu, kdy má organismus dostatek kyslíku a metabolismus aerobní drahou laktát odstraní a dokončí oxidaci.

### I. 2. ATP - ENERGETICKÉ PLATIDLO V BUŇCE

Víme, že v neživé přírodě se vše uspořádané přeměňuje na méně uspořádané a neuspořádané. Buňka jakožto velmi složitý a vysoce uspořádaný útvar musí tedy vynaložit velké úsilí (mnoho energie) na to, aby této přeměně odolala. Je to podobné, jako když někdo neinvestuje energii, čas a peníze do oprav domu, ten také postupně ztrácí svoji uspořádanost a samovolně se rozpadá. Kromě energie nutné na opravu poškozených částí a udržení uspořádanosti buňka využívá energii též pro udržení vlastností, které ji odlišují od neživých objektů (např. dráždivost, pohyb, schopnost rozmnožovat se). Má-li buňka takto vysokou denní spotřebu energie, je pro ni nezbytně nutné, aby bylo určité množství energie neustále připraveno k okamžitému použití. Nestačí mít uložené zásoby jen v podobě zásobních látek jako jsou např. škrob nebo tuky, které jsou pomalu a těžko dostupné, ale je třeba mít část energie v „pohotovostní formě“. Tuto „pohotovostní“ energii buňky skladují v tzv. makroergických (na energii bohatých) sloučeninách. Nejvýznamnější z nich je **adenosintrifosfát (ATP)**. Molekula ATP se skládá z adeninu (t.j. báze, která se běžně vyskytuje v DNA a RNA), pětiuhlíkatého cukru ribosy a tří zbytků kyseliny fosforečné. Právě vazby mezi těmito fosfátovými skupinami obsahují velké množství energie - jsou to tzv. **makroergické vazby**. Při jejich rozštěpení se uvolní energie, kterou buňka může dále využít. Po odštěpení jednoho fosfátového zbytku z ATP vznikne **adenosindifosfát (ADP)**, po odštěpení druhého fosfátu zůstane **adenosimonofosfát (AMP)**. Maximální množství energie uvolněné štěpením makroergické vazby je vždy stejné a nemůže se měnit. Pokud buňka potřebuje pro nějakou chemickou reakci energie méně, musí nechat zbytek uvolněné energie „utéct do okolí“, aniž by ho využila. V případě, že buňka naopak potřebuje na reakci energie vícem, než se uvolní z jedné makroergické vazby, musí ji rozložit do několika kroků s nižší energetickou spotřebou.

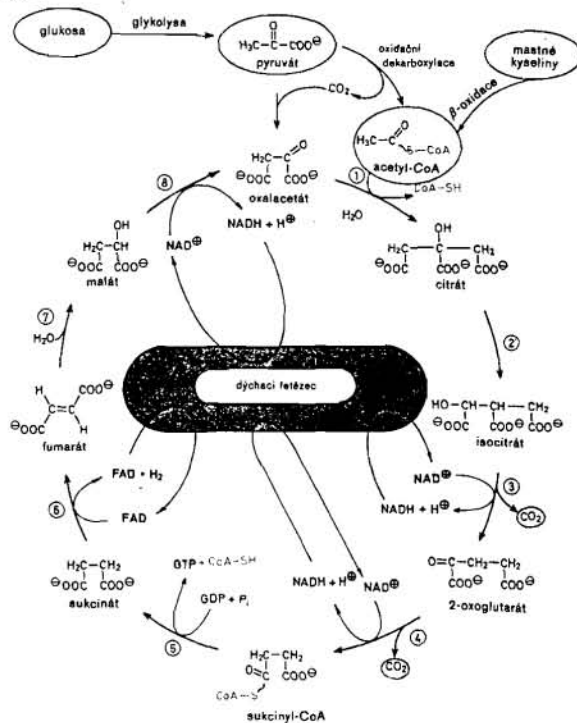
V mnohobuněčném organismu si mohou buňky vzájemně předávat energeticky bohaté látky jako jsou cukry, ale nemohou si vypomáhat „půjčováním“ ATP. Tuto molekulu si musí každá buňka nasyntetizovat v dostatečném množství sama. Jedinou výjimkou jsou mykoplazmy, nejjednodušší bakterie, které postrádají některé dráhy energetického metabolismu a jsou tudíž nuceny získávat ATP z hostitelské buňky. Rychlost výroby a spotřeby ATP je ohromující. Např. průměrně pracující dospělý člověk během jediného dne vyrobí a ihned zase spotřebuje téměř 74 kg ATP.

Je tedy zřejmé, že ATP má pro všechny živé buňky zásadní význam. V následujících kapitolách se budeme společně zabývat tím, jak buňka dokáže ze zásobních látek, jako jsou tuky či škrob, vyrobit tolik potřebné ATP.

### I. 3. KREBSŮV CYKLUS

Krebsův cyklus, nazývaný též citrátový cyklus nebo cyklus tříuhlíkatých kyselin, byl popsán sirem Hansem A. Krebsem již v roce 1937. Je to metabolická dráha (sled biochemických reakcí katalyzovaných enzymy), kterou používají všechny aerobní organismy a alespoň s některými jejími částmi se setkáme u většiny organismů anaerobních. Probíhá ve vnitřní části mitochondrií, tzv. **mitochondriální matrix**. Krebsovým cyklem končí odbourávání většiny živin (cukrů, tuků, částečně i bílkovin) a zároveň je to v buňce předposlední krok při získávání energie.

Vstupní branou do tohoto cyklu jsou reakce sloučeniny s dvouuhlíkatým zbytkem  $\text{CH}_3\text{-CO-SCoA}$ , kterou nazýváme **acetyl koenzym A**, zkráceně acetyl-CoA. Po odštěpení koenzymu A (ten má jen aktivační funkci) se acetylový zbytek  $\text{CH}_3\text{-CO-}$  naváže na čtyřuhlíkatou molekulu (značíme  $\text{C}_4$ ) kyseliny oxaloctové neboli **oxalacetátu**. Tím vznikne šestiuhlíkatá ( $\text{C}_6$ ) molekula kyseliny citronové neboli **citrátu**, která je následně složitými enzymatickými reakcemi s řadou meziproductů převedena **zpět na oxalacetát**. Celý cyklus se tak uzavírá a po reakci s dalším acetylovým zbytkem vzniká nová molekula citrátu, která pokračuje do dalšího „kolečka reakcí“.



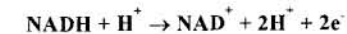
Obr. 1. Přehled reakcí Krebsova cyklu a jeho napojení na glykolýzu, odbourávání mastných kyselin a mitochondriální dýchací řetězec. (podle Šipala, 1992)

V průběhu chemických reakcí se **uvolní** dvě molekuly  $\text{CO}_2$ , které vznikly odštěpením z molekuly  $\text{C}_6$  při její postupné přeměně na  $\text{C}_4$ . Kromě toho se dehydrogenací odštěpí osm atomů vodíku, které se v buňce nemohou vyskytovat volně, a tak jsou vázány v oxidoredukčním přenašeči s krkolonným názvem **nikotinamidenukleotid ( $\text{NAD}^+$ )**. Po navázání dvou vodíků v redukované formě vzniká  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , příp. ve sloučenině s podobnou funkcí  $\text{FADH}_2$  ( $\text{FAD}$  = flavinadeninenukleotid). Vodíky uvolněné v průběhu Krebsova cyklu budou hrát rozhodující úlohu **při vzniku ATP v dýchacím řetězci**. Navíc se během cyklu přemění jeden guanosindifosfát ( $\text{GDP}$ ) na guanosintrifosfát ( $\text{GTP}$ ) na účet energie, která se v průběhu cyklu uvolňuje.  $\text{GTP}$  pak slouží v buňce podobně jako  $\text{ATP}$ , t.j. má funkci pohotovostní zásoby energie. Buňka si dokonce umí sama a beze ztráty převést energii z  $\text{GTP}$  do  $\text{ATP}$ .

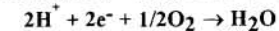
Shrneme-li si výše uvedená fakta, zjistíme že: do Krebsova cyklu vstupuje jedna molekula acetyl-CoA ( $\text{C}_2$ ), reaguje s oxalacetátem ( $\text{C}_4$ ), který se na konci cyklu obnovuje. Přitom vznikají 3 molekuly  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , 1  $\text{FADH}_2$ , 1  $\text{GTP}$  a uvolní se 2 molekuly  $\text{CO}_2$ , které jsou z buňky odstraňovány.  $\text{GTP}$  je spotřebován,  $\text{NADH} + \text{H}^+$  a  $\text{FADH}_2$  pokračují dále do dýchacího řetězce.

### I. 4. DÝCHACÍ ŘETĚZEC

Dýchacím (neboli respiračním) řetězcem definitivně končí odbourávání živin v buňkách aerobních organismů. Teprve tady buňka získá velké množství energie v podobě molekul  $\text{ATP}$ . Celá reakce probíhá opět v mitochondriích, tentokrát však všechny důležité enzymy nejsou volně v matrix, ale nacházejí se ve **vnitřní membráně mitochondrií**. Z Krebsova cyklu vystoupilo několik molekul  $\text{NADH} + \text{H}^+$  a  $\text{FADH}_2$ . Tyto oxidoredukční přenašeče potřebují uvolnit navázané vodíky, aby se mohly opět vrátit do Krebsova cyklu pro jejich další náklad. K tomu slouží enzymy zvané **dehydrogenázy**, které katalyzují reakci, při níž dochází k vzájemnému oddělení iontů  $\text{H}^+$  (neboli protonů) a elektronů:



Podobný děj probíhá i s  $\text{FADH}_2$ .  $\text{NAD}^+$  se vrací do mitochondriální matrix pro další náklad, protony i elektrony se váží na enzymy dýchacího řetězce. Teď je buňka postavena před další problém: co s uvolněnými protony a elektrony? Jako vhodné řešení se ukázalo u aerobních organismů sloučení těchto částic s kyslíkem za vzniku nejedovaté, všeobecně rozšířené kapaliny - vody. Probíhá tedy následující reakce:



Kyslík však není jedinou vhodnou látkou sloužící jako konečný akceptor (příjemce) protonů a elektronů. Některé bakterie kupříkladu využívají ke stejnému účelu síru, dusíkaté látky nebo organické sloučeniny atd.

Slučování kyslíku s vodíkem je velmi rychlá (až explozivní) reakce, při které se uvolní veliké množství energie. Kdyby tato reakce proběhla přímou cestou, uvolněná energie by jednak mohla buňku poškodit, a hlavně buňka by tuto energii nedokázala zachytit, uskladnit a využít. Proto buňka posílá elektrony z jednoho enzymu-přenašeče na další a rozloží tak reakci do několika kroků. Elektrony putují po enzymových molekulách podél stoupajícího redox potenciálu, tedy enzymový komplex, který o elektrony „moc nestojí“ je předá takovému, který má elektrony „raději“ a ten je předá dalšímu, který je „shání“ ještě víc. Enzymy, které se této **enzymové kaskádě** účastní, obsahují ve své molekule často atom kovu (většinou ionty železa nebo mědi). Tento atom pak slouží k vazbě elektronů. Poslední enzymový komplex v mitochondriích živočichů se jmenuje cytochromoxidáza a teprve ten předá dvojici elektronů kyslíku, takže vznikne ion  $O^{2-}$ .

A nyní se pojďme podívat, jaký osud čeká **odštěpené protony ( $H^+$ )**. Ty jsou postupně přenášeny přes vnitřní membránu mitochondrie ven, do tzv. mezimembránového prostoru. Přenos protonů přes membránu zajišťují tři enzymové komplexy, které jsou také součástí kaskády pro elektrony. „Vystrčení“ protonů do mezimembránového prostoru se může uskutečnit jen tehdy, když enzym právě „má v držení“ přenášené elektrony. Při průchodu dvojice elektronů (uvolněné z  $NADH + H^+$ ) celou kaskádou až ke kyslíku přenesou enzymové komplexy na vnější stranu membrány nejen dva protony získané z  $NADH + H^+$ , ale ještě další čtyři, které se původně pohybovaly v mitochondriální matrix. Celkem se tedy vynese šest protonů. Ty však pochopitelně musí uvnitř chybět. V mezimembránovém prostoru se snižuje pH (ionty  $H^+$  prostředí okyselují) a navíc se zde hromadí kladný náboj. Tím vzniká nerovnovážený stav a tzv. protonmotivní síla, úměrná membránovému gradientu  $H^+$  (neboli rozdílu koncentrací  $H^+$  na obou stranách membrány), táhne protony do matrix - jinými slovy, protony by se „rády“ vrátily zpět. Tento návrat však není jednoduchý, neboť membrána je pro protony neprostupná. Jediná cesta, jak se mohou  $H^+$  vrátit zpět do matrix, vede kanálkem uvnitř enzymového komplexu nazývaného **mitochondriální ATP-áza**. **A teď pozor!** Teprve tady buňka uloží energii v podobě ATP. Vždy **při průchodu dvou protonů kanálem enzymu zpět do matrix přetvoří ATP-áza jednu molekulu ADP na energii bohatý ATP**. Vrátili-li se do vnitřní části mitochondrií všech šest  $H^+$ , buňka získá tři molekuly ATP.

Nyní si celý proces stručně shrneme: pro fungování dýchacího řetězce je nutný  $O_2$  a  $NADH + H^+$ , který se rozštěpí na  $NAD^+$  (vrací se do Krebsova cyklu),  $2H^+$  a  $2e^-$ . Elektrony putují enzymovou kaskádou ke kyslíku, vzniká ion  $O^{2-}$  a jeho sloučením s  $2H^+$  vzniká voda. Během průchodu dvojice elektronů enzymy kaskády dýchacího řetězce vynesou šest protonů do mezimembránového prostoru. Při jejich návratu do matrix vzniknou tři molekuly ATP. S molekulou  $FADH_2$  probíhá reakce podobně, ale dojde k přenosu pouze čtyř protonů, takže vzniknou místo tří jen dvě molekuly ATP.

Tímto jsme tedy zakončili proces přeměny energie v buňce. Teď se však můžeme ptát, jak vlastně vzniká acetyl-CoA, se kterým jsme v Krebsově cyklu začínali. Odpověď zní šalamounsky: acetyl-CoA vzniká různými způsoby, záleží na tom, kterou živinu (substrát) buňka právě spotřebovává, zda odbourává cukry, tuky, nebo jiné látky.

## I. 5. METABOLISMUS SACHARIDŮ

### I. 5. 1. Typy sacharidů

**Cukry** mají v živé přírodě široké uplatnění jako vcelku pohodové zdroje energie (monosacharidy, oligosacharidy) a také jako dlouhodobá energetická zásoba (polysacharidy) či stavební látky buněčných stěn a oporných soustav (např. polysacharidy **celulosa** u rostlin a **chitin** u hub a členovců). Nejdůležitějšími zásobními polysacharidy jsou pro rostliny **škrob** a **inulin**, pro živočichy **glykogen**, mikroorganismy pak využívají celou řadu různých zásobních polysacharidů. Mezi jednoduchými cukry zaujímá nejdůležitější místo monosacharid **glukóza** (hroznový cukr), z disacharidů je hojně rozšířena **sacharóza** (např. v cukrové řepě a třtině) a **laktóza** (mléčný cukr).

Polysacharidy a oligosacharidy musí každý organismus nejprve enzymaticky rozštěpit na jednotlivé stavební kameny - monosacharidy, nejčastěji glukózu. Pokud štěpením vzniknou jiné monosacharidy než glukóza jsou enzymaticky přeměněny. Glukózu pak buňka postupně odbourává v procesu zvaném **glykolýza**.

### I. 5. 2. Glykolýza

Celý tento metabolický proces probíhá přímo v cytoplazmě buněk. Výjimku tvoří někteří parazité (např. *Trypanosoma*), kteří mají pro tento účel speciální organely (glykosomy). Prvním krokem této metabolické dráhy je navázání dvou fosfátů neboli zbytků kyseliny fosforečné ze dvou molekul ATP na molekulu glukózy, a její přestavba (izomerace) na fruktózu. Výsledkem je stále ještě šestiuhlíkatá sloučenina ( $C_6$ ) **fruktóza 1,6-bisfosfát**. Ta se enzymaticky rozštěpí na dvě tříuhlíkaté ( $C_3$ ) molekuly (dihydroxyacetonfosfát a glycerinaldehyd-3-fosfát), přičemž první z nich je také „přestavěna“ na glycerinaldehyd-3-fosfát. Obě  $C_3$  molekuly odštěpují vodík, který se váže na  $NAD^+$ , vznikají tedy dvě molekuly  $NADH + H^+$ . V dalších reakcích obě molekuly  $C_3$  projdou ještě řadou proměn, až se nakonec změní v kyselinu pyrohroznovou  $CH_3-CO-COOH$  (nazývanou též **pyruvát**).

Během enzymatických přeměn každá  $C_3$  molekula poskytne energii na přeměnu 2 ADP na 2 ATP, celkem tedy v buňce vzniknou čtyři molekuly ATP na jednu molekulu glukózy. Na začátku glykolýzy však buňka dvě molekuly ATP do reakce investovala (navázala je na glukózu), takže čistý zisk celé metabolické dráhy jsou 2 ATP na jednu molekulu glukózy.

$NADH + H^+$  většinou postupuje do dýchacího řetězce, kde předá své vodíky a vrací se zpět k dalšímu použití. V některých případech však může  $NADH + H^+$  reagovat s právě vzniklým pyruvát. K tomu dochází např. při nedostatku kyslíku ve svalech (během tělesné námahy). Ve svalových buňkách touto reakcí vzniká **laktát** (kyselina mléčná) a jeho nahromadění vyvolává pocit únavy a bolesti svalů.

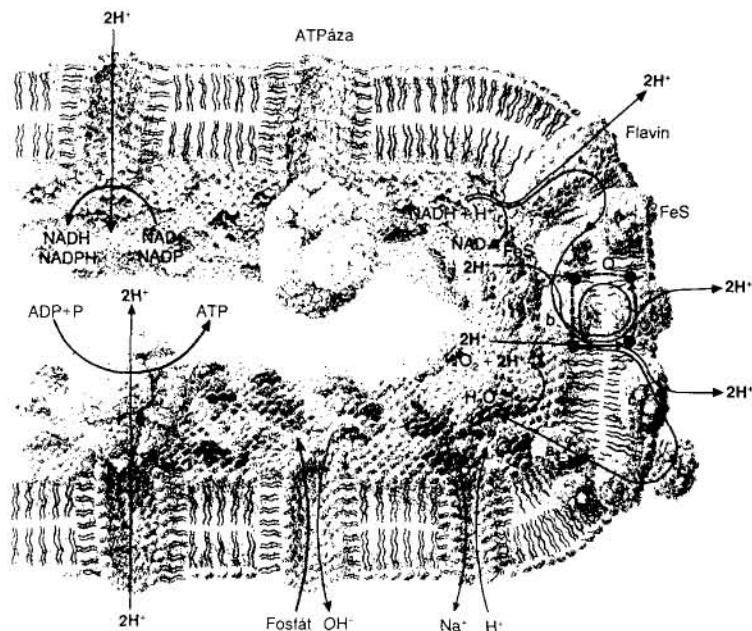
Jiným příkladem, kdy reaguje  $NADH + H^+$  s pyruvát, jsou kvasinky. Při této reakci vzniká na místo laktátu etanol (jedná se o tzv. alkoholové kvašení).

V procesu glykolýzy tedy buňka přemění molekulu glukózy ( $C_6$ ) na dvě molekuly pyruvátu (kyseliny pyrohroznové,  $C_3$ ), získá dvě molekuly  $NADH + H^+$  a dvě ATP jako energetický výtěžek. Další energii může buňka získat, pokud „pošle“ obě  $NADH + H^+$  do dýchacího řetězce (zisk dalších šesti ATP). V některých případech se však mohou vodíky z  $NADH + H^+$  navázat zpět na pyruvát, čímž vznikne buď kyselina mléčná v buňkách aerobních organismů, nebo řada různých organických kyselin a alkoholů v buňkách prokaryot a anaerobních eukaryot.

### I. 5. 3. Přeměna pyruvátu na acetyl-CoA

Tato reakce tvoří spojovací článek mezi glykolýzou a Krebsovým cyklem. Celý proces, často nazývaný oxidační dekarboxylace, je katalyzován složitým mnohoenzymovým komplexem (pyruvátdehydrogenázou). Z kyseliny pyrohroznové  $\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$  je odštěpen oxid uhličitý (ten buňka „vydechne“ do okolí) a vodík, který je opět navázán do  $\text{NAD}^+$  za vzniku  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Zbylá část molekuly pyruvátu se nazývá acetyl ( $\text{CH}_3\text{CO-}$ ) a ten ihned reaguje s koenzymem A, čímž vzniká nám dobře známý acetyl-CoA. Další osud molekuly acetyl-CoA jsme již probrali (viz kapitola Krebsův cyklus).

$\text{NADH} + \text{H}^+$  je samozřejmě jako obvykle odeslán do dýchacího řetězce, takže buňka získá další tři molekuly ATP.



Obr. 2. Schematické znázornění struktur a dějů na mitochondriální membráně.

Energie se čerpá z rozdílu koncentrace protonů. Uvnitř mitochondrie jich je nedostatek, na vnější straně membrány přebytek.

V pravé části obrázku jsou znázorněny pochody přenosu elektronů po oxidoredukčním spádu, což dodává energii pro vyláčení protonů ven, a tím vytvoření onoho rozdílu v jejich koncentraci na obou stranách membrány. Celkem vidíme, že z vnitřku ubýly tři páry protonů a právě tolik se jich přeneslo přes membránu. To vše se stalo na úkor energie jednoho páru elektronů odebraných při oxidaci molekule substrátu.

V levé části obrázku jsou zobrazeny procesy, které pohání vnější přetlak protonů - redukce  $\text{NADH}$  a  $\text{NADPH}$  a syntéza ATP. (podle Buchara, 1987)

## I. 6. METABOLISMUS LIPIDŮ

### I. 6. 1. Složení a význam lipidů

**Lipidy** mají kromě ochranné a izolační funkce (hlavně u živočichů) také důležitou úlohu zásobárny energie, neboť patří mezi energeticky nejbohatší molekuly. U rostlin najdeme hlavně zásobní oleje v semenech, živočichové uchovávají tukové zásoby převážně v podkožních oblastech. Lipidy neslouží jako pohotovostní zdroje energie určené k rychlé spotřebě, ale jako rezervy pro období sníženého přísunu potravy.

Nejjednodušší většina lipidů jsou tzv. triglyceridy - sloučeniny **glycerolu** (tříuhlíkatý alkohol  $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$ ) a **vyšších mastných kyselin**. Pokud chce buňka energii z lipidů získat, musí jejich molekulu nejprve rozštěpit na tyto dvě složky.

Glycerol ( $\text{C}_3$ ) buňka umí pomocí enzymů přeměnit na molekulu glyceraldéhyd-3-fosfátu (také  $\text{C}_3$ ). S touto sloučeninou jsme se již setkali ve střední části glykolýzy. Molekula glyceraldéhyd-3-fosfátu se zapojuje do procesu glykolýzy, přemění se na acetyl-CoA a projde Krebsovým cyklem tak (viz str. 6).

Mastná kyselina je obecně označení karboxylové kyseliny s dlouhým, zpravidla nerozvětveným řetězcem tvořeným 4 až 26 atomy uhlíku [ $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$ ,  $n = 2$  až 24]. V zásobních lipidech se vyskytují převážně mastné kyseliny se sudým počtem uhlíků, protože jen takové mohou být odbourávány při tzv.  $\beta$ -oxidaci.

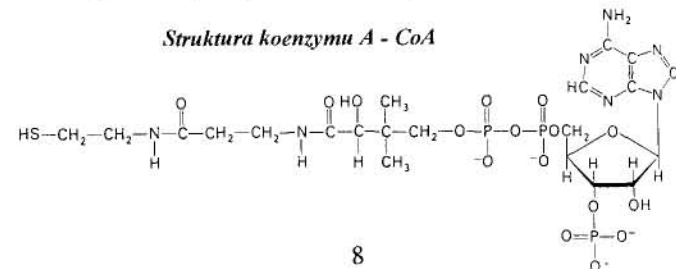
### I. 6. 2. $\beta$ -oxidace

Tato metabolická dráha byla objevena již v roce 1904, její mechanismus však objasnil až F. Lynen roku 1951. Podle něj bývá též někdy nazývána Lynenova spirála.

Prvním krokem je aktivace mastné kyseliny, čili vazba koenzymu A na koncovou karboxylovou skupinu  $\text{-COOH}$  (odštěpuje se skupina  $\text{-OH}$ ), vzniká tzv. **acyl-CoA** [ $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-CO-SCoA}$ ]. V průběhu dalších reakcí se z aktivované mastné kyseliny odštěpí čtyři vodíky, z nichž dva se navážou na molekulu FAD (vzniká  $\text{FADH}_2$ ) a další dva na  $\text{NAD}^+$  (vzniká  $\text{NADH} + \text{H}^+$ ). Jak  $\text{FADH}_2$ , tak  $\text{NADH} + \text{H}^+$  odcházejí do dýchacího řetězce. V závěrečném kroku prvního kolečka „Lynenovy spirály“ je molekula aktivované mastné kyseliny rozštěpena mezi druhým a třetím uhlíkem. Vzniká **acetyl-CoA** [ $\text{CH}_3\text{-CO-SCoA}$ ], který vstupuje do Krebsova cyklu. Na zbytek mastné kyseliny (který je teď o dva uhlíky kratší) se naváže další koenzym A a celý proces se může znovu opakovat. Odbourávání mastné kyseliny skončí rozpadem čtyřuhlíkatého zbytku na dva acetyl-CoA.

$\beta$ -oxidace je tedy cyklický děj, při kterém je vyšší mastná kyselina postupně rozštěpována na molekuly acetyl-CoA (vstupují do Krebsova cyklu) a současně vznikají  $\text{FADH}_2$  a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (vstupují do dýchacího řetězce). Energetický zisk z jedné molekuly mastné kyseliny závisí na délce jejího řetězce, t.j. na počtu uhlíků.

#### Struktura koenzymu A - CoA



## I. 7. METABOLISMUS BÍLKOVIN

**Bílkoviny** (proteiny) jsou důležitým stavebním materiálem v buňkách, takže organismy je většinou nepoužívají jako zdroj energie. Přesto se bílkoviny v buňkách neustále odbourávají a znovu tvoří.

Odbourávání bílkovin pochopitelně začíná enzymatickým rozštěpením na jednotlivé **aminokyseliny**. Většina buněk si velkou část aminokyselin nechává v zásobě pro výstavbu dalších bílkovin.

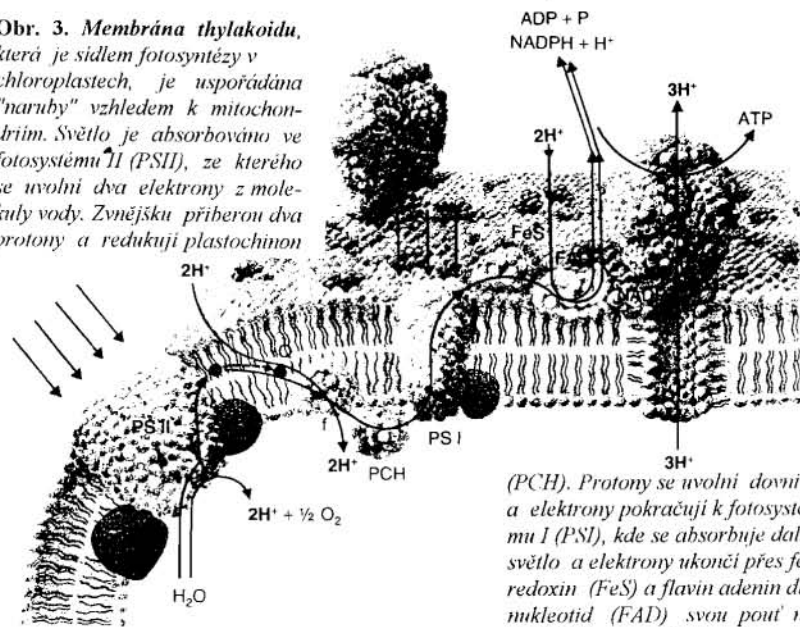
Pokud se buňka přece jen potřebuje aminokyseliny úplně zbavit, existuje pro každou aminokyselinu zvláštní metabolická cesta. Zmíníme se tedy pouze o některých společných rysech těchto metabolických cest. Hlavním společným znakem je **odštěpení aminoskupiny (NH<sub>2</sub>-)** z aminokyseliny. Tyto odštěpené aminoskupiny se zabudují do různých sloučenin, které jsou z organismu vyloučeny (u živočichů), nebo jsou v něm uskladněny (u rostlin).

