

Úvod do půdní biologie

Jiří Schlaghamerský





Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta
Ústav botaniky a zoologie



Úvod do pět dní biologie

Jiří Schlaghamerský

Brno, 2013

© Jiří Schlaghamerský, 2013

Fotografie na obálce © Jiří Schlaghamerský, 2013

Obrázky v textu © Eva Tajovská, Jana Procházková, Jiří Schlaghamerský, 2013

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správní právní, popřímo trestní právní odpovědnost.

Výukový materiál byl vydán s podporou projektu šModularizace výuky evoluce a ekologické biologie (CZ.1.07/2.2.00/15.0204), spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pedmluva

Pedobiologie (ili p d ní biologie) se ó jak samotný název íká ó zabývá flivotem v p d . Bez tohoto flivota by p dy ani nebylo a p da sama je zase základem pro r st rostlin, a tím pro primární produkci suchozemských ekosystém . V t-ina rozkladu biomasy na sou-í se odehrává práv zde; zde tedy dochází k remineralizaci ó návratu prvk do více mén p vodní podoby, ve které jsou rostlinám dostupné jako fliviny. V t-ínu pedobiologického výzkumu lze z hlediska otázek, které si klade, a metod, které poufívá, ozna it za sou ást oboru ekologie. Má p itom úzkou vazbu na aplikované obory, jako jsou zem d lství a lesnictví.

P da a její úrodnost hraje pro lov ka klí ovou úlohu minimáln od mlad-í doby kamenné, kdy jí poprvé za al obd lávat za ú elem stabiln j-ího p ísunu potravy. Vlastnictví p dy je proto ve v t-ín lidských kultur v c velmi cen ná, úzce spjatá s uspo ádáním dané lidské spole nosti. Ztráta p dy vlivem eroze í snížení její kvality v d sledku jev , jako jsou zasolení, dezertifikace í vy erpání flivin, opakovan uvrhly potrefené lidské spole nosti do existenciálních problém . A koliv se chápání p í in a d sledk í dal-ích souvislostí vyvíjely postupn a pom rn pozd , lze ur ité snahy o ochranu p dy zaznamenat jifl od starov ku. Skute nost, fle ve dne-ních švysp lýchõ lidských spole nostech v zem d lství pracuje jen zlomek populace, a fle se z hlediska r zných index výkonnosti hospodá ství za íná jevit jako tak ka okrajová zálefitost, by nem la zastírat, fle lidská populace je stále závislá na zem d lské produkci vyfladující dostatek úrodné p dy.

Nauka o p d ó pedologie, nebo také p doznalství (pod tímto ozna ením, p ípadn jako nauka o stanovi-ti, hlavn v aplikované sfé e zem d lství a lesnictví), se za aly rozvíjet v pr b hu 19. století. A koliv byl biologickým proces m brzy p iznáván klí ový vliv na tvorbu p dy a remineralizaci flivin, z staly p d ní organismy, tzv. edafon, pro pedology zpravidla jakousi ernou sk í kou, kterou je t eba v r zných modelech zohlednit, av-ak do které snad ani není t eba vid t. P da byla ásto chápána ó a to í významnými v dci ó p edev-ím jako substrát pro r st rostlin. Samotný obor p d ní biologie se pak rozvíjel do zna né míry pod vlivem pot eby udržet í zlep-ít p d ní vlastnosti pro rostlinnou produkci (nejen v zem d lství, ale í v lesnictví) a v této spojitosti také lépe chápat procesy v p d probíhající a úlohu organism v nich. Také z pohledu ekologie ekosystém , rozvíjející se od 60. let 20. století, -lo p edev-ím o kvantifikaci tok látek a energie p dním subsystémem. V rámci oboru tak získala ur itou dominanci p d ní mikrobiologie, protofle o vlivu mikroorganism na kolob h látek (rozklad, fixaci atmosférického dusíku atd.) nemohlo být pochyb. Velký rozvoj od té doby ale zaznamenala í p d ní zoologie: taxonomie í ekologie

p dních flivo ich . Stále více se ukazuje, fle p dní flivo ichové významnou m rou ovliv ují charakter p dy i procesy v ní (v etn mikrobiálního rozkladu a slofení mikroflory). Ani toto poznání v-ak není pouze v cí posledních desetiletí. Nakonec, o významu flíflal p i tvorb p dy napsal jifl sám velký Charles Darwin své poslední velké dílo, které se stalo šbestselleremø své doby. V p d také trvale i do asn flije ada býloflravých organism , které se projevují jako fytopatogeny hospodá ských rostlin.

Jak p dní mikroorganismy, tak r zní p dní flivo ichové dnes nacházejí uplatn ní v ekotoxikologii p i posuzování závadnosti r zných chemických látek, zne i-t ní p dy apod. Mikroorganismy jsou s úsp chem pouffivány i pro tzv. bioremediaci ó nap íklad pro odstran ní zne i-t ní ropnými látkami.

Ne náhodou se vý-e uvedené nese v duchu významu p dy, a tedy i p dních organism , pro lov ka. Jak jifl nastín no, byl vývoj oboru p dní biologie tímto hlediskem významn ovlivn n a to platí dodnes. V neposlední ad proto, fle pokud má v dec získat prost edky pro sv j výzkum a uznání za své výsledky, musí ve ejnost a její zástupce (a demokraticky volené i samozvané) p esv d it, fle tyto prost edky budou smyslupln vynaloffeny (a zpravidla p eváflí názor, fle samotné posouvání hranice lidského poznání není dost pádným d vodem).

P dní biology ale samoz ejm zajímá i flivot v p d jako takový. P da je velice komplexní prost edí vyzna ující se velkou heterogenitou jak ve velmi malém, tak ve velkém prostorovém m ítku. Zárove jí v d sledku rozkladu odum elé biomasy prochází v t-ina energie fixované primární produkcí. Proto p da hostí obrovské mnofství organism (z hlediska po tu druh i jedinc), které vytvá ejí sloflité potravní síť . Pokud uznáváme globální biodiversitu (biologickou rozmanitost) za hodnotu samu o sob , máme zde z hlediska studia p dy stále velký dluh. O roz-í ení a mí e ohrofení jednotlivých druh p dních flivo ich toho stále víme flalostn málo. Ne náhodou byla p da je-t zcela nedávno ozna ena za šthe last frontierø ili poslední hranici poznání (cofl se netýká zdaleka jen její flivé sloflky) a za šthe poor manø rain forestø, tedy de-tný prales chudého v dce, který ó chce-li objevovat nové druhy ó ani nemusí podnikat nákladné výpravy do trop , pokud je ochoten se šsníflitø ke studiu utajeného sv ta pod vlastníma nohama. Pravda, tygry, slony i gorily v na-em špodsv tíø nenajdeme a jejich ekologické prot j-ky oceníme afl p i trp livém studiu pod mikroskopem. I to v-ak má sv j p vab. Ostatn , subtropy a tropy jsou z hlediska p dních organism samoz ejm také prozkoumány daleko mén nefl chladn j-í klimatická pásma. Ve srovnání s nadzemními ástmi suchozemských ekosystém i vodním prost edím toho o flivot v p d zkrátka víme stále flalostn málo. V poslední dob se p itom dostává do pop edí v deckého zájmu také vzájemné ovliv ování špodzemníchø (below-ground) ó vlastn

p dních ó a nadzemních (above-ground) sloflek ekosystém . Velká heterogenita p dního prost edí (nap íklad ve srovnání s podmínkami ve vodách), jeho nepr hlednost a drobné rozm ry p dních prostor a organism v nich, jsou zajisté p í inou obtíflnosti a proto i relativní zaostalosti oboru a jeho men-í p itaflivosti jak pro v dce, tak pro -ír-í odbornou i laickou ve ejnost.

Ani v bývalém eskoslovensku, ani za jifl 20 let existence samostatné eské republiky, nevy-la eská u ebnice p dní biologie. Vysoko-kolské u ebnice biologie a ekologie vydané v e-tin o této problematice pojednávají více i mén okrajov (o st edo-kolských ani nemluv). N které dokonce svým obsahem prozrazují na své autory, fle jim jsou p dní organismy odborn zna n vzdálené. U ebnice šPedologie a paleopedobiologieõ autor N me ek, Smolíková a Kutílek (1990) pojednává o pedogenezi a klasifikaci i systematice recentních a fosilních p d na 546 stranách, p i emfl jediná podkapitola, dotýkající se ve v t-í mí e vlivu bioty na p du šBiologický faktor a pedogenezeõ o vlivu organism pojednává v rozsahu ty stran a o p dních flivo i-ích v ní není ani zmínka. Kníflka P da planety Zem významného eského pedologa M. Kutílka, která tená i populární formou p iblifluje obor pedologie a význam p dy a jejífl první vydání vy-lo teprve roku 2012, je p dním organism m v nováno zhruba 11 z celkových 199 stran textu, p i emfl má toto pojednání hodn daleko k výstifnému popisu slofení a funkce p dní fauny (Kutilek, 2012). A koliv u nás v rámci Akademie v d p sobí Ústav p dní biologie (dnes sou ást Biologického centra AV R, v.v.i.) s dlouholetou tradicí, je výuka p dní biologie na eských vysokých -kolách stále spí-e popelkou. Nemá smysl zastírat, fle nap íklad oproti hydrobiologii (oboru svým zam ením v mnohém srovnatelném) nebo entomologii je postavení oboru p dní biologie v esku výrazn slab-í a postavení š eské -kolyõ ve sv t mén významné. Ur itý nedostatek u ebnic daného oboru bylo moflno donedávna konstatovat i v celosv tovém m ítku. B hem prvního desetiletí 21. století v-ak vy-ly minimáln t i základní u ebnice p dní biologie i ekologie v anglickém jazyce (Coleman et al., 2004; Bardgett, 2005; Lavelle a Spain, 2005), které situaci zásadním zp sobem zm nily. Jejich dostupnost pro eské studenty je v-ak stále nízká. Nadto bohufel není znalost angli tiny mnohých eských student na takové úrovni, aby si tyto pom rn obsáhlé knihy s chutí prostudovali. Není tomu tak dávno, co byly znalosti z oboru ekologie u nás erpány spí-e z n mecky psané literatury. Ta m la a má, pokud jde o pedologii a pedobiologii, co nabídnout. V daném kontextu si zasluhuje zmí ku p inejmen-ím klasická kniha W. Dungera šTiere im Bodenõ (poslední vydání 1983), u ebnice šBiologie der Bodenorganismenõ od W. Toppa (1981), šBodenökologieõ od U. Gisiho a spoluautor (poslední vydání 1997) a kompendium pedologie šLehrbuch der Bodenkundeõ, založené

autory F. Schefferem a P. Schachtschnabelem (poslední zpracované vydání od kolektivu autorů z r. 2010). Neměla u nás však byla natolik vytlačena angličtinou, ale pro málokoho z mladší generace je to předstává alternativu. Je také jistě žádoucí, aby aspoň základní učební texty pro studenty bakalářského a magisterského studia byly k dispozici v jejich mateřštině.

Nedostatek české učebnice má alespoň trochu odpomoci toto skriptum. Vzniklo na základě semestrální přednášky, kterou jsem začal nabízet studentům biologie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity před zhruba deseti lety. Její podoba za tu dobu doznala různých proměn, naposledy v rámci zevrubné inovace provedené v rámci projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost v roce 2012. Vysokokolská skripta ze samotné definice odpovídají náplni konkrétní přednášky a jsou odrazem toho, jak přednášející danou látku pojímá, a které informace pro své posluchače považuje za podstatné. Přesto doufám, že by mohla zaujmout i ně které kolegyně a studenty z jiných vysokých škol.

Toto skriptum v žádném případě nemá nahradit učební text pedologický, přičemž přední biolog se bez určité znalosti pedologie neobejde. Obsahuje však základní informace z tohoto oboru obzvláště relevantní pro pochopení podmínek prostředí předních organismů a charakterizace předního prostředí používané v pedobiologické literatuře. Nemá smysl zakrývat, že autor je zoologického zaměření, skriptum vnuje velkou pozornost právě přední fauně, která ovšem bývá v odpovídajících učebních textech aplikovaných oborů spíše zanedbávána. Zde nelze neřít předpokládat, že tená má jakési povdomí o fylogenetické pozici jednotlivých vyšších taxonů v systému živočichů, stejně tak jako dalších skupin organismů, o kterých zde je pojednáno (i když si předisloužené informace dohledá). V této pozornost je věnována saprotrofnímu (detritovornímu) potravnímu řetězci a rozkladu (dekompozici) biomasy jako procesu pro přední charakteristickému (a v dominantní šnázemní ekologii spíše opomíjenému). Proto jsou také obsaženy kapitoly, jejichž vazba na přední biologii na první pohled nemusí být tak patrná: procesy rozkladu dřeva, trusu a mršiny v suchozemském prostředí a organismy na ně vázané.

Zatímco prezentace přednáškám jsou ilustrovány v tisku barevnými obrázky, včetně mnohých fotografií, zvolil jsem pro skriptum obrázky černobílé, v tisku perokresby. Mofná to může být označeno za štaromódní, dle mého však často výstifní jí a hlavně lépe reprodukovatelné. Abych se vyhnul porušení autorských práv, byly všechny obrázky předpraveny za tímto účelem jako originály, a často předkreslením starších předloh jiných autorů. Nakreslily je Bc. Jana Procházková a předpředevím před Mgr. Eva Tajovská. Obsah jsem dále konzultoval s přední učebních českých odborníků na přední biologii, resp. jednotlivé

skupiny organism (v abecedním po řádku): Mgr. Miloslavem Devetterem, Ph.D., RNDr. Josefem Starým, CSc., RNDr. Karlem Tajovským, CSc., doc. RNDr. Václavem Pifflem, CSc. z Ústavu pro dějiny biologie BC AV ČR v Brně. Budjovicích, Mgr. Ivanem H. Tufem, Ph.D. z Katedry ekologie a životního prostředí Palackého univerzity v Olomouci a Ing. Jiřím Vávrou z entomologického oddělení Ostravského muzea. Skriptum po jazykové stránce korigovala Mgr. Lenka Petráková a s formátováním do konečné podoby pomohl Bc. Jan Budka. Věm výše zmíněným spolupracovníkům zde chci jeť jednou podkovat; ve které chyby a nedostatky (které se jistě najdou) jsou pak mojí zodpovědností a prosím jená e o shovívavost (za konstruktivní kritiku i podněty k obsahu budu vděčný a budu se snažit je zohlednit p i budoucích úpravách).

Nakonec chci podkovat dvěma osobnostem, které m kdysi bhem mého studia biologie na universitě v německém Göttingenu (i také Gotinkách) uvedly do tajů dějiny biologie a ekologie a jejichfl šstopaě se jistě najde i v mém pojetí daného oboru: Prof. Dr. rer. nat. Matthiasovi Schaeferovi a Dr. rer. nat. Jürgenovi Schauermannovi (koda, fle si český text nep e tou).

V Brně, září 2013 (aktualizace v únoru 2017)

doc. Dipl.-Biol. Jiří Schlaghamerský, Ph.D.

Obsah

1. Půda

Co je to půda (definice půdy, její skupenství); pevná fáze, struktura, textura půdy, humus, humusové formy, půdní voda, půdní vzduch; půdní reakce, sorpční/kationtová výměnná kapacita, půdovrací zóny; pedogeneze, půdní horizonty; hlavní půdní typy.

2. Ohrožení a ochrana půdy

Acidifikace půdy; tropické půdy a paradox nedostatku živin; degradace půdy zasolením; degradace půdy (zhutnění, eroze, typy eroze); úrodnost půdy, hnojení; kontaminace půdy, bioremediace.

3. Saprotrofní a autotrofní potravní řetězce v půdě

Dekompozice a saprotrofní potravní řetězce: potravní řetězce, sítě, pyramidy; dekompozitivní subsystém (kompartiment) terestrických ekosystémů.

4. Půdní organismy a edafon

Distribuce v prostoru a čas; lenivost půdních organismů; půdní organismy z hlediska zastoupených taxonů; funkce půdních organismů; vliv invazních druhů na půdní prostředí a organismy.

5. Rozklad v terestrických ekosystémech

Vliv kvality zdroje, vliv abiotických faktorů; poměr C:N a imobilizace dusíku; vliv klimatických zón; degradativní sukcese; sukcese společně s rozkladem detritu.

6. Půdní biologické metody

Rozvržení vzorkování půdní fauny v prostoru a čas (sampling design); různé typy vzorkovacích zařízení (sondy, rámy,...); principy získávání půdních živočichů z půdních vzorků: metody, extrakce zařízení; srovnání efektivity extrakce různými metodami; konstrukce a využití emergentních pastí; využití emergentních pastí při studiu saproxylické fauny.

7. Saproxylický komplex

Přehled živočichů žijících v tlejícím detritu; mikrostanoviště vznikající při tlení detritu; trofické vazby a trofické skupiny saproxylických živočichů; obratlovci jako saproxylické živočichy, nidikolní fauna; saproxylické živočichy v tropech o významu termitů; ohrožení a ochrana saproxylických živočichů.

8. Společenská na trusu a mršinách

Rozklad trusu, trus jako zdroj, společenská bezobratlých na trusu (koprolitofagové a jejich predátory); rozklad mršin, mršiny jako zdroj, nekrolitofagové/mrchofroti.

9. Seznam použité literatury

1. P da

1.1 Co je to p da?

A koliv je p da integrální a neodmyslitelnou sou ástí na-eho flivotního prost edí, lze se setkat s velmi r znými definicemi její podstaty. To pramení do zna né míry z úhlu pohledu autora, který je dán p edev-ím jeho vlastní odbornou specializací, a samoz ejm také ze skute nosti, fle tyto definice vznikaly v r zných dobách.

Nap íklad významný n mecký profesor rostlinné výroby a p doznalství E. A. Mitscherlich (187461956) p du jednodu-e definoval takto: šP da je **sm sí jemnozrnných pevných ástic, vody a vzduchu**, která je p i p im eném obsahu rostlinných flivin nositelem vegetaceõ (Mitscherlich, 1905). Taková jednostranná definice jist dobe posloufí zem d lci i botanikovi, ale zoologa i mikrobiologa sotva uspokojí. Sv j p vab má jist i stru ná definice eské pedološky, profesorky L. Smolíkové: šP da je **vý ez pedosféry, zahrnující v-e mezi extrémny erstvá hornina ó surový opadõ** (Smolíková, 1982). Velmi komplexní pohled na p du, najdeme jifl u jednoho ze zakladatel pedologie (nauky o p d), Rusa V. V. Doku ajeva (184661903). Podle n j je **p da svrchní, zv tralá vrstva zemské k ry, pozmn ná klimatickými a chemickými vlivy a inností organism**. P itom se jedná o p írodninu diferencovanou v genetické horizonty (tj. vrstvy, jejichfl charakter a uspo ádání souvisejí se zp sobem jejich vzniku), která vznikla na rozhraní r zných sfér a je více mén snadno rozpojitelná. Jde o komplikovaný **offivený systém** (biologický útvar) se specifickými znaky a vlastnostmi. Jifl z tohoto popisu je patrné, fle bez organism není p da p dou, jedná se pouze o mrtvý substrát. Bez flivých organism ani fládná p da nevzniká. Jistou sémantickou hádankou z stává, máme-li flivé organismy v p d obsaflené povařovat za její sou ást i za její špouhéõ obyvatele (obdobn bychom se nakonec mohli tázat, jak daleko jsou organismy flující na planet Zemi její sou ástí). Ur itou odpov dí je skute nost, fle flivé organismy v p d na základ konvence nezahrnujeme do p dní organické hmoty (viz nífle).

Na rozhraní mezi suchozemským a vodním prost edím vznikají tzv. semiterestrické p dy. N které pedologické klasifika ní systémy zahrnují pod definici p dy také p dy podvodní, tedy sedimenty ve vodních t lesech. Zde se ale budeme v novat pouze p dám terestrických (suchozemských) ekosystém v etn p d zamok ených i do asn zaplavovaných.

Lze tedy konstatovat, že na vznik a charakter půdy mají vliv

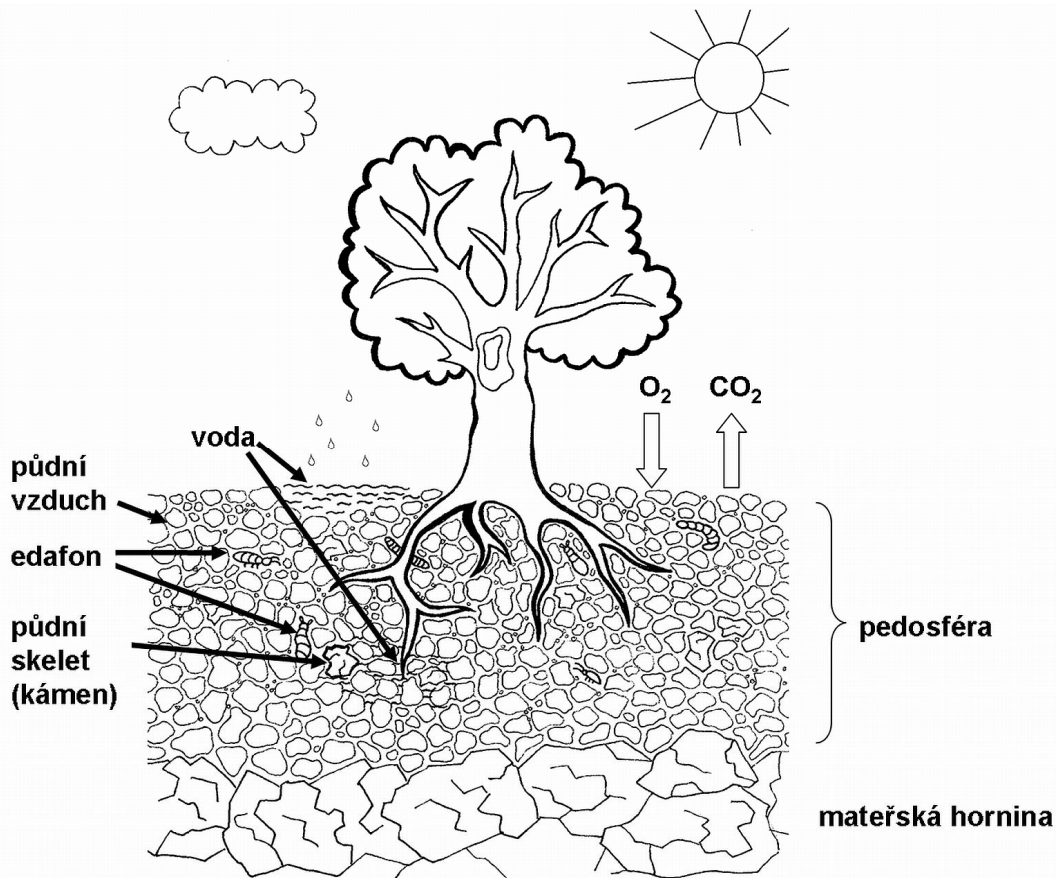
- litosféra (materná hornina),
- hydrosféra,
- atmosféra a
- biosféra.

Půda není ostře ohraničená, nebo představuje hraniční fenomén zemského povrchu o pedosféru.

Jsou v ní přítomny tři fáze (skupenství):

- pevná o pevné částice (minerální i organické),
- tekutá o půdní voda/roztok,
- plynná o půdní vzduch.

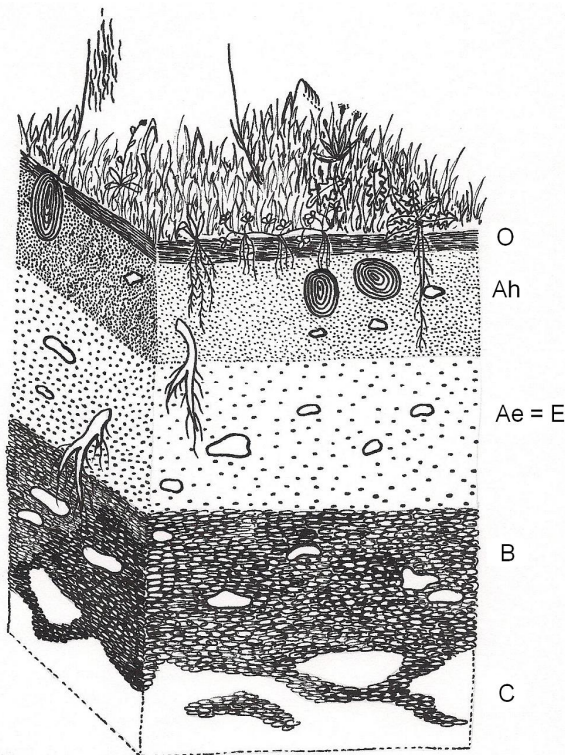
Druhá a třetí fáze se nacházejí v prostorech mezi pevnými částicemi, v tzv. půdních pórech i proudech. V nich se také nachází organismy: kořeny rostlin a edafon, tj. mnohdy všech půdních organismů přítomných v dané půdě (obr. 1).



Obr. 1: Pedosféra: vrstva mezi atmosférou a nezvětralou mateřskou horninou

Přidává se s hloubkou, tedy s přibývajícím vzdáleností od svého povrchu, mění. Přitom bývají více či méně patrné vrstvy jednotného charakteru, tzv. **půdní horizonty** (obr. 2). S výjimkou hlubokých, čistě organických půd, u kterých roste s hloubkou stoupá podíl minerální části pevné fáze půdy a naopak klesá podíl její organické části.

V geologii a stavebnictví se dále užívá pojem **zemina**. Ta je chápána jako nepevná hornina. Při popisu zeminy se berou v potaz vlastnosti daného půdního materiálu (především ve smyslu textury a zrnitosti půdy), nikoliv však jeho vertikální stratifikace, která je právě určena pro charakterizaci a klasifikaci půdy.



Obr. 2: Trojrozměrný výez půdy s kompletním půdním horizontem od organického horizontu (O) po částech travlou mateřskou horninu (C); mezi těmito krajními horizonty se v daném případě nachází humózní minerální horizont Ah, eluviální (vylouhovaný) horizont Ae i E (tradiční stádoevropské označení dle mecké pedologické školy a označení dle mezinárodního systému WRB) a horizont B (obohacený o látky vymyté ze svrchních horizontů).

1.2 Vlastnosti půdy

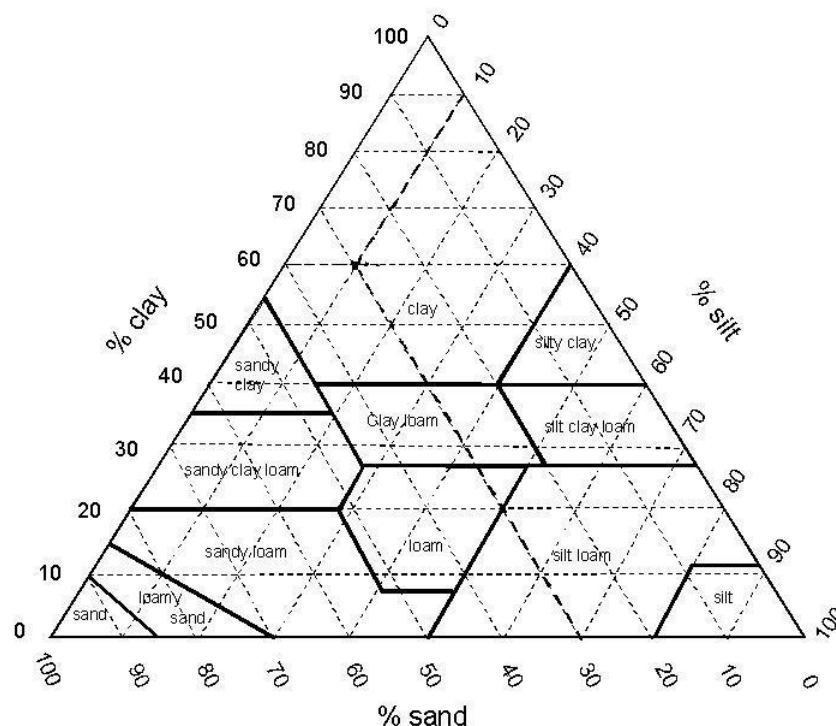
1.2.1 Pevná fáze

Pevná fáze půdy sestává z minerálních částic různých velikostí (od nejmenších jílových částic až po velké kameny) a odumělé organické hmoty (**SOM** – soil organic matter) určitého stupně rozkladu. Tyto částice mohou být a zpravidla jsou agregovány do částic větších. Velikost těchto sekundárních částic, jejich tvar a uložení jsou rozhodující pro množství a

velikost prostor mezi nimi (p dních pór), ve kterých se nacházejí ostatní fáze p dy (p dní voda a vzduch) i p dní organismy a ko eny rostlin.

1.2.2 Minerální ástice, p dní textura a struktura

Minerální ást p dy se mezi jednotlivými p dami li-í podílem velikostních frakcí ó hovo íme o **p dní textu e** (angl. soil texture) ili její **zrnitosti** (také o šp dním druhu, ale pozor, v jiných jazycích p eklad tohoto pojmu nemusí být chápan stejn). V t-í minerální ástice s pr m rem nad 2 mm ó hrubý písek, -t rk a v t-í kameny ó tvo í tzv. **p dní skelet**. Men-í ástice tvo í tzv. **jemnozeme**, u které rozli-ujeme p inejmen-ím t i frakce (pro r zné ú ely pak dále diferencujeme): nejhrub-í je **písek** (angl. sand), jemn j-í **prach** i **pel** (druhý název se uflívá zejména pro jeho jemn j-í frakce; angl. **silt**) a nejjemn j-í **jíl** (angl. clay). Podle procentuálního podílu t chto frakcí, zejména podílu jílu, pak p dy charakterizujeme jako pís ité, hlinité, jílovité apod.; nap . p da s 60 % písku, 10 % prachu a 30 % jílu je pís itohlinitá p da (**hlínou**, angl. loam, ozna ujeme více mén soudrflné sm si vý-e uvedených frakcí, pokud jedna z nich výrazn nep evafluje) (obr. 3).



Obr. 3: Mezinárodní uflívané zaazení p dy dle textury (zrnitosti). Zdroj: Wikipedia Commons.

V jednotlivostech se však užívané kategorie a hranice mezi nimi liší dle jednotlivých klasifikačních systémů (společným jim je především hranice mezi prachem/pelem a jílem, za který univerzálně platí částice $\leq 2 \text{ }\mu\text{m}$); v tuzemské zemi má svůj vlastní systém, na který se jich v rámci jednoho státu používá i několik. Je-li podíl skeletu podstatný, je stanovován, jinak se textura stanovuje pouze jako poměr frakcí jemnozemi a to zpravidla prosíváním (pro písčité frakce) a sedimentací (pro prachové a jílové frakce). Existuje několik více méně exaktních metod jak podíl jednotlivých frakcí stanovit. Pro hrubé určení si například vystačí s hmatovou zkouškou, při které se tlakem navlhčené zeminy mezi palcem a ukazovákem zjistí její soudržnost a tvárnost (pro srovnání různých podílů vyřazuje jednotné nastavení jejich vlhkosti, která má na zkoušené vlastnosti poměrně velký vliv): například písčité v tuzemské podílu písku tento skápe mezi prsty, prachové částice naopak navozují pocit hladkého povrchu, jílové zvyknou být mazlavé; na která poměrně se dá vyválet ve váleček, jiná k tomu není dost soudržná.

Podle uspořádání pevných částic hovoříme o **půdní struktuře** ili **skladbě** (angl. soil structure). Tvar a velikost půdních agregátů mají velký vliv na velikost a propojenost půdních pórů, a tím také na provzdušnění a obsah vody v půdě. Nespojené minerální částice vytváří **sypkou ili zrnitou strukturu** o tuto nacházíme, pokud chybí koloidní složka, především u písku (platí například pro eluviální horizont podzol, viz dále). Skladbu z jednotlivých zrn nacházíme ale i u spraě (zde jsou jednotlivá zrnka ovšem jemnější), přesto spraěové půdy nebývají sypké, protože jednotlivá zrnka bývají stmelena. Tam, kde je vysoký podíl koloidní složky, hovoříme o **koherentní i souvazné struktuře**. Těsné spojení půdních částic je zde způsobeno například ukladem koloidní kyseliny kationitou nebo oxidy a hydroxidy trojmocného železa a hliníku, karbonátovým tmelem, jílem nebo humusem. Koherentní strukturu najdeme například v horizontech B podzol, pokud zde dochází k tvorbě tzv. ortsteinu (horizont je silně obohacen oxidy a hydroxidy).

V půdě zpravidla dochází k shlukování pevných částic do agregátů různých velikostí a tvarů, ale i různé stability na základě poměrnosti velmi jemných tzv. koloidních částic. Při tzv. stavební skladbě (z něm. Aufbauefüge), kterou nacházíme ve svrchních, silně ovlivněných půdních horizontech, vznikají agregáty hlavně působením kořenů rostlin a půdních mikroorganismů a flivy (důležitý je zejména přechod zafřivacím ústrojím). Působení elektrolytů vede ke koagulaci, resp. vyvlokování půdních koloidů o vznikají pórovité, jemně stmelené celky. Různé kombinace kohezních a adhezních sil vedou k agregátům různých velikostí a tvarů. Při vytváření malých (1-10 mm) kulovitých agregátů, tzv. drobtů, máme **drobtovitou strukturu**, která se vyznačuje stálou pórovitostí a je v zemědělství považována

za optimální. V t-í agregáty ozna uje jako hrudky, p i emfl p da m fle mít také smí-enou strukturu s podílem jak drobt tak hrudek. P íznivý vodní a vzdu-ný reffim má také tzv. **houbovitá i ervincová struktura** (z n m. Schwammgefüge i Wurmlosungsgefüge ó tedy skladby z trusu erv , tj. flíflal).

Dal-í typy p dní struktury vznikají p eváfln p sobením klimatu, které zap í i ují objemové zm ny v d sledku zm n vlhkosti a teploty, resp. jinými mechanickými initeli. Jemné minerální ástice se seskupují do tzv. odlu ných forem ili segregát , podle jejich tvar strukturu ozna uje jako lístkovou, prizmatickou, sloupovou i polyedrickou (vytvá ejí se ve zhutn ných jílovitých p dách). Tyto p dy bývají za sucha sypké, siln pórovité, av-ak za vlhka velmi soudrflné.

Textura i struktura p dy jsou sledovány v zem d lství a mají sv j význam i ve stavebnictví. P íslu-ná charakterizace p dy v pedobiologické literatu e ásto chybí, cofl má tu velkou nevýhodu, fle o p ímém vlivu t chto charakteristik na flivot v p d mnoho nevíme.

1.2.3 P dní organická hmota a humusové formy

Odum elá organická hmota (tedy odum elá biomasa ó cofl je tak trochu protimluv ó i nekromasa) v p d je p eváfln rostlinného p vodu, obsahuje ale také zbytky t l flivo ich , jejich vým -ky a odum elé bu ky mikroorganism . Do p dy se dostává z jejího povrchu (p eváfln jako rostlinný opad, v sezónálním klimatu je proto její p ísun v pr b hu roku nerovnom rný) a úhynem rostlinných ko ín k i jiných organism , které se v p d nacházejí.

ásto se pro ní uflívá ozna ení **humus**. Pojem humus v-ak bývá odborn chápan v daleko ufl-ím a specifickém smyslu, a to jako amorfní organická hmota sestávající z ásto dlouhých a pom rn stabilních molekul, která vznikla rozkladem, ale také p estavbou molekul výchozí organické hmoty, tzv. humifikací. Molekuly humusu nejen fle obsahují prvky, které slouflí organism m jako fliviny (p edev-ím uhlík jako zdroj energie), ale také na svém povrchu váflou mnohé ionty t chto prvk a zvy-ují tak schopnost p dy fliviny udrfllet a postupn uvol ovat pro pot eby rostlin. Odum elá organická hmota v p d (angl. **soil organic matter** ó SOM) je základem saprotrofního potravního et zce v p d . Vrstvy p dy s vysokým podílem organické hmoty jsou zároveň tou ástí p dy, ve které se soust e uje v t-ina p dních organism ó edafonu.

Zatímco jemné v tvi ky, obaly semen strom apod., zpravidla povafujeme za sou ást listového opadu, je p ístup k v t-ím kus m padlého d eva ó od v t-ích v tévek p es silné

v tve ahl po padlé kmeny strom a jejich stojící pahýly (v anglické ekologické literatu e se hovo í o **šcoarse woody debris** ili CWD) nejednotný a svým zp sobem rozpa itý. Je otázkou, od kdy z hlediska asu, resp. stádia rozkladu, povařovat jakoukoliv odum elou organickou hmotu v kontaktu s p dním povrchem za sou ást p dy. V podstat sem po ítáme jifl surový opad, který na zemi lefl í ó jedná se o nejsvrchn j-í organickou vrstvu a tu jifl p i zna ení p dního profilu ozna ujeme velkým písmenem L (jako angl. litter ó odpad, resp. zde **opad**; esky hovo íme tradi n o **hrabance**, tento termín p ipomíná d ív j-í vyufflívání jako stelivo v chlévech, jako jakýsi hybrid se objevuje pojem opadanka; v mezinárodní literatu e se také ufflívá ozna ení **förna** pocházející ze -véd-tiny), p ípadn jako O_L, O_i apod., ímfl dáváme najevo, fle jí po ítáme k organické vrstv nad povrchem minerální p dy (ozna ované jako O_i i A₀), tedy k tzv. **nadlofhímu i povrchovému humusu** (angl. také šforest floor ó i šduffö). Padlé kusy d eva vy-ího pr m ru nefl mají slabé v tve zpravidla p ímo za sou ást p dy nepovařujeme, a bychom svým zp sobem mohli. Svou strukturou i organismy, které je osídlují, se v-ak stále od opadové vrstvy a hlub-ích p dních horizont výrazn li-í. Tyto rozdíly se za nou výrazn ji stírat ahl v pokro ílém stupni rozkladu d eva.

Organický opad se také zachytává a rozkládá v korunovém pat e les , bez p ímého kontaktu s vlastní p dou. V mírném pásmu se jedná o jev spí-e okrajový, nap íklad ve vidlicích strom , pta ích hnízdech, více í mén otev ených stromových dutinách apod. V tropických de-tných lesích s mnofstvím epifyt je tento jev mnohem významn j-í. V odborné literatu e se takové nahromad ní tlejícího opadu ozna uje pojmem **zav -ená p da** (angl. suspended soil).

Podle charakteru a rozlofení organické látky v p dním profilu rozli-ujeme ó p edev-ím v lesních p dách mírného pásma ó tzv. **humusové formy** (angl. humus forms). Je to ostatn p íklad odborného ufflití pojmu humus v-ír-ím slova smyslu pro nadlofhní organické horizonty. Mezinárodn ufflívání ozna ení humusových forem jsou odvozena z názv v germánských jazycích (dán-tin , -véd-tin a n m in). Vlastní koncepce humusových forem sahá ahl na konec 19. století a vyvinula se z ní celá ada více í mén národních klasifikací. Od za átku 21. století lze zaznamenat snahu systém klasifikace humusových forem více zp esnit a p ítom dojít k evropskému, ne-li mezinárodnímu, konsensu, který by vedl k zahrnutí charakterizace humusové formy do celkové charakterizace p d dle mezinárodního referen ního systému. Základní humusové formy jsou pom rn dobe rozpoznatelné a vypovídají hodn o podmínkách na stanovi-ti ó v neposlední ad také o offlivení p dy. Zásadním znakem pro ur ení humusové formy je p ítomnost a uspo ádání charakteristických vrstev více í mén rozlofené organické hmoty.

V lesních půdách slabě zásaditých až mírně kyselých (kromě stromového patra zde bývá dobře vytvořeno především také patro bylinné, produkovaný opad je bohatý na živiny a dobře rozložitelný), případně v půdách stepních, dochází v ideálním případě od podzimu jednoho roku do léta roku následujícího k úplnému zmizení listového opadu z povrchu. Po část roku tedy nacházíme na povrchu do značné míry nerozložený opad (označovaný také vědeckým jménem **förna**; angl. litter, v průběhu profilu zpravidla jako L , O_L a A_{00} ; tvořený především v tvrdosti kameny, listy, květy, plody dřevin, případně bylin) jako jedinou výraznou šedlovní organickou vrstvou. Po další část roku mizí i tato, do ní se mohou objevit nevýrazné vrstvičky více rozloženého opadu, nacházíme přechody k další humusové formě - moderu. Podíl jemného humusu ve formě trusu pod dním živinám pod vrchním minerálním horizontem nepřesahuje 10%. Večerá další organická hmota o rozměrně a do značné míry rozložená a transformovaná do amorfního humusu, je promíchána s minerálními částicemi s kterými utváří drobtovitou strukturu pod a tvoří humózní vrchní minerální horizont (v průběhu profilu zpravidla jako A_h a A_1). Na rozměrně opadové vrstvy a jejich zpracování do minerální pod se podílí bohatá makro- a megafauna (včetně bezobratlých živočichů, ve stepních půdách ve větší míře také drobní hlodavci), především hříbaly, které se zpravidla vyskytují ve všech základních ekologických skupinách, v různých zakládajících hluboké vertikální chodby. Hovoříme o humusové formě **mull** (dříve zpravidla psáno šmulö, ale my se zde přidržíme původní formy, tak jak je užívána ve světové literatuře).

V kyselějších lesních půdách, kde se hříbálám již dříve a převažující dřeviny (jako dub, buk a jehličnany) produkují dobře rozložitelný opad, je rozklad opadu pomalejší a dochází k jeho hromadění na povrchu, vzniká tzv. nadlovní humus, který přetrvává po celý rok. Pod vrstvou (také) nerozloženého opadu vzniká další organická vrstva sestávající z materiálu rozměrně na menší kousky ve více méně pokročilém stádiu rozkladu, přímě je ale zpravidla ještě rozpoznatelný jejich původ (zůstávají zachovány například listy, resp. vrchní povrch jehlic, apíky, zbytky bukvic, šišek apod.). Tato vrstva drží více pohromadě, vytváří plstnaté vrstvičky prorostlé hyfami hub, typické zbarvení je rezavě hnědé. Označujeme ji jako **fermentální vrstvu** i dr (F, O_F a A_{01}). Pod touto vrstvou následuje vrstva amorfního humusu (**humifikační horizont** H, O_H a A_{02}), která bývá zpravidla tenká, ale ve vlhkých vysokohorských polohách může dosahovat mocnosti až 20 cm (sytěrná; základem je především trus chvostoků). Tyto nadlovní organické horizonty však nejsou z etnologického hlediska, přechod mezi nimi je spíše plynulý. Hlavní část organických horizontů tvoří trus mesofauny: drobných pod dním lenovců (chvostoků, roztočů) a kroufků

(roupic). Následuje op t humózní minerální horizont, a mén výrazný nefl tam, kde máme p ed sebou humusovou formu mull. Tuto humusovou formu nazýváme **moder** (angl. v americké literatu e n kdy také šduff mullō) ó viz obr. 4.

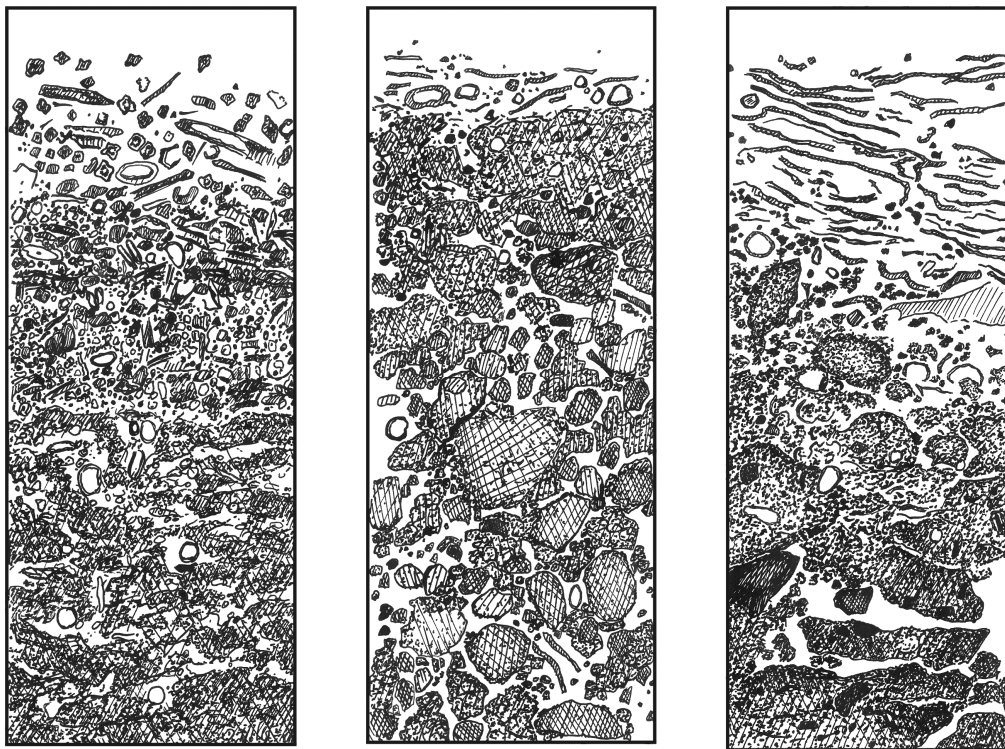
Tam, kde je p da je-t kyselej-í, resp. hostí maximáln nepo etné populace n kolika druh flíflal flíjících p eváfln v samotné organické vrstv i trouchniv jícím d ev (mnohé dal-í druhy makrofauny závislé na dostupnosti vápníku rovn fl ustoupily), nedochází k mísení organických látek s minerální p dou. Mohou se zde vytvá et mocné organické horizonty (5-30 cm) tzv. nadloflního humusu ó k vý-e popsáným vrstvám L a F p istupuje oproti moderu daleko mocn j-í **vrstva tvo ená amorfním humusem** (H, O_H i A₀₂), mazlavé i drobtovité konsistence a tmav hn dého afl erného zbarvení (esky také nazývaná m l). P echody mezi t mito organickými horizonty jsou ostré. Máme p ed sebou humusovou formu **mor** neboli **surový humus** (angl. raw humus, mor). Pod ním se nacházející svrchní minerální vrstva (asto pís ítá) je na humus velice chudá a bývá pr sakem okyselené vody vyb lená (p dní typ podzol). K tvorb moru dochází p edev-ím p i chladném a vlhkém klimatu na extrémn chudých a zrnitých p dách pod vegeta ním pokryvem s t flko rozloflitelným opadem, tedy na v esovi-tích, v borech a smr inách, ale i v chudých bu inách (obr. 4).