Živočiškové začlení odštěpený dusík do **amoniaku**, který volně vylučují do okolí (ryby), do **kyseliny močové** (plazi, ptáci, paryby - např. žraloci), nebo se v tzv. ornithinovém cyklu stane součástí **močoviny** (savci).

Uhlíkové kostry aminokyselin se odbourávají různými způsoby. Obecně však vždy platí, že se přemění na nějakou sloučeninu, která je součástí Krebsova cyklu, případně na pyruvát nebo na acetyl-CoA. Tyto sloučeniny se pak normálně zapojí do metabolických drah, které jsme si již probrali.

Je tedy zřejmé, že buňky mají ve skutečnosti pouze omezený počet metabolických drah pro získávání energie. Na meziproducty těchto drah pak dovedou pomocí enzymů převést všechny dostupné živiny.

**Obr. 3. Membrána thylakoidu, která je sídlem fotosyntézy v chloroplastech, je uspořádána "naruby" vzhledem k mitochondriím. Světlo je absorbováno ve fotosystému II (PSII), ze kterého se uvolní dva elektrony z molekuly vody. Zvnějšku přiberou dva protony a redukují plastochinon**



(PCH). Protony se uvolní dovnitř a elektrony pokračují k fotosystému I (PSI), kde se absorbuje další světlo a elektrony ukončí přes ferredoxin (FeS) a flavin adenin dinukleotid (FAD) svou pouť na NADP. Protony, které se hromadí uvnitř, pohánějí syntézu ATP.

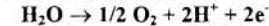
## I. 8. FOTOSYNTÉZA

Fotosyntéza je zvláštní proces probíhající pouze v organismech, které obsahují chlorofyl nebo jiná **fotosynteticky aktivní barviva** (např. bakteriochlorofyl). Dochází při něm k zachycení světelné energie a k zabudování CO<sub>2</sub> do složitějších organických sloučenin.

Všecké reakce, které při fotosyntéze probíhají, je možné rozdělit na fázi **světelnou** (primární) a **temnostní** (sekundární). Světelná fáze probíhá jen na světle, kdežto reakce temnostní fáze mohou běžet na světle i ve tmě.

Ve světelné fázi fotosyntetická barviva zachytí dopadající fotony světla. Po dopadu dvou fotonů dojde ke zvýšení energie dvou elektronů (**excitaci** neboli **vybuzení**). Tyto elektrony jsou nejdříve přeneseny na ferredoxin (oxidoredukční přenašeč s velmi nízkým redoxpotenciálem) a pak putují **kaskádou enzymů-přenašečů** podél stoupajícího redox potenciálu k dalším přenašečům, které o elektrony „stojí čím dál víc“. Tato oxidoredukční kaskáda funguje na stejném principu jako dýchací řetězec.

Při průchodu elektronů kaskádou se uvolněná energie zachycuje do vazeb v molekulách ATP. Kromě toho ve světelné fázi probíhá i fotolýza vody, při které dochází k rozložení molekuly vody na kyslík, elektrony a protony:



Kyslík je tedy pro rostlinu v tuto chvíli jen odpadním produktem, který je uvolněn do ovzduší. Dvojice protonů a elektronů je navázána do NADP<sup>+</sup> (nikotinamidadenindinukleotidfosfátu, sloučeniny se stejnou funkcí jako NAD<sup>+</sup>, obsahuje pouze navíc zbytek kyseliny fosforečné), vzniká NADPH + H<sup>+</sup>.

Temnostní fáze probíhá také v chloroplastech, ačkoliv k ní není zapotřebí chlorofylu ani jiných pigmentů. Dochází k **zachycení molekuly CO<sub>2</sub>** a jejímu připojení na pětiuhlíkatý cukr se dvěma fosfáty (ribulóza-1,5-bisfosfát). K redukci CO<sub>2</sub> je využito NADPH + H<sup>+</sup>, které zde předá svůj náklad protonů, aby se mohlo opět vrátit do reakcí světelné fáze. Po přidání dalšího uhlíku vznikne z C<sub>5</sub> šestiuhlíkatý monosacharid, který je možno převést na glukózu. Ve skutečnosti je však celý proces velmi složitý, dochází ke štěpení C<sub>6</sub> na C<sub>3</sub>, vznikají i další sloučeniny C<sub>5</sub> a C<sub>7</sub> a celá reakce je nazývána **Calvinův cyklus**. Jeho výsledkem je, že **po zachycení šesti molekul CO<sub>2</sub> (C<sub>1</sub>) rostlinná buňka vyprodukuje jednu molekulu glukózy (C<sub>6</sub>)**.

Stručně řečeno, po dopadu fotonů může fotosyntetizující buňka rozložit molekuly vody a tím vyprodukovat kromě ATP i NADPH + H<sup>+</sup> a kyslík. NADPH + H<sup>+</sup> pak spotřebuje při fixaci CO<sub>2</sub> do složitější organické sloučeniny, nejčastěji do glukózy. Zjednodušeně tedy fotosyntézu vystihuje chemická rovnice:



Zajímavé je, že kyslík je v této reakci jen vedlejším produktem, neboť celý děj běží kvůli syntéze sacharidů (hlavně glukózy). Na druhou stranu takto vyrobený kyslík potřebují pro své dýchání nejen všichni živočichové, ale prostě každý aerobní organismus, včetně všech rostlinných buněk, a to během noci i ve dne. Fotosyntetizující buňky tedy musí vytvořit dostatek kyslíku nejen pro sebe, ale i pro řadu dalších buněk, které kyslík pouze spotřebovávají.

Takto popsané schéma fotosyntézy platí pro organismy eukaryotické. U prokaryot se objevují unikátní barviva i metabolické dráhy typické pro určité skupiny. Prokaryotická fotosyntéza zahrnuje děje založené na zcela jiném principu zachycování sluneční energie (bakteriorhodopsin u archebakterií) i reakce a barviva téměř totožná s eukaryotickými (sinice a zvláště *Prochlorophyta*).



## II. Výživa mikroorganismů

### II. 1. ÚVOD

Mikroorganismy jsou značně heterogenní skupina, která je vymezena vlastně jen oborem, jenž je studuje - **mikrobiologií**. Radíme sem obvykle **viry, bakterie, prvoky, kvasinky a některé houby**. Zájemce o podrobnosti k této problematice odkazujeme na loňskou brožuru k BiO (Bílý a kol. 1995). Mikroorganismy se svým vztahem ke zdrojům potravy do značné míry liší od ostatních organismů. Tento rozdíl je dán zejména jejich velikostí. Nemohou pozřít žádné větší sousto, proto se žijí (jsou-li heterotrofní) téměř výhradně volnými organickými molekulami. Vyjimkou jsou ovšem organismy schopné pinocytózy a fagocytózy ("požření" kusu organické hmoty vchlípením membrány - viz obr.5) a samozřejmě mikroorganismy s více či méně vyvinutými buněčnými ústy - tedy zejména prvoci. I ti však s chutí konzumují organické molekuly a jsou schopni růstu a rozmnožování v umělých růstových médiích. Výživa prvků je zmíněna podrobněji v kap. V.1.. V souvislosti s kultivací (způsobem pěstování) rozdělujeme mikroorganismy na **prototrofní**, které si dovedou všechny potřebné látky syntetizovat z jednoduchých organických molekul sami, a **auxotrofní**, které musí některé složitější látky získávat z okolí. Mikroorganismy jsou nejčastěji auxotrofní na některé aminokyseliny a vitamíny.

Pro mikroorganismy je také charakteristické, že získanou potravu často využívají s maximální účinností. V ideálním případě je odpadem pouze voda a oxid uhličitý (nebo jiné jednoduché anorganické molekuly, např. sirovodík), většinou jsou to velmi jednoduché organické látky - metan, etanol, aceton, kyselina máselná, kyselina mléčná a podobně. U mnohých mikroorganismů nás dokonce spíše než to, co konzumují, zajímá to, co vylučují - u kvasinek je to například etanol, kyselina octová či citronová a další důležité a dobře využitelné chemické látky. Mikroorganismy konzumují (mnohdy nechtěně) všichni prvoci a živočichové, čemuž se při velikosti (resp. malosti) např. bakterií nemůžeme divit. Jedinou lžičkou jogurtu vpravíme do svého trávicího traktu statisíce bakterií a i na důkladně omytém ovoci zůstává pestré společenstvo bakterií a kvasinek, což může někdy vyvolat prudkou reakci našeho těla.

### II. 2. VIRY

Tato skupina má zcela mimořádné postavení mezi organismy, neboť její příslušníci nemají vlastní metabolismus a ke svému životu zcela využívají metabolismus buňky, kterou napadají. Proto se touto skupinou nebudeme v této brožurě více zabývat.

### II. 3. BAKTERIE

Živé organismy najdeme na každém místě Země, kde se vyskytují alespoň nějaké živiny. Většinou jsou zde právě bakterie (*Archaeobacteria* i *Eubacteria*). I ty však potřebují ke svému životu splnění několika zcela základních podmínek - musí být přítomen **zdroj energie**, uhlíku, dusíku a dalších **biogenních prvků** (fosfor, síra apod.). Bakterie ovládají téměř neuvěřitelnou škálu metabolismů - větší, než všechny ostatní organismy dohromady (zájemce o podrobnější údaje odkazujeme na loňskou brožuru). Některé bakterie jsou schopny využívat energii slunečního záření. Uhlík pak získávají buď z anorganických nebo z organických molekul. Jiné získávají energii rozkládáním různě složitých organických molekul, jako je například glukóza, škrob, tuky, ale například i směs vyšších organických kyselin nebo ropa.

Málokdo si uvědomuje, co by se stalo s našim světem, kdyby z něj rázem vymizely všechny bakterie. Tito nenároční a hlavně vsudypřítomní **destruenti** konzumují a tedy dále rozkládají vše, co ostatní organismy vyprodukují. Jejich vlastním odpadem jsou pak anorganické nebo jednoduché organické molekuly. Tak bakterie vracejí do oběhu životně důležité prvky, kterých není na Zemi neomezené množství (tzv. mineralizace).

Schopnost rozkládat organické látky samozřejmě nemají jenom bakterie. Ty jsou však unikátní svou **univerzálností**. Téměř všechny organické odpady projdou "planetárním žaludkem" bakterií. Tyto napohled velmi jednoduché mikroorganismy vyvinuly v průběhu miliard let celou **škálu typů metabolismů**, takže dovedou využít i tu nejhůře přístupnou energii.

Některé bakterie jsou **komezálční**. To znamená, že jsou heterotrofní a ujidají z potravy svého hostitele, aniž by mu jakkoliv škodily. V mnohých případech se z komezálismu stala **symbióza** - hostitel už není schopen bez bakterií svou potravu dostatečně dobře zpracovat. Výhoda je oboustranná. Vždyť i obyvatelé našeho tlustého střeva, bakterie *Escherichia coli*, nám za svůj podíl na naší snídani odvádějí dobrou službu - produkují některé důležité vitamíny a zabraňují přemnožení některých škodlivých bakterií.

Některé bakterie jsou **parazitické** a často způsobují onemocnění - mohou být tedy **patogenní**. I jejich životní strategie je řešením právě oné nedostatečné velikosti. Volné organické molekuly - zdroje energie - si berou z těla hostitele, a svou přítomností mu škodí. V krajním případě mohou proniknout buď do poškozené tkáně nebo díky své hemolytické (krev rozkládající) a proteolytické (bílkoviny rozkládající) aktivitě napadají i buňky a tkáně nepoškozené. Nemoc při bakteriální infekci je velmi často způsobena reakcí organismu na přítomnost nějakého nežádoucího strávnicka.

### II. 4. KVASINKY A HOUBY

Příslušníci této početné, ale nepříliš známé skupiny, se žijí obdobně jako bakterie. Většinou jsou to **destruenti a dekompozitoři** (rozkladači), méně často komezálové. Kvasinky a vláknité houby jsou také úpornými parazity rostlin a živočichů.

Buňky hub mají silnou chitinovou buněčnou stěnu, což jim zcela znemožňuje fagocytózu (pohlcování velkých, obvykle pevných částic), pinocytóza (přijímání menšího množství živin) a exocytóza (viz obr.5) je velmi omezená. Všechny houby jsou, stejně jako živočichové, **heterotrofní**, ale na rozdíl od většiny z nich jsou **neholozoické**, tedy nejsou schopny potravu pohlcovat. Nejčastěji se žijí **saprofyticky** (na tlející organické hmotě), v ostatních případech jsou závislé na jiném organismu - jako **parazité, komezálové** či **symbionti**.

Mnoho hub je ve vztahu k prostředí velice nenáročná - ke svému životu potřebují jen dostatečnou vlhkost a vhodný (i libovolný) organický materiál. Jejich metabolismus je většinou velice efektivní, konečnými produkty bývá voda a oxid uhličitý - někdy můžeme na povrchu plísně rostoucí na chlebu spatřit kapičky metabolické vody. Další podrobnosti naleznete v následující kapitole.

### III. Výživa hub

#### III. 1. ÚVOD

Houby patří k rozsáhlé skupině **heterotrofních** organismů, které si podobně jako živočichové nedovedou vyrobit látky organické z látek anorganických. Živiny přijímají ze svého okolí: staví své tělo z látek pocházejících z organismů buď odumřelých a tlejících nebo živých. Všechny houby jsou tedy buď **saprofyti**, kteří se žijí odumřelou organickou hmotou, nebo **paraziti**, žijící v úzké vazbě na jiné živé organismy. Mezi houby patří nejen kloboukaté houby, na které si laik vzpomene jako první, ale i kvasinky, rzi, něti, padlí, pravé i nepravé plisně apod. S výjimkou jednobuněčných kvasinek sestávají těla většiny hub z jemných vláken, zvaných **hyfy** (používáme pro ně termín „houby vláknité“). Hyfy se větví, vzájemně se proplétají a tvoří tak většinou bílé nebo žluté podhoubí, zvané **mycelium**. Za určitých podmínek tvoří mnohé druhy hub z těsně propletených vláken charakteristické plodnice. Zájemce o taxonomické rozdělení hub nechť nahlédne do úvodních kapitol libovolného atlasu.

#### III. 2. NÁROKY NA RŮST HUB

Na růst hub mají obecně vliv vlhkost a teplota prostředí, pH, intenzita světla, proudění vzduchu, společenství okolních rostlin a živočichů a vývojové stádium houby. **Výtrusy** (spory), tvořící klidové stádium houby, jsou schopny přežít i značně nepříznivé podmínky. **Mycelium** hub roste více nebo méně intenzivně po celý rok. **Plodnice** hub, jejichž jediným posláním je zajištění potomstva, zanikají během několika hodin (u hnojníků) nebo dnů (např. žampiony nebo bedly). Plodnice dřevokazných hub jsou obvykle tužší a vytrvávají několik měsíců (např. outkovky) nebo i let (troudnatec). Podle závislosti na substrátu, z kterého čerpají živiny, lze houby rozdělit do několika skupin

#### III. 3. HOUBY TERESTRICKÉ

U hub terestrických (pozemních) je mycelium rozprostřeno v půdě pod lesní hrabankou, mechem, trávou a pod. Můžeme sem počítat i druhy koprofilní, rostoucí na hnojištích (hnojník mrvní) nebo přímo na trusu větších býložravců (např. kropenatce zvoncovitý nebo hnojník krátký), a anthrakofilní, rostoucí na spáleništích (např. šupinovka uhlová, zvoneček uhelný). Plodnice tvoří houby zpravidla v létě a na podzim za teplého počasí po krátkodobých deštích, jejichž důsledkem není jen zvlhčení, ale též ochlazení půdy. Mycelium terestrických hub bývá často velmi rozsáhlé a může obsáhnout území o rozloze až několika čtverečních metrů. Mezi houbami terestrickými jsou značně rozdíly v nárocích na vlhkost. Některé druhy dávají přednost místům vyloženě suchým (**xerofilní** druhy). Např. battarovka Stevenova, známá i z jižních Čech, roste běžně v pouštích severní Afriky nebo střední Asie. Jiné druhy (**hygrofilní**) naopak rostou a vytvářejí plodnice (fruktifikují) na podmáčených loukách nebo v rašeliníštích (např. penízovka rašeliníková nebo čapulka bahenní). Ostatní druhy se nazývají **mezofilní**. Zmínit se můžeme i o houbách, které tvoří plodnice pod zemí. Příkladem je jelenka obecná, uváděná již v Mattioliho herbáři z r. 1544, nebo teplomilná palečka brvitá, jejíž plodnice se zprvu také vyvíjejí pod zemí, ale později vytvoří sloupek, jenž vynese plodničky nad zem.

#### III. 4. HOUBY DŘEVOKAZNÉ

Mycelium dřevokazných hub prorůstá dřevní hmotu: tyto houby napadají především padlé stromy a pařezy v různém stádiu rozkladu, ačkoliv některé parazitují na živých stromech nebo rostou dokonce i na opracovaném dřevě (obávaná dřevomorka domácí). Některé druhy parazitují i na keřích (např. jedlé ucho Jidášovo). Dřevní houby jsou sice nejméně náročné na živiny, avšak na jejich získávání se aktivně podílejí: produkují totiž řadu extracelulárních (mimobuněčných) enzymů, schopných rozkládat dřevní polysacharidy **lignin** a **celulózu** na jednoduché molekuly. Podle toho se rozdělují na **houby bílé hníloby** (je-li přednostně rozložena tmavý lignin a zůstane bílá celulóza) nebo na **houby hnědé hníloby** (je-li přednostně rozložena celulóza). Řada dřevních hub vyhledává určité dřeviny, což se někdy odráží i v jejich názvu: sítkovec dubový, březovnik obecný. Mezi nejznámější dřevokazné houby patří asi václavka obecná, hlíva ústříčná či troudnatec kopytovitý.

#### III. 5. HOUBY SYMBIOTICKÉ

Mycelium těchto hub roste v těsném soužití s kořeny nejčastěji dřevin nebo travin. Mykorrhizní houby nepotřebují k vývinu plodnice tolik vlhkosti jako houby terestrické, proto můžeme najít jejich plodnice i za suchých období. V tomto soužití s dřevinami žijí mj. všechny druhy našich ryzců a holubinek, téměř všechny druhy muchomůrek a většina čirůvek, ale i další druhy hub. Podle toho, zda hyfy houby vnikají pouze do intercelulárních prostorů v rostlině nebo přímo do kořenových buněk, rozlišujeme dva typy mykorrhizy. Při **ektotrofní mykorrhize** hyfy oplétají kořeny a doplňují funkci kořenového vlášení. Houba poskytuje rostlině hlavně vodu a minerální živiny, rostlina dodává houbě cukry a ostatní organické sloučeniny. Ze známých stromů sem patří např. borovice lesní (*Pinus sylvestris*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), břiza bradavičnatá (*Betula pendula*) nebo jedle bělokora (*Abies alba*), těžko však můžeme o ostatních rostlinách prohlásit, že v určité míře mykorrhizu též nevyužívají. Zdá se totiž, že se jedná o velice rozšířený vztah, zřejmě mnohem častější, než se dnes všeobecně soudí. **Endotrofní mykorrhizu** mají některé orchideje (např. hlistník hnízdák - *Neottia nidus-avis*, korálice trojklanná - *Coralorrhiza trifida*, aj.), které odebírají od houby všechny potřebné živiny a dokonce jejich semena nejsou schopná bez symbiotické houby vyklíčit. Při endotrofní mykorrhize vnikají hyfy přímo do rostlinných buněk.

Obecně je rozšířená představa, že je mykorrhiza stav oboustraně prospěšný. Ve skutečnosti ale záleží na konkrétní situaci, v některých případech je obtížné rozhodnout, jestli se nejedná spíše o parazitismus houby na rostlině a naopak.

Podobná situace je i u lišejníků. Pro ně je charakteristické vzájemné soužití hub a řas (vzácně i sinic). Těžko říci, zda se jedná o symbiózu, nebo zda houba drží "v zajetí" zelené řasy nebo sinice, které pro ni syntetizují organickou hmotu. Houbám se tradičně přisuzuje aktivní úloha při získávání a transportu minerálních látek, řasy naopak poskytují některé produkty fotosyntézy, zatímco řasy nebo sinice rostou dobře i bez přítomnosti hub, naprostá většina tzv. licheniformních hub se samostatně kultivovat nedá. Lišejníky produkují látky s ojedinělou strukturou (tzv. lišejníkové kyseliny), které mají často antibiotické vlastnosti. Při studiu lišejníků bylo zjištěno, že oba symbiotičtí partneři mají vzájemně propojený metabolismus a docházive velké míře k výměně jednotlivých meziproductů. Soustavnějšímu studiu biochemie lišejníků zatím brání především fakt, že jejich laboratorní kultivace je takřka nemožná.

### III.6. HOUBY PARAZITUJÍCÍ NA ZELENÝCH ROSTLINÁCH

Velká skupina hub cizopasí na zelených rostlinách. Na hostiteli tvoří rezavé, oranžové a hnědé skvrny či jiné útvary a proto se tyto houby nazývají rzi. Pletivo napadených rostlin posléze odumře a nadzemní části rostliny předčasně zasychají. Jindy je příznakem napadení tvorba hálek. Jinými houbami parazitujícími především v květních orgánech rostlin jsou sněti.

### III. 7. HOUBY PARAZITUJÍCÍ NA JINÝCH HOUBÁCH

Poměrně zřídka se setkáváme s houbami parazitujícími na plodnicích jiných hub. Na některých holubinkách parazituje nedohub zelený, který vytváří na napadených plodnicích žlutozelenou plst'. Rosolovka průsvitná parazituje na dřevokazném pevniku krvavějícím, již zmiňovaná podzemní houba jelenka bývá napadána housenicí cizopasnou a dále například pestřec obecný může být napaden jedlým hříbem cizopasným.

### III. 8. HOUBY PARAZITUJÍCÍ NA ŽIVOČIŠÍCH

Pro úplnost je ještě třeba uvést, že některé mikroskopické vláknité houby jsou schopny určité obdoby predace - lapat a usmrcovat hádátka. Např. houba *Dactylella bembicodes* vytváří v tlejícím dřevu, obyvaném hádátka a jinými hlísty spleť vláken s prstenci buněk na tenkých stopkách. Jakmile hádátka vnikne do prstence, buňky prudce zvětší svůj objem a prstenc se pevně sevře. Větvičky se hyfy proniknou do hádátka a houba jej vstřebá. Příkladem typického parazita je hmyzomorná pliseň zvaná „muší mor“ nebo houba zvaná housenice červená, vyrůstající někdy z podzemních kukel lišajů a jiných motýlů. Z praktického hlediska však mnohem větší pozornost zasluhují parazitující kvasinky, které jsou příčinou řady onemocnění vyšších živočichů včetně člověka. Patří sem např. *Candida albicans*, parazitující v pohlavním a trávicím ústrojí (zejména u lidí s oslabenou imunitou) nebo *Cryptococcus neoformans*, způsobující závažné až smrtelné systémové (týkající se celého těla) onemocnění.

### III. 9. LABORATORNÍ KULTIVACE HUB

Nároky jednotlivých druhů hub na živiny, vlhkost, teplotu, pH, světlo atd. si můžeme nejlépe ověřit v laboratorních experimentech. Houby je možné kultivovat buď na pevných médiích (agarových půdách, dřevní houby i na mleté slámě nebo na dřevěných špalíčkách) nebo v nejrůznějších půdách tekutých. Na pevných agarových plotnách se postupuje tak, že se střed Petriho misky zaočkuje malým kouskem mycelia a nárůst houby, který se projeví tvorbou hyf rostoucích rovnoměrně ze středu na všechny strany, se sleduje měřením průměru kultury. Než kultura doroste k okraji misky, uplyne zpravidla nejméně pět dní. Při kultivaci v tekutých půdách, kdy je první den půda zaočkována rovněž malým kouskem mycelia, sledujeme růst kultury obvykle zfiltrováním hub a zvážením (po usušení při 105 °C). Nejvyšších výtěžků se dosahuje při tzv. submerzních kultivacích, kdy je tekutá kultura permanentně vzdušněna (mícháním nebo třepáním). Na rozdíl od obou předchozích variant, označovaných jako stacionární, při kterých kultura tvoří jemné hyfy vzhledově připomínající pliseň na potravinách, při submerzních kultivacích mají houby tvar kuliček o průměru od jednoho milimetru až do dvou centimetrů. Submersní kultivace se používají při řešení většiny výzkumných úkolů, neboť jsou velmi dobře reprodukovatelné a poměrně

rychlé. Je tak možno získat snadno a rychle dostatek mycelia pro další práci (mezi myceliem tvořícím plodnice a myceliem získaným při kultivacích není zásadní morfologický rozdíl); nejen pro studium optimalizace růstových podmínek (pH, teploty, přítomnosti a koncentrace minerálních i organických látek), ale také ke studiu produkce antibiotik, toxinů a řady dalších látek užitečných v lidské i veterinární medicíně.

Dnes tvoří látky izolované z nižších i vyšších hub významnou součást mnoha léčiv (např. antibiotika penicilin nebo streptomycin). Kromě toho houby poskytují dobrý model pro studium a vzájemných vztahů makromolekul - nukleových kyselin, enzymů a dalších významných proteinů. V laboratorních experimentech se potvrdilo, že dřevokazné houby mají nejmenší nároky na živiny (kultivují se nejsnáze), zatímco druhy terestrické nebo dokonce mykorrhízni je možné kultivovat velmi obtížně, pokud vůbec. V současné době je dřevokazným houbám věnována zvýšená pozornost i z jiného důvodu. Jak již bylo uvedeno dříve, produkují houby bílé hniloby extracelulární enzymy, schopné rozkládat lignin. Lignin je jediným přirozeným polymerem obsahujícím aromatická jádra a o to právě jde: zjistilo se, že houby bílé hniloby jsou schopné rozkládat řadu nebezpečných cizorodých látek jako jsou polyaromatické uhlovodíky (PAH) nebo polychlorované bifenoly (PCB). Nepřekvapuje proto, že mezi nejjednoduššími druhy vyšších hub patří dřevokazná houba *Phanerochaete chrysosporium*, již v moderních molekulárně-biologických studiích náleží mezi vláknitými houbami stejné místo, jako *Escherichii coli* mezi bakteriemi.



Obr. 4. Houba lapající hlísty. Všimněte si prstencovitých hyf, které se sevrou, když jimi prolézá hádátka, či jiný nematod. *Dactylella bembicodes*. (zvětšeno 400krát). Barron, G.L.: *The Nematode Destroying Fungi* (1977).

## IV. Výživa rostlin

### IV. 1. ÚVOD

Schopnost provádět fotosyntézu umožňuje rostlinám být **autotrofiními** organismy. Rostlina při ní absorbuje pomocí fotosyntetických barviv světelné záření a jeho energii využívá na přeměnu CO<sub>2</sub> a vody na organické látky. Podstata fotosyntézy byla již zmíněna v úvodní kapitole, zde se budeme věnovat tomu, jak rostliny dokáží fotosyntézu modifikovat a vyrovnat se tak s různými životními podmínkami. Tato přizpůsobení spočívají nejen ve způsobu vázání CO<sub>2</sub> do organických sloučenin, ale i ve schopnosti tuto molekulu prostorově izolovat, popř. časově oddělit různé způsoby jejího využití. Podle mechanismu zapojení CO<sub>2</sub> do organických sloučenin rozeznáváme C3-rostliny, C4-rostliny a CAM-rostliny.

### IV. 2. VÝŽIVA ŘAS A MECHOROSTŮ

**Řasy** přijímají živiny celým povrchem svého těla (tím je buď stélka nebo jen jediná buňka), v dřtvé většině prostou difúzí z vodního prostředí, které je obklopuje. Některé prvky jsou ve vodě vždy v dostatečném množství, jiné jsou ale vzácnější a mohou se tak stát pro řasy limitujícím faktorem růstu (tím bývá často v našich nádržích množství fosforu). Různé skupiny řas se ale přizpůsobily této limitaci různými mechanismy hromadění a zadržování vzácného prvku. Tak např. celá řada druhů sinic dokáže fixovat vzdušný dusík. Jiné skupiny řas zase hromadí fosfor, a to ve formě polyfosfátů (volutin).

Některé řasy jsou schopné využívat i jednoduché organické látky jako doplněk k vlastní fotosyntéze. Tento kombinovaný způsob výživy se nazývá **mixotrofie**.

U mechorostů se již setkáváme s primitivními kořinky (rhizoidy), právě cévní svazky však chybí. Živiny jsou přijímány osmoticky celým povrchem stélky. Složením fotosyntetických barviv, průběhem fotosyntézy, stejně jako i průběhem základních biosyntéz se mechorosty nijak neodlišují od vyšších rostlin.

### IV. 3. C3-ROSTLINY

Jak již bylo zmíněno výše, pro rostlinný typ fotosyntézy je nezbytné navázat a zredukovat molekulu CO<sub>2</sub> - provést tzv. **karboxylaci**. Existuje několik způsobů, jak se tímto problémem rostliny vypořádaly. Například v našich podmínkách jsou zdaleka nejrozšířenější tzv. **C3 rostliny**, v nichž se oxid uhličitý váže na pětuhlíkatý fosforylovaný cukr ribulóza-1,5-bisfosfát, který se poté rozpadá na dvě tříuhlíkaté molekuly kyseliny 3-fosfoglycerové (proto název C3 rostliny). Enzym, který zajišťuje vazbu CO<sub>2</sub> na pentózu (ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza-oxygenáza), má však pro rostliny jednu nepřijemnou vlastnost: při nízkém obsahu CO<sub>2</sub> vstupuje do reakce O<sub>2</sub> místo CO<sub>2</sub> a místo karboxylace dochází k oxidaci a tím i ke ztrátě produktů fotosyntézy. Tento děj probíhá jen na světle a nazývá se **fotospirace**. Přes tuto určitou nevýhodu C3 typ fotosyntézy používá převážná většina rostlin. Sled reakcí C3 typu fotosyntézy, na jejichž konci je oxid uhličitý navázaný v molekule glukózy, se nazývá též **Calvinův cyklus**.

### IV. 4. C4-ROSTLINY

Mezi tyto rostliny patří hlavně zástupci tropické a subtropické květeny vystavené suchému a horkému podnebí. V těchto podmínkách se rostliny snaží snížit výpar vody uzavřením průduchů, čímž však zároveň brání i difúzi CO<sub>2</sub>. Proto se u těchto rostlin vyvinul mechanismus, který je schopen zajistit dostatek tohoto plynu pro následné zabudování do organických molekul. Při něm dochází ke dvoji fixaci CO<sub>2</sub>. Při první je příjemcem CO<sub>2</sub> **fosfoenolpyruvát** a vazbu zajišťuje enzym fosfoenolpyruvátkarboxyláza. K tomuto ději dochází v buňkách mezofylu (základního pletiva uvnitř listu) a vzniklým produktem je kyselina pyrohroznová neboli **pyruvát** - molekula obsahující čtyři atomy uhlíku - odtud tedy C4-rostliny, která je dále redukována na kyselinu jablečnou - malát. Tato karboxylace je velmi účinná i při nízkých koncentracích CO<sub>2</sub> a zachycuje i CO<sub>2</sub> vzniklý při fotorespiraci. Malát se z mezofylu dopravuje do buněk ve kterých probíhá Calvinův cyklus, tj. do buněk pochev cévního svazku. Zde se malát dekarboxyluje a oxiduje, a uvolněný CO<sub>2</sub> vstupuje do druhé fixace v Calvinově cyklu. C4-rostliny mají charakteristické věncité uspořádání dvou vrstev buněk kolem cévních svazků, které je podmínkou účinnosti tohoto mechanismu nazývaného **Hatch-Slackův cyklus** nebo také cyklus C4-dikarboxylových kyselin. Ten může fungovat pouze při **prostorovém oddělení** obou reakcí. K C4-rostlinám patří například kukuřice, proso, cukrová třtina, druhy rodů lebeda (*Atriplex*), laskavec (*Amaranthus*), a spousta dalších. Rostliny vybavené tímto mechanismem mnohem lépe využívají světelnou energii pro fotosyntézu než C3-rostliny.

### IV. 5. CAM-ROSTLINY

Většina sukulentů čeledi tlusticovitých (*Crassulaceae*), vstavačovitých (*Orchidaceae*), liliovitých (*Liliaceae*), kaktusovitých (*Cactaceae*), bromeliovitých (*Bromeliaceae*) a některých dalších se velice dobře přizpůsobila extrémně suchým stanovištím, krátkým horkým dnům a chladným nocím zvláštním způsobem vázání CO<sub>2</sub>. Stejně jako C4-rostliny, mají tyto tzv. CAM - rostliny ve své fotosyntéze dvoji fixaci CO<sub>2</sub>. Prostorová oddělenost je však tady nahrazena **časovou odděleností**. Průduchy u těchto rostlin jsou ve dne uzavřeny, aby nedocházelo k nadměrnému výparu vody, takže fotosyntéza by za těchto podmínek nemohla pro nedostatek CO<sub>2</sub> probíhat. Proto rostlina CO<sub>2</sub>, který pochází z jejího dýchání, fixuje v průběhu noci do malátu (kys. jablečné), který je skladován ve velkých vakuolách. Ve dne je malát odveden z vakuoly a dekarboxylován jablečným enzymem podobně jako u C4-rostlin. Uvolněný CO<sub>2</sub> pak vstupuje do Calvinova cyklu.

### IV. 6. MINERÁLNÍ VÝŽIVA

Vyšší zelené rostliny přijímají svými kořeny z vnějšího prostředí všechny potřebné prvky v iontové formě. Výjimkou jsou uhlík a kyslík, které vstupují do rostliny jako plyny (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). Vodík pochází i z vody. Přírodním živným prostředím vyšších rostlin je půda, která obsahuje minerální živiny ve třech základních formách. Ne všechny jsou však pro rostlinu v daném okamžiku využitelné.

**Vázané živiny** jsou pro rostlinu nepoužitelné, mnohé jsou součástí minerálů a uvolňují se působením vnějších podmínek např. povětrnostními vlivy.

**Výměnné živiny** - půdní koloidy, jako humusové částice a jíl, nesou na svém povrchu elektrický náboj a jsou schopny vázat kladně nabitě kationty. Ty jsou rostlině dostupné při tzv. kontaktní výměně iontů mezi půdními koloidy a strukturou kořenových vlásků.

Nejrychleji dochází k výměně další formy - **kationtů**  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  a  $H^+$ . Rozpuštěné v půdním roztoku (kapalná fáze půdy) v podobě iontů jsou jako jediné pro rostlinu použitelné okamžitě.

Abychom mohli prvek označit jako minerální živinu rostliny, musí splňovat určité základní podmínky:

1. rostlina se neobejde bez příslušného množství tohoto prvku v žádné ze svých životních fází
2. prvek není možné nahradit jiným prvkem s podobnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi
3. prvek musí být zařazen přímo do metabolismu, nesmí působit prostřednictvím jiného prvku.

#### IV. 7. TRANSPORT ŽIVIN

Ionty z půdního roztoku mohou být v půdě do blízkosti kořenů transportovány buď difúzí nebo tzv. hromadným tokem půdního roztoku, který vyvolává transpirace rostlin, dešť nebo závlaha.

Hlavní roli v příjmu živin hraje **kořenové vlášení**, na kterém se uskutečňuje přesun iontů mezi kořenem a půdou. Minerální živiny se dostávají dále difúzí do volného prostoru kořene, který je tvořen prostorami v buněčných stěnách a intercelulárními (mezibuněčnými) prostorami. Difúzi ve volném prostoru říkáme **apoplastická cesta** transportu, kdy živina proniká bez spotřeby metabolické energie (tzv. pasivní transport) přes rhizodermis kořenových vlásků a parenchymatickou kůru do rostliny. Pětkázkou dalším pohybu živin z kořene k cévním svazkům jsou tzv. Casparyho proužky v radiální stěně endodermis. Živiny proto přecházejí **aktivním transportem** (při němž je spotřebovávána energie) do **symplastu**. To je plazmatická transportní cesta, která využívá plasmodesmy (mezibuněčná spojení). Při přechodu do symplastu je zřejmě membrána nepropustná pro samotný iont, ale propustná pro komplex iont-přenašeč. Metabolická energie se spotřebovává na aktivaci nosiče nebo na jeho pohyb přes membránu. Po přestupu do endodermálního symplastu, kde jsou živiny nesený proudem cytoplazmy, se musí dostat do cév, což znamená opět přestup do apoplastu dřevního parenchymu. Po vstupu do cév jsou živiny vedeny vzestupným transpiračním proudem, který je poháněn odpařováním vody v nadzemních částech rostliny - hlavně listovými průduchy.

Zatímco vedení živin apoplastem či symplastem se uskutečňuje mezi jednotlivými buňkami k transportu nespecializovanými (tzv. transport na kratší vzdálenost), je pro dálkový transport živin či asimilátů mezi jednotlivými orgány zapotřebí specializovaných vodivých pletiv. **Xylémem** (dřevem) jsou vzestupně vedeny živiny transpiračním proudem a ve **floému** (lýku) se asimilačním proudem přesunují hlavně fotosyntetické produkty a jiné organické látky z listů do kořenů, stonku, květů a plodů.

Protože se při příjmu živin spotřebovává energie z molekul ATP, je rychlost příjmu živin kladně ovlivňovaná rychlostí dýchání. Při nízkých teplotách je snížen v důsledku omezeného metabolismu. Do 40°C většinou jeho intenzita stoupá. Pokud není dostatečně provzdušněna půda, dochází také k omezení příjmu živin, protože kořenům

je znemožněno dýchání. Opomenout nesmíme ani kyselost prostředí. Optimální hodnota pH je pro různé druhy rostlin odlišná. Většina kulturních rostlin má optimum kolem neutrální hodnoty pH 7,0.

#### IV. 8. MIMOKOŘENOVÁ VÝŽIVA

Přestože rostliny přijímají téměř všechny živiny kořeny, není to jejich jediná možnost - některé ionty jsou totiž schopny překonat i kutikulu dospělých listů, která má velmi malou propustnost. Stejně jako v kořenech jsou pak živiny vedeny apoplasticky a symplasticky. Velmi dobře rostliny přijímají živiny pomocí **průduchů**. Tento poznatek se využívá v zemědělství při hnojení postřikem na povrch listu.

#### IV. 9. BIOGENNÍ PRVKY

Obsah jednotlivých minerálních živin v rostlině je možné určit pomocí chemických analýz, které zjistí i nepatrné stopy prvků. Sušina rostlin obsahuje asi 95% tzv. organogenních prvků (C,H,O,N) a 5% ostatních tzv. minerálních prvků. Tato chemická analýza však nezjistí, které prvky jsou nahodile přijaté z půdy a pro rostlinu postradatelné a které jsou naopak nezbytně nutné - biogenní. To se zjišťuje pomocí metody využívající živné roztoky, ve kterých jsou navozeny nedostatky různých prvků a rostliny jsou srovnávány s kontrolní variantou pěstovanou v roztoku se všemi potřebnými živinami. Podle toho, kolik daného prvku rostlina potřebuje, dělíme biogenní prvky na 2 skupiny: makrobiogenní a mikrobiogenní.

**Makrobiogenní prvky** mají převážně stavební funkci a jejich koncentrace v rostlině je nejméně 1 mg na gram sušiny. Jsou to následující prvky:

**Uhlík** - je přijímán rostlinami ze vzduchu ve formě  $CO_2$  při fotosyntéze. Příjem a metabolismus uhlíku má základní význam pro mnohé děje výměny a přeměny látek, protože tento prvek je základní složkou všech organických sloučenin.

**Vodík a kyslík** - se do těla rostlin dostávají hlavně ve formě vody. Kyslík je přijímán i ve formě  $CO_2$  a jako vzdušný kyslík  $O_2$ . Stejně jako uhlík jsou základem všech organických látek. Kyslík je konečným akceptorem (příjemcem) elektronů v dýchacím řetězci v mitochondriích.

**Dusík** - jehož hlavním zdrojem pro rostlinu je půda, je přijímán ve formách  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ . Je složkou mnoha organických sloučenin (proteiny, nukleové kyseliny, atd.). Nedostatek dusíku zastavuje růst, rostliny jsou prodloužené, žlutozelené v důsledku snížení obsahu chlorofylu a předčasně kvetou. Vzdušný dusík mohou využívat rostliny pouze prostřednictvím symbiotických organismů - např. hlízkových bakterií, které jej dokáží fixovat.

**Fosfor** - je přijímán z půdy nejvíce ve formě  $H_2PO_4^-$ , ale i jako  $HPO_4^{2-}$  a  $PO_4^{3-}$ . Je důležitým stavebním prvkem nukleových kyselin, složkou fosfolipidů a koenzymů NAD a NADP. Dále je využíván např. k tvorbě fosforečných sloučenin cukrů a makroergických látek (ATP). Nedostatek fosforu vyvolává předčasný opad listů, odumírání nadzemních částí a omezuje se i tvorba plodů.

**Síra** - je přijímána jako aniont  $SO_4^{2-}$  zatímco ve formě iontů  $SO_3^{2-}$  nebo sirovodíku je pro rostliny toxická, stejně jako plynná forma  $SO_2$ . Síran je redukován až na SH-skupinu, která je přítomná např. v molekule aminokyseliny cysteinu. Z cysteinu vzniká oxidací SH- skupiny cystin a tato vzájemná přeměna má vliv na oxidoredukční potenciál buňky, který ovlivňuje aktivitu mnoha enzymů. Síra je dále součástí např. aminokyseliny methioninu, acetyl-CoA a v komplexu s atomy některých kovů, hlavně

železa, tvoří aktivní centrum mnoha oxidoredukčních enzymů.

**Draslík** - je přijímán jako kationt  $K^+$ . Má velký význam pro vznik a transport asimilátů a ovlivňuje otevírání průduchů. Je významný jako aktivátor některých metabolických enzymů a ovlivňuje transport sacharidů. Za přítomnosti draslíku rostliny lépe přijímají železo a lépe je využívají pro syntézu chlorofylu. Zvyšuje schopnost cytoplazmy vázat vodu. Nedostatek se projevuje tmavnutím okrajů listů a nízkou klíčivostí semen.

**Hořčík** - rostlina jej přijímá jako kationt  $Mg^{2+}$ . Významnou funkci plní v molekule chlorofylu a při stabilizaci pektinů buněčné stěny. Metabolická funkce spočívá v aktivaci celé řady enzymových reakcí, např. těch, při nichž se přenášejí makroergní fosfátové vazby. Při nedostatku hořčíku zežloutnou listové čepele mezi cévními svazky.

**Vápník** - je přijímán ve formě  $Ca^{2+}$  z půdy. Jeho funkce je hlavně stavební: stabilizuje buněčné membránové útvary a pektiny buněčných stěn. Dále reguluje hydrataci a pH prostředí a neutralizuje toxické účinky organických kyselin. Je vázán v některých enzymech - např. v  $\alpha$ -amyláze (enzymu štěpícím škrob). Je těž nepostradatelný při přenosu signálu přes cytoplazmatickou membránu. Nedostatek vápníku se projevuje degenerací rostlinných meristémů (dělivých pletiv), zpomalením růstu a následným uhynutím.

**Železo** - v jaké formě je železo přijímáno rostlinou, je zatím nejasné. V rostlině neexistuje zřejmě jako volný ion, ale je vázáno uvnitř vícečlenného kruhu (tzv. chelátového komplexu). Železo je důležitou součástí systémů elektronového přenosu ve fotosyntéze a dýchání, kde má oxidoredukční funkci - např. ve ferredoxinu ve fotosystému I. Při nedostatku železa rostlina rychlebledne. Tento jev se nazývá chloróza.

**Mikrobiogenní prvky** mají převážně katalytickou funkci a jejich koncentrace v rostlině je menší než 100  $\mu g$  na gram sušiny. Jsou to:

**Bór** - je nezbytný pro pohyb cukrů v rostlině. Je přijímán ve formě boritanového aniontu a jeho nedostatek způsobuje odumírání vzrostného vrcholu.

**Měď** - je ve většině půd přítomna jako kationt  $Cu^{2+}$ , který také vstupuje do rostliny. Má důležitou úlohu v dýchacím řetězci, neboť je složkou jeho enzymů. Nedostatek mědi se projevuje zpomalením růstu a nekrotizací na listech, vyšší koncentrace jsou toxické.

**Molybden** - hraje důležitou úlohu v metabolismu dusíku. Je důležitý zejména pro mikroorganismy, které umí vázat dusík, proto je nezbytný pro optimální růst bobovitých rostlin.

**Mangan** - jeho funkce je spojena hlavně s enzymovou činností metabolismu sacharidů a s účastí ve fotolýze vody. Má katalytický účinek na tvorbu chlorofylu.

**Zinek** - rostlina ho přijímá ve formě  $Zn^{2+}$ . Je nezbytný k aktivaci mnoha enzymů. Zinek hraje úlohu při tvorbě prekurzoru (výchozí stavební sloučeniny) hormonu auxinu a aminokyseliny tryptofanu. Při jeho nedostatku se špatně rozvíjejí semena.

**Kobalt** - jeho význam u vyšších rostlin je málo prostudován, některé zelené řasy ho vyžadují navázaný ve struktuře vitamínu  $B_{12}$  jako růstový faktor. Také vznik kořenových hlízek vyžaduje kobalt.

**Ostatní anionty** -  $Cl^-$ ,  $VO_3^-$  (pozitivní vliv na fotosyntézu) a  $TiO_3^{2-}$  mají specifické metabolické funkce, které zatím nejsou přesně objasněny.

## IV. 10. HETEROTROFIE U ROSTLIN

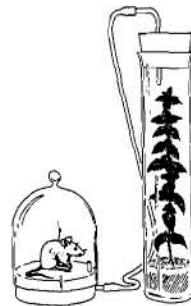
Základním rysem rostlin je schopnost využití uhlíku z anorganických látek a jeho zabudování do organických sloučenin za využití minerálních živin z půdy. Tento autotrofní způsob výživy je nezávislý na ostatních organismech, na rozdíl od heterotrofního způsobu výživy, pro který je podmínkou příjem energeticky bohatých živin ze svého okolí. **Heterotrofně** se žije většina bakterií, houby i živočichové. Ale ani rostliny se neživí pouze **autotrofně**. Ve fázi klíčení je celá rostlina odkázaná na heterotrofní výživu, kdy čerpá živiny ze zásobních pletiv. Zrovna tak u dospělé rostliny na úrovni orgánů a pletiv je heterotrofie běžná a např. květy, pletiva kořene, pokožkové buňky listu jsou odkázány na buňky fotosynteticky aktivní.

Ne všechny rostliny jsou však schopné se autotrofně uživit a potřebují pro svůj vývoj i přísun organických látek (**mixotrofie**). Zvláštní skupinou mixotrofií jsou **masožravé rostliny**, které svou adaptací převrátily obvyklý potravní vztah mezi příslušníky živočišné a rostlinné říše. Z živočišné potravy zužitkují zejména dusík, kterého se jim na jejich přirozených stanovištích nedostává.

Klasický saprofytismus najdeme především u bakterií a hub. Za **saprofyty** u rostlin jsou považovány např. hlístník (*Neottia*) či korálce (*Corallorrhiza*), ale toto zařazení není zcela přesné, protože tyto nezelené rostliny využívají organické látky z lesního humusu a navíc žijí v symbiotické **mykorrhize**.

Parazitismus je také charakteristický spíše pro houby, bakterie a prvoky, ale klasické parazity najdeme i u vyšších rostlin. **Holoparazité** (úplní parazité) svými haustorií prorůstají až do **floému** hostitelské rostliny. Kromě vody a minerálních živin si tak odvádějí i jejich asimiláty. Holoparazité jsou nezelení a výživou úplně závislí na hostiteli. Mezi holoparazity patří např. kokotice (*Cuscuta*), záraza (*Orobancha*), podbílka (*Lathraea*) a další. Rostliny **hemiparazitické** (poloparazitické), kam patří např. zástupci čeledi krtičnikovitých - rody všivec (*Pedicularis*), černýš (*Melampyrum*), kokrhel (*Rhinantus*) a světlík (*Euphrasia*) zasahují svými **haustorií** (česky pohružovák) do **xylému** kořenového systému hostitelských rostlin a čerpají zde vodu a minerální živiny. Hemiparazity jsou i jmelí (*Viscum*), ochmet (*Loranthus*) a další.

Symbióza je soužití dvou organismů, pro které je tento vztah výhodný. Mezi symbionty dochází k výměně živin a účinných látek, jako je tomu u **bobovitých** rostlin (*Fabaceae*) a **hlízkových bakterií** (*Rhizobium radicicola*). Jinou formou symbiózy jsou **lišejníky**, které jsou podrobněji zmíněny v kapitole III.5.. **Mykorrhiza** je soužití mezi kořenem vyšší rostliny a myceliem houby. Podrobněji již byla popsána v kapitole III.5..



**Experiment Josepha Priestleye z roku 1780, kdy tento anglický chemik a ministr objevil, že rostliny produkují kyslík. Nejdříve pod skleněnou dózu umístil hořící svíčku a s překvapením zjistil, že zhasla mnohem později než bez přívodu plynů od osvěcené rostliny. Později experiment obměnil a na místo svíčky použil myš, která při vhodném uspořádání aparatury přeživala několik dní.**

## V. Výživa bezobratlých

### V. 1. PRVOCI (Protozoa)

Snad žádná jiná živočišná buňka není tak bohatě členěna a neobsahuje tolik různorodých organel a struktur jako buňka prvoka, která zastává všechny životní funkce, tedy i příjem a zpracování potravy. Potrava musí nejprve projít přes cytoplazmatickou membránu, která je součástí povrchu každé buňky. Drobné částice, vesměs různé molekuly, jsou do buňky transportovány buď **osmoticky**, nebo pomocí takzvaných **přenašečů**. To jsou molekuly bílkovin umístěné v jinak souvislé fosfolipidové vrstvě membrány. Větší částice potravy jsou přijímány mechanismem zvaným **pinocytóza**, což je vchlípení membrány dovnitř buňky a vytvoření dutinky obsahující požíraný objekt. Ještě větší potravu (třeba bakterie nebo jiné prvoky) dokáží požírat někteří kořenonožci, například měňavka (*Amoeba sp.*), dějem zvaným **fagocytóza**. Živočich při něm doslova oblije výběžky své buňky kořist, která může být i stejně velká, jako on sám. Z pinocytózou či fagocytózou vzniklé dutiny pak vzniká **potravní vakuola**, do které jsou vylučovány enzymy, jež potravu rozkládají. Opačným způsobem, vyvrhováním obsahu "odpadních" vakuol, **exocytózou**, se z buňky mohou dostávat již nepotřebné látky.

Jak již bylo řečeno, buňky prvoků jsou často složitě rozčleněny a každý metabolický děj probíhá v určité vymezené oblasti. I přijímání potravy bývá (zvláště u nálevníků) lokalizováno do určitého místa. Říkáme mu **buněčná ústa**. Na první pohled vypadá jako hlubší prohlubeň na povrchu buňky. Odtud pokračuje tzv. **buněčný hltan**, na jehož konci vznikají potravní vakuoly. Okraj buněčných úst může být obklopen výrazným **věncem brv**, který napomáhá uchopování či nahánění potravy. Nahánění má velký význam zvláště u těch nálevníků, kteří žijí přisedle. Celá buňka pak má trychtřovitý či pohárkovitý tvar a tvoří tak jakousi past na vše, co se v jejím okolí vyskytne. Také vylučování nestrávených látek probíhá na konkrétně lokalizovaném místě označovaném jako **buněčná řiť**.

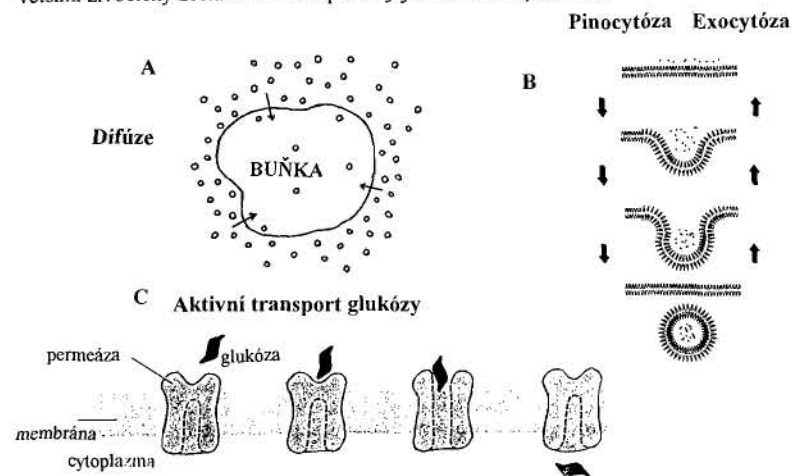
Toto schema tělní stavby přisedlého živočicha se vyskytuje nejen u prvoků, ale i u dalších živočišných skupin. Většinou se jedná o vodní živočichy, neboť z vody lze potravu snáze získat, než ze vzduchu. Pokud má živočich dobře uzpůsobené lapací orgány a "umí přisednout" na vhodném místě (např. v oblasti vysoké koncentrace potravy či v proudu vody přinášejícím potravu), může být tento zdánlivě pasivní způsob života energeticky efektivnější než aktivní pohyb a sběr či lov potravy. Přisedlí živočichové navíc většinou nejsou k podkladu trvale přirostlí a v případě potřeby mohou měnit svá stanoviště.

Uvažujeme-li o postavení prvoků v ekosystému, nelze mluvit o jednoznačném rozdělení na prvoky býložravé a masožravé. Spíše můžeme pozorovat souvislý gradient od druhů žijících se drobnými částicemi organické hmoty přes konzumenty nejmenších organismů (bakterií), požírače drobnobuněčných prvoků i řas (tedy živočichů i rostlin) až po vyslovené dravce žijící se i prvoky řádově stejné velikosti, jako jsou oni sami. Mnozí prvoci jsou epizoičtí, to znamená že žijí na těle jiného, většího živočicha a konzumují potravu vyskytující se na jeho povrchu. Vykonnávají tak funkci jakýchsi čističů. Příkladem je např. brousilka (*Trichodina*) žijící na nezmarovi.