Hranice mezi vý-e popsánými základními formami humusu v-ak není ostrá, naopak se jedná o kontinuum, v jehofl rámci lze vyli-it r zné p echodové typy (a práv zde se odborníci a klasifika ní systémy asto rozcházejí). Podle toho, zda se p echodová forma blíflí spí-e moru nebo mullu jí pak ozna ujeme za mor-moder nebo mull-moder. P i do asném zamok ení p dy, zpravidla v zim , kdy dochází v d sledku nedostatku kyslíku ke zpomalení rozkladu, se vytvá ejí obdobné humusové formy, av-ak s vy-ím obsahem organických látek. P i celoro n vysoké hladin podzemní vody dochází p edev-ím v minerálních p dách bohatých na fliviny k navý-ení obsahu humusu na 15ó30 % ó hovo íme o Aa-horizontu (mocnosti 20ó40 cm a neutrálního afl lehce kyselého pH). Pokud zde chybí nadloflní humus, ozna ujeme humusovou formu **anmoor**. Tam, kde jsou trvale zamok ené p dy chudé na fliviny, nebo kde jsou bohat-í p dy dlouhodob zaplavené, je výrazn zbrfln rozklad opadu p dními flivo ichy a vznikají p dní horizonty s podílem organických látek nad 30 %, tj. ra-eliny. Na dn vodních t les vznikají tzv. subhydrické p dy (hlavní typy - dy, sapropel, gyttja ó se vytvá í v závislosti na trofii a provzdu-n ní), kterými se ale jifl dostáváme do hájemství limnologie i hydrobiologie.

V terestrickém prost edí jsou dnes ale odli-ovány je-t dv dal-í humusové formy, které stojí tak trochu stranou: tangel a amphimull (v poslední dob asto nazýván pouze amphi).

Tangel je za samostatnou humusovou formu považován již dlouho. Mocností organických horizontů sice může připomínat mor, má však výrazně vyšší pH. Tangel vzniká pod vlivem chladného a vlhkého klimatu v horských lesích (včetně jehličnatých, někdy i bukových) a porostech zakrslých dřevin subalpínského vegetačního stupně na půdách vznikajících z karbonátových hornin (vápenec a dolomit), s malým podílem rozpadlé minerální drť (minerální horizonty přitom bývají poměrně mělké). Nadlovní humus zde může dosahovat mocností až 1 m a dělí se na horizonty F a H s nezetelným přechodem. Jako u moderu je zde velký podíl trusu drobných půdních bezobratlých, bioturbace makrofaunou je však omezena. Přesto zde může být jejím působením vyvinutý i humózní minerální horizont (A_h).

Amphi(mull) (ve francouzské klasifikaci také amphimus) se podobá mullu výrazně humózním A-horizontem (za působením endogenních a částečně i anektických řířál), zároveň je u něj však vyvinutý mocný nadlovní humusové vrstvy L, F i H. K jeho tvorbě dochází tam, kde jsou půdy sice poměrně bohaté a dobře očiivené, kde ale klimatické podmínky, především sezónní sucho, do značné míry omezují aktivitu půdních organismů, tímto zpomalují rozkladné procesy, a zároveň podporují růst xerothermní vegetace produkující těžko rozložitelný opad (v Evropě především v Mediteránu).



Obr. 4: Výbrusy svrchní vrstvy půdy v nadlovního humusu: vlevo humusová forma mor (surový humus) z jehličnatého lesa, uprostřed mělká půda na vápenci (bez řířál) a humusová forma moderu, vpravo moder v listnatém lese na kyselých horninách.

1.3 Podzemní voda

Voda se do podzemí dostává z povrchu vsakem srážek (infiltrací), stoupaním (vzlínáním) podzemní vody, případně boční infiltrací z výše položené části svahu a z vodních toků a stojatých vod. Část vody je více méně pevně zadržována v podzemí (viz níže), zbytek prosakuje až po první nepropustnou vrstvu (zpravidla jílu; tvoří tzv. bázi podzemní vody), která brání vodě ve vertikálním průsaku. Zde se nachází vodou nasycená vrstva podzemí, tzv. zvodně, která je napájena nejen průsakem od povrchu, ale také laterálním průtokem. Hladina této volně pohyblivé podzemní i spodní vody kolísá v závislosti na této dotaci a na místním odběru vody odpařováním (přírodním a přes vegetaci - evapotranspirací). Pokud se nejedná o celoroční zvodňovací vrstvu, ale o jev pouze dočasný po silných srážkách, záplavách atd., nejedná se podle některých autorů o pravou podzemní vodu (podzemní voda není definována jednotně: některé definice zahrnují veškerou vodu pod podzemním povrchem, tedy i podzemní vodu, jiné pouze spojitou, volnou vodu zvodně, nahoru ohraničenou kolísající vodní hladinou). Pokud se pod podzemní nepropustnou vrstvou nachází vrstva lépe propustná, dochází k odvodňování nasycené vrstvy odspoda, vzniká zde tzv. zavěšená vodní hladina. K tomu dochází především v takzvaných pseudoglejích podmínkách dočasně zamokřených vlivem infiltrace vydatných srážek. Pro pochopení vodního režimu krajiny je podstatné znát zákonitosti pohybu vody v podzemí. Podzemní biolog si však zpravidla vystačí se znalostí aktuální dostupnosti vody v podzemí a jejich změn v čase.

Voda se v podzemí nachází v podzemních pórech (průduchách). Zastoupení pórů různých velikostí závisí na zrnitosti (textuře) a struktuře podzemí (kromě velikosti zrn a jejich tvaru záleží také na míře jejího zhutnění). Póry se totiž nachází jak mezi podzemními agregáty, tak mezi podzemními částicemi (uvnitř agregátů, pokud existují). Velké póry (> 50 μm) obsahují vodu pouze pokud je podzemí zamokřené (jen tyto póry dovolují růst kořínků rostlin). Středně velké póry (0,2-50 μm) obsahují kapilární vodu (a jsou přístupné mikroorganismům a kořenovému vláknění, které tuto vodu přijímá). Jemné póry (< 0,2 μm) váží vodu tak pevně, že v těle rostlin jí není dostupná. Tyto póry jsou ve vlhkém podnebí prakticky vždy naplněné vodou.

Voda je k povrchu pevných částic vázána elektrostatickými silami, vzájemným působením dipólů a vodíkovými můstky (**adsorpce**; výjimku tvoří některé organické látky, které vodu odpuzují a na kterých k adsorpci vody nedochází). Dostane-li se suchý povrch do kontaktu s vodou, potáhne se zprvu monomolekulární vrstvou vody, na kterou se pak váží další vrstvy molekul vody. Dokonce i na vzduchu vysušená podzemí stále obsahuje adsorpci vody, a to o to více, čím vyšší je vlhkost okolního vzduchu. Podzemí se tedy v tomto stavu chová

hygroskopicky, hovoříme také o hygroskopické vodě. Adsorbovaná voda je vázaná velmi pevně. Avšak již ve vzdálenosti několika průměrů molekul je voda vázána k povrchu pouze nepřímo kohezí mezi molekulami vody. Takto vázaná voda je označována jako **kapilární** (modelov si jí lze představit jako vodu v tenké trubici kruhového průměru, a se od ní ho skutečný tvar pórů samozřejmě liší). S velikostí (průměrem) pórů klesá síla kapilární vazby vody. Různé typy půd mají různé velikostní rozložení pórů a proto také různou schopnost vodu držet. Modelov si lze tyto póry v dané půdě představit jako svazek trubiček různých průměrů, přímé zastoupení různých průměrů odpovídá zastoupení různých velikých pórů (ve skutečnosti ovšem pórů mají nerovný povrch a mohou se různě zužovat a rozšiřovat, což ovlivňuje chování vody v nich). V závislosti na vlastnostech půdy a tedy velikostním rozložení kapilár se liší průběh poklesu obsažené vody při jejich vysychání. Tento popisují tzv. desorpční křivky vodního napětí i potenciálu v půdě. Jejich průběh není totožný s průběhem adsorpčních křivek při (oprotněm) zavlažování půdy, protože se zde úzká místa v pórech, uzavřené bubliny vzduchu, smáčivost povrchu a zrnité agregáty vlivem sevrkávání a bobtnání projevují odlišně. Tyto křivky označujeme také za pF-křivky, přímé pF značí logaritmu hodnoty maticového potenciálu (log cm vodního sloupce) o výsvětlení pojmu potenciálu viz níže.

Dynamika obsahu vody v půdě závisí především na klimatu: máme-li vícero ročních období a tedy i období vegetační a období vegetačního klidu, dochází ke změně přísunu i ztráty (odparu) vody. Na **vodní režim** půdy dále působí její vlastnosti a hydrologická situace daného místa. Výše jmenované síly, které drží vodu v půdě, lze v tak heterogenním systému jako je půda stále úplně popsat a také je nelze jednoduše sčítat. Proto spíše nefunkční síly jako takové popisujeme práci, kterou je třeba vynaložit, abychom dané množství vody dostali z jednoho bodu v půdě do jiného, referenčního bodu. Tato práce odpovídá práci potřebné k vyzdvžení daného množství vody z volné vodní hladiny do určité výšky v kapiláře (pórním póru), resp. jejímu odstranění z půdy tímto způsobem. Hovoříme o **vodním potenciálu**. Voda se vlivem pohybuje (proudí) z míst s vyšším potenciálem (tj. vyšší potenciální energie) do míst s potenciálem nižším, protože při tomto procesu se uvolňuje energie. Vývoj vlivy směřuje k vyrovnání potenciálů tak, aby celkový vodní potenciál byl všude stejný. Celkový potenciál sestává z několika dílčích potenciálů: gravitačního, maticového (kapilárního), osmotického (daného množstvím rozpuštěných solí), plynového a dalších.

Obsah vody zadržené v půdě za maximálního nasycení po ustálení (aniž by již docházelo k jejímu odtoku vlivem gravitace) označujeme jako **plní, absolutní, kapilární i maximální vodní kapacitu** (angl. maximum waterholding capacity). Její stanovení v terénu předpokládá

opakovaná měření obsahu vody (až po stabilizaci, při které nedochází k dalšímu úbytku) při překrytém povrchu tak, aby nedocházelo k odpařování. Jednodušeji lze hodnotu stanovit v laboratorii na neporušeném podélném monolitu (tj. váleku) podélně odebraného do určité hloubky. Především z ekofyziologie rostlin je známo, že zdaleka ne všechna voda v dané půdě obsažená je rostlinám také skutečně k dispozici. Obdobně to platí také pro dostupnost pro podzemní organismy. Při poklesu podzemní vlhkosti pod určitou mez není rostlina již ani při maximálním přivěšení svých stomat schopna z podélně nahrazovat vodu ztracenou transpirací. Tehdy rostlina začne vadnout (bod vadnutí). Obsah vody v půdě, který odpovídá stavu, kdy rostlina zvadne natolik, že ani opětovný přísuv vody již neobnoví turgor jejích buněk, nazýváme bodem trvalého vadnutí (angl. permanent wilting point (PWP)). Maticový potenciál tehdy odpovídá u rostlin jako jsou slunečnice nebo borovice lesní (v hustém prokosené půdě) hodnotě $-1,5 \text{ Mpa}$, neboli $pF 4,2$. Tato hodnota platí pro většinu kulturních rostlin a je proto univerzálně používána, a koliv má mnoho rostlin ve skutečnosti svůj bod vadnutí při jiné hodnotě. Takzvaná využitelná vodní kapacita (voda, která je rostlinám k dispozici v půdě k dispozici) je obsah vody v půdě mezi hodnotami polní kapacity a bodu vadnutí.

Složení podzemní vody: Voda v podzemních pórech obsahuje velké množství rozpuštěných látek. Proto také hovoříme o podzemním roztoku. Mezi rozpuštěné látky patří také kyslík a oxid uhličitý, koncentrace druhého je vzhledem k jeho vysoké rozpustnosti (ale také vzhledem k disimilacím procesům v půdě) vysoká. Dále se v podzemní vodě (angl. soil water) nachází drobné nerozpuštěné částice v suspenzi. Doba zdržení vody v podzemních pórech stoupá s klesajícím průměrem podzemních pórů. S přibývajícím dobou zdržení pak zpravidla stoupá i koncentrace rozpuštěných látek. Voda se v podzemním profilu pohybuje a přitom dochází k přeměně rozpuštěných i suspendovaných látek vyplavováním a usazováním, resp. srážením.

1.4 Podzemní vzduch

Množství vzduchu v půdě závisí na objemu a velikostním rozložení podzemních pórů a míře nasycení vodou, která kolísá v závislosti na klimatických podmínkách. V minerálních půdách se pohybuje podíl vzduchu na celkovém objemu podélně mezi 0 a 40 %. Dolní hranice objemu vzduchu je dosáhnuta při polní kapacitě (maximálním nasycení podélně vodou): u písčivých půd cca 30-40%, u prachových a hlinitých půd 10-25 %, u jílovitých půd 5-10 %, při velkém

zhutnutí i méně (Blume et al., 2010). Zhutováním půdy dochází nejen k úbytku půdních pórů, ale také k porušení jejich vzájemného propojení a napojení na atmosféru a k nadproporciálnímu úbytku velkých pórů představujících v této část plynné fáze půdy. Složení vzduchu v půdních pórech se značně liší od složení volné atmosféry nad půdním povrchem, protože výměna plynů mezi půdními póry a volnou atmosférou je omezena. Obsah vodní páry a tím i relativní vlhkost jsou velmi vysoké a zůstávají blízko bodu nasycení i při značném poklesu vodního potenciálu v půdě (kromě povrchu a horních 2 cm půdy platí $pF < 4,2$ a relativní vlhkost vzduchu $> 95\%$). Koncentrace oxidu uhličitého je o jeden až dva řádky vyšší než ve volné atmosféře (tj. 0,363 %), za anaerobních podmínek v zamokřených půdách ještě vyšší (do cca 10 %). Do půdního vzduchu (v angl. hovoříme o *soil atmosphere*) se CO_2 dostává dýcháním kořenek, mikroorganismů a flivočích. Z jednoho hektaru lesní nebo zemědělské půdy ročně uniká do atmosféry průměrně cca 4 000 m³ (8 000 kg) CO_2 , z toho pochází asi třetina z dýchání kořenek a dvě třetiny z dýchání edafonu (Blume et al., 2010). Naopak kyslík je tímto procesem odebírán a ve špatně provzdušněných půdách může klesnout na hodnoty o asi jeden řádek nižší než ve volné atmosféře (z cca 21 % na méně než 2 %). Zvýšené koncentrace nacházíme také u oxidu uhelnatého, oxidu dusného a metanu. Zamokřené půdy (rašelinitá, rýflová pole apod.) jsou významným zdrojem uvolnění metanu do atmosféry, kde působí jako skleníkový plyn. N_2O se uvolňuje jako vedlejší produkt nitrifikace i denitrifikace hlavně v nejsvrchnějších vrstvách půdy; celkově jsou hlavním emitentem zamokřené lesní půdy, stoupá významně u intenzivně hnojené zemědělské půdy. V bazických půdách se uvolňuje ve větší míře také plyn CH_4 , jeho emise ze zamokřených půd tundry a tajgy jsou omežovány zpravidla nízkými hodnotami půdního pH (Blume et al., 2010).

1.5 Půdní teplota

Půdní teplota je obecně závislá na klimatických podmínkách, ve kterých se daná půda nachází, a zcela konkrétně na energetické bilanci půdního povrchu. Přenos tepla z půdního povrchu do hlubších vrstev je závislý na tepelné kapacitě a vodivosti půdy. Tepelná vodivost pak závisí na půdní textuře a hustotě, obsahu vody a v organických půdách pak také na obsahu organických látek. Voda má daleko vyšší tepelnou kapacitu než suchá půda, takže tepelná kapacita půdy stoupá s jejím obsahem vody. Rovněž tak stoupá i tepelná vodivost. Rychlé odvádění teploty z půdního povrchu do větší hloubky však v sezónním klimatu vede

k tomu, fle na ja e trvá daleko déle, neř se oh eje povrchová vrstva vlhkých afl zamok ených p d, cofl brzdí mnohé procesy v p d a tím i r st rostlin, které v ní ko ení. Oproti teplot na svém povrchu i v atmosfé e je teplota p dy s p íbývající hloubkou stabiln j-í, s výrazn utlumenými výkyvy. Jak ro ní tak denní pr b h teplot tak vykazuje s rostoucí hloubkou stále men-í extrém (denní kolísání je od hloubky 50 cm zpravidla jifl velmi malé), p i emfl zpořd ní p i odvodu tepla vede k posunu maxima na pozd j-í období v pr b hu dne a v sezónním klimatu také v pr b hu roku.

1.6 P dní reakce (pH) a sorp ní kapacita:

P dy se li-í koncentrací iont vodíku v p dním roztoku. Hovo íme o p dním pH i p dní reakci (angl. soil pH, pojem soil reaction se objevuje, ale není p íli- uříván a není obecn srozumitelný), p i emfl se u pH jedná o negativní logaritmus koncentrace iont H^+ . Oproti situaci ve vodních ekosystémech se zde setkáváme se zna n vysokým rozp tím hodnot a to nejen mezi jednotlivými p dními typy, ale i na malé prostorové -kále v d sledku vysoké heterogenity p dního prost edí. V t-ina p d je lehce afl st edn kyselá; postupné okyselování (acidifikace, angl. acidification) p dy je p írozený proces (p edev-ím v jehli natých lesích vlivem kyselosti jejich opadu), av-ak v mnohých ástech sv ta, v . rozsáhlých ástí Evropy, dochází od pr myslové revoluce k výrazné acidifikaci v d sledku depozice látek emitovaných lidskou inností do ovzdu-í (viz kap. 2). P dy jsou oproti acidifikaci r zn odolné ó mají r znou puřra ní schopnost, tzn. schopnost neutralizovat volné ionty vodíku. Tam, kde je p dotvorný substrát (mate ská hornina) zásobený vápníkem, je k dispozici karbonátová (uhli itanová) puřra ní zóna. Takové p dy mají pH mezi 6,2 a 8,6. Pokud pH klesne pod 6,2, znamená to, fle byla tato zóna vy erpána (p inejmen-ím do asn : zv trávání horniny není natolik intenzivní, aby uvol ované uhli itanové ionty neutralizovaly p ítomné ionty H^+) ó byla-li kdy p ítomna. Nastupuje silikátová puřra ní zóna, která p sobí afl do poklesu pH na 5,0, p i emfl zde p i neutralizaci H^+ dochází k uvol ování iont hliníku do p dního roztoku (av-ak v daleko men-í mí e neř v puřra ní zón hliníku ó viz nífle). Po jejím vy erpání p íchází na adu zóna kationtové vým nné kapacity, p sobící v rozmezí pH 4,265,0. Drobné minerální (jílové) ástice, tzv. p dní koloidy, ale také organické molekuly (humus) p edstavují spolu tzv. sorp ní komplex p dy: nesou na svém povrchu vazebná místa pro ionty, p i emfl p evařluje negativní náboj. Podle po tu a uspo ádání t chto náboj zde mohou s v t-í i men-í silou vázat r zné ionty, p evářln s pozitivním nábojem ó tedy kationty.

Obecně hovoříme o sorpční kapacitě. Ta je důležitou vlastností půdy, protože na ní závisí schopnost zachytit z půdního roztoku prvky sloufící rostlinám jako živiny a bránit tak jejich vyplavení do nižších vrstev a posléze do podzemní vody. Mezi koncentrací kationtů (ovšem i aniontů) v půdním roztoku a v sorpčním komplexu panuje rovnováha. Dojde-li k zvýšení koncentrace H^+ v půdním roztoku, vede to k výměně částí těchto kationtů za kationty jiných prvků, doposud vázaných v sorpčním komplexu, které naopak jdou do roztoku. Rostliny tohoto mechanismu využívají o jejich kořínky vyloučí ionty vodíku a následně přijímají uvolněné kationty živin. Kationtová výměnná kapacita sorpčního komplexu tedy působí proti acidifikaci, avšak na úkor stabilizace obsahu živin v půdě. Je-li vyerpána, brání další acidifikaci puřovací zóna hliníku, která působí až po pH 3,0. Překrývá se s poslední puřovací zónou, zónou železa (pH 3,0-3,5). Při takto vysokých koncentracích H^+ dochází k reakcím těchto kationtů, při kterých jsou uvolněny do půdního roztoku kationty trojmocného hliníku a posléze i železa. Tyto ionty jsou vzhledem k svému náboji (stejně tak jako samotné kationty vodíku) ve skutečnosti obaleny molekulami vody (které působí jako slabé dipóly). Uvolnění hliníku do roztoku je jedna z příčin negativního dopadu acidifikace na suchozemské i vodní ekosystémy, ne-li přímo hlavní: působí jako silný buněčný jed a to především na rostlinné buňky.

1.7 Pedogeneze a klasifikace půdy

Výchozí situací pro tvorbu půdy je pedogenezi je hornina vystavená zvětrávání vlivem fyzikálních a chemických procesů, které jsou výrazně ovlivněny klimatickými podmínkami. Tuto horninu, která dává vznik minerálním částicím podléjícím se na vzniku půdy, nazýváme horninou matečnou. Matečnou horninou půdou není pouze pevná skála, ale také jemnozrnný a více méně sypaný materiál jako štěrky, písky i spraše. Minerály (nerosty) obsažené v půdě jsou na základě tak či takto s minerály, které tvoří matečnou horninu (část však vzniká vysrážením z půdního roztoku). Tyto však v průběhu stárnutí dané půdy dále zvětrávají a tím dochází k jejich přeměně. Velice brzy se na zvětrávání horniny mohou podílet organismy, v první fázi především lišejníky, později mechory i vyšší rostliny. Jejich odumelou hmotu pak rozkládají první půdní živočišné a mikroorganismy; představuje druhý výchozí materiál pro tvorbu půdy (v případě rašeliny dokonce materiál jediný). Zpravidla dochází k tvorbě humusu, který se ukládá na zprvu velmi mělké vrstvě minerální půdy a později s ním může být promísen aktivitou půdních organismů, tzv. bioturbací. Tyto a další procesy, které se uplatňují v různé míře v závislosti na charakteru matečné horniny, georeliefu a klimatu (s

posledními dvěma faktory souvisí i vodní režim (přírodní), pak vedou k vertikální stratifikaci půdy, tj. tvorbě charakteristických vrstev a podzemních horizontů (jedním takovým je ale i nezvětralá matečná hornina). Podle přítomnosti, sledu a vlastností (mocnosti, zbarvení atd.) těchto horizontů pak půdy klasifikujeme. Při výkladu o podzemních procesech se nelze dostatečně vyhnout označení typu půdy, která v nich vzniká.

Klasifikace půdy ale trpí velkou nejednotností a nejenže se v různých částech světa dlouho vyvíjela na sobě navzájem nezávisle (a kolivasto ze společného základu) a přitom jednotlivé systémy doznaly v průběhu času změny a tam kde byly radikálně vystředány systémy zcela jinými, ale dokonce i v rámci jednoho státu může být současně užíváno klasifikačních systémů několik. Nepříjemným důsledkem je, že se pro stejné i obdobné půdy používají velmi různé názvy. Na rozdíl od aplikované sféry zemědělství a lesnictví jsou obory jako biologická ekologie, půdní biologie, fyzická geografie i půdovědná pedologie daleko více odkázány na publikování v mezinárodních časopisech a vzhledem k tomu, nevystačí si proto s národním systémem klasifikace půdy. Pro půdního biologa není podrobná znalost půdní klasifikace tak klíčová, jak by se mohlo zdát. Přesto je ale vhodné správně označit půdu, ve které byl vlastní pedobiologický výzkum prováděn; rovněž je užitečné si pod půdním názvem přikládat odborné literatury představit o jakou půdu se jednalo (což nám někdy může pomoci i o faktorech, které na stanovení půdy, resp. půdy v minulosti).

1.8 Půdní procesy

Vyluhování solí, iontů : dochází k nim v humidním klimatu, protože zde přísun vody v podobě srážek převyšuje ztrátu vody odpařováním (evaporací). Rozpuštěné soli a ionty půdního sloupce jsou odnášeny vodou do větších hloubek (solí, ionty, například vápník, držené jako vázané ionty v jílovo-humusových komplexech, jejich náhrada ionty vodíku vede k acidifikaci). Vymývané ionty se buďto akumulují ve větší hloubce (B-horizont), kde se mohou vysrážet, nebo se dostávají do podzemní vody.

Lessivace, illuvizace: Půdní částice nacházející se v suspenzi, především frakce koloidálního a velmi jemného jílu (< 0.2 μm) jsou vymývány (**eluvizace**) a přemísřeny do nižších horizontů, kde se akumulují (**illuvizace**). K přemísřování jílu dochází v půdách, ve kterých se střídají suchá a vlhká období. Dochází k nim například poté, co došlo vyluhováním ke ztrátě CaCO₃, při optimálním pH o hodnotě 5,5-6,5. Pukliny vzniklé během suchých období

společně s kořínkovými kanálky a chodbami živých slouňů jako drenážní kanály pro vodu, která jí odnáší. Na jejich stěnách vytváří jílové -hnědé a červené usazeniny.

Podzolizace: Dochází k ní v (semi-)humidním klimatu, pokud velmi kyselý podní roztok ($\text{pH} < 5$) způsobí rozpad jílových minerálů. V důsledku tohoto rozpadu vytvářejí kationty, hliník a železo komplexy s organickými látkami obsaženými v podně. Tyto minerály jsou odstraňovány ze svrchní vrstvy podně a mohou se hromadit v nápadných, tmavých, podpovrchových vrstvách. Podzoly často nacházíme pod vřesovištěm a rašeliníky (typickou humusovou formou je surový humus neboli mor). Pojmenování procesu je odvozeno od jména podzol pro podně typ, který jim vzniká (zola znamená rusky popel, popelavou barvu mají vymyté horizonty).

Oglejení: Dochází k němu tam, kde se podně nachází v (také) stálém kontaktu s podzemní vodou. V takto zamokřených podněch s anaerobními podmínkami jsou sloučeniny železa redukovány a buďto odstraněny z podně, nebo vysráženy ve formě hrudek (konkrecí). Také mangan Mn (IV) a Mn (VII) a vícemocná síra jsou redukovány. Dekompozice podně organické hmoty je zpomalena. Oglejené podně nacházíme často v mokřadech.

Pokud k zamokření dochází periodicky, je Fe(II) (přítomné v sloučeninách) opět oxidováno na Fe(III) a v podním profilu je patrné ve formě rezivých skvrn.

Je-li zamokření trvalé, vznikají zelené alumosilikáty, které obsahují Fe(II) , modravé fosfáty a -edované sulfidy. Výsledkem je modro-edý glejový horizont označovaný velkým písmenem G. Na styku oxidací a redukčních zón nacházíme rezavé skvrny (konkréce).

Glej (ukrajinsky) = klich, maz (zde označení pro mazlavou hlínu)

Brunifikace (hnědnutí): Dochází k ní v průběhu zvětvování minerálů s obsahem dvoumocného železa - Fe(II) , tj. železosilikátů. Železo je ve většině případů uvolněno pouze pokud je $\text{pH} < 7$, tzn. poté, co byly vymyty karbonáty, pokud byly přítomny (např. ve spraši). Ionty Fe^{2+} se srážejí jako hnědé hydroxidy (Fe(OH)_2), které vytvářejí povlaky na podních částicích, což vede k hnědému zbarvení podně. Přítomně vznikají jílové částice.

Typické pro podně vysoké biotické aktivity s humusovou formou mull ($\text{pH} 4,5\text{--}7$).

Laterizace, feralitizace: Probíhá v teplém a vlhkém klimatu subtropů a tropů. Za těchto podmínek je urychleno zvětvování a vysoké denní srážky vedou k vymývání zemitéch a alkalicko-zemitéch prvků (Ca, Na, Mg, K) a posléze i kationtů (ve formě kyseliny kationtové). Dochází k hromadění zbývajících prvků, především železa a hliníku, resp. jejich sloučenin. Jako

stabilní produkty z tvrdnutí tak převládají oxidy železa (goethit, hematit) a hliníku, jímž jako gibbsit (z alkalických vyvlečenin silných křemenných hornin) i kaolinit (i ten je-t dále z tvrdnutí). Tento proces nazýváme feralitizací. Ve svrchní půdě se ozařuje i inoxidní vysychání o tvrdnutí tvrdá vrstva, jakýsi pancíř. Tento proces je označován za laterizaci. Oxidy železa způsobují červené, resp. rezavé zbarvení, oxidy hliníku bílé. Lateritové půdy označujeme také jako plinthosoly.

Later (latinsky) / plinthos (řecky) = cihla

1.9 Půdní profil a horizonty

Výše popsané půdotvorné (pedogenní) procesy dávají vznik odlišným půdním vrstvám, tzv. genetickým půdním horizontům, a jejich charakteristickému sledu o soubor půdních horizontů tvoří půdní profil. Konkrétní půdní profil odráží vývoj půdy na daném místě, není tedy pouze odrazem současných podmínek, ale i jejich změny v minulosti. O půdních horizontech byla již řeč výše, aniž bychom si však v úplnosti vysvětlili jejich charakter, označení a sled v půdním profilu. Tyto jsou půditom základem pro klasifikaci půdy, tedy pro jejich označení, které zároveň odráží i mnohé charakteristiky jednotlivých půd. Zde se budeme soustředit na základní minerální horizonty (poznámka k případnému zahrnutí nadloňního humusu je uvedena u horizontu A). U jednotlivých půdních horizontů rozlišíme mocnost, barvu, zrnitost, skladbu, soudržnost, obsah humusu a kongregací, kromě těchto morfologických znaků také například pH. Vlivná je mecká pedologická škola, která hodnota pH z důl ruských pedologů dala také základ české pedologii, označuje půdní horizonty velkými písmeny a jejich charakter dále upřesňuje malými písmeny, které uvádí zpravidla za písmenem velkým. Vzhledem k tomu, že u konkrétního půdního profilu mohou být v rámci jediného horizontu vyvinuty odlišné vrstvy, značí kombinace velkého a malého písmena tzv. subhorizont. Při popisu půdního profilu postupujeme od shora do hloubky a v tomto pořadí pojmenováváme jednotlivé hlavní horizonty po sobě následujícími prvními písmeny abecedy (A, B, C, D). Někdy však natrefíme na půdní horizonty, které se od těchto klasických horizontů liší o pro tyto pak uflíváme jiná velká písmena (zpravidla se jedná o zařazení písmeno slova, které označuje půdu, u které se s tímto horizontem setkáváme, i proces, kterým dochází k jeho vzniku; například G značí glejový horizont o viz níže). Obdobný systém uflívá i WRB (viz níže), bohužel však nejsou všechny velká a hlavní vrstvy malá písmena uflívána pro označení stejných skutečností.

Horizont A: Jedná se o nejsvrchnější horizont půdy s výrazným podílem minerální složky, tedy podlépá organickými horizonty (šedložitým humusem). Někdy jsou do horizontu A ale také zahrnovány tyto organické horizonty a poté zpravidla značeny jako A_1 , A_f a A_h (podle opadu a anglicky litter, francouzsky litière, fermentované vrstvy a humusu; někdy také jako A_{00} , A_0 a A_1 a zde číslice 1, nikoliv malé písmeno l). Samotný minerální horizont je více či méně obohacený organickými látkami a humózní (při vysokém obsahu označován jako A_h) a čím více, tím se jeho barva více blíží černé. V tomto horizontu dochází v humidních oblastech k vymývání, je tzv. eluviální (ve WRB je takto ochuzený horizont odlišován a označován jako E; v německém systému však E značí podíl horizont vzniklý antropogenním hnojením alochtonním drnem obohaceným o mrvu apod. a jednalo se o velmi specifické hospodaření na podzolových půdách některých oblastí severozápadní Evropy; takový podíl horizont je však ve WRB zahrnován pod označení A). V aridních oblastech zde naopak dochází k hromadění solí při úvodních vzliňajících vodou, která se odpařuje z podílního povrchu a je tzv. iluviální.

Horizont B: Jedná se o iluviální horizont, ve kterém se hromadí látky vymyté z horizontu A (je-li vytvořen, nachází se přímo pod tímto horizontem): sloučeniny trojmocného železa a hliníku, kyselina křemíková a podílní koloidy (jílové částice). Uhlíkatý vápenatý však chybí, bývá vyloučen a přemístěn do větší hloubky. Zbarvení horizontu B je buď stejnoměrné, nebo je skvrnité, mramorované či smouhovité. Často jsou obsaženy konkrce. V horizontu B může dojít i k hromadění humusových látek vyplavených z horizontu A, vzniká černědý B_h . Horizont B může vzniknout také ztrávením výchozí horniny na místě (abychom hovořili o horizontu B musí pevná složka podkrojit 75 % objemu a dojít k změně zbarvení), značíme jako B_v ($V =$ německy Verwitterung, ztrávení).

Horizont C: Jedná se o mateřnou horninu (výchozí materiál, ze kterého daná půda vznikla) převážně pevnou (nezvtrálenou) nebo její ztráveninu, s látkami přemístěnými z vyšších horizontů. Pokud jde o pevnou horninu bez podílní sypké podílní složky, je tento horizont podle FAO označován jako R. Mateřnou horninou mohou být také sypké substráty a usazeniny dopravené na místo vodou či větrem, například písek nebo spraš.

Horizont D: Hornina, která není mateřnou, tj. není výchozím materiálem pro půdu nad ní. Nachází-li se pod horizontem C, může tvorbu a charakter půdy ovlivňovat svými vlastnostmi, především mírou propustnosti pro vodu (například pokud je horizont C tvořen štěrky a písky a D

představuje pro vodu nepropustnou vrstvu). Může se ale skutečně zdánlivě (při velmi tenkém horizontu C) nacházet přímo pod vlastními podzemními horizonty, pokud došlo v průběhu podzemního vývoje k úplnému zvrácení horizontu C.

Horizont G: Vzniká v zamoklených půdách (glejových) v hloubce, kde dochází vztlínáním podzemní vody k nedostatku kyslíku a proto k redukčním pochodům o vzniku sloučenin dvoumocného železa. Zbarvení je modro-šedé, šedé i šedo-zelené. V horní části, kde se v důsledku kolísání hladiny podzemní vody střídají aerobní a anaerobní podmínky, může být vytvořen subhorizont s rezivými a světle-šedými skvrnkami.

Horizont H: Rašelinový horizont (angl. histic horizon).

1.10 Půdní klasifikace

První klasifikace půd byla vyvinuta v 19. století v Rusku. Dala základ prakticky všem širšími mezinárodními klasifikacím, proto v nich převládají mnohá označení převzatá z ruského jazyka. Postupně docházelo k úpravám převzatého systému na základě konkrétních přírodních podmínek jednotlivých zemí i v rámci regionů. Tím se ztrácela přesnost zařazení půdy pro dané území a praktický účinek takového zařazení (přede vším výpočetní hodnota z hlediska zemědělského využití), zároveň se ale vytrácela mezinárodní srozumitelnost i převoditelnost užívaných kategorií. Jednotlivé národní systémy také nedostatečně, pokud vůbec, zahrnovaly půdy nevyskytující se na území daného státu. Ve středoevropském prostoru dlouho dominovala německá pedologická škola, která měla velký vliv i na českou pedologii. Vychází z ní také rakouská klasifikace, ve které je věnována větší pozornost půdám horských oblastí. Při FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) vznikla ve spolupráci odborníků z mnoha států půdní klasifikace pro přípravu světové mapy půd (Soil Map of the World), která vyšla v r. 1988. Tato klasifikace byla dále rozvinuta v dnešní World Reference Base for Soil Resources (WRB) o první verze vyšla v r. 1998. Mezinárodní pedologická unie (International Union of Soil Science) prohlásila WRB v téže době za mezinárodní standard. V r. 2006 byla publikována výrazně přepracovaná verze, v r. 2007 její korigovaná verze. Další, zatím poslední verze pak byla zveřejněna v r. 2014, její oficiální aktualizace v r. 2015. WRB nemá nahradit národní klasifikace, ale sloužit mezinárodní komunikaci v oboru, umožnit tedy co nejpřesnější převod jednotek národních systémů (což funguje přede vším pro

vy—í klasifika ní jednotky). Dne—ní eské taxonomické kategorie p d jsou do zna né míry p izp sobeny tomuto systému, ale a poufívají áste n stejné názvy, není jejich význam vřdy totořný. Mezinárodního významu dosáhl také systém vypracovaný ministerstvem zem d lství USA a National Cooperative Soil Survey, tzv. USDA Soil Taxonomy (USDA = United States Department of Agriculture). P i tvorb tohoto systému do-lo k radikálnímu odklonu od p vodní americké klasifikace p d, která m la s evropskými systémy více spole ných rys . Do-lo k vytvo ní mnoha zcela um lých názv . Kladem americké p dní taxonomie je zavedení d sledného systému kvantitativních znak , podle kterých jsou p dy za azovány. Vede to v-ak k tomu, ře se mnohdy p dy svým vznikem, tedy (pedo)geneticky p řibuzné, ocitají v ř zných vy—ích jednotkách (ádech) a naopak p dy geneticky vzdálené mohou být za azeny do stejného p dního řádu (angl. soil order).

Následn si p edstavíme nejd řelit j—í typy p d, p i emř budeme postupovat od p d málo vyvinutých, m lkých, k p dům vyvinutým, s v t—ím po tem horizont (do ur íté míry se jedná o skute né, resp. p edpokládané vývojové řady). P ítom si uvedeme tradi ní i dnes mezinárodn řeferované názvy daných p d (názvy dle WRB a USDA Soil Taxonomy v anglické podob ě tak, jak se s nimi setkáme v mezinárodní literatu ře). Hlavní ú el je, aby si řená p i ření odborné pedobiologické literatury byl schopen pod uvád ěnými informacemi o p d zkoumaného stanoví-t zhruba p edstavit její charakter a z toho vyplývající podmínky pro p dní organismy. Pokud jde o tvorbu názvosloví i dal-í řlen ní i naopak vy—í klasifika ní jednotky, odkazují zájemce na specializovanou pedologickou literaturu.

V po átku tvorby p dy na zv řávající hornin řacházíme tzv. **surové p dy i syrozem** : slab ě vyvinutý humózní horizont A (mocnosti do 2 cm) na pevné mate né hornin (C), která je maximáln ě do hloubky 30 cm rozpadlá na drobn j—í řlomky. Ve WRB i v sou řasné eské klasifikaci p d jsou tyto p dy řazeny mezi leptosoly, angl. **Leptosols** (řecky leptos = tenký), hlavn ě jako **Lithic Leptosol** (Soil Taxonomy: řazeny mezi Entisols). Dnes takové p dy řacházíme p edev-řm ve velehorách, polárních a pou-řních oblastech, ale na malých plochách mohou vznikat také na skalních výchozech niř-řích poloh a na místech s antropogenn obnařlenou mate nou horninou. Jsou siln ě vysychavé, pH se řásadn ři-ř podle toho, zda je mate ná hornina silikátová (kyselá) i karbonátová (neutřální).

Surové p dy na syřkých substrátech, nap . řátých p řsčích nebo spra-řích, se ekologicky výrazn ři-ř (podle n kterých autor ě je samotná spra- ř produktem pedogenetického řvoje, nikoliv tedy pouhým sedimentem, a řadí se podle nich proto mezi p dy a nikoliv mezi horniny). Rostliny mohou ko enit ve v t-ř hloubce a p edev-řm spra-řové surové p dy lze kultivovat řorbou. Ve WRB i sou řasné eské klasifikaci jsou řazeny mezi arenosoly ř

Arenosols (lat. arena = písek) a regosoly ó **Regosols** (ecky rhegos = p íkrývka), dle Soil Taxonomy mezi Psamments i Orthents.

Na silikátových horninách se p da dále vyvíjí v tzv. **ranker** (jako Rank je v Rakousku oznaován p íkrý svah, n m. sich ranken = pnout se; zde tedy p da p íléhající k p íkrému svahu). Jedná se o p dy s relativn m lkým humózním horizontem A nad skeletovit zv tralým horizontem C, p i emfl humusová forma m fle být mor (nadloflní, surový humus) ale také mull. A v podstat kyselé, mohou se tyto p dy tedy práv z hlediska pH výrazn li-ít a d lí se na adu subtyp . Ve WRB je adíme mezi **Leptosols** (US Soil Taxonomy: Lithic Haplumbrepts). Na sypkých kyselých substrátech vznikají **regosoly**, tj. p dy humózním A-horizontem p íléhajícím p ímo na sypký mate ný substrát mocnosti p es 30 cm. Ve WRB jsou azeny mezi **Regosols**, jsou-li na píscích tak mezi **Arenosols** (US Soil Taxonomy: Entisols, nap . Psamments).

Zv tralej-í p dy se sledem horizont A a C na karbonátových horninách jsou ozna ovány jako **rendziny** (polsky rzendzi = sk ípat, vrzat; podle zvuk ozývajících se p i orb t chto kamenných p d). Jejich horizont A je bohatý na humus, horizont C m fle být pevný vápenec, ov-em zpravidla s horní vrstvou rozpadlou vlivem mrazového zv trávání (na skelet je bohatý i horizont A) i jiná (i sypká) siln karbonátová hornina. Ve WRB je v t-ina rendzin azena mezi leptosoly (**Rendzic Leptosols**), v US Soil Taxonomy se ozna uje jako Rendoll (je-li p ítomen humózní šmollic Aõ). P i zv trávání z stavají v A-horizontu p eváfln jíly. Vy-í pH umofl uje p ítomnost bohaté makrofauny v etn flíflal, pro efl je horizont A tvo en p eváfln trusem p dních saprofágních flivo ich a má drobtovitou strukturu ó je dob e provzdu-n n. Humusová forma bývá mull, v chladných a vlhkých horských polohách ale také moder (svrchní ást A-horizontu je v d sledku vylouhování vápníku okyselena) nebo tangel. V su-ích oblastech, nap . st edomo í, bývají rendzinové p dy suché (xerorendziny) a proto málo oflivené.

Na -t rkových terasách, vápnitých pískovcích, opukách, nebo na bazických vyv elinách (nap . edi i) mohou vznikat mén trvanlivé **pararendziny** (WRB: **Calcaric Regosol**, áste n **Phaeozems** (ecky phaios = -erý, tmavý); US Soil Taxonomy: Typic/Lithic Udorthens, p i p ítomnosti šmollic Aõ Entic/Lithic Hapludolls).

Na spra-ích pak vznikají **ernozem** s humózním A-horizontem mocnosti zpravidla nad 40 cm (v sou asné eské klasifikaci je ernozem p dní typ pat ící do t íd p d nazývaných ernosoly). Dob e vyvinuté, nedegradované ernozem jsou typické stepní p dy kontinentálního, semihumidního afl semiaridního klimatu. Ve st ední Evrop se po nastoupení vlh ího klimatu udržely navzdor nástupu lesa p evedením p vodní stepní vegetace na ornou

p du (kulturní step). Vysoká míra bioturbace zap í in ná p dní makro a megafaunou ó flíflalami a savci s p dními chodbami ó se projevuje humózním materiálem sahajícím ve starých chodbách flivo ich (krotovinách) do hloubky afl n kolika metr , tedy v horizontu C. Naopak se v A-horizontu nacházejí chodby napln né p emíst ným flutavým materiálem z C-horizontu. Na bázi horizontu A m fle být vyvinutý zvlá-tní karbonátový horizont Ca, který m fle obsahovat i vápnité konkrece. Podíl humusu v horizontu A (A_h) dosahuje ve východní Evrop afl 10 %, ve st ední Evrop bývá nífl-í. Nízký pom r C/N a C/P, vysoká sorp ní kapacita a dobré zásobení mikroflivinami, jakofl i vysoký podíl pór st ední a velké velikosti a schopnost vysoké retence vody, iní z ernozemí vynikající orné p dy, které jsou typicky vyufflívány pro p stování obilí, p edev-ím p-enice. Dle WRB jsou typické vychodoevropské ernozem ozna ovány anglickou formou tohoto p vodn ruského jména, tj. jako **Chernozems**; degradované (sv tlej-í a odvápn né) ernozem p evaflující ve st ední Evrop jsou ozna ovány jako **Phaeozems** (US Soil Taxonomy: tyto p dy jsou ozna ovány jako Hapludolls, pokud je patrný výrazný vliv flíflal tak jako Vermudolls).

Následn uvád né p dní typy se vyzna ují p ítomností horizontu B. První velká, av-ak pom rn polymorfní skupina byla tradi n ozna ována za **hn dozemní p dy** (n m. Braunerden), p edev-ím **hn dá (lesní) p da**. B-horizont (zde ozna ován B_v ó v z n m. verwittert = zv tralý) vzniká tzv. zhn dnutím, tj. uvoln ním fleleza z primárních silikát a jeho op tovným vysráflením ve form oxid a hydroxid tvo ících povlaky na minerálních zrnkách, a dále tvorbou jílových minerál . P echody mezi horizonty jsou pozvolné (A, A/B, B, B/C, C), p í emfl mocnost horizont nad mate nou horninou má velké rozp tí (C asto nastupuje afl ve 150 cm hloubky). Zásobení bazickými kationty, pH a struktura p dy velice kolísají. Dle WRB se jedná zpravidla o tzv. **Cambisols** (lat. cambiare = m nit se), esky **kambisoly**, p í malém obsahu bazí v Ah jako **Cambic Umbrisols** (US Soil Taxonomy: Ochrepts, Umbrepts).