Jako u mnoha jiných skupin živočichů, i u prvoků se setkáváme s parazitickými formami. Mezi prvoky je obrovské množství druhů žijících jako **endoparazité** (vnitřní

paraziti) bezobratlých i obratlovců. Namátkou jmenujme některé parazity člověka: trypanozóma (*Trypanosoma gambiense*), bičenka (*Trichomonas vaginalis*), zimnička (*Plasmodium sp.*). Jiní prvoci jsou **komezálkové**, jako třeba bachořci (*Entodiniomorpha*), žijící v zažívacím traktu přežvýkavců, nebo **symbionti**, jako např. brvitky (*Hypermastigina*), které ve střevě všekazů rozkládají celulózu na využitelné cukry.

**Konzumenty** prvoků mohou být nejrůznější drobní živočichové, počínaje jinými většími prvoky, přes viřníky až po nejdrobnější rybí plůdek. Mnoho prvoků je pozřeno většími živočichy zcela mimoděk spolu s jejich normální potravou.



**Obr. 5. Příjem živin buňkou.** Buňka je od svého okolí oddělena cytoplazmatickou membránou, kterou je nezbytné při přijímání živin překonat. K tomu dochází několika způsoby:

**Difúze** - membrána je pro molekulu volně prostupná, k přenosu není potřeba žádná energie ani specifický přenašeč. Molekuly (např.  $CO_2$  a podobně malé molekuly) přecházejí z místa s vysokou koncentrací tam, kde je jejich koncentrace nižší.

**Usnadněná difúze** - přenos molekuly se uskutečňuje pomocí přenašeče, ale není při něm spotřebována energie.

**Aktivní transport** - přenos molekuly přes membránu je uskutečněn pomocí specifického přenašeče za spotřeby energie elektrického potenciálu nebo energie chemických vazeb. Přenos je možné uskutečnit, na rozdíl od výše uvedených procesů, i proti koncentračnímu spádu tedy z místa s nízkou koncentrací dané molekuly do místa s její koncentrací vysokou.

**Pinocytóza** - při tomto typu přenosu se membrána vchlípi a umožní přijmout větší množství živin. Opačným procesem je exocytóza.

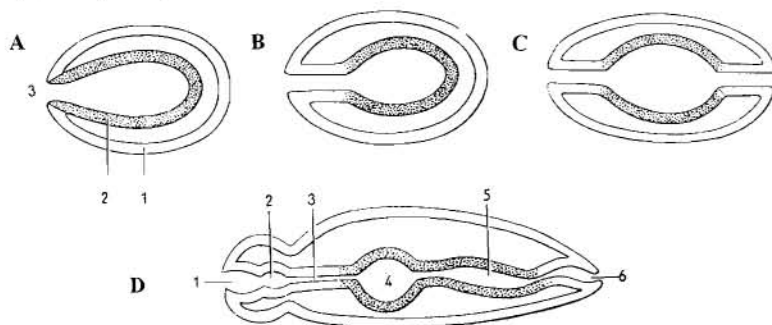
**Fagocytóza** - je proces podobný pinocytóze, ale větší svým rozsahem. Fagocytující buňka může například požít celou jinou buňku. Procesy pinocytózy i fagocytózy jsou velmi komplexní. Aktivně se na nich podílí cytoskelet a další buněčné struktury a orgány, mnohdy jsou nezbytné specifické receptory.

Všechny zmínované procesy se podílejí nejen na výživě buňky, ale účastní se i dalších důležitých buněčných dějů. Na obrázku vidíte A - difúzi, B - pinocytózu a exocytózu a C - aktivní transport glukózy.

## V. 2. MNOHOBUNĚČNÍ (Metazoa)

Až na výjimky, jakými jsou mořští morulovci (*Mesozoa*) a vložkovci (*Placozoa*), mají mnohobuněční živočichové tělo tvořeno vždy alespoň dvěma vrstvami buněk původem ze dvou zárodečných listů, ektodermu a entodermu. Vnitřní vrstva buněk ohraničuje prostor, který slouží jako **trávicí dutina** (jedná se o tzv. primární tělní dutinu). Ta ústí na povrch těla jediným otvorem, fungujícím současně jako otvor přijímací a vyvrhovací. Buňky vnitřní (entodermální) vrstvy vylučují trávicí enzymy do tělní dutiny, kde vždy probíhá alespoň první fáze rozkladu potravy. Jedná se tedy o **extracelulární**, mimobuněčné trávení, což je jedna z charakteristických vlastností mnohobuněčných živočichů [pozor, i zde jsou výjimky, viz např. živočišné houby (*Porifera*)]. Prvoci naproti tomu mají trávení vždy **intracelulární**, vnitrobuněčné. Trávicí dutina s jedním otvorem se vyskytuje i u vývojově pokročilejších skupin, u nichž přibývá vrstev tělních buněk (buď zmnovňováním buněk ektodermu a entodermu, nebo zakládáním třetího zárodečného listu mezodermu). Další typ trávicí soustavy vzniká prolomením druhého otvoru (vyvrhovacího čili řitního) na opačném tělním pólu, než je primární ústní otvor. Tím se z trávicí dutiny stává průchodná **trávicí trubice**. Ta bývá (podle stupně složitosti těla živočicha) členěna na jednotlivé oddíly jako ústní dutinu, hltan, žaludek nebo střevo, které zastávají při trávení specifické funkce. To má ohromný význam, neboť jednotlivé kroky trávení jsou od sebe odděleny a mohou probíhat chronologicky za sebou. Živočich tak není při přijímání potravy vázán na to, zda a v jakém stadiu rozkladu již v sobě potravu má. Trávicí trubice může mít i slepé výběžky a mohou do ní ústit různé žlázy.

V následujícím přehledu si velmi stručně připomeneme hlavní skupiny mnohobuněčných bezobratlých živočichů. Budeme si všimnout především toho, jak která skupina získává, přijímá a zpracovává potravu, a v jakých je potravních vztazích s jinými organismy.



Obr. 6. Schéma vývoje trávicí soustavy.

A - vchlípený entoderm (2) vytvořil dutinu prvostřeva, které komunikuje s vnějším prostředím prvoústí (3). Vnější obalem je ektoderm (1).

B - přední část trávicí soustavy je ektodermálního původu

C - proražením řitního otvoru vzniká trávicí trubice, jejíž přední a zadní část je ektodermálního původu

D - diferenciací trávicí trubice prvoústých - 1 ústní otvor, 2 hltan, 3 jícen, 4 žaludek, 5 střevo, 6 řitní otvor (druhotně prolomený) (podle Komárka)

## V. 2. 1. HOUBY (Porifera)

Říká se, že výjimka potvrzuje pravidlo, a houby jsou toho příkladem. Co se týče zpracování potravy, lze houby, pochopitelně s jistou nadsázkou, přirovnat k obrovským koloniím prvoků se silně rozrůzněnými buňkami. Jejich tělo je sice tvořeno dvěma hlavními vrstvami buněk (podobně jako je tomu u následující skupiny žahavců), tělní dutina má však nejenom jeden velký otvor na svém horním konci (houby žijí přisedle v koloniích), ale i velké množství drobných postranních otvůrků. Ty prostupují tělní stěnou a tvoří chodbičky, které mohou být i různě zesíťované. Jimi proudí voda i s potravou dovnitř, velkým vyvrhovacím otvorem ven. Tento neustálý pohyb i vychytávání potravy je zajišťován límečkovitými buňkami neboli **choanocyty**. To jsou buňky vnitřní vrstvy, tedy ty, které bezprostředně obklopují tělní dutinu. Někdy vystylají i drobné dutinky v chodbičkách. Jsou vybaveny zvláštními bičiky a límečky. Pohyb bičiků udržuje vodu v pohybu a pomocí límečků je potrava pohlcována. Tam je částečně natrávena, zbytek trávení pak probíhá v měňavkovitých buňkách, **amébocytech**. Houby mají tedy trávení **intracelulární** (!) a o nějaké trávicí dutině vlastně ani nemůže být řeč. Jsou to **mikrořágové**, žijí se drobným detritem, bakteriemi a prvoky.

Ze specializovaných konzumentů několika mála druhů hub žijících ve sladkých vodách u nás stojí za zmínku vodnářkovití (*Sisyridae*). Je to čeled' síťokřídleho hmyzu, jehož larvy žijí ve vodě a mají ústní ústrojí speciálně adaptované na vysávání hub.

## V. 2. 2. ŽAHAVCI (Cnidaria)

Radiální souměrnost, tělní dutina s jedním otvorem, pohyblivá ramena či vlákna kolem něj a žahavé buňky, to jsou některé znaky tohoto převážně v moři žijícího kmene živočichů. V jejich životních cyklech se vyskytují dva typy tělní stavby, přičemž u většiny druhů jeden nebo druhý převládá. Je to jednak přisedlý typ zvaný polyp (příkladem je sladkovodní nezmar (*Hydra* sp.), z mořských živočichů sasanky a koráli), jednak typ volně plovoucí, medúzovitý - např. medúzka sladkovodní (*Craspedacusta sowerbii*).

Žahavci jsou masožraví. Žijí se drobnějšími živočichy, které vychytávají z vody pomocí ramen s žahavými buňkami - **knidocyty** (knidoblasty). Někdy však může být kořist relativně obrovská. Například nezmar (*Hydra* sp.) vyniká nesmírnou žravostí a mnohdy pozře živočicha většího, než je sám. Žahavé buňky slouží nejen k omrácení kořisti, ale i k obraně. Toxiny produkované některými mořskými druhy mohou být nebezpečné i člověku. Proto žahavci nemají mnoho přírodních nepřátel.

Za zvláštní zmínku stojí některé druhy ryb žijící v symbióze s mořskými sasankami. Žijí se organickým materiálem z povrchu těla sasank a působí tak jako jejich čističi. Sasanky je nechávají na pokoji a poskytují jim ochranu.

## V. 2. 3. PLOŠTĚNCI (Plathelminthes)

Jednotlivé skupiny volně žijících ploštěnců, tedy **ploštěnek** (*Turbellaria*), mají trávicí soustavu na různém stupni vývoje. U všech typů následuje za ústním otvorem hltan. Na něj v nejjednodušším případě navazuje shluk trávicích buněk, v nichž probíhá intracelulární trávení. Tak je tomu u ploštěnek bezstřevných (*Acoela*). Tato skupina zahrnuje pouze mořské druhy. Ve sladkých vodách se můžeme setkat s ploštěnkami rovnostřevnými (*Rhabdocoela*), u nichž hltan pokračuje jednoduchou, podlouhlou, slepě ukončenou trávicí dutinou ("střevem"), a s ploštěnkami trojvětvevnými



(*Tricladida*), kam patří obecně známé druhy ploštěnek našich vod. Ty mají ústní otvor umístěn na břišní straně těla (zhruba uprostřed) a jejich hltan je chobotovitě vychlípitelný. Střevo je rozvětveno na tři výběžky, které se rozbíhají od středu těla - jeden dopředu, dva dozadu. Každá z těchto tří hlavních větví může být ještě jemněji větvená. Velmi pěkně je tato struktura vidět na ploštěnce mléčné (*Dendrocoelum lacteum*), jejímž tělem trávicí soustava zřetelně prosvítá. Ploštěnky jsou detritožravé či dravé, některé druhy trojvětvených dokážou lovit kořist pomocí vychlípitelného hltanu. Specializovaní konzumenti ploštěnek u nás nežijí. Ploštěnkami se mohou příležitostně živit např. různé dravé larvy hmyzu (potápníci), či některé druhy ryb, které sbírají potravu ze dna (vranka, hrouzek).

Většina skupin ploštěnců žije paraziticky. Tomu odpovídá stavba jejich těla včetně trávicí soustavy. U **motolic** (*Trematoda*) a **jednorodých** (*Monogenea*) je trávicí soustava zachována, střevo je jedno či dvouvětvené. Ústní otvor (v přední části těla) je obklopen přísavkami, popřípadě leží přímo uprostřed jedné velké přísavky. Motolice parazitují ve vnitřních orgánech nejrůznějších živočichů, žijí se většinou jejich tkáněmi. Ve svém vývojovém cyklu často střídají více hostitelů. Např. motolice jaterní (*Fasciola hepatica*) má několik morfologicky zcela odlišných stadií larev, které parazitují ve vodních organismech, přičemž posledním mezihostitelem v řadě je plž bahenka malá. Konečným hostitelem dospělců jsou většinou ovce.

**Tasemnice** (*Cestoda*) jsou ještě více přizpůsobeny parazitickému způsobu života. Trávicí soustava u nich zcela zanikla, chybí i produkce některých trávicích enzymů. Střídají alespoň dva různé hostitele, přičemž dospělá stadia žijí ponejvíce (ne vždy) v trávicích soustavách bezobratlých či obratlovců. Vlastní trávení (rozklad potravy) zcela ponechávají na hostiteli a samy pouze vstřebávají tráveninu. K tomu mají znamenitě uzpůsoben povrch těla, který bývá pokryt mikroskopickými výběžky připomínajícími střešní klky.

#### V. 2. 4. HLÍSTI (*Nemathelminthes*)

Pod tímto názvem se skrývá více skupin živočichů, kterým však bývá podle některých systémů přiznáván statut samostatných kmenů. Přidržíme se systému podle Rosypala (Rosypal a kol., 1992) a do společného kmene hlístů zahrneme hlístice (*Nematoda*), strunovce (*Nematomorpha*), břichobrvky (*Gastrotricha*) i viřníky (*Rotatoria*). Hlísti jsou živočichové s nečlánkováným tělem, kteří již mají trávicí trubici s ústním a řitním otvorem. Je členěná na ústní dutinu, jícen, střevo a konečník (u jednotlivých skupin jsou tyto oddíly specificky utvářeny, např. u viřníků je přítomen i žaludek s trávicími žlázami).

**Hlístice** jsou saprofyti, býložravci, dravci i paraziti nejširších zaměření. Přes obrovskou různorodost prostředí, která obývají, vypadají všichni zástupci nápadně podobně. Mají protáhlý červovitý tvar bez zvláštních výstupků a nevýrazné bělavé zbarvení. Volně žijící hlístice tvoří součást půdní fauny (jsou často důležitou skupinu destruentů), mnoho jich žije ve vodě (zvláště při dně v sedimentech, zde jsou součástí mikrobentosu). Většinou dosahují mikroskopických rozměrů. Mohou být potravou drobných masožravých živočichů (hmyz, stonožky, roztoči...). Z obrovského množství parazitických hlístic jsou pro nás významní zvláště někteří endoparazité obratlovců - škrkavky (*Ascaridata*), roupí (*Oxyurata*), vlasovci (*Filariata*) či svalovec stočený (*Trichinella spiralis*), a paraziti kulturních rostlin - např. háďátka (*Tylenchida*).

**Strunovci** představují malou, výhradně parazitickou skupinu hlístů. Vyznačují se velmi dlouhým a tenkým tělem a lze je nalézt na dně drobných vodních nádržek a tůňek. V larválním stadiu parazitují většinou v těle hmyzu.

**Viřníci** jsou mikroskopičtí, vesměs vodní a půdní živočichové. Velikostně jsou srovnatelní s největšími druhy prvoků. Někteří žijí při dně jako součást mikrobentosu, ale většina druhů je planktonních. U ústního otvoru mají viřivý aparát. Tento orgán je tvořen věnci brv a slouží nejen k pohybu, ale i k nahánění a filtraci potravy (jsou to tzv. filtrátoři). Další morfologickou specialitou viřníků je zvláštní kousací aparát umístěný v hltanu. Viřníci tvoří velmi významnou skupinu konzumentů ve vodních ekosystémech, žijí se především bakteriemi a drobnými řasami. Sami pak představují potravu obrovského množství živočichů (koryšů, hmyzu i nejmenších ryb). Známe však též dravé viřníky, kteří se žijí pro ně relativně obrovskou kořisti (nálevníci, jiní viřníci). Mezi viřníky najdeme též formy žijící přisedle, lapající potravu pomocí chapádek.

Poslední zde zmíněná skupina hlístů, **břichobrvky**, jsou drobní vodní detritožraví živočichové.

#### V. 2. 5. KROUŽKOVCI (*Annelida*)

Svou tělesnou stavbou se řadí mezi již poměrně pokročilé živočichy. Mají dlouhé článkované tělo s homonomním článkovaním (v každém tělním článku se opakují tytéž orgány některých tělních soustav). Trávicí trubice prostupuje kromě prvního článku (prostomium) celým tělem živočicha, přičemž v několika prvních článcích těla se nachází ústní dutina s hltanem, v dalších pak jícen a žaludek. Pak následuje střevo, které je pravidelně v každém článku zaškrcované, a končí řitním otvorem v posledním článku těla.

Kroužkovci jsou většinou mikrofágové, jsou však mezi nimi i dravci (mořští mnohoštětinatci, pijavky) a paraziti (pijavky). Mnohé druhy mnohoštětinatců žijí přisedle, někdy si i staví pouzdra či rourky. Potravu lapají pomocí vějířovitých tykadel. Sladkovodní kroužkovci (nitěnky, naidky) tvoří významnou součást bentosu a půdní (žížaly, roupice) důležitou složku edafonu. Žížaly přijímají ústy přímo půdu, popř. i jiný organický materiál z půdy. Vše pak prochází trávicí trubici, kde jsou rozkládány organické složky. Nestrávené části a minerální součást půdy pak vychází promíchány opět řitním otvorem ven. Žížale tak za čas doslova projde trávicím traktem celé její okolí. V trávicím traktu žížaly nacházíme podobnou strukturu jako ve střevech obratlovců - podélnou řasu (*typhlosolis*).

Jak vodní, tak půdní kroužkovci jsou důležitou potravou pro mnoho živočichů, ať už bezobratlých (dravý hmyz) nebo obratlovců (ryby sbírající potravu ze dna, obojživelníci, drobní zemní savci i někteří ptáci). Palolo zelený (*Eumice viridis*), žijící v okolí ostrovů Fidži a Samoa, má morfologicky odlišnou zadní část těla, v které dozrávají pohlavní orgány. Tato část těla se pak v době podzimního novoluní odděluje a volně plave na hladině moře. Domorodci ji loví a pojídají.

#### V. 2. 6. MĚKKÝŠI (*Mollusca*)

U této starobylé, avšak vývojově značně vyspělé skupiny, se setkáváme s nejrůznějšími potravními specializacemi. Nacházíme zde mikrofágy (většina mlžů), konzumenty nárostových řas (někteří plži), býložravce požírající vyšší rostliny (mnoho plžů) i dravce (někteří plži, hlavonožci). Mnohé druhy (sladkovodní plži) stojí na začátku destruktčních (rozkladných) potravních řetězců. Mezi měkkýši nacházíme i

extrémní specialisty. Například sášeň lodní (*Teredo navalis*) ze skupiny mlžů se živi potopeným dřevem, v němž vyvrtává dlouhé chodby. Známe i měkkýše žijící paraziticky. Jsou to například larvy naší běžné škeble rybničné (*Anodonta cygnea*) zvané glochidie, které parazitují v žábřácích ryb.

Trávící soustava měkkýšů je velmi dobře vyvinutá. Do žaludku ústí různé trávící žlázy, především hepatopankreas, typický orgán měkkýšů. Střevo je dlouhé a tvoří kličky. Začátek trávící trubice bývá často opatřen tvrdými strukturami sloužícími k rozmělnění potravy (radula v ústní dutině plžů, čelisti hlavonožců). Hlavonožci používají k lovu kořisti chapadel s přísavkami.

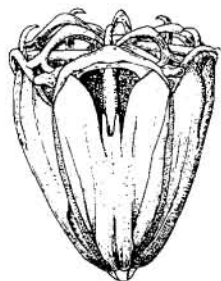
Díky své tělesné stavbě - měkkému tělu s masitými orgány pohybu (noha plžů a mlžů, chapadla hlavonožců) představují měkkýši vyhledávanou potravu mnoha živočichů včetně člověka (například ve Francii jsou různé úpravy hlemýždě národní specialitou, v mnoha přímořských zemích jsou běžným pokrmem ústřice či hlavonožci). Kromě hlavonožců se většina měkkýšů pohybuje velmi pomalu, a proto jsou snadno dosažitelnou kořistí. Z našich běžných ptáků je s oblibou pojídá drozd zpěvný (*Turdus philomelos*). Z typických potravních specialistů žijících se měkkýši jmenujeme alespoň ptáka ústřičníka (*Haematopus ostralegus*) vyžirajícího měkkýše v odlivové zóně moře), luňáka štihlouzobého (*Rosthramus sociabilis*) žijícího se téměř výhradně plži rodu *Pomacea*, celou hadí podčeleď šnekožroutů (*Dipsadinae*) či amerického ještěra teju krokodýlovitého (*Dracaena guianensis*). I největší známi měkkýši, jimiž jsou několik metrů velcí hlavonožci, mají své konzumenty - stávají se častou kořistí vorvaňů.

#### V. 2. 7. CHAPADLOVCI (*Tentaculata*)

Je to skupina typicky přisedle žijících živočichů, kteří mají kolem ústního otvoru chapadélka, jimiž přihánějí a lapají potravu. Ze sladkovodních zástupců jmenujeme mechovky (*Bryozoa*), které žijí i v našich vodách. Živí se mikroskopickými organismy (řasy, prvoci, vířníci).

#### V. 2. 8. OSTNOKOŽCI (*Echinodermata*)

Jsou to pozoruhodní, výhradně mořští živočichové. V dospělosti mají tělo paprscitě souměrné (obvykle pětičetně). I trávící trubice, která je jednou z mála nesouměrných soustav, jeví některé znaky pětičetnosti.



Obr. 7. Žvýkácí ústrojí ježovky, tzv. Aristotelova lucerna. Je složena z 25 pohyblivě spojených trámců a destiček. (podle Langa, 1971)

Např. hvězdice (*Asteroidea*) mají pět jaterních výběžků, u ježovek (*Echinoidea*) je přítomen pětičetný kousací aparát zvaný Aristotelova lucerna. Lilijice (*Crinoidea*) jsou převážně přisedlé, ostatní skupiny jsou volně pohyblivé. Ostnokožci ze skupiny ježovců - ježovky, hvězdice a hadice (*Ophiuroidea*), mají zkrácené kulovité či diskovité tělo, přičemž ústní otvor je orientován dolů, vyvrhovací otvor nahoru. Sumýši (*Holothuroidea*) mají paprscitou souměrnost částečně redukovanou.

Potrava je různá. Lilijice se živi planktonem, ježovky drobným organickým materiálem dna, hvězdice jsou dravé. K lovu potravy používají ostnokožci chapadla či panožky, do nichž vybihají výběžky zvláštní soustavy chodeb a kanálků, která je neustále naplněná vodou a vyskytuje se pouze u ostnokožců. Trávící soustava sumýšů slouží někdy k obraně před konzumenty. V případě podráždění sumýš některé její části (i jiné tělní orgány) vyvrhne, a tak predátora často zastráší. Ztracené orgány rychle regenerují.

#### V. 2. 9. ČLENOVCI (*Arthropoda*)

##### V. 2. 9. 1. Klepítkači (*Chelicerata*)

Řadíme sem jednak malou, výhradně mořskou skupinu hrotnatců (*Merostomata*), jednak početnou a značně rozšířenou skupinu pavoukoců (*Arachnida*), o které se blíže zmíníme. Pavoukoci jsou až na výjimky (jako třeba vodní roztoči vodule) suchozemští členovci. Jsou pro ně typické 2 páry příústních končetin, klepítka (*chelicery*) a makadla (*pedipalpy*). Jednotlivé skupiny pavoukoců mají obě tyto končetiny charakteristicky utvářené - mohou mít tvar bodců, drápků, klepítek i velkých klepet (štířů, *Scorpiones*).

Pavoukoci většinou přijímají tekutou stravu. Proto těla svých kořistí ještě před konzumací často ztekucují zvláštními enzymy. Z několika řádů jsou u nás nejvýznamnější tři.

Pavouci (*Araneae*) jsou dravci. Do kořisti nejprve vstříknou trávící enzymy a tekutou natráveninu pak vysají. Mají tedy v první fázi trávení zcela mimotělní. Do trávící trubice, která mívá i slepé výběžky, pak ústí trávící žlázy (např. hepatopankreas, odpovídající svou funkcí játrům obratlovců), které svými sekrety rozklad potravy dokončují. Pavouci jsou obratní lovci, mnohé druhy si ze sekretu snovacích žlaz zhotovují lapací síť. Jejich kořist je svou velikostí často mnohonásobně převyšuje.

Mezi roztoči (*Acarina*) jsou druhy dravé (*Gamasida*), detrito- a mykofágní (panciřníci), býložravé (sametka) i parazitické (klišťata, čmelci). Chelicery roztočů jsou nejčastěji přeměněny v bodavě sací ústrojí a jsou uzpůsobeny k vysávání živočišných či rostlinných tělních tekutin, popř. opět předem natráveného obsahu těla kořisti. Kromě tohoto typu ústního ústrojí u roztočů nacházíme celou řadu dalších adaptací např. u dravých nebo býložravých skupin. Některé druhy roztočů (vodule, *Hydracarina*) mají parazitická jen některá vývojová stadia.

Sekáči (*Opiliones*) jsou potravně specializováni většinou na drobné živočichy, často i uhynulé. Někteří sají rostlinné šťávy.

V rámci ekosystémů plní pavouci většinou roli drobných predátorů, tedy sekundárních či terciárních konzumentů. Specializovaní predátoři pavouků jsou např. některé druhy blanokřídlých [kutilký (*Sphexidae*)], v kokonech pavouků parazitují larvy síťokřídých [pakudlanky (*Mantispidae*)]. Dále jsou frekventovanou potravou hmyzožravých rejsků (*Soricidae*) nebo ještěrek (*Lacertidae*). Volně žijící roztoči představují konzumenty vyšších i nižších úrovní (např. v půdních ekosystémech) a hlavně rozkladače.

### V. 2. 9. 2. Korýši (Crustacea)

Oproti pavoukovcům jsou korýši skupinou takřka výhradně vodní. Zahrnují tak velké množství forem, že není možné je z potravního hlediska nějak charakterizovat jako celek. Zmíníme se proto jednotlivě o některých nejvýznamnějších typech.

**Perloočky (Cladocera)** tvoří jednu z nejdůležitějších složek zooplanktonu sladkých vod. Živí se drobným mikroplanktonem, především jednobuněčnými řasami. A protože právě ty jsou hlavními producenty organických látek ve vodě, jsou zde perloočky v pořadí prvními a nejdůležitějšími konzumenty v potravním řetězci. Vychytávat řasy z vody po jednotlivých buňkách by bylo značně neekonomické, perloočky však tento úkon řeší velmi elegantně, filtrací (podobně jako vířníci). Jako filtrační aparát perloočkám slouží obrvené hrudní končetiny, které zcela ztratily svoji původní funkci (pohyb živočicha). Neustálými hrabavými pohyby nožek se v nejbližším okolí perloočky vytváří proud vody, kterým jsou drobné částičky potravy (řasy) strhávány a vtahovány pod krunýř živočicha. Zde jsou zachytávány na brvách a transportovány k ústnímu otvoru. Protože mají perloočky průhledné tělo, je dobře vidět zeleně, žlutě či hnědě zbarvené střevo (barva je dána druhem řas, které perloočka právě tráví). Výjimka však potvrzuje pravidlo, známe i dravé druhy perlooček.

**Klanonožci (Copepoda)** jsou obvykle rovněž drobní planktonní živočichové. Nacházíme zde ale i formy parazitické. U nás se běžně vyskytují vznášivky (*Diaptomus* sp.) rovněž filtrující řasy (i když trochu jiným způsobem, než perloočky) a buchanky (*Cyclops* sp.), které jsou dravé.

Z rakovců (*Malacostraca*) si připomeňme běžně rozšířenou berušku vodní (*Asellus aquaticus*), živící se mrtvými částmi rostlin a detritem a vyskytující se v rybnících a řekách, blešivce (*Gammarus* sp.) konzumujícího rovněž rostlinné zbytky a žijícího v čistších potocích, dále suchozemské býložravé stínky (*Porcellio* sp.) a svinky (*Armadillidium* sp.) a konečně masožravé raky (např. rak říční, *Astacus astacus*).

I mezi korýši nalezneme svérázné, charakteristicky specializované formy. Tak třeba **kapřivci (Branchiura)** žijí paraziticky na těle ryb a mají takřka tvar rybi šupiny. Mořští **svijonožci (Cirripedia)** žijí přisedle, jejich hlava je přeměněna v přichytný orgán a nožkami si přihánějí potravu. Většina drobných korýšů představuje důležitou součást potravy konzumentů vyšších řádů.

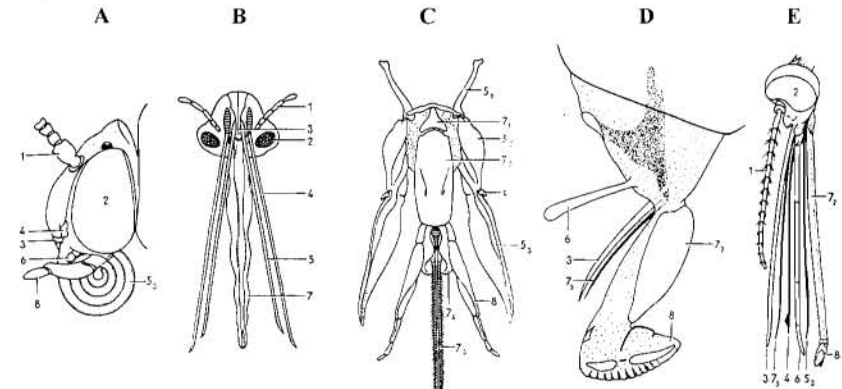
### V. 2. 9. 3. Vzdušnicovci (Tracheata)

Vedle **stonožkvců (Myriapoda)**, z nichž nejznámější jsou býložravé a detritožravé mnohonožky (*Diplopoda*) a dravé stonožky (*Chilopoda*), sem patří obrovská skupina **šestinožců (Hexapoda)**. Z nich **hmyz (Insecta)** je nejen druhově nejbohatší třída mezi živočichy, ale i jedna z evolučně nejspěšnějších. Hmyz sice nežije v moři, ale na těch zbývajících cca 30 % zemského povrchu osidluje takřka veškerá prostředí, ve kterých vůbec žít lze (včetně vzduchu - hmyz je nejstarší známá a mezi bezobratlými jediná skupina živočichů, která se naučila aktivně létat). S ohromným rozšířením hmyzu souvisí i široké spektrum jeho potravních adaptací. Mezi hmyzem najdeme konzumenty snad veškeré organické hmoty, která na zemi existuje. To, že hmyz jsou spíše malí tvorové, neznamená, že by se živili jen potravou malých rozměrů. Hmyz se často vyskytuje v obrovských počtech jedinců a tak se může projevit jeho ničivá síla. I když jsou takové případy vzácné, miliónová hejna sarančí dokáží zkonzumovat hektary a hektary vegetace. Mnohý sociálně žijící hmyz může být doslova zkázonosný pro vše živé (tropičtí mravenci). I my, Středoevropané, dobře víme, co dokáží udělat s lesem obaleči či lýkožrouti nebo s polem brambor mandelinky.

Velká ničivost býložravého hmyzu je často dána tím, že bývá velmi úzce specializován a živí se třeba jen jedním druhem rostliny. Vyskytne-li se pak monokultura tohoto druhu, je velice snadno svým konzumentem zničena, ať už je to pole zelí a bělásek nebo smrkový les a lýkožrout. Masožravý hmyz naproti tomu často požívá zcela nevybíravě vše, na co svou velikostí stačí a co se hýbe, včetně jedinců vlastního druhu.

Pro hmyz je typické ústní ústrojí, které je tvořeno přívěsky hlavových článků. Základní a nejrozšířenější typ je takzvané kousací ústrojí, složené z horního (labra) a spodního pysku (labia), kusadel (mandibul) a čelistí (maxil). Takováto výbava kolem úst je ideální "příbor" pro konzumaci pevné potravy všeho druhu. Kusadla mnohého dravého hmyzu, třeba střevlíkovitých brouků (*Carabidae*), jsou doslova vražednými nástroji, a při pouhém pohledu pod lupou nahánějí hrůzu.

Hmyz, který se živí tekutou potravou, má některý z typů sacího ústrojí. Tak třeba motýli (*Lepidoptera*), kteří se vesměs živí květními šťávami, mají většinou sosák v podobě dlouhé, v klidu spirálovitě stočené trubičky. Díky němu dosáhnou na dno i velmi hlubokých květů. Zcela jinak vypadá lizavě sací ústrojí. Každý jistě zná z vlastní zkušenosti ústní ústrojí ovádů, komárů či jiných krev sajících dvoukřídlých (*Diptera*), kterému říkáme bodavě sací. V poněkud odlišné podobě se vyskytuje i u ploštic (*Heteroptera*), kříšů (*Auchenorrhyncha*) a skupiny *Sternorrhyncha* (mšice, mery, molice, červci). U těch tvoří dlouhý ostrý sosák, kterým živočich nabodává a vysává rostliny, nebo (dravé ploštice) drobné živočichy. Dalším typem je lizací ústrojí, známé např. u včel.



Obr. 8. Typy ústního ústrojí hmyzu.

A - sací (motýl), B - bodací (ploštice), C - lizavě sací (včela), D - lizací (moucha) a E - bodavě sací (komár).

1 tykadlo, 2 složené oko, 3 svrchní pysk, 4 kusadlo, 5 čelist, 5<sub>1</sub> kardo, 5<sub>2</sub> stipes, 5<sub>3</sub> galea, 6 čelistní makadlo, 7 spodní pysk, 7<sub>1</sub> mentum, 7<sub>2</sub> prementum, 7<sub>3</sub> glossa, 7<sub>4</sub> paraglossa, 7<sub>5</sub> hypofarynx, 8 makadlo spodního pysku. (podle Langa, 1971)

Kromě toho však existuje pestrá paleta dalších, neobyčejně důmyslně utvářených ústních ústrojí. Tak například larvy potápníků (*Dytiscidae*) nemají ústní otvor, mají však velká dutá kusadla, kterými lapenou kořist vysávají (podobně je tomu u larvy mravkolva *Myrmeleon* sp.). Larvy vážek (*Odonata*) mají svérázný lžicovitý orgán zvaný maska. Ta v klidu kryje spodní polovinu hlavy, v akci se však vymršť daleko dopředu a kořist je s ní nabrána jako bagrem. Vodní larvy koroter (*Chaoborus* sp.), což

je rod dvoukřídlého hmyzu, lapají kořist pomocí přeměněných tykadél. A tak bychom mohli pokračovat ještě několik stránek.

Dravý hmyz chytající aktivně živou kořist používá často svérázných metod lovu. Tak třeba larva mravkolva si vyhrabává v písku lapací jamky na drobný hmyz, na který na dně číhá. Vysoce efektivní metody lapání se vyskytují u larev hmyzu žijícího v proudící vodě. Larvy využívají toho, že proud vody neustále přináší nejrůznější částičky organické hmoty i drobné živočichy. Tuto potravu vychytávají buď vlastním tělem (vějířky muchniček, *Simuliidae*), nebo do sítě vyrobených snovacími žlázami (draví chrostíci, *Trichoptera*). Povšimněme si, že různé speciální aparáty, modifikace ústního ústrojí a specifické metody lovu se vyskytují často u larev. Ty se totiž velice často živí zcela jinou potravou, než dospělí jedinci (imaga) - příkladem mohou být motýli, u nichž mají housenky kousací ústrojí a živí se pevnými rostlinnými pletivý. Imago mnohdy přijímá potravu jen sporadicky, popřípadě ji nepřijímá vůbec a žije z energetických zásob, které si nasbíral ve stadiu larvy (střeček, jepice). Larva také ve většině případů žije daleko déle než imago a má jediný úkol: pořádně se vykrmit. Velice často larva žije zcela obklopena svoji potravou, takže nemusí ztrácet čas a energii jejím vyhledáváním - vzpomeňme jen na larvy tesaříků žijících ve dřevě nebo na larvy kopřiváků brouků v exkrementech savců!

Tím jsme se dostali k další pozoruhodné kapitole z potravního života hmyzu, kterou je péče o potomstvo. Nejedná se ani tak o opatrování larev za jejich života, jako o jejich zaopatření ještě před narozením. V nejjednodušším případě samička naklade vajíčka na zdroje potravy, takže jen co se larvičky vylhnou, můžou se pustit do jídla. Tak je tomu u většiny larev dřevokazného hmyzu a housenek motýlů. Mnozí blanokřídlí (*Hymenoptera*) kladou vajíčka do těla jiného hmyzu (zvláště housenek), ve kterém pak larva či larvy parazitují. Samička lumka (*Rhysa* sp.) dokáže vyhledat a dlouhým kladélkem nabodnout larvy hmyzu žijící několik centimetrů pod kůrou stromů. Kutilky (*Sphecidae*) vyhrabávají pro svou larvu komůrku v zemi a do té přináší různé druhy hmyzu paralyzovaného žihadlem. Na jednu oběť poté nalepí vajíčko. Podobně chystají potravu pro potomky vrubounovití brouci (*Scarabeidae*), s tím rozdílem, že potravou není hmyz, ale kulička z trusu savců, kterou předtím oba rodiče uválejí. Rafinovaným způsobem se živí larvy dvoukřídlých kuklic (*Tachinidae*). Samička naklade vajíčka do těla živé housenky, přičemž larvičky po vylhnutí nežerou její životně nezbytné orgány. Housenka se normálně zakuklí, ale to je její konec. Larvy jí dožerou celou, zakuklí se samy a za čas z motýli kukly vyletí ne motýl, ale hejno kuklic.

Kapitolou, která by sama o sobě vydala na dobrodružný román, jsou potravní aktivity sociálně žijícího hmyzu, tedy všekazů čili termitů (*Isoptera*) a některých blanokřídlých (*Hymenoptera*). Mnohé druhy mají speciální kasty fungující jako sběrači či lovci potravy. I u včely medonosné (*Apis mellifera*), která nemá kasty morfologicky rozlišené, se sběrem potravy zabývá vždy jen část dělnic určitého věku. U sociálního hmyzu se také setkáváme s pravou péčí o potomstvo, krměním larev. Mnohdy je pro larvy sbírána nebo dokonce zhotovována zvláštní potrava (mateří kašička a med včel). Některé druhy mravenců (*Formicoidea*) se vyznačují chovem jiných živočichů - mšic (*Aphidoidea*), jejichž sekretem se živí. Někteří všekazi a mravenci pro změnu pěstují v prostorách hnízda houby - i pro tuto činnost jsou určeny zvláštní kasty všekazů - zahradníků. Všekazi se dále vyznačují schopností trávit celulózu díky prvokům žijícím symbioticky v jejich střevě.

V potravních vztazích představuje hmyz, díky své početnosti, nesmírně důležitou skupinu organismů. V mnoha ekosystémech (např. v tropickém deštném pralese) je

hmyz nejdůležitějším konzumentem prvního řádu, tedy tím, kdo ve velkém požírá rostlinnou hmotu a sám je základní potravou drobných masožravých živočichů (kterými může být opět hmyz). I v našich zeměpisných podmínkách hraje hmyz nezastupitelnou roli jako potrava bezobratlých i obratlovců. Mnozí ptáci i savci se živí takřka či zcela výhradně hmyzem, např. létajícím (vlaštovka, lelek, mnoho netopýřů), dřevokazným (datli) i vodním (skorec). Podle potravy, ve které bývá hmyz nejdůležitějším elementem, se jmenuje celý savčí řád hmyzožravců (*Insectivora*) (i když třeba krtek žere ponejvíce žížaly). Hmyz může být i důležitým destruentem. Např. larvy pakomárů (*Chironomidae*) žijící na dně rybníků a živící se mrtvou organickou hmotou jsou prvním článkem v rozkladném řetězci.



Chamaeleon (1/2 skut. vel.).

## VI. Výživa obratlovců

### VI. 1. OBECNÝ ÚVOD

**Obratlovci (Vertebrata)** tvoří v současnosti významnou složku všech pozemských ekosystémů a většiny potravních řetězců a sítí. Z hlediska morfologického, anatomického i fyziologického představují poměrně jednotnou skupinu, u které jsou dobře zmapovány vývojové a funkční vztahy většiny orgánových soustav. Jsou to živočišné vesměs poměrně velcí, mimořádně pohybově aktivní, a mají tedy velkou spotřebu energie, která musí být kryta příjmem potravy. Tyto vlastnosti nás vybízejí k tomu, abychom právě u obratlovců podali podrobnější charakteristiku potravně ekologických vztahů.

V průběhu evoluce obratlovců se nároky na přísun energie neustále zvyšovaly, neboť se zdokonalovaly ostatní tělní soustavy - zvláště smyslová, nervová a pohybová, a docházelo tudíž ke zvyšování celkové pohybové aktivity a k obsazování stále složitějších a méně příznivých podmínek (nejradikálnějším krokem v tomto směru byl přechod od vodního k suchozemskému prostředí). Vrcholem evolučního trendu zvyšování energetické náročnosti byl vznik **teplokrevnosti** (endothermie homoiothermie - udržování stálé tělesné teploty z vlastních energetických zdrojů), se kterým souvisí další rozšíření spektra obývaných biotopů, ale také vznik složitých sociálních struktur a vazeb, jak je v současnosti pozorujeme u ptáků a savců.

Řádově vyšší spotřebu energie než ostatní teplokrevní obratlovci má člověk, který ovšem její největší část získává jinak než formou potravy. Člověk pro uspokojování svých potřeb využívá jak **obnovitelné zdroje (kinetickou energii vody, větru)**, tak především stále povážlivěji zdroje neobnovitelné (fosilní paliva) či téměř neobnovitelné (tropické pralesy).

V souvislosti s procesem zvyšování energetické náročnosti se u obratlovců postupně zdokonalovala **trávicí soustava**. Původně málo členěná trávicí trubice (ústní dutina, přední, střední a zadní část střeva) se diferencovala v morfologicky a funkčně odlišné oddíly (ústní dutina, z předního střeva hltan, jícen a žaludek, ze středního tenké střevo u savců členěné na několik oddílů, ze zadního slepé střevo (slepá střevo), tlusté střevo a konečník či kloaka. U jednotlivých částí pak dochází především k zvětšování objemu nebo funkčního povrchu v souvislosti se zpracováním různých druhů potravy. Pro býložravce je typická komplikovaná stavba objemného žaludku, dlouhé tenké střevo či výrazně vyvinutá střevo slepá. Masožravci mívají střevo kratší, silně roztažitelný žaludek s velkou proteolytickou aktivitou a výrazně vyvinutá játra. Dobře sledovatelným vývojem prochází přední část trávicí soustavy - ústní dutina a její vnitřní struktury. Lze se domnívat, že u vývojově nejstarších obratlovců měla podobný charakter, jako u současných larev mihulovců - byla zařízením k filtraci drobných potravních částic ve vodním roztoku. Vznik čelistí (z materiálu žaberních oblouků) a zubů (modifikací plakoidních šupin, tedy součástí kožní kostry) umožnil kvalitativně jiný způsob zpracování potravy - uchopení, manipulaci a později i mechanické rozrušení větších potravních částic. Stále obecnější používání čelistního aparátu (zabití kořisti, oddělování částí a mechanické zpracování kusů potravy) se odrazilo v evoluci zubů či jiných mechanicky působících struktur (zobáky, patrové lišty atd.), čelistního svalstva a slinných žláz.

U současných obratlovců tedy trávicí soustava obsahuje tyto základní části:

**Dutina ústní** - vstupem do ní je ústní otvor (ústa) uzavíratelný sevřením čelisti či kruhovým svěračem. U velké většiny současných obratlovců (mimo mihulovců) obsahuje ústní dutina **čelisti**, na čelistech, kostech patrového komplexu a případně na kostech žaberních oblouků vyrůstají **zuby** (chybí u některých ryb, želv, ještěřů, ptáků a savců, kde jsou nahrazovány jinými strukturami s mechanickou funkcí - zobáky, rohovinovými lištami apod.). Zubů v průběhu evoluce postupně ubývá, u pokročilejších skupin se soustřeďují pouze na čelisti a to v jedné řadě. Také výměna zubů, která se u primitivnějších forem děje neustále a prakticky bez omezení, je u pokročilejších forem omezena na několik cyklů, u savců již jen na jednu výměnu chrupu. Zároveň ale dochází k tvarovému rozlišení zubů podle funkce (podrobněji v kapitole savci). Další součástí ústní dutiny je **jazyk** - svalnatý orgán uložený na jejím dně. U většiny primárně vodních obratlovců není plně vyvinut, někdy u nich pomáhá při přidržování potravy a bývá i ozuben. Velkého rozvoje dosahuje u obratlovců suchozemských, kde je využíván při lovu potravy (žáby, ptáci z řádu šplhavci) nebo při pohybu a mísení potravy v ústní dutině (savci). U plazů je také významným orgánem hmatu a přenáší i pachové částice z prostředí k čichovým orgánům - uplatňuje se při vyhledávání potravy. **Slinné žlázy** zvlhčují polykaná sousta a jsou tedy významnější u suchozemských obratlovců. U plazů a savců tvoří poměrně velké samostatné orgány v tkáních poblíž ústní dutiny. Vylučují také některé specifické látky (toxické, enzymatické - např. ptyalin, který zajišťuje u některých savců štěpení škrobu na oligosacharidy). Funkce ústní dutiny lze shrnout jako uchopení potravy (u primárně vodních filtrátorů nabrání roztoku s potravními částicemi), její udržení, případně usmrcení, oddělení částí, u vývojově pokročilejších skupin mechanické a částečně i chemické zpracování a posun do následujícího oddílu.

**Hltan** je část trávicí trubice, kde u primárně vodních filtrátorů probíhá samotný proces filtrace (s využitím aparátu žaberních štěrbin, případně tyčinek) a soustředění odfiltrované potravy k posunu do jícnu. U ostatních obratlovců v něm dochází k oddělení (resp. křížení) trávicí trubice a dýchacích cest.

**Jícen** je elastická část trávicí trubice, která peristaltickým pohybem posunuje potravu do žaludku, případně přímo do střeva.

**Žaludek** byl původně jen prostorem pro hromadění přijaté potravy, u evolučně odvozenějších a pokročilejších skupin v něm probíhají trávicí procesy mechanické (např. u ptáků či delfinů ve svalnaté části) i chemické (kyselé trávení bílkovin v roztoku pepsinu a HCl).

**Tenké střevo** následuje za žaludkem a je nejdůležitější částí trávicí trubice z hlediska chemického trávení a vstřebávání živin. Proto bývá značně dlouhé (až dvacetinásobek délky těla) a jeho funkční povrch je mnohonásobně zvětšen vnitřními strukturami. Zřejmě původní strukturou této funkce je tzv. **spirální řasa** (typhlosolis), podélná vchlipenina střevní stěny, která spirálovitě prochází v části, nebo i v celé délce střeva. V současnosti ji nacházíme u mihulovců (*Petromyzontes*), paryb (*Chondrichthyes*), ryb jeseterovitých (*Acipenseriformes*), mnohokostnatých (*Holostei*) a dvojdyšných (*Dipnoi*). U ostatních obratlovců je plocha střeva zvětšována záhyby střevní sliznice, které jsou nejdokonaleji vyvinuty u savců ve formě tzv. **kliků** a **mikroklků** (dokonce i na submikroskopické úrovni). Do tenkého střeva ústí vývody trávicích žláz vytvářejících samostatné orgány - játra a slinivka břišní - a také drobných žlázek uložených ve střevní stěně. Žlázy střevní stěny produkují tzv. střevní šťávu, která dokončuje štěpení cukrů na monosacharidy a peptidů na samostatné aminokyseliny. Vývody jater a slinivky břišní ústí do přední části střeva, která je u suchozemských obratlovců morfologicky rozlišena jako tzv. dvanáctník.

**Játra** zasahují do procesu trávení produkcí žluči, která **emulguje** tuky (převádí je na suspenzi mikrokapeček přístupných trávicím enzymům). U většiny obratlovců (především u masožravců) je vyvinut žlučník - váček, v němž se vytvořená žluč hromadí.

**Slinivka břišní** produkuje řadu enzymů potřebných ke štěpení všech základních živin. U primárně vodních obratlovců často netvoří kompaktní, jasně ohraničený orgán, ale je nakupena do několika ostrůvků kolem přední části střeva.

**Tlusté střevo** je odlišitelné především u suchozemských obratlovců. Většinou v něm nedochází k vstřebávání živin, proto jeho sliznice není složitě členěna. Hromadí se zde nestrávené zbytky potravy, kterým je odjímana voda.

**Slepé střevo** je vychlípeninou začátku tlustého střeva. Zvláště mohutně bývá vyvinuto u býložravých ptáků a savců, kde v něm dochází ke specifickým procesům trávení (např. trávení celulózy za pomoci symbiotických bakterií), k tvorbě některých vitaminů apod.

**Kloaka** nebo **konečník** jsou koncovými částmi trávicí soustavy. Kloaka, která je zřejmě původním orgánem obratlovců, je společným vyústěním trávicí, vylučovací a pohlavní soustavy. Nevyskytuje se u mihulovců, většiny kostnatých ryb a u placentálních savců. U těchto skupin ústí konečník na povrch těla samostatným řitním otvorem.

Podrobnosti o stavbě a funkci trávicí soustavy obratlovců, o jejím fylogenetickém vývoji i o dalších aspektech potravní biologie obratlovců najdete mimo publikace specializované na jednotlivé dílčí skupiny (budou zmíněny dále) např. v učebnicích Gaisler (1983) a Sigmund a kol. (1994).

## VI. 2. MIHULOVCI (*Petromyzontes*)

Reprezentují druhově málo početnou, ale vývojově nesmírně významnou skupinu primárně vodních obratlovců. Oproti ostatním v současnosti žijícím obratlovcům nemají mihulovci vyvinuty čelisti ani pravé zuby. Na přísavném terči, který u dospělců tvoří vstup do ústní dutiny, a také na jazyku se nacházejí rohovitě zoubky, které při přísátí narušují povrch těla kořisti. I další části trávicí soustavy vykazují odlišnosti oproti ostatním obratlovcům - není vyvinut žaludek, střevo má vyvinutu spirální řasu, trávicí soustava vyúsťuje na povrch těla samostatným otvorem.

Zvládnosti mihulovců je velmi dlouhá doba larválního vývoje. Ten je srovnatelně dlouhý, nebo i výrazně delší než život jedince po metamorfóze (dospělce). Zároveň jsou larvy a dospělci ekologicky a potravně zcela odlišní. Larvy se živí filtrací sedimentu na dně vodních toků. V potravě jsou kromě detritu zastoupeny převážně rozsivky (*Bacillariophyceae*) a prvoci (*Protozoa*), příležitostně vířníci (*Rotatoria*), hlístice (*Nematoda*), máloštětinatci (*Oligochaeta*), drobné larvy hmyzu a podobně. U dospělců známe dva způsoby života - buď jsou draví (živí se tkáněmi ryb i jiných vodních živočichů, které aktivně napadají), nebo vůbec nepřijímají potravu. Příkladem prvního typu dospělce je mihule říční (*Lampetra fluviatilis*), která se dříve vyskytovala i v našich vodách. Druhý typ dospělce má např. mihule potoční (*Lampetra planeri*) dosud žijící v řadě toků v ČR. Po metamorfóze u nich dojde k degeneraci trávicího traktu, nepřijímají potravu a po tření hynou.

**Predátoři** mihulovců se shodují s predátory ryb.

## VI. 3. RYBY (*Osteichthyes*)

Jsou druhou skupinou primárně vodních obratlovců, která se u nás vyskytuje. Druhově je podstatně bohatší, než skupina předchozí - ve volných vodách ČR žije cca 60 původních a člověkem vysazených druhů. Celosvětově asi 24000 druhů ryb obsadilo prakticky všechny typy vodních prostředí - moře, sladké i brakické vody, podzemní toky, až 50°C teplé prameny, vysokohorská i pouštní jezera.

**Trávicí soustava** ryb vykazuje oproti ostatním obratlovcům určité zvláštnosti. Ústní dutina bývá často ozubená nejen na čelistech, ale i na kostech patrového komplexu (kost radličná - vomer, kosti patrové - palatinum). U ryb lososovitých je ozuben i jazyk. Zuby mají jednoduchý kuželovitý tvar, často bývají mírně zahnuté směrem do ústní dutiny. U některých druhů se vyskytují vedle sebe zuby různé velikosti - např. candát obecný (*Stizostedion lucioperca*). U skupin, které nemají ozubená ústa, nebo mají zubů v ústní dutině málo, se často vyskytují tzv. požerákové zuby na kostech žaberních oblouků. Tvarově jsou podobné zubům v ústní dutině - u dravců jsou kuželovité, u druhů bentofágních nebo živících se drobnou potravou jsou rozšířeny v ploché útvary. Zatímco zuby v ústní dutině a kuželovité požerákové zuby dravců především usnadňují uchopení, udržení a polykání potravy, ploché požerákové zuby (typicky vyvinuté např. u kapra) stiskem zbavují potravu zbytků vody. Jazyk je u vývojově odvozenějších skupin vyvinut slabě, vícebuněčné slinné žlázy nejsou vyvinuty vůbec. Hltan je u ryb perforován do žaberní dutiny a vyztužen žaberními oblouky. Ty mají funkci dýchací a zároveň filtrační - na jejich vnitřní straně se nacházejí žaberní tyčinky, které zamezují pronikání mechanických nečistot nesených vodou z ústní dutiny k žaberním listkům. Tento filtrační aparát je u planktonofágních druhů využíván k získávání potravy (žaberní "filtr" je u nich komplikovaně stavěn ze stovek žaberních tyčinek). Jícen je zpravidla krátký, široký, silně roztažitelný a pokrytý vícevrstevným epitelem (výjimečně např. u okouna (*Perca*) jednovrstevným). Žaludek má obvykle trávicí funkci (pepsin, HCl), u některých skupin ovšem není vyvinut - např. kaproviti (*Cypriniformes*) - a vůbec u nich nedochází ke kyselému peptidickému trávení. Bilkoviny jsou pak tráveny až účinkem trypsinu ve střevě. Za žaludkem následují u některých skupin ryb slepé přívěsky, které pravděpodobně zvětšují plochu střeva, nebo mají funkci analogickou slepým střevům jiných obratlovců. Trávicí plocha je u většiny druhů dále zvětšována zvrásněným vnitřním reliéfem střeva, jen u vývojově původních skupin spirální řasou (*typhlosolis*). Trávení ve střevě probíhá za účasti produktů trávicích žlaz - jater a slinivky břišní - podobně jako u ostatních obratlovců. Zatímco játra jsou v břišní dutině nápadným a objemným orgánem (mimo trávicí funkce slouží k ukládání tuků), slinivka břišní netvoří kompaktní a jasně ohraničenou strukturu, ale je difúzně rozložena okolo přední části střeva. U většiny ryb není výrazně diferencováno tenké a tlusté střevo. Také konečník není vždy morfologicky odlišený. Kloaka jako ukončení trávicí trubice se vyskytuje jen u několika mořských skupin.