Na karbonátových a sádrovcových horninách mohou z rendzin dal-ím vývojem vznikat tzv. **terrae calcis** s m lkým humózním horizontem A a mocným, syt flutohn d , ervenohn d afl erven zbarveným horizontem B (v n m. klasifikaci také jako T od za áte ního písmena slova Terra; pozor T se n kdy objevuje také jako ozna ení tangelového humusového horizontu), se zvln ným av-ak ostrým p echodem na horizont C. K jejich tvorb dochází úplným zv tráním (odvápn ním, okyselením) svrchní vrstvy a vnosem cizorodého minerálního materiálu, který má podíl na následné pedogenezi. Dochází rovn fl k procesu zhn dnutí. **Terra fusca** je (fluto)hn dá (lat. fusca = hn dá), **terra rossa** ervená (tradi ní italské ozna ení, rossa = ervená), cofl je zap í in no tvorbou hematitu (tzv. rubefikace).

Terrae calcis jsou ve střední Evropě považovány za tzv. fosilní půdy, které zde na krytých stanovištích přežily z dob, kdy se utvářely velmi pomalu, a to za jiných klimatických podmínek. To platí především pro terra rossa, jejíž vznik je spojován s teplým a vlhkým klimatem střední Evropy. Ve WRB je terra fusca klasifikována obdobně jako hnědá půda, a to jako **Chromic Cambisol**, terra rossa a to jako **Rhodic Cambisol** (US Soil Taxonomy: Eutrochrept, resp. Rhodic Xerochrept).

Illimerizované půdy (fr. Sols lessivés, v německém systému rovněž jako Lessivés; fr. lessiver = vymývat) jsou půdy, u nichž dochází k uvolnění koloidního jílu (peptizace: jílové minerály, u kterých na povrchu převažují negativní náboje, přechází při nízkých koncentracích vícemocných kationtů v podzemní roztoku z koagulované formy do roztoku), včetně sloučenin železa, a jeho přemístění do větší hloubky podzemního profilu, kde vytváří výrazné hnědé povlaky na stranách pórů, resp. povrchu podzemních agregátů. Na meziký humózní horizont A_h navazuje mocný světlý hnědý horizont Al (l = lessivovaný jíl ochuzený o jíl) a poté mocný (40-120 cm), sytý hnědý horizont Bt (t = německy Ton verlagert = s přemístěním jílu) polyedrické a nepravidelné prismatické struktury nad horizontem C. Ve WRB jsou tyto půdy označovány jako **Luvisols**, také současná česká klasifikace hovoří o luvisolech (Soil Taxonomy: Alfisols). Mezi rozdílné typy patří tzv. parahnědá půda (německy Parabraunerde, fr. sol brun lessivé) a výrazněji diferencovaný drnopodzol (německy Fahlerde, fr. sol lessivé) s výrazně vybledlým horizontem Ael (WRB: **Albeluvisols**; Soil Taxonomy: Luvisols: Glossudalfs, Glossocryalfs). Illimerizované půdy jsou vázány na mírné humidní klima a patří k nejrozšířenějším půdám Euroasie i severní Ameriky. Ve střední Evropě je nacházíme převážně na spraších a starých ledovcových morénách, zpravidla původně pokrytých listnatými i smíšenými lesy.

V chladnějším, mírně až silně humidním klimatu, vznikají na propustných horninách (a to pískovcích) s menším obsahem fluvin a chudých na vápník **podzoly** (podzol je označení, které pro tuto půdu používali ruští sedláci, vzhledem k jejímu popelavému zbarvení; rus. zola = popel). V současné české klasifikaci se příslušná referenční půda nazývá novotvarem podzosoly, vlastní podzemní typ však jíl podzol. Ve WRB se rovněž užívá **Podzols**, v Soil Taxonomy Spodosols. Jedná se o výrazně okyselené půdy s mocnou vrstvou nadloňního humusu formy moru jíl surový humus. Vegetační pokryv tvoří zpravidla lesy (a to, nikoliv však nutně, jehličnaté), a to je podzolizace a následkem vyerpání fluvin a okyselení nevhodným obhospodačováním ze strany člověka (vznik jehličnatých porostů a v esoví po odlesnění). Proces podzolizace je dán vymýváním fluvin a podzemních koloidů, včetně organických látek, ze svrchní půdy do větší hloubky v důsledku prosakování velkého množství srážkové vody. Z kyselého nadloňního humusu se uvolní látky, které z minerální

p dy vyluhují fielezo a hliník; dochází k chemickému rozrušení jílových minerál (na rozdíl od procesu illimerizace). Pod nadlofním humusem tak následuje tenký podhorizont, který je na jedné straně obohacený humusem, ale na druhé straně jifi vyb lený ztrátou fieleza (Aeh). Následuje více i mén mocný (zpravidla n kolik desítek cm) eluviální horizont (Ae), který se vyzna uje sv tlým, popelav –edým zbarvením a je sypké, pís íté skladby. Následuje ostrý p echod k tmavému iluviálnímu horizontu, který zpravidla tvo í dva subhorizonty: hn do erný, humózní Bh a reziv hn dý Bs (dohromady v t–inou o mocnosti 10620 cm; s ó hromad ní sesquioxid , hlavn fieleza). Tato vrstva m fle být více i mén zpevn ná, a to afl po vznik pevné vrstvy tzv. ortsteinu (n m. Ortstein, angl. se uflívá hardpan, cofl ale má –ir–í význam). Tato pevná vrstva asto z stává pro vodu dob e propustná, v opa ném p ípad v–ak vede k zamok ení p dy. P echod mezi horizonty B a C bývá nez etelný. P i hnojení a zavlafování lze podzoly zem d lsky úsp –n vyuffívát, negativn se projevuje ortstein, je-li vytvo en blízko pod povrchem.

P dy, u kterých jako p dotvorný initel p evládá p sobení podzemní vody, ozna ujeme jako glejové; podzemní voda zde vystupuje aspo do asn do hloubky mén nefl 40 cm od p dního povrchu, adíme je mezi p dy semiterestrické. **Glej** (n m. Gley, angl. gley) je ozna ení z lidové ukrajín–tiny pro klich i maz, snad z n meckého Klei(e), uflívaného v obdobném smyslu (také pro p dy získávané z vysu–eného mo ského dna na pob effí Severního mo e). Sou asná eská klasifikace uflívá název glejsoly, taktéfi dle WRB **Gleysols** (Soil Taxonomy nerozli–uje p dy zamok ené podzemní vodou a zadržlenou vodou de–ovou, r zné gleje ozna uje nap . jako Aquept i Aquod). Pod horizontem A (humózní Ah) následuje horizont G ovlivn ný podzemní vodou, u kterého rozli–ujeme subhorizonty Go a Gr. Go je oxida ní horizont; pokud se vyskytuje, tak se nachází nad Gr. Gr je reduk ní horizont, který vzniká v trvale zamok ené zón tam, kde podzemní voda více mén stojí a je tudífi velice chudá na kyslík ó panují zde trvale reduk ní podmínky. fielezo a mangan se nacházejí v dvoumocné podob ve slou eninách, které tomuto horizontu prop j ují –edou, –edozelenou afl modro ernou barvu. Jsou dob e rozpustné a v p dním roztoku kapilárn stoupají do subhorizontu Go, který je zamok ený jen do asn . P i kontaktu s atmosférickým kyslíkem zde dochází k jejich oxidaci a vysráflení v podob konkrací a povlak oxid , p edev–ím na st nách velkých pór . V p ípad hojn j–ho fieleza jsou oxidy rezav hn dé, v p ípad manganu erné. Vzniká tak typické mramorování glejových p d. Skvrny a pruhy podél ko en mohou sahat afl do horizontu A (pokud podzemní voda do asn dosahuje k p dnímu povrchu, má tento horizont charakter p echodu mezi Go a A). V p ípadech, kdy je podzemní voda lépe prokysli ena, m fle chyb t Gr, naopak zde pak máme mocn j–í horizont Go.

Humusová forma může být v závislosti na zásobení vápníkem a dalšími fluvinami vlhký mull aťž moder, na nevíce zamokřených lokalitách dochází k tvorbě rašeliny i při lepším zásobení uhlíkatým vápenatým tzv. následem (něm. Anmoor), ve které dochází oproti rašelině k vyší bioturbaci.

Podobné podmínky vznikají (často z illimerizovaných půd) také vlivem stávajícího zamokření srážkovou vodou a vysychání, hovoříme o stagnosolech (WRB: **Stagnosols, Planosols**; Soil Taxonomy: Aqualfs a další). Mezi ně patří především tzv. pseudogleje. Nepropustné podloží zadržuje srážkovou vodu, která se do sebe hromadí v horní části půdního profilu. Pod horizontem Ah/Al (cca 10 cm) následuje zpravidla bleděšedý horizont s konkréciemi nebo rezivými skvrnami. Zde dochází během dočasného zamokření k oxidaci a vysrážení rozpustného železa a manganu. Níže se nachází vodou nasycená zóna nad nepropustnou vrstvou (tu tvoří Bt nebo C, případně oba horizonty společně). Zde dochází vlivem nedostatku kyslíku k redukci železa a manganu a jejich ústupu do půdního roztoku. V nasycené zóně vzniká mramorování (pruhování) půdy: Difuzí se Fe^{2+} a Mn^{2+} dostávají dovnitř půdních agregátů (struktura bývá polyedrická i prismatická), kde v dočasně zamokřených podmínkách často je třeba pro aerobní podmínky, takže zde dochází k jejich opětovné oxidaci a vysrážení; výsledkem je situace, kdy povrch agregátů bývá bledý, zatímco uvnitř agregátů se nacházejí rezavé a černé konkréce (hydr)oxid železa a manganu. Na rozdíl od pravých glejů, se pseudogleje poútažují mezi terestrické půdy, pro evafluje u nich období, kdy půda vysychá a probíhají oxidační procesy. Silné vysychání svrchní půdy během vegetační sezóny je podporováno jejím silným prokořeněním rostliny své kořenové soustavy právě zde, proto ve větší hloubce se půda projevuje negativní důsledky dočasně zamokření. Klima a konkrétní podmínky stanoví (podloží, georelief apod.) výrazně ovlivují délku období, kdy je půda zcela zamokřená, vlhká i naopak silně vyschlá. Existují proto také nejznámější varianty a odchody k jiným půdním typům.

Výrazně vliv vody určuje charakter **nivních půd**, tzv. fluvisol (lat. fluvius = řeka, proud). Ve WRB jsou označovány jako **Fluvisols**, v Soil Taxonomy často spadají mezi Entisols, například jako Fluvents i Fluvic Psamments. Fluvisoly vznikají na opakovaně, avšak pouze dočasně zaplavovaných nivách vodních toků. Stejně tak jako gleje je řadíme mezi půdy semiterestrické. V nivách se lze setkat i se samotnými gleji, a to tam, kde dochází k trvalému zamokření půdy, což bývá spíše na okraji nivy nežli blízko vlastního toku. Niva blízko samotného koryta toku bývá u přirozených, tj. neregulovaných, toků periodicky zaplavována (přeplavována), případně, pokud je chráněna protipovodňovými hrázemi, dochází při stavu vysoké vody k laterálním přesakům z nížního koryta a vztlínání vody k povrchu aťž po

vystoupání nad n. j. V každém případě obsahuje tato říční voda dost kyslíku (v chladných ročních obdobích výrazně více než v teplých) a říční sedimenty v ní bývají relativně dobře propustné, takže nenastávají redukční podmínky. Pokud se objevuje glejový horizont, nastanou pouze oxidační podmínky, a to ve větší hloubce. Hladina podzemní vody je napojena na hladinu toku a podléhá v průběhu roku značnému kolísání (v případě niv v těchto ekvivalenci několika metrů). Převážně pokud dochází k vyplavování, dochází v nívách jak k sedimentaci (ukládání náso allochtonního materiálu), tak k vodní erozi (odnosu organického opadu i minerálních pŕdy). Obojí podporuje autochtonní pedogenezi. Při sedimentaci vznikají tzv. pohbené horizonty: humózní horizont A a případně organické vrstvy jsou při záplavách pokryty minerální vrstvou sedimentu, na ní se opět utváří humózní svrchní pŕda, poté dojde k opětovnému pŕvrstvení, atd. Charakter nivní pŕdy je výrazně ovlivněn polohou v rámci toku (podélného profilu nivy) a jeho odtokovým režimem, dále pak vzdáleností od koryta toku (polohy v rámci příčného profilu nivy). Klasické je dělení na surovou nivní pŕdu óramblu, středně vyvinutou nivní pŕdu ópaternii óa a zvrtralou nivní pŕdu óvegu. Toto dělení platí převážně pro říční sedimenty silikátové, s menším obsahem vápníku, existují tedy ještě další typy. **Rambla** (arab. ramla = hrubý písek) je typická pro nivy horních toků horských a podhorských ek. Má pouze slabě vyvinutý humózní horizont A s trochou nadlofního surového humusu (často nacházíme několik slabých pohbených horizontů; opad je často odnášen vodou) na nezvrtralých říčních sedimentech, které zde představují výchozí substrát óhorizont C. **Paternia** (podle řeky Rio Paternia ve španělském pohraničí Sierra Nevada) má již výrazně vyvinutý humózní horizont A šedé barvy (do 10 cm, humusová forma mull i mullovitý moder) na velmi slabě zvrtralých říčních sedimentech. I zde jsou běžné pohbené horizonty A. Oproti ramble vzniká paternia v místech méně exponovaných povodním. **Vega** (rovněž ze španělska) se tvoří v nivách klidnějších dolních toků ek. Má mocnější humózní horizont A (do 20 cm, humusová forma mull) nad mocným horizontem B (20-30 cm, někdy i o hodně více), syt hnědý i na červenalé barvy. Proto se také uflívá označení hnědá nivní pŕda. U tzv. autochtonní vegy se jedná o dšledek procesu brunifikace při pedogenezi in situ, u tzv. allochtonní vegy o dšledek sedimentace allochtonního materiálu (např. červené pŕdy ze zvrtralín permského pŕvodu). Pod horizontem B se může nacházet oxidační glejový horizont (Go).

2. Ohrožení a ochrana půdy

2.1 Úvod

Tak jako by půdní biolog měl mít především základní v domostí o půdních procesech, které v ní probíhají, tak je důležité, aby měl i povědomí o problematice degradace a ochrany půdy. Snad nikdo nepochybně uje profesi lékaře, avšak v medicíně pracující v základním výzkumu musí opakovaně obhajovat smysl své práce a finanční prostředky na ni vynakládané. Půdní biolog přitom může svým výzkumem významně přispět k pochopení negativních vlivů, které má rozrušená lidská činnost na tak klíčové vlastnosti půdy, jako jsou úrodnost nebo retenční schopnost. Může také navrhnout vhodná protopatření. Jistě jsme si všimli, jak je půda pro zemědělství významná z ekonomického hlediska. Přesto se k ní chová poměrně málo, a tak dochází k znehodnocování (degradaci) půdy i její úplné ztrátě. Z hlediska ochrany životního prostředí je při pohledu na vývoj příslušné legislativy patrné, že se ochrana půdy netýkala a vlastně dodnes netýká stejné pozornosti jako voda a ovzdušnění (to neplatí pouze pro českou legislativu, ale v podstatě obecně). Přede vším to platí pro problematiku znečištění půdy cizorodými a více méně toxickými látkami. Na druhé straně existuje řada ustanovení k ochraně půdy především v zemědělské a lesnické legislativě, chybí však zpravidla komplexnější pohled na tuto problematiku a půda mimo zemědělský a lesnický fond často zůstává nepokryta. Má-li půdní biolog přispět k ochraně půdy, resp. chce-li přerpat prostředky na aplikovanému zaměřenému výzkumu, musí o této problematice něco vědět.

2.2 Půdní eroze

Pod pojmem eroze půdy rozumíme uvolnění a následný odnos pevných půdních částic v třetí vodou, případně pohybem ledovce (nikoliv jistě uložení těchto částic na jiném místě). Gravitace vede k vyrovnávání reliéfu krajiny, avšak v případě vodní eroze se nemusí jednat o odnos půdy z výše položených na níže položená místa, protože jemné půdní částice mohou být v tržnými proudy unášeny na velké vzdálenosti (známý je například spád jemného písku ze Sahary na evropských ledovcích). Půdní eroze je považována za nejvýznamnější celosvětový problém ochrany půdy. U orné půdy ve svažitých polohách byl zaznamenán roční odnos 30 tun půdy na hektar. V humidním klimatu se přitom uvádí nová tvorba půdy v množství 1-2 tun na hektar ročně, což odpovídá vrstvě 0,1 až 0,2 mm půdy. Čím má půda jemnější texturu a nižší

soudrŕnost (kohezi), tím je k erozi náchyln ěí. P emís ování jílových a organických látek do hlub ěích ástí p dního profilu p sobením prosakující vody lze ozna it za vnit ní erozi p dy.

2.2.1 V trná eroze

Schopnost vzdu ného proud ní erodovat p du je závislá na jeho rychlosti nad p dním povrchem. P ímo nad ním je proud ní laminární. S rostoucí vzdáleností se rychlost zvy ũje a proud ní se m ní na turbulentní. Pokud jsou p dní ástice zachyceny tímto turbulentním proud ním, dochází k jejich odtrŕení od p dního povrchu a vymr ũ ní do vý-ky. Men ěí ástice se p ítom dostávají vý- a jsou odná-eny na v t ě vzdálenost. V t ě ástice se bu pouze kutálí po povrchu, nebo na n j opakovan dopadají ó ská ou. P í jejich dopadech jsou vymr ũ ovány do vzduchu a uchvacovány turbulentním proud ním dal ěí ástice. ím del ěí je dráha v tru, na které takto m fle p sobit na p du, tím více se uplat ũje tento lavinový efekt. V trná eroze ohroŕuje nejvíce nesoudrŕné p dy se suchým povrchem prostým vegetace: jemné píse né a prachové p dy a drobtovité organické p dy. Naopak vlhké afl mokré p dy v trné erozi nepodléhají. Nerespektování zem d lských (agrotechnických) postup , které by mírnily riziko v trné eroze, vedlo v první polovin ě 20. století k intenzivní v trné erozi (pra-ným bou ím) s drastickými ekologickými i ekonomickými dopady na st edním západ Spojených stát amerických (šdust bowlō); obdobná situace nastala i v Rusku, resp. na Ukrajin .

2.2.2 Vodní eroze

De-ové kapky p í dopadu vymr ũ ují do vzduchu jemné p dní ástice. D je-li se tak na svahu, spadne vlivem gravitace více takto vymr ũ ných ástic nífle od místa dopadu kapky neŕl vý-e. Zvlh ení p dy m fle její soudrŕnost jak zvy-ovat, tak i sniflovat. De-ová voda má nízkou vodivost a má na p dní koloidy dispergující ú inek. Dochází k naru-ení struktury p dních agregát , stla ování velkých pór . Uvoln ěné jemné ástice ucpávají póry na p dním povrchu, což vede ke sníŕené infiltraci a následn ě ke sbírání vody na povrchu a p í sklonu terénu k jejímu odtoku po svahu. Tato voda odná-í p dní ástice, p ípadn ě za ne po svahu stékat vodou nasycená p da jako taková. P da se pak op t usazuje na úpatí svahu. Rovnom rný odnos p dy p edstavuje plo-nou erozi. ím je v t ě sklon svahu, tím rychle ěí je

tok vody, a tím spíše se za ním p i usm rn ní toku nerovnostmi p dního povrchu tvo it erozní struflky a tyto spojovat do v t-ích struh i rýh ó hovo íme o rýhové erozi. P dní ástice uná-ené ve struflkách a struhách vodním proudem obru-ují jejich koryta (abraze), ím více ástic a ím v t-í rychlostí je vodou uná-eno, tím je jejich spole ná abrazivní síla v t-í a tím rychleji se struhy zv t-ují ó ty opravdu velké ozna ujeme jako strfle a hovo íme o strflové erozi. Odplavená p da m fle být uná-ena p es men-í do v t-ích vodních tok a poté bu dojde n kde podél toku k její sedimentaci nebo je odplavena afl do mo e.

2.2.3 Protierozní opat ení

Nejlep-í ochranou proti erozi je zapojený vegeta ní pokryv: chrání p dní povrch proti kinetické energii vodních kapek, zpomaluje jeho vysychání, brzdí vítr a sniřuje turbulence nad p dním povrchem a proko en ním p du drřlí na míst . Ochrana p edstavuje také opadová vrstva (obdobn mul ování rostlinného odpadu), bez ochrany vegetací je v-ak rovn fl vystav na erozi. Nejlep-í ochranu tak skýtá lesní porost, nejohrořen j-í jsou naopak velké lány obnařené orné p dy. V trolamy ze stavebních materiál (nap . kamenné zídky) nebo vysázené vegetace (strom , flivých plot), ale i meze i remízky (vzniklé za jiným ú elem) zkracují vzdálenost, na kterou m fle vítr nabírat na rychlosti a p sobit lavinovitý nár st v trné eroze. P sobí tak dokonce i zatravn né pásy (které postrádají výraznou vertikální komponentu) nebo st ídání obd lané a neobd lané orné p dy, r zných polních plodin (více a mén chránících p dní povrch) apod. Ochrana p ed zabahn ním p dního povrchu udrřuje schopnost p dy vodu p íjmat a sniřuje tak riziko povrchového odtoku. Vodní erozi dále sniřuje udrřování co nejmen-ího sklonu vodote í a zpomalení jejich toku: terasování svah (pomáhají i samotné travnaté pásy i meze kolmo ke spádnici), p ehrazení vodote í apod. Zpomalování men-ích tok a opevn ní jejich b eh ve svahitých terénech má tradici nap . v lesnickém hrazení byst in. D leřítá jsou také agrotechnická opat ení jako dodrřování tzv. konturové orby (brázdy sledují vrstevnice, nikoliv spádnice ó to druhé je daleko mén náro né, ale na svazích z hlediska vodní eroze vysoce riskantní). Obhospoda ování orné p dy by nem lo probíhat za p íli- vlhkých i suchých podmínek. V prvním p ípad dochází k zhutn ní p dy a vtla ené stopy po zem d lských strojích slouřlí jako erozní struhy. V druhém p ípad se p i rozbíjení p dních agregát uvol ují jemné ástice, které lehce podléhají v trné erozi.