V mořích představují ryby základní skupinu konzumentů všech trofických úrovní se složitou strukturou potravně ekologických vztahů. Zapojují se do většiny potravních řetězců nejčastěji na úrovni sekundárních a vyšších konzumentů, navazují tedy na primární konzumenty fytoplanktonu (planktonní i bentické) a na vyšší trofické úrovně. Na obrovský zdroj potravy, který skýtají mořské ryby, je vázána řada vrcholových predátorů z jiných živočišných skupin. Z primárně vodních obratlovců jsou to mimo samotných ryb mihulovci (*Petromyzontes*), sliznatky (*Mixini*) a paryby (*Chondrichthyes*). Z teplokrevných obratlovců pak řada druhů ptáků především z řádů tučňáci (*Sphenisciformes*), trubkonosi (*Procelariformes*) a dlouhokřídlí

(*Charadriiformes*), a specializované skupiny savců - (pod)řád ploutvonožci (*Pinnipedia*) a někteří zástupci řádu kytovci (*Cetacea*). Do toku energie mořskými ekosystémy se významným způsobem zapojuje i člověk hospodářským využitím produkce ryb. Celosvětově se ročně vyloví asi 60 milionů tun mořských ryb (Gaisler 1983).

Nám bližší jsou ekosystémy sladkovodní. I zde hrají ryby zásadní roli konzumentů prvního, ale především vyšších řádů. Jejich potravní specializace lze shrnout do několika skupin:

1) **Fytofágní** (rostlinožravé) - požírají vyšší rostliny jak vodní, tak pobřežní vegetace a řasové nárůsty. Z našich původních druhů sem patří perlin ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*) a ostrorečka stěhovavá (*Chondrostoma nasus*), která seškrabává nárůsty řas z ponořených předmětů. Z introdukovaných ryb je významným fytofágem amur bílý (*Ctenopharyngodon idella*), který je schopen požírat a dokonce i zcela zlikvidovat porosty rákosu či orobince, a využívat pobřežní vegetaci převíslou nebo spadlou do vody.

2) **Planktonofágní** - po celý život se živí převážně planktonními organismy (drobnými organismy volně se vznášejícími ve vodním sloupci). Většina z nich požírá převážně zooplankton - tzn. planktonní živočichy. Typickým představitelem této skupiny ryb je rod síh (*Coregonus*), pstruh duhový (*Salmo gairdneri*), plotice obecná (*Rutilus rutilus*), ouklej obecná (*Alburnus alburnus*) a další. Planktonofágní jsou také nejmladší vývojová stadia (plůdek) většiny druhů ryb, které v dospělosti využívají jiné potravní zdroje. Zajímavým specialistou je u nás nepůvodní tolstolobikc pestrý (*Aristichthys nobilis*), který se živí převážně fytoplanktonem (planktonními řasami a sinicemi).

3) **Bentofágní** - jako hlavní zdroj potravy využívají bentos (organismy dna). Lze sem zařadit např. jesetera malého (*Acipenser ruthenus*), parmu obecnou (*Barbus barbus*), cejna velkého (*Abramis brama*) a další. U řady druhů je kombinována výživa planktonními a bentickými organismy - např. kapr obecný (*Cyprinus carpio*).

4) **Dravci** - loví převážně ryby. Patří sem štika obecná (*Esox lucius*), candát obecný (*Stizostedion lucioperca*), sumec velký (*Silurus glanis*), bolen dravý (*Aspius aspius*), velcí jedinci pstruha potočního (*Salmo trutta*), okouna říčního (*Perca fluviatilis*) a další.

5) **Všežravci** - přibližně rovnoměrně využívají větší počet potravních zdrojů - typickým představitelem je jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*).

Řada druhů, řazených podle převažující potravy do výše uvedených skupin, využívá v menší míře i jiné potravní zdroje. Preference jednotlivých druhů potravy se mění v závislosti na potravní nabídce lokality, na ročním období, individuálním stáří ryby a podobně. Některé ryby využívají v různé míře i potravu suchozemského původu, především hmyz spadlý na vodní hladinu - např. pstruh obecný forma potoční (*Salmo trutta morpha fario*) a ouklej obecná (*Alburnus alburnus*).

Na převažující zdroj potravy řady rybích druhů lze usuzovat z **morfologie** jejich úst, případně dalších orgánů. Planktonofágní druhy mají často výrazně vyvinutý filtrační aparát z žaberních tyčinek, bentofágní mívají spodní vysunovatelná ústa opatřená vousky, dravci mají obvykle velká a značně roztažitelná ústa s výrazně vyvinutým ozubením. Druhy sbírající hmyz z vodní hladiny mívají horní ústa a rovnou linii hřbetu.

Způsob vyhledávání potravy je také pro jednotlivé druhy nebo potravně specializované skupiny druhů typický. Nejdůležitějším smyslem je **zrak** (především

dravé formy lovící ve dne), nebo **hmat, čich a chuť** (bentické druhy, druhy s noční aktivitou). Citlivým hmatovým ústrojím je tzv. **proudový orgán**, který registruje pohyby vody způsobené prouděním a pohybem okolních předmětů, včetně potenciální kořisti. Čich a chuť jsou u mnohých druhů velmi citlivé, chuťové buňky bývají umístěny i mimo ústní dutinu - na povrchu hlavy, vousků, břišních ploutví nebo i rozptýlené po celém povrchu těla. Samotný příjem potravy pak u planktonofágů představuje pohyb ve vodním sloupci a filtrace vody, bentofágní ryby vyhledávají kořist rytím ve dně, fytofágní aktivně vyhledávají vhodné rostliny, ostrorečka seškrabuje řasové nárůsty pomocí ostrých "zrohovatělých" rtů. Dravé druhy buď kořist aktivně vyhledávají - např. bolen dravý (*Aspius aspius*), nebo na ni číhají a útočí teprve, když se sama přiblíží - např. štika obecná (*Esox lucius*).

**Potravní aktivita** ryb v našich podmínkách není v průběhu roku vyrovnaná. Největší příjem potravy následuje u většiny druhů po období tření (většinou koncem jara a začátkem léta), nebo ve vrcholu vegetační sezóny. Výjimku tvoří např. mník jednovousý (*Lota lota*), který se tře v lednu a únoru. Do této doby spadá také období jeho největší aktivity a příjmu potravy. Většina ostatních ryb naopak omezuje v zimním období aktivitu i příjem potravy. Řada druhů přestává při poklesu teploty pod určitou hranici přijímat potravu vůbec a upadá do strnulosti, při níž klesá na minimum intenzita metabolismu (např. kaprovití (*Cypriniformes*)).

Sladkovodní ryby jsou také **zdrojem potravy** mnoha **predátorů** z jiných živočišných skupin. Z bezobratlých loví příležitostně potěr ryb velcí brouci (např. z čeledi potápníkovití (*Dytiscidae*)) a jejich larvy, larvy vážek (*Odonata*) a další velké dravé druhy. Z obratlovců jsou predátory ryb vzácně obojživelníci, častěji plazi - např. užovka podplamatá (*Natrix tessellata*). Na lov sladkovodních ryb je specializována řada druhů ptáků z řádu potáplicovití (*Gaviiformes*), potápkovití (*Podicipediformes*), veslonozi (*Pelecaniformes*), brodiví (*Ciconiiformes*), vrubozubi (*Anseriformes*), dlouhokřídlí (*Charadriiformes*) a jednotlivé druhy z dalších skupin - např. orlovec říční (*Pandion haliaetus*) z dravců (*Falconiformes*) a ledňáček říční (*Alcedo atthis*) ze srostloprstých (*Coraciiformes*). Ze savců je specializovaným predátorem ryb v naší přírodě vydra říční (*Lutra lutra*), příležitostně loví potěr ryb i rejsec vodní (*Neomys fodiens*). V jiných oblastech se specializují na lov ryb jiné šelmy (především kunovité, příležitostně i medvědovité a kočkovité), někteří hmyzožravci a vačnatci. Významným konzumentem sladkovodních ryb je i člověk - ročně se celosvětově vyloví okolo 10 milionů tun (Gaisler 1983). Člověk také ryby cíleně chová (rybníky), uměle rozmnožuje a vysazováním ovlivňuje rybi obsádky volných vod. Tato jeho činnost se výrazně projevuje nejen ve struktuře, funkci a potravních vazbách samotných vodních ekosystémů, ale mnohdy i rozsáhlých úseků krajiny (v rybničnatých oblastech).

Přesné údaje o potravě jednotlivých druhů ryb v našich vodách i o morfologii a fyziologii trávicí soustavy ryb a mihulovců najdete v publikaci Baruš a Oliva (1995), některé údaje z potravní ekologie běžných druhů obsahují také další publikace - např. Hanel (1992), Hrabě a kol. (1973), Lusk a kol. (1983), Mihalík a Reiser (1988).

#### VI. 4. OBOJŽIVELNÍCI (*Amphibia*)

Tato skupina zaujímá přechodně postavení mezi vodními a suchozemskými obratlovci. Rozšířila se do mnoha typů prostředí, včetně podzemních vod či míst po většinu roku velmi suchých. Chybí jen v nejhladnějších oblastech a ve slaných vodách. Vyvinuli několik typů životních forem (ocasatí, žáby, červoři), a v některých biotopech pro jejich život příznivých tvoří významnou část biomasy a důležitý zdroj potravy pro jiné živočichy. V potravně ekologických vztazích zaujímají obojživelníci, jako **drobní dravci**, tzv. sekundární nebo terciární trofickou hladinu. Larvy mohou představovat i konzumenty primární.

**Trávicí soustava** obojživelníků začíná širokými ústy, jež otevírají prostornou ústní dutinu vystlanou obrveným epitelem. Slinné žlázy vytvořeny nejsou. Povrch ústní dutiny je však pokryt sekretem hlenotvorných (mukózních) žlázek. Chrup se skládá z malých kuželovitých nediferencovaných zubů, majících pouze přidržovací funkci. Kromě čelistí mohou vyrůstat zuby i na kostech patra. Některé skupiny mohou mít obě čelisti bezzubé (ropuchovití). Jazyk bývá u vodních forem často značně redukován. Naproti tomu je pro suchozemské obojživelníky velmi důležitým orgánem pro lov kořisti. Vpředu je přirostlý a "vyklápěcím" pohybem se z úst vysunuje jeho zadní část. Pozemní ocasatí obojživelníci a žáby mají dokonce zvláštní žlázu, jejíž sekret zvyšuje přilnavost jazyka. Tlakem jazyka, očních bulbů (proto je polykání obojživelníků doprovázeno zavíráním očí) a posléze i hltanových svalů, postupuje potrava hltanem a velmi krátkým jícnem do žaludku. Po zpracování v žaludku prochází potrava do střeva. Na jeho počátku ústí vývody slinivky břišní a jater. Žlučník je vytvořen. Potřeba snižování ztrát vody vedla k vytvoření tlustého střeva, kde je z nestrávených zbytků vstřebávána.

**Larvy ocasatých obojživelníků** jsou **dravé** a zpravidla loví i relativně velkou kořist. Ústní dutina je funkčně i strukturně podobná ústům dospělců. Žaludek vykazuje proteolytickou funkci (t.j. štěpení bílkovin). Během metamorfózy v dospělce dochází pak k přestavbě trávicí soustavy, především v její přední části. Tyto larvy jsou dravé a v jejich potravě dominují vodní korýši (*Crustacea*) - např. perloočky (*Daphnia*), buchanky (*Cyclops*), blešivci (*Gammarus*) a larvy hmyzu - pakomárovití (*Chironomidae*), komárovití (*Culicidae*), chrostíci (*Trichoptera*), jepice (*Ephemeroptera*).

**Larvy našich žab (pulci)**, jsou **všežravé** a žijí se především okusováním rostlin, nárostů řas na ponořených předmětech, drobnými vodními živočichy a filtrací. Jejich trávicí soustava se značně odlišuje od dospělců. Ústa jsou drobná, čelisti jsou opatřeny rohovitými hranami a druhově charakteristicky uspořádanými řadami rohovitých zoubků. V žaludku často nedochází k trávení a ten pak slouží pouze jako zásobárna potravy. Vzhledem k tomuto faktu a tomu, že rostlinná potrava je hůře stravitelná než výhradně živočišná kořist dospělců, nacházíme u larev žab v břišní dutině poměrně dlouhé střevo. Jeho délka je úměrná podílu rostlinné složky v potravě (čím více rostlinné složky, tím delší střevo). Střevo pulců může vyúšťovat poblíž kořene ocasu ve středu těla - např. u ropuch (*Bufo*) a blatnic (*Pelobates*) nebo asymetricky na pravé straně - skokani (*Rana*). Při metamorfóze dochází k rozsáhlé přeměně a zkrácení trávicí soustavy.

**Dospělci obojživelníků** jsou z hlediska využívání potravních zdrojů skupinou málo rozrůzněnou. Vždy jsou **draví**. Rozhodujícím smyslem při lovu kořisti je zrak. U ocasatých, kteří častěji přijímají i nepohyblivou či mrtvou kořist, se uplatňuje i čich. Kořist je pohlcována vcelku, a v poměru k tělu může dosahovat i značné velikosti.

Potravní spektrum bývá značně široké a zahrnuje nejrůznější živočichy přiměřené velikosti - plže, pavouky, stonožky, hmyz a další pozemní či sladkovodní bezobratlé, popřípadě i drobné obratlovce. Složení potravy je určováno zejména nabídkou na stanovišti. Potravní spektrum je proto i v rámci jednotlivých druhů zeměpisně, sezónně i individuálně **velmi proměnlivé**.

Dospělci **ocasatých** obojživelníků mají během vodní fáze svého života složení potravy podobné jako larvy. Vzhledem ke své větší velikosti požírají spíše větší druhy a často i vajíčka a larvy obojživelníků (včetně vlastního druhu). Po přechodu na souš loví dospělí **mloci** (*Salamandra*) a **čolci** (*Triturus*) různé druhy suchozemských bezobratlých, převážně hmyz a jeho larvy, plže (*Gastropoda*), mnohonožky (*Diplopoda*), pavouky (*Araneida*), sekáče (*Opilionida*), roztoče (*Acarina*), stejnonohé korýše (*Isopoda*), žížaly (*Lumbricidae*) apod. Jak jsme již poznamenali, konkrétní složení je závislé na momentální nabídce dané lokality.

Dospělé **žáby** jsou ve srovnání s ocasatými obojživelníky hbitější a více se orientují zrakem. V jejich potravě nalézáme tedy větší množství pohyblivějších bezobratlých - např. dvoukřídlí (*Diptera*), blanokřídlí (*Hymenoptera*), kobylky (*Ensifera*) apod. na úkor např. plžů. V rámci našich žab zaznamenáváme větší rozdíly v potravě např. mezi **kuňkami** (*Bombina*), které potravu uchvacují čelistmi a loví velmi často i ve vodě, a skokany a ropuchami, kteří velkou většinu kořisti (brouci, mravenci, mouchy apod.) uchvacují jazykem na souši a ve vodě obvykle neloví vůbec (**ropuchy**), nebo jen menší část kořisti (**skokani**). Za pomoci čelistí skokani a ropuchy uchvacují pouze větší kořist (žížaly, drobné obratlovce). Je znám i kanibalismus. Arborikolní (po stromech lezoucí) **rosnička zelená** (*Hyla arborea*), podobně jako skokani, lapá kořist jazykem i ve skoku. Dominantní složkou její potravy bývají brouci, pavouci, střechatky, mravenci a dvoukřídlí. **Blatnice skvrnitá** (*Pelobates fuscus*) se vyznačuje zvláštním způsobem života spojeným s častým zahrabáváním (přes den, v období sucha, i jako úniková reakce před nepřáteli). Zčásti se to pravděpodobně projevuje i v potravním spektru, kde kromě pozemního hmyzu bývají častěji zastoupeny i žížaly.

K **predátorům** obojživelníků popř. jejich larev patří v naší přírodě mnozí draví a všežraví ptáci - např. včelojed lesní (*Perisoreus inornatus*), káně lesní (*Buteo buteo*), volavky (*Ardea*), čápi (*Ciconia*), potápky (*Podiceps*), puštky obecné (*Strix aluco*), výr velký (*Bubo bubo*), savci (např. kunovité šelmy (*Mustelidae*) a plazi - např. užovka obojková (*Natrix natrix*), jakož i jimi obojživelníci, dravé ryby a někteří draví bezobratlí (např. lupenonozi (*Notostraca*), larvy potápníků (*Dytiscus*) a vážek (*Odonata*), velcí draví brouci. Podrobné informace o mnoha aspektech problematiky našich obojživelníků můžete najít v knize Baruš, Oliva a kol. (1992a).

#### VI. 5. PLAZI (*Reptilia*)

Tato skupina patří mezi plně suchozemské obratlovce, kteří nejsou ani rozmnožováním vázáni na vodní prostředí. Nacházíme u nich formy býložravé - mnozí leguánovití (*Iguanidae*), suchozemské želvy (rod *Testudo*), všežravé - mnoho ještěřů (*Sauria*) a želv (*Chelonia*), ale většina se živí pouze živočišnou stravou, a to jak bezobratlými - ještěrkovití (*Lacertidae*), slepýš (*Anguis fragilis*), tak obratlovci - naši hadi. Z toho vyplývá i jejich postavení v trofických vztazích, v kterých zaujímají postavení primárních konzumentů (býložravci), ale většinu můžeme přiřadit ke **konzumentům vyšších úrovní**, či dokonce k vrcholovým predátorům. Na kořist dlouho číhají nebo ji aktivně vyhledávají. Větší zástupci jsou schopni dlouhého



hladovění. V mnoha teplejších oblastech Země plazi představují poměrně důležitou část biomasy a významně se podílejí na přenosu energie v ekosystému. Ve středoevropských podmínkách je z tohoto pohledu jejich význam malý.

Kořist, často relativně značných rozměrů, pohlcují naši plazi **celou**. Pouze želva bahenní (*Emys orbicularis*) je schopna větší kořist trhat drápy předních končetin a oddělovat menší kousky pomocí ostrých rohovitých okrajů čelisti. U hadů (*Ophidia*) je schopnost pohltit velkou kořist vcelku dovedena do dokonalosti především uzpůsobením spodní čelisti. Ta není pevně spojena se zbytkem lebky a každá její polovina je schopna pracovat samostatně.

Při **vyhledávání kořisti** se plazi orientují zrakem a čichem, který je u mnoha druhů nejdůležitějším smyslem. U některých chřestýšovitých (*Crotalidae*) je vyvinuta schopnost nalézt kořist pomocí termoreceptorů. Kořist je zabijena stiskem čelisti a úderem o podklad (želva, ještěrky), udušením ve smyčkách těla - např. užovka stromová (*Elaphe longissima*), či jedem - zmije obecná (*Vipera berus*).

**Želva bahenní** se živí především hmyzem a jeho larvami, měkkýši (*Mollusca*), pulci, žábami a řídkěji rybami či jinými obratlovci (i uhynulými). Žere však také řasy a vyšší rostliny. Potravu si opatřuje jak ve vodě, tak na souši a orientuje se především zrakem. Naše **ještěrky** (j. obecná - *Lacerta agilis*; j. živorodá - *L. vivipara*; j. zelená - *L. viridis*) se živí převážně hmyzem, pavouky, mnohonožkami, měkkýši a žížalami. Konkrétní složení potravy je závislé na potravní nabídce lokality. Především u větších jedinců ještěrky zelené se v potravě vyskytují i drobní obratlovci (malé ještěrky, ptáčata, mláďata hlodavců). Je znám i kanibalismus. Potravu **slepýše křehkého** tvoří především žížaly, slimáci, mnohonožky, pavouci a různé druhy hmyzu a jeho larev. **Užovka obojková** (*Natrix natrix*) se u nás vyskytuje obvykle v okolí vod a největší část její potravy tvoří žáby (hlavně skokani). Při jejich nedostatku stoupá v potravě podíl ryb. Jinou kořist (plazy, drobné savce, ptáky) loví za normálních okolností zřídka. Teplomilnější a na vodní prostředí ještě více vázaná je **užovka podplamatá** (*Natrix tessellata*). Tomu odpovídá i potravní spektrum, které tvoří především drobné ryby a v menší míře larvy i dospělci obojživelníků. Ostatní obratlovce loví méně často. **Užovka hladká** (*Coronella austriaca*) je obyvatelem sušších míst a živí se zde především ještěrkami a slepýši. Loví i hady včetně jedinců vlastního druhu. Podstatně méně jsou v její potravě zastoupeni jiní obratlovci. Mláďata požírají i brouky, kobylky a saranče. U nás vzácná **užovka stromová** se živí hlavně drobnými savci (hlodavci a hmyzožravci) a v menší míře ptáky. Obojživelníky a plazy nenacházíme v její potravě příliš často. Hlavně na drobné savce je zaměřena i **zmije obecná**, ale u mladých jedinců je významný podíl malých ještěrek, mláďat skokanů a uváděni jsou i bezobratlí.

K **predátorům** plazů patří někteří hrabaví (*Galliformes*) a brodiví (*Ciconiiformes*) ptáci, dále dravci (*Falconiformes*) - zejména orlík krátkoprstý (*Circaetus gallicus*), káně lesní (*Buteo buteo*), v Africe žije specializovaný predátor hadilov pisář (*Sagittarius serpentarius*). Dalšími predátory jsou i jiní plazi a několik druhů savců - ježkovití (*Erinaceidae*), některé kunovité šelmy, psík mývalovitý (*Nyctereutes procyonoides*). Vyjimečně se vyskytnou i v potravě jiných skupin (dravé ryby, velcí obojživelníci). Zájemce najde podrobné informace o našich plazech v publikaci Baruš, Oliva a kol. (1992b).

## VI. 6. PTÁCI (*Aves*)

Tato třída obratlovců představuje skupinu, která podobně jako savci (*Mammalia*) patří k teplokrevným živočichům, jež se vyznačují velkou aktivitou a spotřebou potravy. Je to skupina, jejíž příslušníci dokonale ovládli aktivní let otevřeli si tím rozsáhlou prostorovou a potravní niku (všechna stromová patra, volný vzdušný prostor, volná moře apod.).

Ptáci se nacházejí na různých trofických úrovních počínaje **primárními** konzumenty (druhy býložravé, semenožravé, plodožravé, nektarozravé resp. pyložravé) a konče konzumenty **vyšších řádů** (druhy masožravé, mrchožravé, rybožravé, hmyzožravé). Striktních primárních konzumentů je mezi ptáky relativně málo. Patří k nim například pyložraví a plodožraví papoušci (*Psittaciformes*), nektarem se živící kolibříkovití (*Trochilidae*) a některé čeledě pěvců (*Nectariniidae*, *Meliphagidae*, *Drepanididae* a *Dicaeidae*). Dále jihoameričtí pěvci rodu *Phytotoma*, kteří se živí listy a dužnatými lodyhami či zástupci podčeledi *Carduelinae*, jež se živí semeny a plody. Značná část ptáků je **evertebratofágní** (požírají bezobratlé, především hmyz). Sem patří např. šplhavci (*Piciformes*), většina pěvců (*Passeriformes*), kukačkovití (*Cuculidae*), rorýšoviti (*Apodidae*), ale i menší druhy dravců, brodivých a potápek. Mezi ptáky je i mnoho druhů **všežravých**. Patří sem například většina kachnovitých (*Anatidae*), hrabaví (*Galliformes*) a řada druhů pěvců, z nichž někteří (např. strnadi) jsou v dospělosti převážně **semenožraví**, ale mláďata krmí hmyzem, nebo jsou naopak **hmyzožraví** a příležitostně se živí i plody - drozdoviti (*Turdidae*), pěnicovití (*Sylviidae*). Jako příklad **rybožravých** ptáků lze jmenovat potáplice (*Gaviiformes*), potápky (*Podicipediformes*), volavky (rod *Ardea*), kormorány (*Phalacrocorax*). **Masožravé** druhy najdeme mezi dravci (*Falconiformes*) a sovami (*Strigiformes*), ale patří sem i někteří zoborožci, větší druhy pěvců (tyrani, tuhýci).

U ptáků najdeme řadu morfologických přizpůsobení na získávání určitého druhu potravy. Nejnapadnější přizpůsobení se týkají **tvaru zobáku**. Semenožravé druhy (papoušci, pěnkavovití a strnadovití pěvci) mají robustní zobáky. Bahňáci (*Charadrii*) hledající potravu v mělké vodě a v bahně mají zobáky dlouhé a úzké a rybožravé druhy mají zobáky dlouhé a silné. Široká ústa jsou typická pro druhy lovící hmyz ve volném povětří - rorýsi (*Apodidae*), vlaštovky (*Hirundidae*), lelci (*Caprimulgiformes*) atd. Se způsobem získávání potravy související rozdily najdeme i mezi blízkce příbuznými druhy. Jako příklad lze uvést různé délky zobáků u bahňáků, související s velikostí lovené kořisti a hloubkou, v jaké se nalézá v prohledávaném substrátu. S hledáním potravy souvisí ale i **tvar a délka nohou, křídel a ocasu**. Jako příklady lze uvést pařáty dravců pro chytání velké kořisti, nohy s plovací blanou (kormoráni, pelikáni, kachny, potáplice) nebo kožním lemem (potápky) pro efektivní plavání, či dlouhé nohy pro lov potravy v mělké vodě (volavky, bahňáci). Ptáci hledající potravu na zemi (hrabaví, skřivanovití, drozdi) mají dlouhé a silné prsty i drápy, ptáci lovící na větvičkách stromů a keřů (pěnice, sýkory) mají sice dlouhé prsty, ale krátké drápy. Strategie uplatňovaná při lovu potravy se výrazně projevuje i na tvaru křídel a ocasu. Druhy pronásledující kořist v rychlém letu (vlaštovky, rorýsi, sokoli) mají úzká a dlouhá křídla, druhy lovící ve složitém terénu (někteří dravci, lejskové) naopak křídla kratší, umožňující dobře manévrovat. Ke schopnosti manévrovat ve vzduchu pomáhá i rozeklaný dlouhý ocas. I ve stavbě **trávicí soustavy** u ptáků nalezneme mnoho zajímavých přizpůsobení. Zobákovité čelisti neumožňují dokonalé rozmělnění potravy, a proto musí být důkladněji zpracován jinde. Proto u mnoha ptáků nalezneme vole, kde obvykle bobtnají a měknou semena. K hlavnímu mechanickému zpracování potravy

pak dochází až v tzv. svalnatém žaludku, kde je potrava rozmělněna pomocí silných svalů a pozřeného písku či drobných kamínků. To se však týká hlavně ptáků konzumujících semena celá (husy, slepice, holubi). Např. u pěnkvav nebo strnadů vole slouží jako zásobnice, protože tyto semena nejdříve vyloupou hranou zobáku je ještě "přešrotují". U ptáků nacházíme dvě slepá střeva, často poměrně velká.

Studium potravy ptáků nepřináší poznatky pouze o ptácích samotných, ale je nedílnou součástí i jiných biologických disciplín zabývajících se skupinami, které se stávají ptačí potravou. Nemůžeme se nezmínit o **rozborech vývržků** dravých ptáků a sov, které především mammaliologům (těm, kteří studují savce) pomáhají při studiu savčí fauny daného území. Z tohoto hlediska má zvláštní význam výr velký, v jehož potravě nalezneme nejen drobnější kořisti, ale i velké ptáky a savce (např. dravce, ježky apod.), dále pak dnes již velmi vzácná sova pálená (*Tyto alba*), která často na rozdíl od většiny ostatních dravců a sov požírá i faunisticky zajímavé drobné hmyzožravce (*Insectivora*). Lesní faunu drobných savců můžeme pro změnu dobře poznat, najdeme-li místo, kde jsou nahromaděny vývržky puštíka obecného (*Strix aluco*).

## VI. 7. SAVCI (*Mammalia*)

Jsou jedním z vývojových vrcholů obratlovců. V současnosti obývají snad všechny pozemské ekosystémy mimo vrcholů nejvyšších hor a vnitrozemí antarktické pevniny. Kromě nejrůznějších suchozemských ekosystémů je najdeme i ve slaných a sladkých vodách. Do vodních ekosystémů se druhotně vrátili sirény (*Sirenia*) a kytovci (*Cetacea*), ploutvoňoci (*Pinnipedia*) zde prožívají větší část svého života, řada hmyzožravců (*Insectivora*), šelem (*Carnivora*), hlodavců (*Rodentia*) apod. zde hledá potravu. Letouni (*Chiroptera*) dokonce ovládli i aktivní let a dělí se s ptáky o potravní zdroje dosažitelné ze vzduchu. Savci jsou samozřejmě teplotní.