2.3 Odlesňování a dezertifikace

S p sobením v trné a vodní eroze úzce souvisí dezertifikace, tedy p em na vlh ích biotop na polopou-ť a fl pou-ť a postup pou-ťí na jejich okrajích. Typický je posun Sahary na jih v tzv. Sáhelu - pásnu jejího p echodu na suchou savanu. Uvádí se, že b hem 50 let (cca. 1940-1990) narostla pou-ť v Sáhelu o rozlohu velikosti Somálska. Do budoucna je ohrožena t etina afrického kontinentu. Dal-í obzvlá- ohroženou oblastí je -ír-í okolí pou-ť Gobi v severozápadní ín (Vnit ním Mongolsku) a Mongolsku. Proces dezertifikace je asto spjatý s neúnosným vyuffíváním í ní vody na zavlařování, vysycháním jezer a jejich stoupající salinitou (jezero ad v Africe, Kaspické mo e a Aralské jezero v Asii), zasolováním p dy atd. Nar stající lidská populace, v postiflených oblastech zpravidla pastevci dobytka, se se svými domácími zví aty v obdobích sucha soust edí u napajedel a v jejich okolích postupn zcela ni í d evinnou vegetaci (listy slouffí domácím zví at m za potravu, d evo na otop). P flí-intenzivní pastva dobytka ni í vegeta ní pokryv. Ostrá kopyta ovcí a koz mohou ve v t-í mí e naru-ovat travní drn. Ve vlh ích podmínkách zase m fle se-řap vegetace a p dy skotem vést ke zhutn ní p dy (viz níře), v p ípad mokré p dy také k rozru-ení její struktury. P i velkoplo-ném odles ōování mohou být dezertifikací postifleny i oblasti, které jsou od p irozen aridních oblastí vzdáleny a jejichřl klimatické podmínky by umořl ovaly r st les a to dokonce i les velice vlhkých, jako jsou tropické de-ťné lesy (viz kap. 2.8). Hluboko zv tralé tropické p dy bez krytu vegetace rychle podřhají vodní erozi; zbývají vylouřované vrstvy minerální p dy s minimálním obsahem řivín. Erozní strouhy mohou dosahovat obrovských rozm r . Schopnost zadržlení vody prudce klesá, dochází ke zm nám klimatu dané oblasti ke klimatu su-řmu. Odles ōování je dnes p edev-řm problém tropických a subtropických oblastí. Historicky byly zasafeny velké řásti Eurasie a Severní Ameriky, kde dnes celková plocha les nar stá p esto i práv proto, že zde je provozováno intenzivní lesní hospodá ství. Kolem St edozemního mo e a na Blízském východ docházelo od starov ku k velkoplo-nému odles ōování (jedna z hlavních p í in byla výstavba velkých obchodních a vále ných lo stev ō od dob starých řek , Fění an i Kartaginč a íman p es italské m stské státy st edov ku nap . Benátky, Janov atd., po velké portugalské a řpan lské flotily raného novov ku). To vedlo mnohde k dezertifikaci i posílilo vznik krasových jev na vápencových horninách. Také Britské ostrovy p i-ly brzy o v t-řnu svých les . V novov ku postoupilo odles ōování i v severn j-řích řástech západní a st ední Evropy natolik, že vznikly velkoplo-né bezlesé pustiny s okyselenou p dou chudou na řiviny: v esovi-ť a řískové duny, a to nejen na mo ských pob řřích, ale také ve vnitrozemí, kde svým putováním ohrořovaly ornou p du i

lidská sídla. Lesy byly mýceny za účelem získání orné půdy, pastvin a luk. Zároveň bylo dřevem hlavní surovinou nejen jako stavební materiál, ale také jako zdroj energie a palivo. Lesy byly intenzivně využívány: často jako pastviny neboli nízký les s velmi krátkým obmětím, případně jako stěnný les, tedy s ponecháním několika výstřevů za účelem získání stavebního dřeva v určitém objemu; k tomu přistupovala lesní pastva dobytka (především skotu a prasat, na jihu také koz). S rozmachem sklenářství a hornictví byly vytvářeny i velké rozlohy horských lesů o sklářské hutě byly zakládány blízko zdroje, dřevné uhlí bylo ale také dopravováno na větší vzdálenosti; klády sloužily výrobě trámů k vyděvením dolů. Zároveň se však začalo rodit lesnictví jako hospodářský obor, který nemohl ve své náplni pouze těžbu, ale také obnovu a pěstění lesa. Trend úbytku lesů tak byl postupně v Evropě zvrácen, podařilo se dokonce zalesnit i válečné písky a vesoviště. Rozvíjely se ale monokultury jehličnanů, především smrku a borovice, na jihu Evropy také australských blahovičníků, tedy dřevin rychlého růstu a v případě jehličnanů také kvalitního stavebního dřeva.

2.4 Vliv půdní vody, zavlažování, odvodňování

V závislosti na klimatu (množství srážek a jejich rozložení v čase, teploty) a typu půdy dochází pomocí půdní vody k přeměňování látek v půdním profilu. Ve vlhkém (humidním a přehumidním) klimatu převažuje prosakování vody ať po podzemní vodě a přitom dochází k vyluhování iontů a přeměňování pevných částic a humusu a jílu do nižších vrstev. V suchém (aridním) klimatu naopak převažuje odpar vody z půdního povrchu a půdní voda stoupá k povrchu a odpařuje se, přitom se přitom na povrchu hromadí vysrážené soli. Především v terénních depresích tak vznikají solné pánve. K zasolení dochází za takových podmínek také při zavlažování. Na tuto skutečnost patrně doplatila řada lidských civilizací založených na zemědělství na zavlažované půdě, které v důsledku zasolení půdy nebylo trvale udržitelným (známý je například starověká civilizace města Ur v Mezopotámii a dnešním jižním Iráku). Katastrofální dopady mělo také velkoplošné zavlažování vodou z přítoků do Kaspického moře a Aralského jezera v dobách Sovětského svazu. Zasolení půdy lze při provozování zavlažování zabránit velmi jemným rozvodem a dávkováním vody jednotlivým rostlinám, tak aby přivedená voda byla beze zbytku přijata rostlinou.

Brání-li průniku vody nepropustné podloží, dochází k zamokření půdy hromaděním dešťové nebo melnou podzemní vodou. To je spojeno s vytlačením vzduchu z půdních pórů. Dochází ke vzniku oglejených a glejových půd (viz kap. 3.3). Za anaerobních podmínek jsou

redukovány sloučeniny železa a manganu. Takto jsou dobře rozpustné ve vodě a rozptýlí se ve vzdušné zóně. Dojde-li k vyschnutí, jsou opět oxidovány, stávají se opět rozpustnými a vysráží se: vznikají hrudky oxidu a hydroxidů železa a manganu. Anaerobní rozklad nevede k úplné mineralizaci organických látek, ale pouze k organickým meziproductům rozkladu a jejich hromadění (surový humus, rašelina). Rozklad a tím i remineralizace fluvin jsou také brzděny nízkou teplotou zamokřených půd, která snižuje rychlost chemických reakcí, a nízkým osídlením půdní faunou. Zemědělec i lesník se snaží zamokřenou půdu odvodnit a tím umožnit i usnadnit její zemědělské i lesnické využití. V případě rašeliny – k tomu slouží odvodňovací příkopy a případně vysázení dřeviny, které stanoví vyšší rychlostí zvýšenou mírou evapotranspirace. V ostatních případech se spíše pokládá drenážní potrubí napojené na menší vodoteč (potoky), často napájené, aby byl urychlen odtok vody do větších toků. Pro toto odvodnění či vysoušení pozemků se u nás zafířil pojem meliorace (z latiny, znamená zlepšení). Jedná se v podstatě o velice nepřesný výklad tohoto slova, protože zlepšení zemědělské (i jiné) půdy lze často dosáhnout jinými opatřeními, například hnojením, vápněním, opatřeními na zlepšení půdní struktury nebo také zavlažováním. V lesnictví se užívá pojem meliorace dřeviny pro dřeviny, které svými vlastnostmi, především složením svého listového opadu, zlepšují vlastnosti půdy (jedná se o náležející listná dřevina, například javory). Ekonomické výhody vysoušení zemědělské i lesnické půdy (které se pro hospodářské projeví vyššími sklizni kulturních plodin i dřeviny) mohou být také vyváženy a mnohdy převáženy ekologickými (environmentálními) i národohospodářskými nevýhodami: sníženým doplněním zásob podzemní vody, sníženou retencí vody a v tomto rizikem vyšší a rychlejší povodňových vln níže po proudu (v důsledku se značnými náklady na náhradu škod a protipovodňová opatření), v neposlední řadě také ztrátou vlhkých luk a mokřadních biotopů jako fluvotního prostředí mnohých dnes často vzácných a ohrožených druhů rostlin a živočichů.

2.5 Zhutnění půdy

V každé půdě dochází k přirozenému zhutnění atmosférickým tlakem a tlakem svrchnějších vrstev na ty spodnější. Proti tomu působí kypění půdy mrazem, prorůstáním kořínky a hrabavou činností půdních živočichů (bioturbace). S rostoucí mechanizací zemědělství a lesnictví však dochází k závažnému pokračování půdy jejím zhutněním či utužováním. Tato mechanizace se neprojevuje pouze častěji používaním zemědělských a lesnických

stroj oproti tažným zvířatům (v západní a střední Evropě dnes je to tak nejspíše pokračování práce koní při vyvážení dřeva z horského lesa), ale také vývojem a nasazováním stále větší a větší stroj.

Je-li půda zatížena, neprobíhá tato síla pouze v kolmici. Půda se pod tlakem snaží uhnout do stran. Dochází k plastické deformaci půdy, která z velké části pokračává i poté, co vertikální tlak pomine. Horizontální zhuštění často přesahuje to vertikální. Zatímco u normálně zhuštěných půd přibývá hustota s hloubkou, vyznačují se při zhuštění půdy tím, že hustota s hloubkou nenarůstá a někdy dokonce i klesá. Zhuštěním jsou postiženy hlavně velké póry, trpí tudíž schopnost půdy vodu pro sákem odvádět do hlubších vrstev; dochází k zamokření svrchní půdy. Významná je nejen redukce objemu pórů je přitom přerušování jejich kontinuity. Ztrácí se i schopnost hroty kořenek pronikat pouze do jím existujících pórů, teprve poté mohou kořeny laterálním směrem vyvinout tlak a chodit ku rozšíření.

Náchylnost půdy ke zhuštění je dána především její texturou a obsahem vody. Nejnáchylnější jsou půdy jemné zrnitosti a bohaté na jílu zvlhčené tak, aby byly tvárné. Při stoupajícím nasycení vodou náchylnost ke zhuštění opět klesá (voda v pórech vyvíjí protitlak), půda však ztrácí soudržnost a při mechanické zátěži (prokluzující kola, přelapující kopyta dobytka) dochází k jejímu hnutí. Tím dochází k destrukci podzemních pórů, především těch v hloubce. Mezi viditelné škodlivé dopady patří vznik hlubokých, zamokřených stop, v nichž klesá úrodnost půdy, a které mohou sloužit jako erozní rýhy; v lesích dochází k pokosení kořenového systému stromů pod trasou jejich dřevního stroje, zvyšuje se tím možnost houbových infekcí (hniloby). Vzniku závažných škod zhuštěním půdy lze zabránit vhodným nasazováním a jezděním s pomocí mechanizací na období, kdy je půda suchá a pouze mírně vlhká a především v lesích se také nabízí zimní období se zmrzlou půdou (tání, přemrzávání a odvoz dřeva). Čím je zrnitost půdy jemnější a její soudržnost nižší, tím je uhlí rozmezí podzemní vlhkosti, při které je riziko zhuštění malé. Protože k největšímu zhuštění dochází při prvních jezděních půdy, bývá výhodnější, když se stroj opakovaně pohybuje po stejné trase. Při lesnických pracích v jemnějších lesích lze tlak kol na půdu rozložit na větší plochu vystláním pojízdné trasy vrstvou chvojí (za stejným účelem byly vyvinuty i různé škoberce z umělých materiálů). Také se uhlivají co nejvíce a lehce podtlakované pneumatiky, případně se tlak rozkládá na vícero os.

Tradičním opatřením proti zhuštění země dřevské půdy je orba. Tou dochází k vytvoření prostor mezi podzemními agregáty, samotné agregáty ale mohou být za nepříznivých podmínek naopak dále zhuštěny. Významná se to projevuje v hloubce těsně pod dosahem radlice, kde se opakovanou orbou může vytvořit zhuštěná vrstva zadržující vodu. Tento problém nabyl na

závažnosti poté, co se začaly užívat traktory a začalo se orat do větší hloubky za účelem využití živin z větší části podního profilu (tzv. hluboká orba). Obecně vedou pěstování velmi těžkými stroji k zhuštění ve větší hloubce (40-60 cm) s obdobnými následky. V posledních desetiletích se v rostoucí míře uplatňuje polní hospodářství bez obracení půdy pluhem, pouze s omezenými a některými mechanickými zásahy (např. bránění k rozvolnění ztvrdlého povrchu) nebo zcela bez nich (bezorební postupy, angl. šno-tillage).

2.6 Acidifikace půdy

Přísun iontů vodíku (protonu) do půdy vede k okyselení neboli acidifikaci pokud dojde k vyerpání pufrovací kapacity půdy, resp. pokud rychlost přísunu převyšuje rychlost pufrace, a pokud zároveň dochází k odnosu iontů uvolněných do podního roztoku. Pokud naopak dochází k akumulaci iontů odpařováním vody a laterálním pítokem, dochází k alkalizaci půdy (zpravidla hovoříme o zasolení ovislé, a tyto pojmy nejsou zcela synonymní), při emfí půdy dosahují hodnot pH kolem 12. Pokud bychom se chtěli vyjadřovat velmi přesně, neměli bychom vlastně hovořit o kationtech vodíku či protonech (H^+), ale o oxoniových (starší výraz: hydroniových) iontech H_3O^+ (případně takto označujeme i dále hydratizované ionty $H(H_2O)_4^+$). Samotný proton totiž ve vodním roztoku neexistuje, protofe okamžitě reaguje, nejprve s molekulou vody (pozitivní náboj se ve vzniklém oxoniovém iontu přesouvá k atomu kyslíku) a bývá je-t dále obalen plátem dalších molekul vody, které mají z hlediska rozložení náboje charakter dipólu.

V půdě se nachází dva pufrovací systémy – i zón, které protony reverzibilně i ireverzibilně váží, a tím stabilizují jejich koncentraci v podním roztoku (uváděnou jako pH, tedy záporný dekadický logaritmus iontů vodíku i ve vodním roztoku oxoniových iontů). Pufrovací účinnost je dána pufrovací kapacitou a pufrovací rychlostí. První uvádí celkový počet protonů, které mohou být 1 kg dané půdy neutralizovány, druhá kolik jich je za určitou časovou jednotku skutečně neutralizováno. Látka, která působí jako chemický pufr, se v tomto procesu mění na kyselinu. Čím je slabší takto vznikající kyselina, tím větší je rozsah pH, ve kterém daná látka jako pufr působí. Pufrovací systémy v půdě na sebe z hlediska rozsahu pH, při kterém působí, více méně navazují, někdy se lehce překrývají (obr. 5). Ne každá půda však má k dispozici všechny pufrovací systémy; především může na kyselém podloží (na kterém pískovce, kyselá vyvěliny jako flula a rula, atd.) zcela chybět karbonátová pufrovací zóna.

pufrovací zóna (systém)	pH p dy	chemické reakce
karbonátová (uhli itanová)	6,2 Ě 8,6	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
silikátová	5,0 Ě 6,2	$[(-\text{SiO}_4)\text{Al}]^- + 4 \text{H}^+ + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{-SiOH})_4 + [\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$
kationtové vým nné kapacity	4,2 Ě 5,0	
hliníku	3,0 Ě 4,2	$[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+} + 15 \text{H}^+ + 21 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 [\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$
železa	3,0 Ě 3,5	$\text{FeOOH} + 3 \text{H}^+ + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$

Obr. 5: Pufrovací zóny i systémy v p d

Acidifikace je proces, který v p dách probíhá i p irozen . Ko ínky a p dní organismy dýchají a obohacují p dní vzduch i roztok o CO_2 , které reaguje na slabou kyselinu uhli itou. Rostliny také svými ko ínky vypou-t jí H^+ , aby se do roztoku uvolnily kationty flivín, které pak p íjmají. V pr b hu humifikace organických látek dochází k oxidaci bo ních et ze molekul, a tím stoupá po et kyselých funk ních skupin (karboxylové a fenolické hydroxylové skupiny). Tomu odpovídá uvol ování proton do roztoku. D je-li se tak v úzkém kontaktu s minerální p dou, dochází k jejich rychlé neutralizaci. V opa ném p ípad ó v surovém opadu i tlejícím d evu ó dochází k místnímu okyselení a fl o dv jednotky pH. Funguje zde pozitivní zp tná vazba: v kyselém prost edí získává rozklad houbami a humifikace navrch oproti mineralizaci (za kterou jsou ve v t-í mí e zodpov dné bakterie). Vegetace s p irozen kyselým a -patn rozložitelným opadem (jehli nany, v es) tento proces posilují. lov k tedy dlouhodob posiluje acidifikaci vy erpáním p d (vznik v esovi- , na kterých pastevcí ovcí zám rn odstra ovali nálety d evin, nap . b ízy) a vysazováním monokultur jehli nan . Daleko rychlejí a dramati t jí proces acidifikace byl v-ak nastartován pr myslovou revolucí spojenou se získáváním energie z fosilních paliv. Do ovzdu-í za alo být uvol ováno velké množství plynných emisí ó p eváfn oxidu si i itého a oxid dusíku ó a pevných ástic ó sazí a popílku. Pom ry neudrřitelné z hlediska lidského zdraví v pr myslových oblastech

(předešlým vznik tzv. kyselého, redukčního či londýnského smogu) byly vyřešeny především na vhodnější fosilní paliva (z hnědého a černého uhlí na ropu a posléze zemní plyn) především v případě vytápění domácností), zapojením jaderné a později alternativních energií (vtrněné, sluneční, geotermální), instalací filtrů na pevné částice u zdrojů a především v případě velkých zdrojů (promyslové výroby, elektráren a tepláren) výstavbou vysokých komínů k rozptýlení kyselých látek do atmosféry. Boj proti lokálnímu vzniku smogových situací byl v severní Americe a Evropě západně od řeky od úspěšně veden v 60. letech 20. století, východně se situace mnohem (u nás především v severozápadních částech i na Ostravsku) nepodařilo dovést do začátku 90. let. V číně a dalších zemích jihovýchodní Asie nastal tento problém později a stále trvá. Výstavbou vysokých komínů a odstraněním popílku (který byl spíše alkalický a vedl k částečné neutralizaci kyselých emisí) se však problém emisí SO_2 a NO_x pouze přesunul a z lokálního a regionálního se stal problémem kontinentální a celosvětový. Emitované plyny unášené (tzv. transmise) výškovými proudy především ve směru převládajícího proudění (tj. na severní polokouli především převládajících jihozápadních a v třech směrech severovýchodních) jsou v atmosféře absorbovány kapkami vody, resp. působí jako kondenzační jádra pro vodní páru, působením ultrafialového záření dochází k řadě chemických reakcí. Oxidy síry a dusíku se mění na kyseliny. Konečně dochází k vnosu (imisi) těchto látek do vrstvy atmosféry blízko zemského povrchu a jejich spadu (depozici) na něj. Zařídilo se přitom, stejně jako imise (vlastně unášené látky) označíme koncentrace látek v ovzduší (uvádíme hmotnostní jednotku nebo podíl molekul, například jako ppm, na objem vzduchu, zpravidla m^3 ; emise naopak zpravidla uvádíme jako látkové toky, tedy jako hmotnostní jednotku vypouštěnou zdrojem za jednotku času, zpravidla rok). Spad či depozici pak uvádíme v hmotnostních jednotkách na plochu (zpravidla v kg/ha). Rozlíšíme přitom mezi suchou a mokrou depozicí. Přímý spad prachových částic a adsorpci plyných látek označíme jako suchou depozici. Převažuje depozice mokrá, ke které dochází, pokud se látky rozpustí či vymyté srážkami (deštěm, sněhem, mlhou či rosou) dostanou na zemský povrch (plochu, vodní plochu, vegetaci). Pro mokrou depozici kyselin (zpravidla ve velmi zjednodušené podobě) se zařídilo označení kyselý dešť (angl. acid rain, něm. saurer Regen, přičemž pH nižší než 5,5, což je hodnota přirozené rovnováhy mezi atmosférickým CO_2 a CO_2 rozpustným v dešťové vodě; kyselá mlha dosahuje ještě vyšší kyselosti než kyselý dešť). V Evropě kulminovaly kyselé deště v 70.-80. letech 20. století. Roční depozice síry (obsažené v iontech SO_4^{2-}) se v pohybovala řádově do 30 kg na hektar, roční depozice dusíku (obsaženého v iontech NO_3^- a NH_4^+) dosahovaly obdobných, zpravidla o něco nižších hodnot. S nimi se objevil problém acidifikace povrchových vod a škoda na

lesních porostech ať po jejich odumírání. Acidifikace povrchových vod byla p itom obzvlá-
závařná v jifní Skandinávii, kde v t-ina depozice pocházela ze vzdálených zdroj v západní a
st ední Evrop a kvatické sedimenty a p dy na p evaflujícím kyselém podloří (rulách a
flulách) mají jen nízkou pufrovací schopnost. Lesy byly významn zasafeny i ve st ední
Evrop

(také na severovýchod USA a Kanady). V Kru-ných horách bylo pozorováno ch adnutí les
dokonce jifl od 40. let a koncem 20. století dosáhlo katastrofálních rozm r ó zde se
projevovala mimo jiné exponovaná poloha v blízkosti významných zdroj p edev-ím na
eské stran , ale také v sousedním N mecku a blízkém Polsku. Docházelo zde k spalování
hn dého uhlí s vysokým obsahem síry. Tzv. odsí ením elektráren a dal-ích velkých bodových
zdroj instalací odlu ova síry (áste n také odstavením star-ích z nich) do-lo k velice
významnému sníření emisí SO₂, a tím k sníření kyselosti de- . Nap . v západním N mecku
probíhal tento proces od 70. do 80. let, ve východním N mecku a esku ařl v 90. letech. Na
rozdíl od emisí oxidu si i itého se emise oxid dusíku p řli- snířít nepoda ilo a v sou asné
dob op t nar stají. Opat ení k odstra ování dusíku u zdroje jsou technicky pom rn náro ná
a finan n nákladná, provád jí se proto jenom v omezené mí e a s omezenou ú inností.
Krom velkých bodových zdroj jsou významným zdrojem emisí oxid dusíku spalovací
motory ó tedy p edev-ím automobilová a letecká doprava. Jedná se tedy o mobilní zdroje,
jejichřl p sobení je spí-e plo-ného charakteru, p i emřl ve velkých ástech sv ta dochází
k jejich nár stu.