**Trávicí soustava** savců dosahuje prakticky ve všech ohledech vysokou vývojovou pokročilost. Již v ústní dutině dochází k intenzivnímu mechanickému i chemickému zpracování potravy. Ta je zuby dělena na malé části, mísená jazykem a chemicky zpracována enzymy obsaženými ve slinách (např. ptyalin). U všežravých a býložravých forem je zpracování potravy zuby obzvláště důležité - umožňuje její dokonalejší a rychlejší stravení. Zásadní význam má tedy tvarová a funkční **diferenciace zubů**, která je zároveň typickým znakem savců. Rozeznáváme čtyři typy zubů - řezáky (dentes incisivi - I), špičáky (d. canini - C), zuby třenové (d. praemolares - P) a stoličky (d. molares - M). Jejich rozlišení je dáno jednak tvarem, jednak umístěním v čelistech. Řezáky narůstají v přední části zubní řady (tzv. dentice), v horní čelisti na kosti mezičelistní - premaxile, v dolní čelisti analogicky před špičákem. Často mají plochý (dlátovitý) tvar s ostrou hranou a slouží k uchopení či oddělování částí potravy. U některých býložravých skupin (např. hlodavci a zajáci) řezáky neustále dorůstají. Sklovinou mají zpevněnu hlavně přední stranu, a proto se obroušují do velmi ostré hrany. To umožňuje využití tvrdé potravy, kterou pomocí řezáků hlodají. Špičák je v každé polovině čelisti nejvýše jeden. Zpravidla je to kónický, jednoduše stavěný zub. Uplatňuje se především u masožravých forem při usmrcování a držení kořisti. Za špičákem následují třenové zuby a stoličky. Třenáky bývají obvykle jednodušeji stavěny, někdy je ovšem jejich morfologické odlišení od stoliček obtížné. Spolehlivým znakem je pak to, že třenáky mají předchůdce v mléčném chrupu, stoličky vyrůstají až v chrupu trvalém. Právě tyto molariformní (stoličkotvaré) zuby byly v evoluci předmětem nejsložitějších tvarových změn. Proto jsou používány v taxonomii a systematice savců jako vůdčí znak.

I podle jednotlivého zubu je často možno určit druh savce, nebo úzkou systematickou skupinu, do které přísluší (různorodost typů zubů u našich hlodavců dokumentuje obr. č. 9). To lze využít např. při určování potravy sov a dravců, v jejichž vývržcích se nestrávené zbytky kořisti včetně zubů zachovávají. Hromaděním vývržků či jiných zbytků po kořisti predátorů v jejich úkrytech vznikají tzv. **taphocenózy**. Přestože tyto vzorky společenstva savců z okolní krajiny jsou vždy ovlivněny tím, že predátor určité druhy preferuje, jiné přehlíží, umožňují nám do jisté míry rekonstruovat složení fauny lokality v minulých geologických obdobích (tam kde došlo k fosilizaci *taphocenózy*), nebo i zjistit zajímavé údaje o výskytu některých obtížně zjistitelných druhů v současné krajině. Podobně se využívají i tzv. **thanatocenózy** - zbytky nahromaděné přirozeným úhynem živočichů v jejich úkrytech - např. netopýrů v jeskynních prostorách.

Základním tvarem je tzv. **tribosfenická** (trojúhelníková a trojvrcholová) stolička, která je známa u nejpřimitivnějších vymřelých savců. Vývoj korunky stoliček byl dále ovlivňován typem potravy jednotlivých skupin. Obecně lze říci, že docházelo ke zvětšování její plochy a počtu hrbolů, z nichž se dále sestavovaly lišty, a valy, případně byly spojovány ostrými hranami. Základní tvarové typy stoliček vidíte na obr. č. 10. **Sekodontní** zuby mají špičaté hrboly a ostré lišty, které do sebe zapadají. Při žvýkání se uplatňují jako nůžky. Neumožňují většinou pohyb do stran. Tohoto typu jsou zuby současných hmyzožravců, letounů a většiny šelem - tedy savců živičích se většinou bezobratlými či obratlovci. **Bunodontní** zuby mají přibližně čtvercové korunky s tupými zaoblenými vrcholy. Nacházíme je u všežravců - např. prasatovití sudokopytníci, někteří primáti (včetně člověka), hlodavci (např. potkan) a podobně. **Selenodontní** chrup má hrbolky spojeny v ostré podélné lišty sklovinou oddělené plochami krytými pouze zubovinou - typické jsou pro přežvýkavé sudokopytníky. **Lofodontní** chrup má hrboly splývající v příčné valy se sklovinovými hranami. Typicky jsou vyvinuté u lichokopytníků, u chobotnatců je příčných valů na korunce velké množství a zuby nazýváme **polylofodontní**. **Hypsodontní** chrup má korunky vysoké, zcela ploché, tvořené ploškami dentinu ohraničenými sklovinovými lištami v množství typicky tvarovaných polí. Nacházíme jej u hrabošovitých hlodavců a zajíců. Poslední tři typy stoliček jsou charakteristické pro býložravce požírající zelené části rostlin, proto jsou na první pohled značně podobné.

Počet zubů jednotlivých typů je v zubní řadě omezen. Větší počet zubů v rámci jedné skupiny mají zpravidla formy primitivní, menší počet formy specializované - ve vývoji tedy dochází k redukci počtu zubů. Jen výjimečně se zuby u specializovaných savců zmnožují (pásovcí, delfini - až 250 zubů), pak ale nejsou tvarově rozlišené. Obecně lze stanovit tzv. úplný chrup, který zobrazuje výchozí stav chrupu dané skupiny. U vačnatců má 50 zubů, u placentálních savců 44 zubů. Počet zubů jednotlivých typů v zubní řadě vyjadřujeme zlomkem - tzv. **zubním vzorcem**. V "čitateli" je počet zubů jednotlivých typů v jedné polovině horní čelisti, ve "jmenovateli" je tentýž údaj o dolní čelisti, a to v pořadí I-C-P-M (řezáky, špičáky, třenáky, stoličky).

Úplný zubní vzorec vačnatců je  $\frac{5\ 1\ 3\ 4}{4\ 1\ 3\ 4}$ , placentálních savců  $\frac{3\ 1\ 4\ 3}{3\ 1\ 4\ 3}$ . Zubní

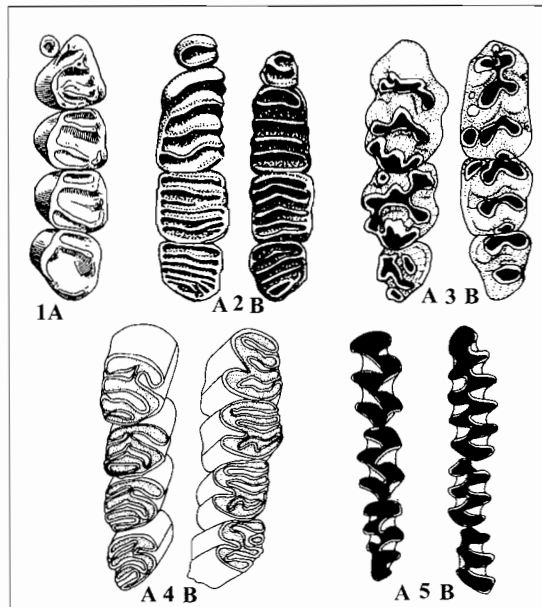
vzorec člověka je  $\frac{2\ 1\ 2\ 3}{2\ 1\ 2\ 3}$ .

Nejrozsaáhlejší redukce počtu zubů nacházíme v naší fauně u hlodavců - u některých skupin úplně chybí špičáky a třenáky (myšovití a hrabošovití mají zubní

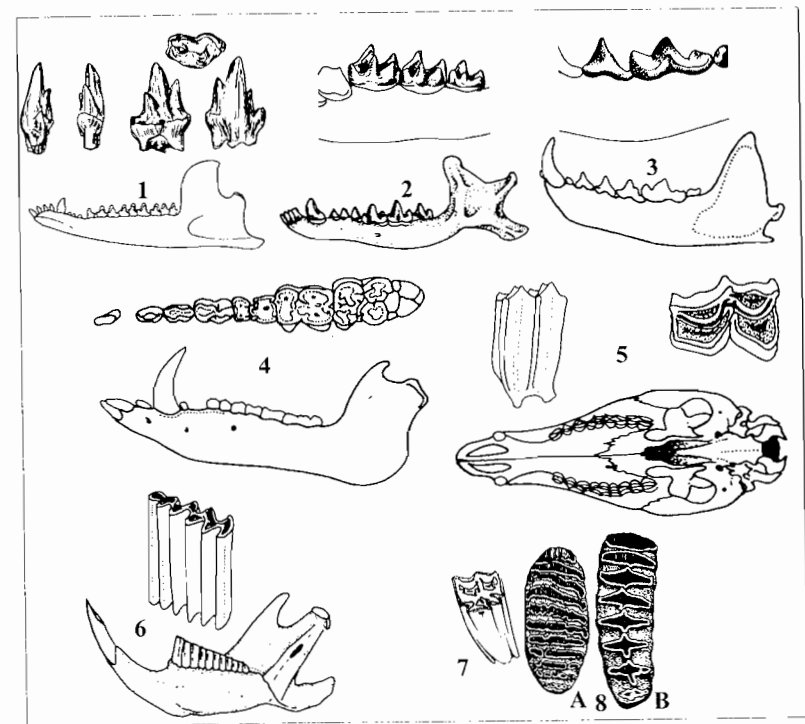
vzorec  $\frac{1\ 0\ 0\ 3}{1\ 0\ 0\ 3}$ . Horní řezáky a u samic i špičáky chybí také přežvýkavým sudokopytníkům (např. srnec  $\frac{0\ 0\ 3\ 3}{3\ 1\ 3\ 3}$ ). Redukce zadní (stoličkové) části zubní řady probíhá u ma-

sožravců, především u šelem (např. rys ostrovid  $\frac{3\ 1\ 2\ 1}{3\ 1\ 2\ 1}$ ).

Podrobný popis a vyobrazení morfologie zubů našich savců, jejich zubních vzorců a rozlišovacích znaků na zubech najdete v publikaci Anděra a Horáček (1982).



**Obr. 9. Zuby našich hlodavců mají velmi různorodý tvar odpovídající potravní specializaci. Rozrůzněné jsou především třecí plochy zubů: 1) zuby veverky obecné (*Sciurus vulgaris*) - žíví se především měkkými a energeticky bohatými částmi rostlin, 2) zuby plšika lískového (*Muscardinus avellanarius*) - v jeho potravě je rovnocenně zastoupen hmyz (popř. další bezobratlí) a měkké, energeticky bohaté části rostlin, 3) stoličky myšice křovinné (*Apodemus sylvaticus*) - žíví se většinou tvrdšími suchými semeny a plody, méně bezobratlími a zelenými částmi rostlin, 4) stoličky hraboše polního (*Microtus arvalis*) - v jeho potravě převažují zelené části rostlin, 5) zuby bobra evropského (*Castor fiber*) - žíví se také zelenými částmi rostlin, kůrou a pupeny dřevin. A = zuby horní čelisti, B = zuby dolní čelisti. (Upraveno podle publikací Anděra a Horáček (1982), Görner a Hackethal (1987) a Kuhn-Schneider a Rieber (1986), velikostní poměry jednotlivých druhů nejsou zachovány).**



**Obr. 10. Typické tvary korunek molariformních zubů.**

1) tribosfenické zuby vymřelých Pantotherii, 2) sekodontní zuby krta, 3) sekodontní zuby kuny, 4) bunodontní chrup prasete, 5) selenodontní zuby jelena, 6) hypsodontní chrup hraboše, 7) lofodontní zub koně, 8) polylofodontní stoličky slona (A = indický, B = africký).

(Upraveno podle publikací Anděra a Horáček (1982), Gaisler (1983), Kuhn-Schneider a Rieber (1986), Musil (1987), velikostní poměry jednotlivých druhů nejsou zachovány).

Za ústní dutinou následující části trávicí trubice - **hltan** a **jícen** - se od příslušných orgánů ostatních obratlovců nijak neliší. Zvláštnosti nacházíme až u **žaludku**. Ten je od jícnu a tenkého střeva oddělen kruhovými svěrači - česlem a vrátníkem. Uvnitř je členěn na čtyři části, podle charakteru sliznice (jícnová část, česlová část, dno žaludku a vrátníková část). Jícnová část u některých skupin savců vytváří složitý systém tzv. předžaludků. Nejznámějším příkladem (u přežvýkavců) jsou tři předžaludky - bachor, kniha a čepec, vlastní žlaznatý žaludek se nazývá slez. Potrava je nejdříve nahromaděna do bachoru, pak vyvrhována zpět do ústní dutiny a žvýkáním mechanicky zpracována, dále znova polykána, v předžaludcích, zvláště v čepci a knize dochází ke štěpení celulózy symbiotickými bakteriemi (nálevníci, tzv. bachořci, jsou v předžaludcích přežvýkavců pouze komenzály, na štěpení celulózy se nepodílejí). Ve slezu pak probíhá vlastní chemické trávení. Odlišné typy složených žaludků mají někteří býložraví vačnatci, primáti, lenochodi, sirény a velbloudi. Dělený žaludek nacházíme i u rybožravých kytovců, kde je v přední svalnaté části potrava mechanicky drcena (podobně jako u ptáků) pomocí pohlceného písku a štěrku.

**Tenké střevo** u savců začíná morfologicky odlišitelným dvanáctníkem, kam ústí vývody slinivky břišní a jater.

**Slepé střevo** (obvykle jedno) se vyskytuje především u nepřežvýkavých býložravých forem. Dochází zde ke štěpení celulózy symbiotickými bakteriemi, vstřebávání živin pak probíhá i v tlustém střevě (např. koňovíti), nebo je trávenina ze slepého střeva vypuzena přes tlusté střevo řitním otvorem, pak znovu pozřena a vstřebávání probíhá normálně v tenkém střevě (tzv. **cekotrofie** u zajícovců).

**Tlusté střevo a konečník** (u vejcorodých kloaka) jsou funkčně shodné s obecným modelem trávicího traktu obratlovců, i když na tlustém (i tenkém) střevě jsou u savců podrobněji rozlišovány další morfologické a funkční části.

Způsob získávání potravy a její kvalita se neodráží jen ve stavbě chrupu či trávicí soustavy, ale i na dalších tělesných strukturách majících přímou souvislost s potravní strategií druhu. Jako příklad uveďme drápy šelem nebo tvar křídel našich letounů. Tvar jejich křídel podléhá stejným zákonitostem jako je tomu u ptáků. Rychlý letec netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*), opatřující si potravu spíše ve volném prostoru, má křídla dlouhá a úzká, zatímco vrápenčovíti (*Rhinolophidae*), kteří se pohybují pomalým a téměř třepotavým letem kolem keřů, mají křídla krátká a široká.

Na světě dnes známe asi 4300 druhů savců. Většina z nich využívá jako hlavní potravní zdroj rostliny, nebo hmyz a další bezobratlé. **Fytofágní** (rostlinožravé) skupiny můžeme rozdělit podle toho, zda se žijí převážně vegetativními zelenými částmi rostlin - pak bývají obvykle vysoce specializovaní a výhradně herbivorní (např. někteří vačnatci, hlodavci, zajícovci, chobotnatci, sirény, lichokopytníci a sudokopytníci) a mají obvykle symbiotické bakterie schopné štěpit celulózu, nebo zda využívají především vysoce energeticky bohaté generativní (květy, plody, semena) či zásobní orgány rostlin (pak obvykle v malé míře požírají i bezobratlé - např. řada vačnatců, primátů, někteří letouni, hlodavci).

Typicky **evertebratofágní** (požírající bezobratlé) jsou ptakořitní, část vačnatců, hmyzožravci, velká část letounů, část primátů, luskouni, chudozubí, hrabáči, menší část hlodavců). Jako výrazně morfologicky a etologicky odlišenou podskupinu evertebratofágů můžeme vyčlenit kytovce z podřádu koticovci (*Mysticeti*), kteří se žijí filtrací mořského planktonu - jako filtrační aparát využívají kostice, prodloužené, zrohovatělé a na koncích rozštěpené patrové lišty.

Někteří savci (tzv. **vertebratofágní**) jsou také specializovaní na lov obratlovců - sem patří šelmy, několik druhů vačnatců, hmyzožravců a letounů v suchozemském prostředí, ploutvonožci a ozubení kytovci ve vodních ekosystémech (zde požírají převážně ryby). Jsou sem řazeni i zajímaví netopýři z podčeledi upiroviti (*Desmodontinae*), žijící se krví savců a ptáků, kterou sají na živých jedincích.

Významná část savců však kombinuje více potravních zdrojů a některé skupiny označujeme přímo jako **omnivorní** (všežravé) - např. prasatovití sudokopytníci, někteří primáti (včetně člověka), někteří vačnatci, šelmy (medvědovití), hlodavci (potkan a jiní myšovití) atd. Podrobný popis potravních specializací jednotlivých savčích řádů shrnuje Vlasák (1986).

Z našich cca 85 druhů savců můžeme také vyčlenit jednotlivé potravní specialisty. Zelené části rostlin jsou u nás potravou přežvýkavých sudokopytníků (jelenovití a turoviti), zajíců, hlodavců z čeledi hrabošovití (*Arvicolidae*) a bobra. Především přežvýkavci mohou při vysokých početních stavech výrazně ovlivňovat podrost i obnovu lesních porostů, hrabošovití jsou naopak typickými obyvateli nelesních biotopů a často působí škody na zemědělských plodinách. Generativní a zásobní části rostlin u nás využívá celá řada hlodavců - veverkoviti, plchovití, křeček a myšovití. U části z nich je tato výživa kombinována s požíváním bezobratlých (u plcha lesního a zahradního tvoří dokonce hlavní složku potravy). Typickým evertebratofágem je pak z našich hlodavců myšivka horská, dále se bezobratlími žijí hmyzožravci (u nich bývá někdy převažující nehmzyzí složka potravy - např. krtek) a netopýři (zde vždy dominuje v potravě létající hmyz). Z šelem jsou výhradně vertebratofágní (neboli též karnivorní) kočkovité a většina kunovitých, ostatní mají v potravě větší či menší podíl bezobratlých či rostlinné složky. Jezevce a medvěda pak můžeme označit za typicky všežravé, podobně jako prase divoké a část myšovitých hlodavců.

Vzhledem k tomu, že savci většinou využívají ze svých potravních zdrojů cíleně jen určité části (např. chutné nebo energeticky bohaté), lze podle charakteristicky okousaných zbytků potravy často určit přímo druh savce, který v daném místě potravu přijímal. Podobně lze přítomnost jednotlivých druhů poznat podle tvarově charakteristického a typicky umístěného trusu. Podrobnosti o rozlišování potravních zbytků a trusu savců najdete např. v publikacích Anděra a Horáček (1982) nebo Bouchner (1986). Mimo vlastní zjištění přítomnosti jednotlivých druhů savců v dané lokalitě nám nálezy typických potravních zbytků umožní do značné míry poznat složení jejich potravy. Ke kvalitativně a především kvantitativně přesnějšímu určení složení potravy a jeho změn se ovšem používá rozbor obsahu žaludků uhynulých či ulovených savců, případně rozbor nestrávených zbytků potravy obsažených v trusu.

Při vyhledávání potravy využívají savci převážně (a zřejmě prvotně) orientace čichové. Pouze u některých skupin (část šelem, primátů, řada herbivorů) hraje dominantní roli zraková orientace nebo sluch. Většinou jsou však všechny tyto smysly dobře vyvinuté a jsou využívány kombinovaně. Zvláštní způsob orientace a lokalizace kořisti mají netopýři, někteří mořští savci a zřejmě i někteří hmyzožravci a hlodavci. Je to tzv. **echolokace** - vysílání zvukových vln a příjem a analýza jejich odrazu od různých předmětů.

Potravu savci vždy aktivně vyhledávají, přičemž často používají a kombinují celou řadu způsobů vyhledávání a získávání potravy v závislosti na konkrétních podmínkách biotopu, okamžité potravní nabídce a své energetické situaci. Poměrně běžný je u některých savců (primáti, šelmy, kopytníci, kytovci) lov či sběr potravy ve

skupinách. Někdy zde dochází k rozdělování potravy i mezi ty členy society, kteří se na jejím získání bezprostředně nepodíleli. Běžné je také hromadění potravních zásob - na delší období především u herbivorních skupin v oblastech, kde jsou po určitou část roku nepříznivé klimatické podmínky, krátkodobě i u šelem, hmyzožravců atd. Jinou strategií pro překonání nepříznivých klimatických podmínek je tzv. **heterothermie** - dočasné snižování tělesné teploty a metabolické aktivity nejčastěji známé jako zimní spánek (**hibernace**) v chladných klimatických oblastech či letní spánek (**aestivace**) v teplých a suchých oblastech. U nás upadají do zimního spánku z hmyzožravců oba druhy ježků, dále všichni netopýři (často upadají i do krátkodobé denní strnulosti v kterékoli části roku), někteří hlodavci (sysel, křeček, pichovít, myšivka horská) a šelmy (jezevec, medvěd), u nichž však je snížení teploty i metabolismu méně výrazné. Tyto skupiny savců shromažďují před obdobím hibernace či aestivace vrstvy podkožního tuku, z nichž kryjí metabolické potřeby v době, po kterou nepřijímají potravu.

Savci (především herbivorní) jsou významným potravním zdrojem pro savce dravé (karnivorní), drobní a středně velcí savci také pro dravce, sovy, brodivé a některé další skupiny ptáků. Drobní savci (zvláště hlodavci) jsou důležitým zdrojem potravy plazů, především hadů. V potravě ostatních živočichů jsou savci jen náhodnou či doplňkovou součástí.

Významným zdrojem potravy jsou savci i pro člověka. Lov savců byl v našich podmínkách nezastupitelným zdrojem potravy před vznikem zemědělství. V těch oblastech, kde nebylo zemědělství dostatečně efektivní (chladné oblasti, některé tropické oblasti) zůstává důležitým potravním zdrojem i v současnosti. U nás má dnes spíše charakter zájmové aktivity, nebo je prováděn z důvodů ochrany lesních biotopů např. před nadměrným okusem. Většina spotřeby živočišné potravy lidí je kryta z chovů domácích hospodářských zvířat, mezi nimiž některé druhy savců zaujímají nejvýznamnější místo.



## VII. Teorie optimální potravní strategie

Základem této teorie (optimal foraging theory) je hypotéza optimálního složení potravy (optimal diet hypothesis), která předpokládá, že jedinec volí složení potravy tak, aby **maximalizoval množství získané energie** a zároveň **minimalizoval čas** strávený jejím vyhledáváním a zpracováním. Tato hypotéza ve své základní formulaci nepočítá s možností, že by podstatnou váhu mělo vybírání potravy podle nutriční hodnoty (ve smyslu obsahu vitamínů, stopových prvků apod.). Chování v souladu s hypotézou optimálního složení potravy je proto zpravidla pozorováno u živočichů masožravých, hmyzožravých a semenožravých s vysokou úrovní bazálního metabolismu, např. u většiny ptáků.

Současnou formulaci teorie optimálního složení potravy, vycházející z diskutované hypotézy, podává Schoener (1987), který stanovil tyto čtyři základní zákonitosti:

1) Seřadíme-li jednotlivé složky potravní nabídky podle klesajícího energetického zisku za časovou jednotku, pak můžeme určit hranici, za kterou složka v tomto pořadí bude za dané situace ještě konzumována.

2) Preference či opomíjení určité složky nezávisí na její vlastní četnosti výskytu (abundanci), ale pouze na abundanci složek s větším energetickým ziskem za časovou jednotku.

3) Počet druhů přijímané potravy výrazně klesá se zvyšováním celkové abundance všech složek. (Čím více jídla, tím jednodušší strava.)

4) Určitá potrava je za dané situace buď pravidelně konzumována nebo je opomíjena (a její výskyt v potravě je jen výsledkem jejího nahodilého zkoušení konzumentem).

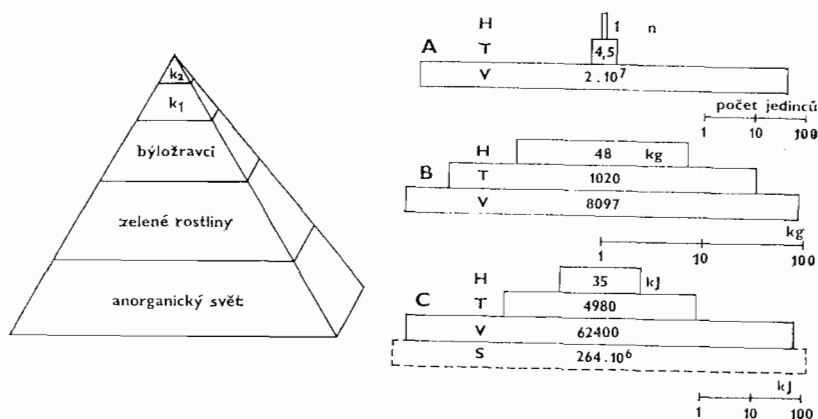
## VIII. Potrava z ekologického hlediska

### VIII. 1. KOLOBĚH LÁTEK

Jednou ze základních vlastností živých organismů je neustálá výměna látek s okolím. Pro své přežití, růst a rozmnožování potřebuje každý organismus přijímat určité látky z prostředí, ve kterém žije. Přijaté látky svým metabolismem mění a zabudovává do svého těla, případně do zárodků těl svých potomků. Některé složky potravy nejsou pro daný organismus stravitelné (např. celulóza pro většinu býložravců) a jsou z těla vylučovány spolu s odpadními látkami, které vznikají při metabolických procesech (např. močovina). Po odumření organismu se postupně celé jeho tělo rozloží působením biotických i abiotických procesů, a látky v něm obsažené mohou být znovu využity jinými organismy. Přesun látek z jednoho organismu do jiného se pochopitelně děje i při požívání všeho druhu. Tomuto cyklu se říká **koloběh látek** a kromě živých organismů je do něj zapojeno i jejich anorganické okolí - voda, půda, minerální podloží, atmosféra. Voda, půda a vzduch jsou základními zdroji a zásobníky stavebních kamenů pro těla živých organismů.

## VIII. 2. TOK ENERGIE

Koloběh látek je neoddělitelně provázán s příjmem, přeměnami a výdejem energie. Tento proces je nazýván **tokem energie**. Zdůraznění, že jde o tok a nikoliv o koloběh, má svůj důvod. Všechna energie totiž vstupuje do biosféry zvenčí - většinou v podobě slunečního záření. Po zachycení dochází k jejím přeměnám a dříve nebo později se vyzáří jako teplo. V případě energie tedy nedochází k uzavření cyklu procesů přeměny - energie ekosystémem nekoluje, ale „protéká“. Při každé výměně či přesunu energie dochází navíc v souladu s termodynamickými zákony k určitým ztrátám a systém tedy pracuje s jistou účinností, která se liší podle organismů a ekosystémů, v nichž přeměna energie probíhá. Tato účinnost se pohybuje při přechodu mezi trofickými úrovněmi (viz dále) mezi přibližně 0,1% (rostliny využívající energii slunečního záření) a 20% (např. zooplankton žeroucí fytoplankton a obecně dravci).



Obr. 11. Ekologické pyramidy.

Vlevo obecné schéma trofických vztahů ( $k_1$ ,  $k_2$  = konzumenti). Vpravo - A pyramidu početnosti, B pyramidu biomasy, C pyramidu produkce. Jde o zjednodušený tok v řetězci slunce (S), vojtěška (V), telata (T) a člověk (H). (Podle Oduma - 1977, upraveno).