Po-kozování lesních porost kyselými de-ti se d je jak p ímým p sobením na asimila ní
orgány, tak p es p du p sobením na ko enový systém. Vysoká vegetace p itom zachytává
více suché i mokré depozice, hovo íme o intercepci. Horské lesy p ímo vy esávají kapky
z mlhy ó oblak , které stoupají po horských úbo ích, ochlazováním vlhkého vzduchu p i jeho
stoupání zde také dochází ke zvý-ené etnosti a intenzit sráfek. Obecn proto bývá depozice
-kodlivin z ovzdu-í vy-í na lesních stanovi-tích neřl na stanovi-tích otev ených (polích,
pastvinách, loukách) a horské lesy bývají více postifeny i tehdy, kdy jsou vzdáleny od
významn j-ích emisních zdroj . Jehli naté porosty pak bývají postifené více neřl listnaté,
protořle asto rostou (resp. jsou vysazovány) v horách a na kyselém podloří, a také proto, řle
z stávají olist né i v zim , kdy je velký povrch jejich jehlic vystaven vy-ím koncentracím
t chto -kodlivin (v zimním pololetí se více topí a více svítí, takřle je spalováno více fosilních
paliv). U strom s hladkou k rou hraje podstatnou roli také stékání vody po kmeni (v daném
kontextu p edev-ím buku; významné m řle být i v tropech, kde p ispívá k vodní erozi p ímo u
kmene). P da v bezprost edním okolí kmen pak bývá více okyselená neřl v -ír-ím okolí.

A koliv se poda ilo škyselé emiseõ výrazn snížit, jejich negativní d sledky se projevují stále, a to práv vlivem acidifikace p dy, ke které jífl do-lo. V závislosti na vlastnostech p dy (p ítomnosti a kapacity pufovacích systém) a intenzit kyselé depozice tedy dochází k okyselení p dy. Po vy erpání jednoho systému klesá pH a nastupuje systém dal-í. Nacházíme-li se na p d dob e zásobené vápníkem, nap . na vápencovém podloflí, dochází k rozpou-t ní uhli itanu vápenatého a jeho vymývání, anifl by po dlouhou dobu docházelo k významné zm n pH. V silikátové pufovací zón jsou uvol ovány ionty hliníku, které jsou v-ak znovu vysráfleny nebo v rámci kationtové vým nné kapacity navázány na p dní koloidy. V rámci pufovacího systému kationtové vým nné kapacity vede zvý-ená koncentrace protonu (resp. oxoniových iont) v p dním roztoku k vytla ování kationt prvk , které slouflí jako d leflité fliviny rostlin (p edev-ím Ca^{2+} , K^+ a Mg^{2+}), z vazebných pozic p i povrchu p dních koloid . Vnesené anionty NO_3^- a SO_4^{2-} jsou absorbovány pouze slab . Dochází tak k vyplavování t chto flivin do podzemní vody. Po vy erpání kationtové vým nné kapacity nastupuje pufovací zóna hliníku a posléze i feleza. Dochází k rozpadu jílových minerál a uvol ování velkého množství iont hliníku (Al^{3+} , zpravidla v realit s plá-t m z 6 molekul vody jako $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$) a $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$). Volné ionty vodíku p sobí jako silný bun ný jed ó po-kozují ko ínky rostlin, a tím jejich schopnost p íjímat vodu a fliviny. P sobí také negativn na p dní faunu a mikroflóru. Zvý-ená koncentrace Al^{3+} je z hlediska negativních dopad acidifikace patrnl daleko významn j-í nefl zvý-ená koncentrace H^+ jako taková. Do roztoku jsou také stoupající m rou uvol ovány ionty t flkých kov jako Cd^{2+} , Zn^{2+} a Ni^{2+} , které mohou ve vy-ích koncentracích rovn fl p sobit toxicky, zároveň dochází k jejich vymývání. Olovo a m oproti tomu vytvá ejí i v kyselém prost edí stabilní komplexy s huminovými látkami.

K acidifikaci mohou p ísp t také emise pavku, které pochází hlavn ze zem d lské innosti, tj. chovu hospodá ských zví at a hnojení mo vkou a kejdou. V oblastech s velkou hustotou velkochov , p edev-ím prasat, mohou emise pavku p esahovat i emise NO_x a SO_2 . pavek sám je alkalický, v atmosfé e reaguje na $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a takto m fle neutralizovat de-ovou vodu. V p d pak dochází k nitrifikace amoniového iontu (NH_4^+), p i emfl jsou uvol ovány protony.

2.7 Eutrofizace p dy

Zatímco klasickým problémem zemědělství je vyerpání p dy, tedy p íli- velké ztráty flivin odnosem sklizní, erozí ornice a vymýváním, p ínesly emise dusíkatých slou enin do ovzdu-í (NO_x a NH_3) a jejich následná depozice problém opa ný - alespo pokud jde o dusík jako d leflitý, asto limitující makroelement. Atmosferická depozice v sou asnosti p edstavuje cca 12 % reaktivního dusíku vstupujícího globáln do suchozemských a pob efn -mo ských ekosystém (v n kterých regionech p edstavuje vy-í podíl, nap . v USA cca 33 %). V mnohých evropských zemích se pr m rná atmosférická depozice dusíku pohybuje kolem 20 kg na hektar za rok, místn jsou dosahovány i dvojnásobné i je-t vy-í hodnoty. Na zeměd lských p dách k tomu p istupuje hnojení, p í emfl dusík zpravidla p edstavuje jednu z hlavních složek hnojiva (viz 2.7). Problematika obohacování ekosystému fliviny o eutrofizace ó je známa p edev-ím u stojatých vod (zde hraje krom dusíku d leflitou úlohu fosfor), k eutrofizaci ale dochází i v mo ských a terestrických ekosystémech. V p ípad suchozemských ekosystém p sobí eutrofizace práv prost ednictvím p dy. Nejcitliv ji reagují spole enstva p izp sobená oligotrofním stanovi-tím, nap . ra-elini-t . Obohacení p dy dusíkem m fle také vést k její acidifikaci (viz kap. 2.5). P edev-ím p ehnojování, resp. hnojení ve -patný as a nevhodným hnojivem, vede k ztrátám dusíku do podzemní vody. Zde se nachází jako dusi nany (NO_3^-), ale také jako vysoce toxické dusitany (NO_2^-).

2.8 Vyerpání p dy ó hnojení

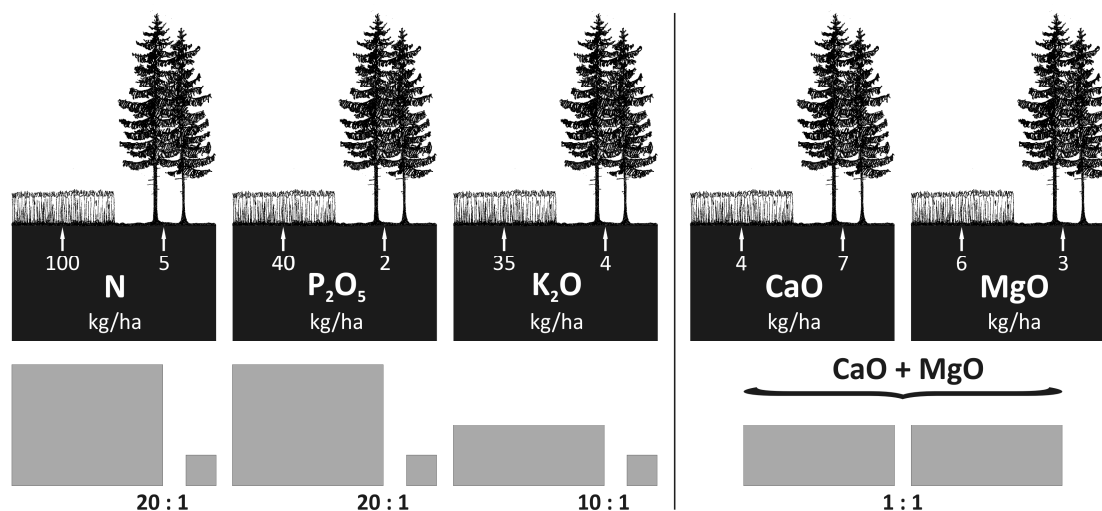
2.8.1 Ztráty flivin a faktory ovliv ující dostupnost dusíku

Jedna z ned leflit j-ích vlastností p dy je její úrodnost. ím je v t-í úrodnost p dy, tím je vy-í primární produkce stanovi-t (za p edpokladu p íznivých klimatických podmínek). lov k tuto vlastnost vyuffívá pro produkci rostlin: zeměd lských plodin, které mu sloufí za potravu, p ípadn jako surovina k jinému ú elu nebo produkci pícnin pro svá domácí zví ata nebo d eva jako jedné ze základních surovin. V pr b hu pedogeneze úrodnost p dy zpravidla stoupá afl po stabilizaci na ur íté úrovni. P í zeměd lském vyuffívání naopak klesá, pokud nedochází k náhrad flivin odebraných sklizní hnojením. Zatímco na hlubokých, úrodných p dách jako jsou ernozem je mofné po mnoho let úsp -n hospoda it bez hnojení, vede nedostatek hnojení na st edn úrodných afl chudých p dách k jejich rychlému vyerpání.

Úrodnost také klesá ztrátou svrchní, humózní půdy (ornice) erozí a při trvalém pěstování stejné plodiny jednostranným vyerpáním určitých živin. Pokles se ale při dlouhodobém obhospodávání může projevit i pokud jsme živiny v potrubném množství přidali. Patrně to je důsledek hromadění toxických i alopatických látek vylouvaných samotnými rostlinami a mikroorganismy nebo narušením rovnováhy v edafonu, ve kterém může dojít například k namnožení patogenních mikroorganismů. Ztráty živin z lesních ekosystémů dřevou dělá jsou mimo specifickou situaci v tropech (viz kap. 2.8) spíše zanedbatelné. Velké množství živin je zde v opadu, který se každoročně vrací na půdu a podléhá rozkladu, přičemž dochází k remineralizaci. Při dřevě v porostu zpravidla zůstává tzv. dřevní odpad (v tvé a vrcholky jehličnatých stromů), může ovšem docházet k jeho shrnování do valů a dokonce pálení, což je z hlediska rovnováhy navrácení živin půdě nevhodné. V dobách, kdy bylo krátké obmýtí, v tvé byly vysbírány jako topné dříví, lesy byly využívány k pastvě domácích zvířat a opad byl jako tzv. hrabanka shrabován a poufíván jako podestýlka do stájí a chlévů a následně k hnojení zahrádek a polí, však docházelo k daleko významnějším ztrátám živin, takže mnohé lesní půdy prošly významnou fází ochuzení. Obdobně může moderní využívaní dřevního odpadu jako alternativního zdroje energie (výroba dřevěného uhlí a topných briket) vést k významným ztrátám živin z hospodářských lesů. Než tomu bylo v posledních desetiletích. Srovnání ročních ztrát živin (ve formě, ve které byly měřeny) mezi obilným polem a smrkovým lesem ukazuje obrázek 6. Z toho je patrné, že na poli dochází sklizní k daleko větší ztrátě dusíku, fosforu a draslíku, zatímco ztráty vápníku a hořčíku jsou na poli a v lese prakticky totální. Podrobnější údaje o ztrátě živin v dřevě sklizně, resp. dřevě dělá (odstranění velké části biomasy) v polním a lesním hospodářství mírného pásma ukazuje tabulka 1. Na zemědělské půdě dochází k značným ztrátám dusíku, který je vyplavován do podzemní vody (tab. 2). Hlavní faktory ovlivňující obsah dusíku v půdě ukazuje obrázek 7.

Mikroorganismy, především bakterie, se podílí na fixaci atmosférického dusíku a na mineralizaci organicky vázaného dusíku. Bakterie volně žijící v půdě, například *Azotobacter* spp. a *Beijerinckia* spp., fixují za optimálních podmínek do 30 kg na hektar za rok. Symbiotické bakterie rodu *Rhizobium* fixují ročně zpravidla do 300 kg N na hektar, byly však zaznamenány i dvojnásobné hodnoty.

První krok mineralizace je amonifikace: proteolytické štěpení makromolekul (bílkovin, nukleinových kyselin, aminopolysacharidů) a následná desaminace.



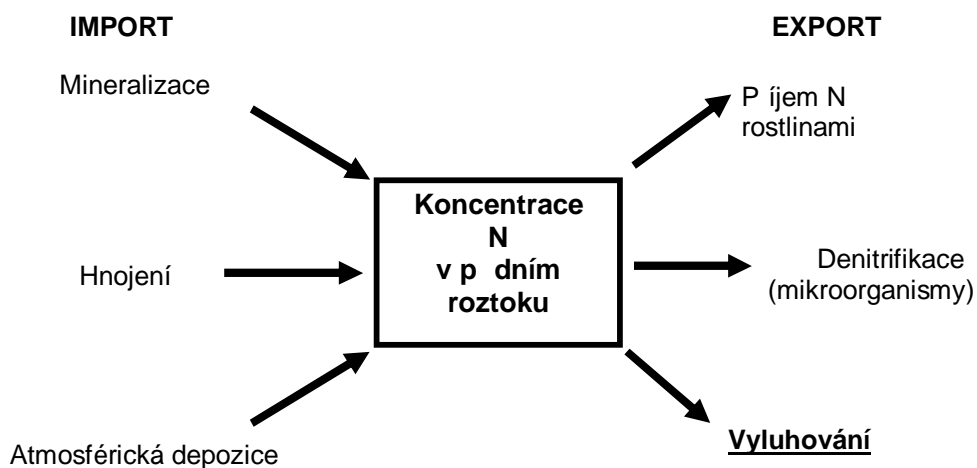
Obr. 6: Roční ztráty vybraných živin (v kg látky, jejíž obsah byl měřen) na obilném poli a ve hospodářském smrkovém lese.

Tab. 1: Průměrné ztráty živin (kg ha⁻¹ a⁻¹) v důsledku odstranění biomasy sklizní, resp. tříděnou, v závislosti na využití půdy, resp. plodin, v podmínkách mírného pásma.

kultura	N	K	Ca	P	Mg
vysetá louka	400	400	140	50	35
cukrová řepa	250	380	85	35	50
krmná kukuřice	230	200	50	38	30
přírodní louka (466 sečí)	220	290	90	35	25
mrkev	120	150	100	22	20
česnek	120	115	30	17	20
okurky	45	60	20	17	15
smíšený les	4	3	3,5	0,5	0,5

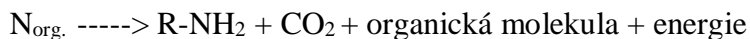
Tab. 2: Průměrné ztráty N (jako NO₃⁻) v závislosti na vegetačním pokryvu zemědělské půdy

	ztráta NO ₃ ⁻ na ha a rok	obsah v prosakující vodě
pole (orná půda)	206300 kg	206200 mg / l
travné porosty (louky, pastviny)	2610 kg	2610 mg / l



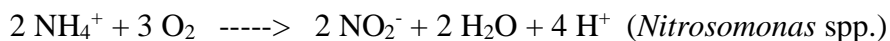
Obr. 7: Hlavní faktory ovliv ůující obsah dusíku v p d

Amonifikace:



Vhodné podmínky pro amonifikaci vládnou za st ední vlhkosti a vy—ích teplot (do 50 °C, nap . v kompostu). Za aerobních podmínek dochází k oxidaci amoniového iontu ó nitrifikaci ó rovn fl ve dvou krocích: v prvním na dusitanový (nitritový) iont a v druhém na dusí nanový (nitrátový).

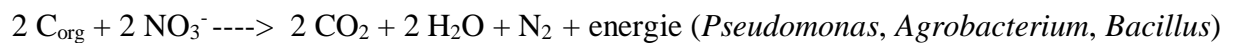
Nitrifikace:



Vhodné podmínky pro nitrifikaci p edstavují, krom p ítomnosti kyslíku, st ední vlhká p da neutrální afl lehce kyselé reakce a teplota 20-25 °C. V kyselých p dách a p i nedostatku kyslíku m fle naopak docházet k hromad ní amoniových iont . Na prvním kroku se podílí

p edev-ím chemoautotrofní obligátn aerobní bakterie rodu *Nitrosomonas*. Jako meziprodukty zde vznikají NH_2OH a NOH , které se chemickou cestou mohou p em nit na N_2O a uniknout do atmosféry. Druhý krok provád jí bakterie rodu *Nitrobacter*. Probíhá rychlejší nejl první a proto NO_2^- nacházíme v p dách pouze ve stopových množstvích. Rostliny dusík zpravidla p íjímají jako NO_3^- , který redukují na NH_4^+ a poufijí pro syntézu látek s obsahem dusíku. Za anaerobních podmínek (zamok ené p dy) dochází k denitrifikaci, tj. redukcí NO_3^- na molekulární dusík. Podílí se na tom hlavn heterotrofní bakterie, nap . rod *Pseudomonas*, *Agrobacterium* a *Bacillus*. Vhodné podmínky pro denitrifikaci nastávají p i neutrálním pH, teplotách 10-35 °C a vysokém obsahu dobře dostupného organického materiálu.

Denitrifikace:



Ne všechny bakterie redukují dusí nanový iont aíl na molekulární dusík. áste n vzniká také N_2O , prchlivý plyn, který uniká do atmosféry d íve, nejl m fle být dále redukován. Podíl této neúplné redukce stoupá s klesající teplotou a dostupností organických látek, klesajícím pH a stoupajícím obsahem dusí nan .

Nitrifikace a denitrifikace mohou probíhat sou asn ve stejné p d : zatímco ve velkých pórech m fle probíhat nitrifikace, m fle uvnit p dních agregát v men-ích pórech napln ných vodou docházet k denitrifikaci.

Vyluhováním dusík p estává být k dispozici pro výfiv roslin, zároveň dochází k ohrožení kvality podzemní vody. Hraní ní hodnota platná v EU pro koncentraci NO_3^- v pitné vod je 50 mg / l, což odpovídá 11,3 mg N / l.

Vymyté množství NO_3^- závisí na množství pr sakové vody a koncentraci NO_3^- v p dním roztoku. Ro n se jedná (podle klimatu a p dy) o 0ó600 mg NO_3^- / ha. Ve st ední Evrop dochází k vyluhování dusí nan hlavn v období listopadób ezen (rozlofení sráfek!). Klesá v závislosti na vegeta ním pokryvu p dy: úhor (bez vegetace) ó zeliná ské plochy, brambory, epa, kuku ice, víno ó travinné porosty ó les.

2.8.2 Hnojení p dy

Hnojení p dy má za cíl:

- dopln ní p irozených zásob flivin
- náhradu flivin ztracených v d sledku sklizn a uvoln ní do vody a atmosféry
- tím zachování a zlepšování úrodnosti a biologické aktivity p dy
- za ú elem optimální výflivy rostlin (vysoké výnosy vysoké kvality).

Aby m lo hnojení fládoucí efekt a p itom bylo ekonomické a etrné v í flivotnímu prost edí, je t eba p edevím dbát na aplikaci správného množství ve správnou dobu, tedy nep ehnojovat a hnojit tak, aby rostliny mohly uvoln né fliviny p ímo erpat. Riziková je proto p edevím aplikace hnojiv za átkem nebo b hem období vegeta ního klidu.

Tradi n jsou zem d lci uflívána **organická hnojiva** r zného druhu:

- statková (mrva, kejda, mo vka)
- kompost
- zelené hnojivo (zaorané rostliny jako lupina, jetel, epka, r zné traviny)
- istírenský kal

Rozklad organických hnojiv probíhá záporn exponenciáln : 50 % slámy se rozloflí za ty i m síce, 90 % afl za dev t let. Obecn platí, fle ím vyí je u organické látky hodnota pom ru C/N, tím pomalejí je její rozklad v p d .

Pom r C/N u vybraných organických hnojiv:

Kejda	2610
istírenský kal	5610
Kompost	10630
Mrva	20630
Sláma	706100

Kompost z organických odpad obsahuje relativn mén flivin, zato v ak má vysoký obsah organické hmoty se stabiliza ním ú inkem v p d . Jeho hodnota C/N má velké rozp tí podle

charakteru kompostované hmoty. Často bývá vyšší (cca 25), což vede k pomalejšímu rozkladu. Dostupnost flivin po aplikaci je horší, může dojít k dočasné imobilizaci N v mikroorganismech (ve kterém dostupný N je zabudován do buněk mikroorganismů, dokud nedojde k jeho opětovnému uvolnění po jejich odumření, není rostlinám dostupný).

Kaly z komunálních čistíren odpadních vod obsahují hodně flivin i stopových prvků, mohou být dobrým hnojivem. V tělna obsažených flivin se stává dostupná v krátkodobém až střednědobém horizontu. Při aplikaci velkého množství najednou mohou v půdě dočasně nastat anaerobní podmínky vlivem velkého obsahu vody (odvodování kalů je velmi nákladné, zpravidla dochází jen k částečnému vysušení), míra mineralizace je tím snížena.

Čistírenské kaly také mohou být kontaminovány těžkými kovy a persistentními organickými polutanty (např. PCB), proto se v rostoucí míře stávají nebezpečným odpadem ukládaným na skládkách.

Na lehkých půdách chudých na vápník i lehce kyselých může opakované hnojení kaly i kompostem zvednout pH o asi 1 jednotku.

Ztráta flivin je dnes často vyrovnávána **anorganickým ili průmyslovým hnojivem.**

Z hlediska ochrany flivotního prostředí je uflívání průmyslových hnojiv problematické hlavně ze dvou důvodů :

- těžba a přeprava surovin spotřebovávají/ničí krajinu, jsou energeticky náročné, vzniká zátěž dopravou (hluk, prašnost, emise kódlivin)
- výroba a distribuce jsou energeticky náročné, emise kódlivin je značná.

Anorganická hnojiva se používají jedno nebo vícetřídková, často je uflívána směs N, P, K (1 : 0,4 : 0,8). Dávkování je jednodušší než u organických hnojiv a fliviny mohou být rostlinám i mikroorganismům okamžitě k dispozici. Při aplikaci pomalu se rozpouštějících granulí lze také u nich zajistit pomalejší a dlouhodobější přísun flivin. Anorganická hnojiva, především fosfátová, mohou být také kontaminována těžkými kovy (jejich přísun na ornou půdu prostřednictvím hnojiv v případě Cd a Cr významně překračuje přísun aplikací kalů z čistíren odpadních vod).

2.9 Problematika vyuffívání tropických p d

P i pohledu na bujnou vegetaci tropických de-tných prales se vnucuje p edstava, fle rostou na úrodných p dách. Tato p edstava se traduje od dob slavného cestovatele a p írodov dce Alexandra von Humboldta (1769-1859). Snahy o p em nu tropických prales na zem d lskou p du v-ak byly a jsou z ídkakdy úsp -né. Zku-enost z mírného pásma, kde byla odlesn ním získána kvalitní orná p da, totiž v tropech zpravidla neplatí: vysoká primární produkce zde zpravidla není spjata s vysokým obsahem flivin v p d . Tropické klima se vyzna uje velmi vysokými sráfkami a teplotami. Vlhkost a vysoká teplota urychlují chemické reakce, které se podílejí na zv trávaní hornin a minerál ó p dní profil m fle být velmi hluboký. Vysoké úhrny sráfek p itom zap í i ují vymývání flivin ze svrchních horizont p dního profilu. Schopnost p dy vázat fliviny je p itom dána její sorp ní ili kationtovou vým nou kapacitou a obsahem organických látek, p edev-ím ve form amorfního humusu. Humus sám o sob obsahuje makrofliviny jako jsou dusík, fosfor a p edev-ím uhlík, zárove se ale významnou m rou podílí na sorp ní kapacit p dy. Dal-í ást sorp ní kapacity je dána obsahem tzv. p dních koloid ó nejmen-ích, tedy jílových ástic p dy. Jak molekuly humusu tak jílové minerály mají na svém povrchu p eváfln záporný náboj ó vznikají zde vazebná místa pro ionty s kladným nábojem ó kationty jako jsou Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . íd eji se na jejich povrchu nachází také kladné náboje, ty pak umo fl ují navázání aniont z p dního roztoku.