## VIII. 3. PRODUCENTI, PRIMÁRNÍ PRODUKCE

Organismy schopné získávat energii a látky z anorganických zdrojů (sluneční záření, voda, půda, vzduch) jsou nazýváni **producenti** (někdy též primární producenti) a jejich činnost - tvorba organických látek z anorganických s využitím energie z anorganických zdrojů - **primární produkce**. Primární produkce je jinými slovy přírůstek nové organické hmoty do těla rostliny - primárního producenta. Tato skupina, jejíž zdaleka největší část tvoří fototrofní organismy, hraje v toku energie a látek na Zemi naprosto klíčovou roli svou schopností zachytit a zpracovat energii slunečního záření. Z této energie a několika základních anorganických látek ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ) dokáží primární producenti syntetizovat složité organické molekuly - cukry, bílkoviny a tuky. Tato unikátní schopnost umožnila ohromný rozvoj života na zeměkouli v podobě, jak jej známe dnes.

## VIII. 4. KONZUMENTI, SEKUNDÁRNÍ PRODUKCE

Organismy živící se heterotrofní výživou, tzn. příjmem již hotových složitých organických molekul, se nazývají **konzumenti** a přírůstek jejich biomasy **sekundární produkce**. Mezi konzumenty můžeme dále rozlišit organismy živící se rostlinnou potravou - to jsou býložravci čili **herbivoři**, živočišnou potravou - masožravci čili **karnivoři** a dále rozkladače čili **destruenty**, ti získávají látky z organismů odumřelých, případně z odpadů živých organismů.

## VIII. 5. ROZDÍLY MEZI TEPLOKREVNÝMI A STUDENOKREVNÝMI ŽIVOČICHY

Jak již bylo řečeno v předchozích částech, dělíme živočichy (a většinou přitom myslíme obratlovce) na **homoiothermní** (teplokrevné) a **poikilothermní** (studenokrevné). Tento fakt zásadním způsobem ovlivňuje **energetické nároky** a tím i potravní ekologii organismu. Teplokrevnost umožňuje vysokou aktivitu v zásadě nezávislou na teplotě prostředí. Vyžaduje však stále velký přísun energie, a to tím větší, čím více přesahuje teplota živočicha teplotu okolí. Naproti tomu metabolismus studenokrevného živočicha je velmi úsporný, neboť nespotebovává energii na udržení stále tělesné teploty. Aktivita studenokrevného živočicha je však závislá na teplotě prostředí.

Rozdíly v energetice těchto dvou skupin organismů se poměrně markantně projevují i na objemu jejich biomasy na jednotlivých trofických úrovních. Pro větší názornost si představme následující hypotetický příklad:

Na louce č. 1 žije populace hrabošů, která svým populačním přírůstkem pokrývá potravní nároky populace studenokrevných zmijí. Každá z nich spotřebuje 3 hraboše týdně a biomasa zmijí, jež se na dotyčné populaci hrabošů užívá, je dejme tomu 10 kg. Na louce č. 2 je stejně velká populace hrabošů se stejným populačním přírůstkem jako na louce č. 1 a tím pádem by uživila i stejně velkou populaci zmijí. Místo nich jsou tam však jedinými predátory poštolky. Každá spotřebuje 3 hraboše denně a biomasa poštolek na louce č. 2 je pouhých 0,7 kg.

Těchto výrazných disproporcí mezi biomasou teplokrevných a studenokrevných organismů se využívá i při interpretaci druhového složení thanatocenóz druhohorních plazů. Některé druhy dinosaurů se vyskytují v thanatocenózách podstatně vzácněji, než jiné, ačkoliv podle chrupu lze soudit, že byly na téže trofické úrovni. Shodou okolností

jsou zde vzácně zastoupeni i teplokrevní savci. Tento fakt spolu s dalšími podpůrnými důkazy (stavba kostí) vede mnoho paleontologů k názoru, že některé skupiny dinosaurů byly teplokrevné.

Důležitým faktorem, který výrazně ovlivňuje energetickou spotřebu živočicha je jeho velikost, respektive jeho **specifický povrch** (poměr objemu živočicha k povrchu těla). [Představme si krychli o hraně 1 cm ( $V = 1 \text{ cm}^3$ ,  $P = 6 \text{ cm}^2$ , poměr objemu ku povrchu je tedy 1:6), a krychli o hraně 10 cm ( $V = 1000 \text{ cm}^3$ ,  $P = 600 \text{ cm}^2$ , poměr je tedy 10:6)]. Z výše uvedeného pak jasně vyplývá, že menší živočichové mají větší specifický povrch těla. To se přirozeně odráží ve velikosti **tepelných ztrát** a rychlosti prochladání organismu. Malí živočichové pak jsou nuceni opatřit si relativně větší množství potravy. (Tak např. relativní denní dávka potravy, vyjádřená v sušině, u králíčka obecného (*Regulus regulus*) o hmotnosti 6,3 g činila 28% objemu těla. U špačka obecného (*Sturnus vulgaris*) o hmotnosti 76,5 g byla za stejných podmínek jen 6,5%).

### VIII. 6. TROFICKÁ ÚROVEŇ

Každá z těchto „potravních specializací“ (primární producenti, herbivoři, karnivoři a destruenti) představuje jinou trofickou úroveň ekosystému. **Trofická úroveň** označuje pozici v potravním řetězci (viz dále), určenou počtem kroků spojených s přenosem a přeměnou energie. Znamená to tedy, že všichni herbivoři jsou na jedné trofické úrovni, všechny organismy, kteří se těmito herbivory živí, opět na stejné trofické úrovni.

Rozdělení organismů do trofických úrovní je však do jisté míry schematické a orientační, neboť sice mnoho organismů můžeme skutečně zařadit do některé konkrétní trofické úrovně, řada organismů však přijímá různé typy potravy, nebo se mohou jejich potravní specializace měnit během ontogenetického vývoje (např. mnoho druhů drobných pěvců, kteří se v dospělosti živí převážně rostlinnou potravou, potřebuje pro zdravý vývoj těsně po vyklubání z vajíčka potravu téměř výhradně živočišnou).

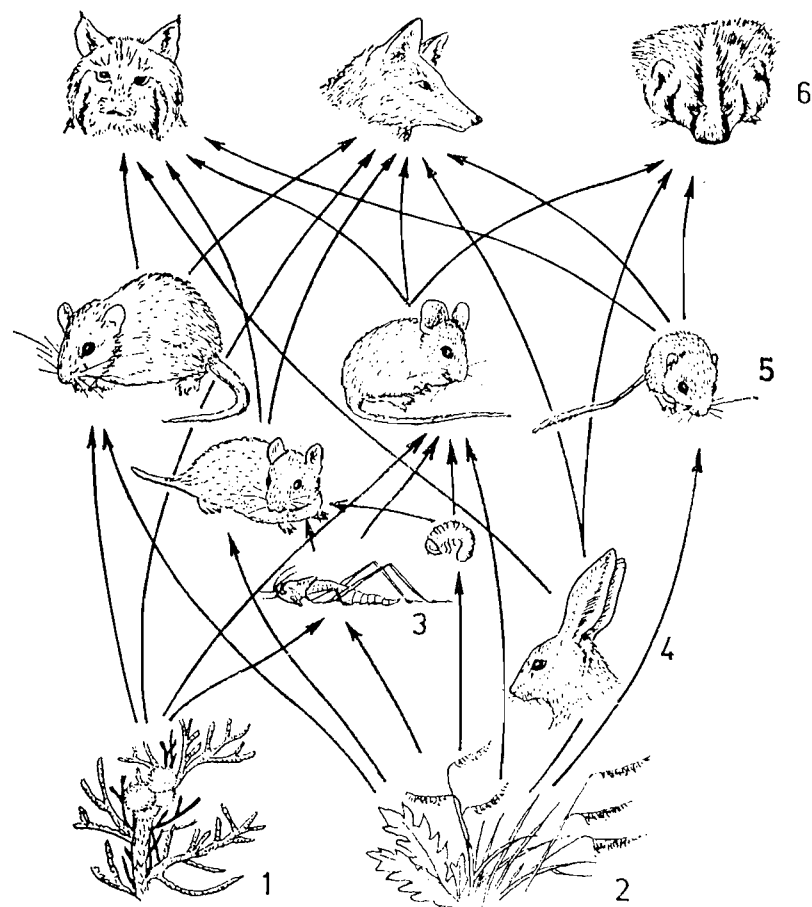
### VIII. 7. POTRAVNÍ ŘETĚZEC, POTRAVNÍ SÍŤ

Pro vysvětlení toku látek a potravních vztahů v ekosystému se někdy používá termín **potravní řetězec**:

rostlina → herbivor (primární konzument) → karnivor 1 (sekundární konzument) → karnivor 2 (terciární konzument).

Při důkladnějším pohledu na potravní vztahy v přírodě je však zřejmé, že tento tradiční model je značně zjednodušující a odpovídá realitě ve velice omezené míře. Naprostá většina organismů se živí více než jedním druhem potravy a sami jsou požíráni různými druhy organismů. Navíc mnoho organismů patří mezi tzv. všežravce (omnivory), tedy v jejich potravě je jak složka rostlinná, tak živočišná. Klasický, výše popsaný, tzv. pastevně-kořistnický potravní řetězec navíc opomíjí rozkladnou činnost destruentů.

Daleko výstižnějším modelem pro popis potravních vztahů je **potravní síť**, kterou si můžeme znázornit např. obrázkem č. 12. Potravní síť je v podstatě sestavení a propojení všech potravních řetězců, které v daném ekosystému existují. Jen velmi dobré porozumění studovanému ekosystému umožní co nejpřesnější sestavení takové sítě.



Obr. 12. Zjednodušené schéma potravní sítě lesostepního společenstva v Arizoně.

Šipky naznačují potravní vztahy. Rostliny (1, 2) jsou zdrojem potravy bezobratlých (3), zajíce (4) a hlodavců (5). Hlodavci a zajáci jsou loveni rysem, kojotem a jezevcem (6).

(Podle Vaughana -1972).

## VIII. 8. POTRAVNÍ NIKA

Termínem **nika** (resp. ekologická nika) v ekologii označujeme souhrn všech rozmezí nároků na prostředí, které organismus potřebuje pro úspěšné přežívání a rozmnožování. Tak např. určitá rostlina může růst jen na louce, která má složení půdy, vlhkost, oslunění a další faktory v limitech tolerance, které je tato rostlina schopna snést. Mezi důležité faktory patří i přítomnost jiných druhů, které mohou soupeřit o stejné zdroje, přítomnost a hustota herbivorů a parazitů atd. Nika je specifická a unikátní pro každý druh organismu.

Protože ne vždy nacházejí organismy v přírodě ideální podmínky pro svoji existenci, hovoříme pak o nice **základní** a **realizované**. Nika základní představuje skutečné meze tolerance daného druhu. Oproti tomu nika realizovaná je konkrétními podmínkami, konkrétně kompeticí s ostatními druhy ve společenstvu, omezená nika základní

**Potravní nika** je částí ekologické niky druhu, zahrnující nároky na množství a kvalitu potravy, ale také způsob a dobu přijímání potravy. Příkladem základní a realizované ekologické niky v rámci potravní niky může být situace, kdy určitý živočich preferuje ve své potravě jistou rostlinu, živí se jí dejme tomu z 90% - vyskytne-li se však v tomtéž prostředí jiný živočich, který je rovněž na danou rostlinu specializován, musí oba druhy změnit složení své potravy a přejít částečně na náhradní potravu, kde ona kritická rostlina tvoří třeba jen 50%.

## VIII. 9. POTRAVNÍ VZTAHY MEZI ORGANISMY

Z hlediska získávání a příjmu potravy existuje mezi organismy řada vzájemných vztahů. Nejčastější vztah je takový, kdy jeden organismus je potravou jinému - to je **predace** v širším slova smyslu a patří sem např. i spásání rostlin herbivory. Někdy se z predace vyčleňuje zvlášť **parazitace** buď z hlediska poměru velikostí - parazit je mnohem menší, než jeho hostitel nebo na základě skutečností, že parazit na rozdíl od predátora svého hostitele pokud možno nezabíjí. Velice častým je také jev, kdy dva nebo více organismů soupeří o jeden zdroj potravy - to je **kompetice**. Při získávání a příjmu potravy mohou organismy také navzájem spolupracovat a oba mají z tohoto vztahu prospěch - **mutualismus** nebo má prospěch jen jeden - pak tomu říkáme **komenzalizmus**.

### VIII. 9. 1. Predace

#### VIII. 9. 1. 1. Predace a predátor

Již dávno je zřejmé a mnoha pokusy ověřené, že konzumenti obecně ovlivňují početnost a rozmístění potravy, kterou se živí a naopak. Tento jev má v chování každého ekosystému a následně i v jejich studiu značný význam.

V přírodě neustále dochází k tomu, že se miliony organismů stávají kořistí jiných organismů, přesto však za přirozené situace (bez zásahu člověka) dojde málokdy k tomu, že by nějaký druh byl schopen zcela zlikvidovat jiný druh svým predáčním tlakem. Pokud totiž v důsledku predáčního tlaku klesá množství kořisti, početnost predátora musí též poklesnout (u potravně specializovaného predátora), a nebo se predátor musí specializovat na jiný typ kořisti. oba případy vedou ke zmenšení predáčního tlaku a tedy k opětnému namnožení kořisti.

**Predátory** můžeme rozdělit do čtyř kategorií. Takzvaní **praví predátoři** svoji kořist zabíjejí a činí tak opakovaně po celý život, tedy zabijí větší počet jedinců kořisti, kořist poté konzumují celou nebo jen její část. Sem patří všechny organismy, které se obvykle s pojmem predace každému vybaví - např. draví ptáci, šelmy, draví stěvlíci, ale rovněž i masožravé rostliny, hlodavci žeroucí semena, velryby žeroucí plankton. **Spásáči** také během svého života napadají větší množství organismů, ale nezabíjejí je a živí se jen jejich částmi - tato kategorie zahrnuje velkou část herbivorů živících se okusováním rostlin. **Parazit** se rovněž živí jen částmi organismů, které napadají, během jejich života je to však jeden nebo několik málo jedinců. Typickým parazitem jsou např. háďátka na rostlinách nebo tasemnice v trávicím traktu obratlovců. **Parazitoidé** jsou zvláštní skupinou hmyzu, jejichž samičky kladou vajíčka do živých larev jiných druhů parazitického hmyzu a larvičky z vajíček vyhlíhlé poté postupně vyžerou hostitelského živočicha až do jeho zahubení.

### VIII. 9. 1. 2. Adaptace kořisti na působení predace, reakce predátorů

Významným regulačním mechanismem snižujícím intenzitu predace je existence řady adaptací, které omezují dostupnost a stravitelnost kořisti pro predátora. Tyto adaptace mohou být v zásadě čtyř typů: mechanická, chemická, časoprostorová a dále různé typy ochranného zbarvení.

Příkladem **mechanické ochrany** jsou různé výrůstky a trny, které snižují snadnost napadení kořisti predátorem. Na pastvině se například dobytek vyhýbá bodlákům a otrněným keřům, perloočky s prodlouženými výrůstky na schránce jsou méně snadnou kořistí pro některé své predátory. Dalším typickým příkladem jsou ježčí bodliny.

Velice rozšířená je **ochrana chemická** - organismus syntetizuje látky, které jsou buď chuťově odpuzující, jedovaté nebo těžko stravitelné. Mnoho druhů rostlin je schopno vytvářet různé alkaloidy, terpenoidy a další sekundární produkty metabolismu, které výrazným způsobem omezují predáční tlak herbivorů. Více jak tisíc druhů rostlin z čeledí růžovitých, bobovitých, hvězdnicovitých, lipnicovitých a áronovitých je schopno syntetizovat kyanid, který je toxický pro živočichy i ve velmi malých koncentracích (blokuje jeden důležitý enzym buněčného dýchání).

**Časoprostorová ochrana** zahrnuje jednak únik či úkryt kořisti do míst, kam predátor nemůže nebo může jen s obtížemi - zde snad ani není nutné uvádět příklady - jednak únik v čase, tzn. kořist má např. jinou denní aktivitu než predátor, jiný výskyt během roku či jednoduše útek nebo ulétnutí.

**Ochranné zbarvení** může být buď kryptické (maskování) nebo výstražné. Výstražné zbarvení (často různé kombinace červené, černé a žluté barvy) je pro predátora signálem, že kořist je nejedlá (jedovatá či odporně chutí). Některé organismy, přestože jsou samy požitelné se chrání tím, že napodobují výstražné zbarvení nepoživatelných druhů. tento jev se nazývá mimetismus. Klasickým příkladem je pestřenka napodobující vosu.

V přírodě však obvykle nezůstává nic bez odezvy a tak jako mnoho organismů - potenciální kořisti - disponuje různě složitou a různě účinnou ochranou, mnozí predátoři v průběhu evoluce vyvinuli způsoby, jak tuto ochranu obejít. Mechanickou ochranu lze někdy překonat silným ústním ústrojím nebo drsnějším povrchem ústní dutiny, která se neporaní o výrůstky kořisti a naopak je účinným způsobem rozdrťí. Mnozí živočichové jsou schopni překonat i chemickou obranu - mohou mít například



enzymy schopné zneškodnit toxické látky. Tento jev, kdy se organismy mění podle změn jiných organismů se nazývá koevoluce.

#### VIII. 9. 1. 3. Vliv predace na populaci kořisti

Působení predátora na populaci kořisti nemusí mít jen negativní důsledek v podobě úbytku jedinců populace. Je známo, že řada druhů predátorů z populace kořisti požívá slabší a nemocné jedince, kteří nejsou schopni se účinně bránit např. útekem. Tento jev má potom pro populaci pozitivní efekt - je větší pravděpodobnost, že další generace bude potomky nejsilnějších a nejschopnějších jedinců.

#### VIII. 9. 1. 4. Vliv predace na složení společenstva

Velký vliv může mít působení predátora i na celkové složení společenstva. Druhově selektivní predace umožňuje totiž přetrvání i kompetičně méně úspěšných druhů ve společenstvu. V přírodě dochází zhusta k situacím, že „slabší“ druh by se bez predáčního tlaku ve společenstvu neudržel, protože by byl vytlačen kompetičí silnějších druhů. Predátor, který je specializován na tyto silnější druhy a udržuje jejich populaci v nízkých počtech, pak vlastně umožňuje existenci slabších druhů v daném společenstvu.

#### VIII. 9. 2. Kompetice

Kompeticí se rozumí soupeření o společný zdroj. Tímto zdrojem může být např. potrava, přístup k vodě, určité množství vhodných úkrytů před predátory. Čím je tento zdroj vzácnější (bud' více jedinců nebo úbytek zdroje), tím je kompetiční tlak silnější. Ve svých důsledcích ovlivňuje kompetice přežívání jedinců a míru jejich vkladu do další generace - úspěšnější jedinec nejenže neustrádá nedostatkem svých potřeb (potrava, úkryt atd.), ale má často více silnějších potomků.

Kompetice se obvykle rozděluje na vnitrodruhovou - jedinci soupeří v rámci jednoho druhu, a mezidruhovou - o společný zdroj soupeří jedinci různých druhů.

Kompetující jedinci se při svém soupeření nemusí nutně fyzicky setkat a bojovat o daný zdroj, jen větší množství jedinců snižuje dostupnost tohoto zdroje pro ostatní „zájemce“ - to je tzv. **kompetice exploatační**. Jako příklad lze uvést kopytníky v savaně, pasoucí se na stejných prostorách. Naopak, bojují-li fyzicky kompetitoři o zdroj, je to tzv. **kompetice interferenční** - jedinci interferují při snaze získat zdroj, např. mrchožraví ptáci mohou bojovat o zdechlinu.

Při kompetici často dochází k jevu, o němž již byla řeč - ekologická nika druhu se v jedné nebo více dimenzích mění na niku realizovanou - dochází k vzájemnému vytlačování druhů. Během evoluce se druhy mohou adaptovat (přizpůsobit se) na tuto kompetičními vztahy omezenou niku, čímž dochází k postupné specializaci druhů.

#### VIII. 9. 3. Mutualismus

V řadě případů potravních vztahů mají ze vzájemného vztahu prospěch oba jedinci. Příkladem mohou být hlízkové bakterie na kořenech některých rostlin nebo mykorrhiza - v obou případech si organismy navzájem poskytují látky potřebné pro výživu a růst.

#### VIII. 9. 4. Komenzalizmus

Komenzalizmus (soustolovnictví) je takový vztah dvou organismů, kdy jeden druh využívá druhý, aniž mu tím výrazně škodí. Příkladem komenzalizmu je konzumace zbytků ulovené potravy po nějakém predátorovi druhy, které samy nemají dobré schopnosti k lovu - např. přživování se hyen u hodovního stolu krále zvířat.

### IX. Použitá a doporučená literatura

- Anděra M., Horáček I. (1982): *Poznááme naše savce*. Mladá fronta, Praha.
- Baruš V., Oliva O. a kol. (1992a): *Fauna ČSFR, Obojživelníci*, Academia, Praha.
- Baruš V., Oliva O. a kol. (1992b): *Fauna ČSFR, Plazi*, Academia, Praha.
- Baruš V., Oliva O. a kol. (1995): *Fauna ČR a SR, Míhulovci a ryby*, díl 1. a 2., Academia, Praha.
- Bouchner M. (1986): *Poznáme je podle stop*. Artia, Praha.
- Buchar J. (1987): *Život*. Mladá fronta, Praha.
- Černohorský Z. (1963): *Základy soustavné botaniky I*, SPN Praha.
- Fuchs R. (1985): *Úvod do ekologie, Přípravný text pro kat. A, B*. Účelová publikace ÚDPM JF Praha pro potřeby biologické olympiády ČSSR 1985-86.
- Gaisler J. (1983): *Zoologie obratlovců*. Academia, Praha.
- Görner M., Hackethal H. (1987): *Säugetiere Europas*. Neumann Verlag, Leipzig - Radebeul.
- Hanel L. (1992): *Poznááme naše ryby*. ZN Brázda, Praha.
- Hanzák J. a kol. (1973): *Světlem zvířat*. Albatros, Praha.
- Hrabě S., Oliva O., Opatrný E. (1973): *Klíč našich ryb, obojživelníků a plazů*. SPN, Praha.
- Jarošík V. (1992): *Alternativní přístupy k ekologii společenstev*. Biologické listy 57 (3): 177-196.
- Karlson P. (1981): *Základy biochemie*. Academia, Praha.
- Kuhn-Schnider E., Rieber H. (1986): *Handbook of Paleozoology*. The John Hopkins University press, London and Baltimore.
- Lang J. a kol. (1971): *Zoologie*. SPN, Praha.
- Losos B., Kulička J., Lellák J., Pelikán J. (1984): *Ekologie živočichů*. SPN, Praha.
- Lusk S., Baruš V., Vostradovský J. (1983): *Ryby v našich vodách*. Academia, Praha.
- Mihálik J., Reiser F. (1988): *Naše ryby*. SZN, Praha.
- Musil J., Nováková O., Kunz K. (1976): *Biochemie v obrazech a schématech*. Avicenum, Praha.
- Musil R. (1987): *Vznik, vývoj a vymírání savců*. Academia, Praha.
- Odum E.P. (1977): *Základy ekologie*. Academia, Praha.
- Price P.W. (1984): In Price P.W., Slobodchikoff C.N., Gaud W.S. (Eds.), *A New Ecology: Novel Approaches to Interactive Systems*. Wiley-Interscience, New York.
- Příhoda A., Urban L., Urban L. ml. (1986): *Kapesní atlas hub 1*. SPN, Praha.
- Příhoda A., Urban L., Urbanová V., Urban L. ml. (1987): *Kapesní atlas hub 2*. SPN, Praha.
- Rosypal S. a kol. (1992): *Fylogeneze, systém a biologie organismů*. SPN, Praha.
- Sigmund L., Hanák V., Pravda O. (1994): *Zoologie strunatců*. Karolinum, Praha.
- Semerdzieva M., Veselský J. (1986): *Léčivé houby dříve a nyní*. Academia, Praha.
- Schoener T.W. (1987): *A brief history of optimal foraging ecology*. In: Krebs J.R., Kamil A.C., Pulliam H.R. (Eds.), *Foraging behavior*. Plenum press, New York.
- Šípál Z. a kol. (1992): *Biochemie*. SPN, Praha.
- Vaughan T. A. (1972): *Mammalogy*. Saunders Co., Philadelphia.
- Vlasák P. (1986): *Ekologie savců*. Academia, Praha.
- Voet D., Voetová J.G. (1995): *Biochemie*. Victoria Publishing, Praha.
- Vodrážka Z. (1992, 1993): *Biochemie 1, 2, 3*. Academia, Praha.

**Výživa a potravní vztahy organismů**

*Biologická olympiáda 1996-1997*

31. ročník

*přípravný text pro kategorie A, B*

**Autoři:** Mgr. Michal Andreas - kapitoly VI.4., VI.5., VIII.5., VIII.6.  
Mgr. Michal Bílý - kapitola V.  
Mgr. Alice Exnerová - kapitoly VI.6., VII.  
RNDr. Jiří Gabriel, CSc - kapitoly III.1. - III.4., III.6. - III.9.  
Bc. Lenka Kratzerová - kapitola I.  
Mgr. Radka Pichlová - kapitoly VIII.1. - VIII.4., VIII.7. - VIII.9.  
Mgr. Antonín Reiter - kapitoly VI.1. - VI.3., VI.7.  
Mgr. Zuzana Storchová - kapitoly II., III.5.  
Bc. Jana Škorníčková - kapitoly IV., III.5.

**Recenze:** Mgr. Jakub Rázga, - katedra hydrobiologie a parazitologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitoly I., II.  
Doc. RNDr. Vladimír Hanák, CSc., - katedra zoologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitola VI.  
RNDr. Bohdan Škoda, - katedra botaniky,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitola IV.  
RNDr. Dr. Daniel Frynta, katedra zoologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitola VII.  
Mgr. David Storch, katedra zoologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitola VIII.  
RNDr. Miroslav Švátora, CSc., - katedra zoologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitoly VI.2. - VI.5.  
RNDr. David Král, CSc., - katedra zoologie,  
Přírodovědecká fakulta UK - kapitola V.  
RNDr. Ladislav Homolka, CSc. Laboratoř biochemie  
dřevokazných hub MBÚ AVČR - kapitola III.

**Redakce:** © Mgr. Michal Andreas, Mgr. Jan Černý

**Vydal:** Institut dětí a mládeže MŠMT ČR v Praze, l. p. 1996.  
2500 výtisků

Vytiskl: FORPEX

Bez jazykové úpravy.

Pro potřeby biologické olympiády

ISBN 80 - 86033 - 06 - 6

Využijte i Vy možnosti, které Vám nabízí biologický populárně odborný časopis nakladatelství Akademie věd ČR



Bohatě ilustrovaný čtvrtletník pro široké spektrum Vašich zájmů

## PŘEDPLATNÉ NA ROK 1996

**Roční předplatné 112 Kč, půroční předplatné 56 Kč  
(jednotlivý výtisk 23 Kč)**

(Ve volném prodeji je ŽIVA jen v omezené míře — cena výtisku 38 Kč)

**Výhradní distributor pro předplatitele v ČR:**

**NADACE ŽIVA – P. O. BOX 211, 111 21 PRAHA 1**

**Předplatné zasílejte čitelně vyplněnou složenkou typu C  
na požádání Vám vystavíme fakturu**

**Při platbách z účtu nebo složenkami typu A je nutné Nadaci ŽIVA  
avizovat (identifikovat) platbu**

Předplatné Vám zajistíme i se zpětnou platností

**ČASOPIS ŽIVA JE TU PRO VÁS !**