V tropickém klimatu je humus p ítomen pouze v horních 20-30 cm p dy, jeho obsah je p itom velmi nízký: v t-inou 162 %, maximáln 3 %. Teplota svrchní vrstvy p dy je zde totiž 28630 °C. P i nár stu teploty z 20 °C na 30 °C probíhá rozklad 4x rychleji. Zatímco úplný rozklad organické hmoty trvá v mírném pásmu roky, v tropech k n mu dochází za cca 9 m síc . P esto má humus ve svrchní vrstvě tropických p d hlavní podíl na celkové kationtové vým nné kapacit : 2 g / cm³ specifické hmotnosti. P i obsahu 40 % kaolinitu a 2 % humusu je podíl humusu na sorp ní kapacit dvojnásobný.

Rychlé zv trávaní minerální p dy totiž vede k tomu, fle se tropické p dy z hlediska zastoupení jednotlivých druh jílových minerálu výrazn li-í od p d chladn j-ích klimatických pásem. Mikrokrystaly jílových minerál se utvá ejí v pr b hu zv trávaní mate né horniny. Sestávají z vrstev oktaedr hydroxidu hliníku a z tetraedr oxidu k emíku.

R zné typy jílových minerál se li-í mimo jiné stavbou krystal . Zásadní je rozdíl mezi trojvrstvémi a dvouvrstvémi. Trojvrstvé jsou chlority, illity, vermikulity a montmorillonity. Nacházíme je p eváfln mimo tropické oblasti.

Trojvrstvá stavba: Si-O
Al-OH
Si-O

V tropických podmínkách naopak převažují kaolinity, které jsou dvouvrstvé. Je tomu tak proto, že vyluhování zasahuje také k emík (Si; představuje až 90 % minerálních částic v půdě). Obsah k emíku v půdě je tak snížen, vznikají tzv. fersialitické a feralitické podmínky slabiky Fe(r), si a Al přitom stojí pro příslušné prvky, které v těchto podmínkách převažují: železo, k emík a hliník.

Dvouvrstvá stavba: Al-OH
Si-O

Sorpční kapacita různých druhů jílových minerálů se liší o jeden až dva řádky, přičemž u kaolinitu je zdaleka nejnižší. Naopak pouze montmorillonity s nejvyšším počtem výměnných jednotek dosahují dolní hranice sorpční kapacity humusu (při srovnání množství stejné hmotnosti).

Počet výměnných jednotek na 100 g jílu a humusu:

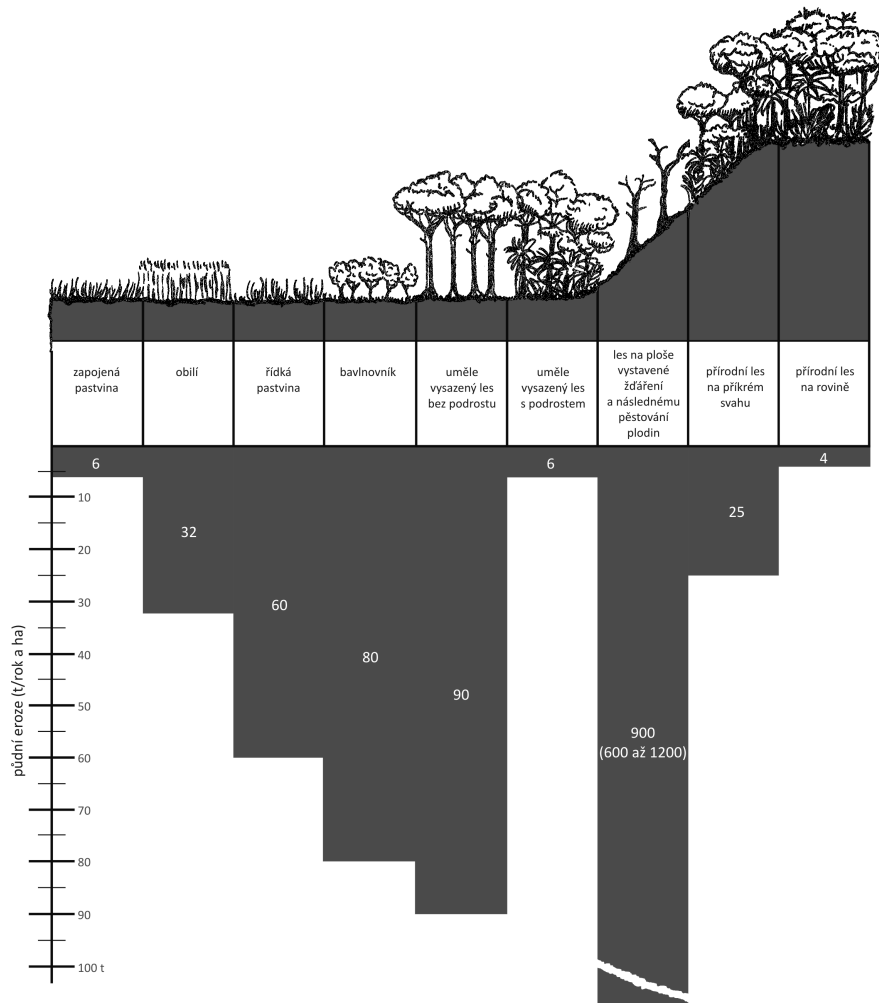
montmorillonity	806150
chlority, vermikulity	15640
kaolinity	3615
humus	1506500

Proč je tedy v tropech tak bujná vegetace? Skoro všechny živiny se nacházejí v živé biomase. Existuje zde poměrně koloběh živin od odumřelé k živé biomase, hovoří se dokonce o zkratu v tomto koloběhu. Odumřelé organismy a jejich části se rozkládají velmi rychle. Vegetace funguje jako filtr: tropické lesy se vyznačují výraznou patrovitostí, jsou zde mnohdy hojné epifyty, které zachycují odumřelou biomasu i rozpuštěné živiny dříve, než by se dostaly do půdy; kořenové systémy jsou koncentrovány v horních 30 cm půdy. Je dobře vyvinuta mykorrhiza, která funguje jako past na živiny (angl. nutrient trap). Vzhledem k vysoké vlhkosti prostředí nedochází v tropických deštných i mliňných lesích prakticky k přirozeným lesním požárům, které by vedly k úniku živin. Živiny se tak v ekosystému po staletí (100–200 let) akumulují. Také dochází k uvolňování živin z rychle zvládnutých hornin. Nachází-li se

tato hluboko pod povrchem, je otázkou, jak moc se tyto uvolněné živiny stávají rostlinám dostupné. Je však patrné, že čím chudší je matečná hornina, tím delší je doba regenerace vegetace po jejím narušení.

Tradiční způsob zemědělství v tropech je toulavý, pí emfl je zemědělská půda získávána klučením a fláčením (angl. slash and burn). Protože technické možnosti obyvatelstva bývaly a mnohdy stále jsou velmi omezené, jsou píitom často pokáceny pouze slabší stromy, zatímco ty větší stanou stát. Pokácená vegetace ale v daném klimatu navzdor srážkám rychle vysychá a po vyschnutí je podpálena, pí emfl pořfár zahubí i větší stojících stromů. Ohe stráví i část humusu, který se v půdě nachází. živiny ze spálené biomasy i pí dní organické hmoty jsou uvolněny do prostředí ve formě popela a ten, resp. mobilizované rozpustné živiny, jsou odnášeny větrem i vodou (povrchově i do hlubších vrstev pí dního profilu, pí ípadně až do podzemní vody). Zemědělské plodiny bývají vysazovány pí ímo na spálení a tak bývá dosažena zpravidla velmi dobrá první úroda. Ale již druhá sklizeň bývá často slabá a málokdy se vyplácí na daném místě setrvat déle než po dvou sklizních. V odkryté půdě vystavené intenzivnímu slunečnímu záření je urychlen rozklad zbývajícího humusu, ten bývá v době druhé sklizně rozložen. Pí ísun nového rostlinného opadu je malý, k regeneraci humusu nedochází. živiny byly ve velké míře vylouhovány a odplaveny, sorpční kapacita ztrátou humusu poklesla na minimum. Pí ípadně aplikace hnojiv tak zůstává bez většího účinku, protože půda není schopna živiny ve formě dostupné rostlinám v potřebné míře zadržet a tyto jsou ihned zase odplaveny. Paseky, které v tropických lesích za účelem zemědělství zakládají a brzy zase opouští pí ísluňící pí írodních národů bývají natolik malé, že jsou poměrně dobře chráněny před pí sobením větrem a získávají opad z okolního porostu a jejich regenerace je tak zdlouhavá, ale možná. Obdobně, ale na daleko větší plochách se mnohde postupuje za účelem získávání zemědělské půdy pro nepovodní obyvatelstvo, často pí esídlované z pí elidních oblastí (např. Brazílie, Indonésie), také ve spojitosti s třbou dřeva, získáváním pastvin pro skot i pí dy pro zakládání plantáží. Zde pak mnohdy nastupuje postupná, avšak rychlá degradace vegetace i pí dy o v pí ípadě vyuffívání pí dy pro pastvu hrozí až dezertifikace, vznik hlubokých erozních rýh atd. Míru pí dní eroze v závislosti na zachovalosti ekosystému tropického deštného lesa, resp. charakteru antropogenního vegetačního pokryvu a sklonu terénu ukazuje obrázek 8.

V tropech existuje pouze několik oblastí, kde pí írodní podmínky umožní užívat trvalé zemědělství a kde výše uvedené do značné míry neplatí. Pí edevším se jedná o vulkanické pí dy bohaté na živiny, např. v Indonésii na Javě a Bali (nikoliv ale např. na Borneu), nebo na Nové Guinei



Obr. 8: Míra p dní eroze v biomu tropického de-tného lesa v závislosti na vegeta ním pokryvu (zachovalý primární les a r zné typy zem d lského i lesnického využití) a sklonu terénu (rovina oproti p íkrému svahu).

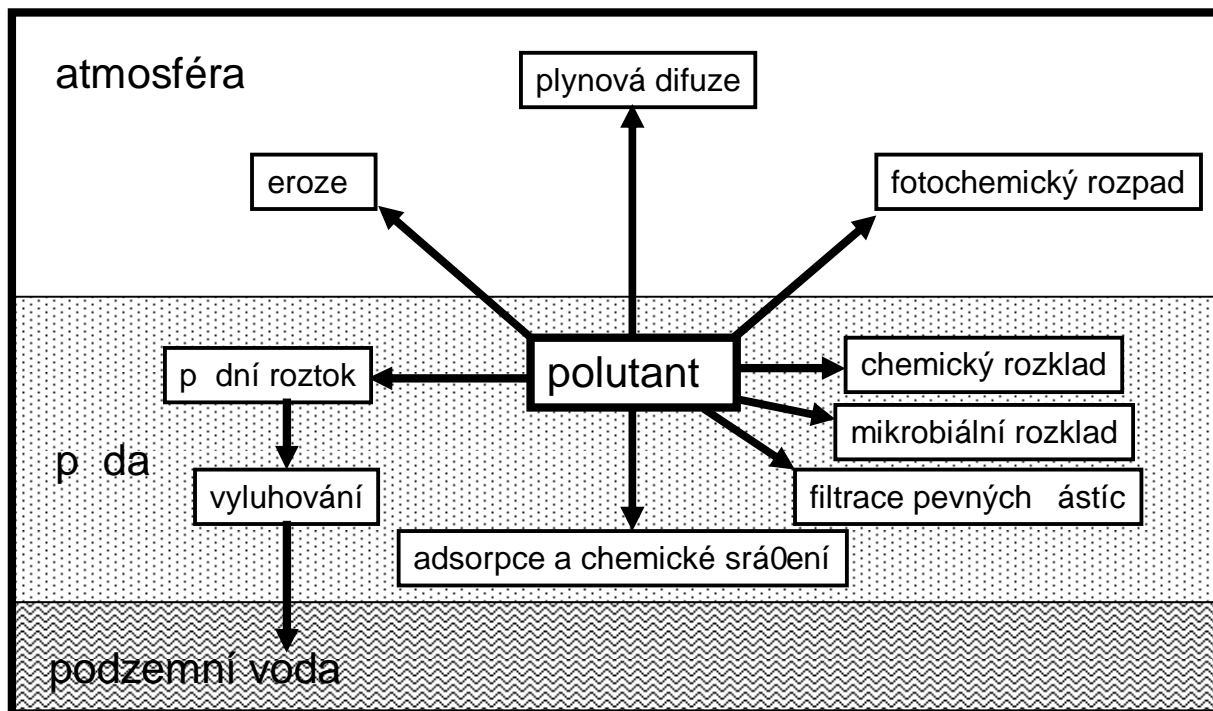
(zem d lství se zde ale p stuje hlavn v horských polohách, kde jsou klimatické podmínky navzdor zem pisné íce odli-né). Dále se jedná o záplavová území ek, které te ou z horských oblastí a pravideln sebou p iná-í sedimenty bohaté na fliviny. Mezi n pat í samotná Amazonka a dal-í tzv. bílé eky tekoucí v jifní Americe z And, jejich záplavová území, tzv. várzeas, jsou dlouhodob vyuffívány k p stování plodin. Naopak tzv. erné eky (nap . p ítok eky Amazonky Rio Negro), které te ou z níflinných pralesních oblastí, a jejichfl barva je d sledkem vysokého obsahu huminových kyselin, fliviny nep iná-í a jejich záplavová území, tzv. igapó, trvalé zem d lství nedovolují. V posledních letech ale zji- ujeme, fle v minulosti se na území Amazonie muselo zem d lsky hospoda it na v t-ích plochách a fle tehdej-í indiánské obyvatelstvo na-lo zp sob, jak úrodnost zdej-ích chudých p d výrazn

zvýšit. Portugalský název **terra preta do índio** označuje půdu, která byla uměle obohacena drtí dřevného uhlí, kostí a organickými zbytky a získala tím tmavou barvu (port. terra preta = černá půda) a značnou úrodnost (kromě dřevného uhlí jsou pro tuto antropogenní půdu typické nálezy středověkých nádob z kameniny). Dosahuje hloubku až 2 m a její vznik je datován na období 450 let před n. l. až 950 let n. l. Vedou se odborné spory o tom, jak dalece bylo vytváření této půdy záměrné a jak dalece vznikala pouze náhodně pod odpadovými jamami. Pokrývá ale mnohdy plochy kolem 40 ha a byly i nalezeny plochy výrazně větší rozlohy. Ponejmenším obdobně, avšak méně tmavá a tedy i méně úrodná **terra mulata** v okolí lidských sídel patrně vznikala skutečně se záměrem zvýšit úrodnost půdy. Obdobné půdy byly nalezeny také v některých dalších oblastech Jižní Ameriky a Afriky. Odhady celkové rozlohy půdy terra preta v Amazonii se pohybují mezi 0,1 až 0,3 %, což odpovídá cca 6 000-19 000 km² (nkte i auto i ale uvádí odhady až 10 % rozlohy). V současné době probíhají výzkumy, jak tuto metodu zdokonalit a využít k zúrodnění chudých tropických půd, především za použití tzv. biouhlí (angl. biochar) o jemnozrnného uhlí získávaného pyrolýzou za vysokých teplot a malého či žádného přísupu kyslíku ze dřeva a jiných organických látek.

2.9 Kontaminace půdy

Ke vnosu škodlivých či více méně toxických látek (polutantů) do půdy dochází do značné míry plošně atmosférickou depozicí a zemdělským provozem. Spíše bodové zdroje bývají úniky polutantů (velké jednorázové, i dlouhodobé plíživé) z dolů, průmyslových podniků, skládek odpadu, dopravních havárií apod. Nic mezi představuje kontaminace nívních půd škodlivinami v naplaveninách, především po velkých povodních. Znečištění půdy je vnována ze strany politiky, resp. zákonodárství, pozornost především z hlediska rizika pro lidské zdraví a možné kontaminace podzemních i povrchových vod. Závažný problém představuje posouzení skutečné škodlivosti naměřených koncentrací polutantů v půdě, resp. skutečného rizika, které tyto koncentrace představují pro člověka i přírodu. V zásadě se měří celkové koncentrace v půdě odebrané na místě a koncentrace ve vyluzích z půdy prováděné v laboratoři, případně úniky plyných látek z půdy (např. po zamoření ropnými produkty). Na vlastnostech konkrétní půdy včetně jejího vodního režimu záleží, jaký podíl případných polutantů (těžkých kovů, organických sloučenin atd.) je pevně vázán v půdě a prakticky neškodný, a jaký podíl je naopak mobilní a může být přijímán dny organismy, (kulturními) rostlinami, ve formě prachu vdechován člověkem i prosakovat do podzemní

vody. Pokud se z tohoto hlediska hodnotí, a proto je uvolňování obecně platných limitních hodnot problematické (v praxi však nevyhnutelné). Dostupnost a mobilita těžkých kovů je vyšší v podmínkách kyselých než neutrálních. Chování polutantů v podzemním prostředí schematicky znázorňuje obrázek 9.



Obr. 9: Chování znečišťující látky v prostředí

Obecně se uplatňuje princip, že se pokračuje k sanaci tímto opatřením tehdy a v takové míře, aby to bylo příznivé budoucímu uvolňování daného pozemku. Vzhledem k velké nákladnosti dekontaminace zeminy (může vyžadovat odhazení velkých objemů a jejich spálení za vysokých teplot, aniž by docházelo ve většině případů k emisi škodlivin do ovzduší) se často volí postup stabilizace daného podzemního tělesa (nebo například navážky kontaminované zeminy či skládky odpadu) pokrytím vrstvami nepropustnými pro vodu tak, aby nedocházelo k vymývání obsažených nebezpečných látek. V případě kontaminace ropnými látkami se také uvolňuje například použití bakteriálních kulturami se zvýšenou schopností tyto látky rychle rozkládat, tzv. bioremediace (z angl. bioremediation, případně phytoremediation je v britské angličtině v ochraně životního prostředí běžně označení pro to, čemu esky říkáme sanace či ozdravení, z lat. sanus = zdravý; remedy z angl. léčba, náprava, oprava).

Z hlediska atmosférické depozice stojí za zmínku především kontaminace polyaromatickými (přírodní: polycyklickými aromatickými) uhlovodíky (PAU, angl. PAH či polyaromatic

hydrocarbons) a polychlorovanými bifenyly (PCB). Polyaromatické uhlovodíky jsou často velmi těžké a k jejich depozici pak dochází i velmi daleko od zdroje a o obdobně jako v případě kyselých srážek o především na lesní půdě. Tyto PAU naopak mohou představovat kontaminaci přímo pod bývalými skládkami uhlí a koksů (kam se dostaly vyluhováním), nebo podél ulic a silnic (z emisí motorových vozidel). Přes ovzduší se ale do půdy dostávají i těžké kovy jako kadmium, chrom a hlavně olovo, při emisích k depozici dochází zpravidla blízko zdroje emisí (známá je kontaminace olovem v bezprostřední blízkosti ulic a silnic v důsledku důvěrně užívané přísady olova do benzínu). Podél cest také dochází k zasolování půdy solemi užívanými pro zimní posyp (o atmosférickou depozici se zde nejedná, v aridním klimatu však mohou být soli ze solných pánví a vyschlých solných jezer unášeny větrem na velké vzdálenosti).

Organické polutanty se do zemské půdy dostávají také a to ve větší míře o přes aplikaci kal z čistíren odpadních vod a vybagrovaných říčních sedimentů apod. Pokud jde o plošné působení v zemské půdě, podíváme se zde blíže na vliv pesticidů (k vlivu hnojiv viz výše). Aplikovaná množství jsou ve srovnání s hnojivy malá. V případě herbicidů představuje jedna aplikace 0,1 až 2 kg účinné látky / ha, v případě fungicidů 0,01 až 0,5 kg účinné látky / ha. Zpravidla dochází u obilí a polních plodin ke dvěma aplikacím různých pesticidů za vegetační sezónu. Možné vedlejší účinky jsou například toxické účinky na jiné než cílové organismy (včetně samotné ošetřené rostliny) nebo změny chemických vlastností plodiny. Výskyt a závažnost vedlejších účinků určují následující faktory:

- **persistence:** doba působení látky (je možná tzv. "carry over" o toxické působení na předešlou kulturu);
- **akumulace** aktivní látky nebo jejích derivátů (vznik rozkladem) v rostlinách a půdě, tzv. **residua**;
- **bioakumulace:** nashromáždění aktivní látky v potravním řetězci, resp. v určitých orgánech;
- **negativní vliv na užitečné organismy** (například na flóru nebo antagonisty škůdců jako jsou pavouci) a dekompoziční procesy v půdě; je předmětem ekotoxikologického posouzení.

Pesticidy se velmi liší z hlediska jejich odolnosti proti rozkladu. Orientační hodnoty uvádí podle Metcalfa (1969) tabulka 3. V případě šrozkladu prvku (olovo, měď, arzén) se patrně jedná o vyjádření jejich odnosu z dané půdy (vymýváním, podélní erozí a sklizní), případně jejich imobilizace. Moderní pesticidy jsou vyvíjeny i s ohledem na to, aby jejich rozklad a rozklad rizikových derivátů byl rychlý.

Tab. 3: Odolnost pesticidů v půdě proti rozkladu (Metcalf, 1969)

Druh pesticidu	Poločas rozkladu (roky)
olovo, měď, arzén	10630
insekticidy Dieldrin, BHC, DDT	264
herbicide Triazin	162
herbicide na bázi kyseliny benzoové	0,261
herbicide na bázi močoviny	0,360,8
herbicide 2,4,6D, 2,4,5,6T	0,160,4
insekticidy organofosfátové	0,0260,2
insekticid Carbaryl	0,02

Při posuzování negativních vedlejších účinků pesticidů se zohlední především tyto veličiny:

- produkce CO₂ v půdě (málo senzitivní vůči narušení, což je závažnější, pokud k němu dojde),
- množství mykorrhizy na kořenových systémech,
- populační hustoty vybraných půdních živočichů.

Při posuzování škodlivosti vedlejších účinků je třeba je porovnat s účinky zcela přirozených faktorů jako jsou zamokření, zmrznutí nebo mechanické narušení. V intenzitě půdních procesů a početnosti populací půdních organismů dochází v důsledku těchto faktorů ke značnému kolísání. Za zanedbatelné platí snížení měřených parametrů, které 30 dní po aplikaci nepřesahuje 20 % výchozích hodnot. Za kritické platí, pokud snížení je – za 60 dní po aplikaci dosahuje 85 %, resp. za 90 dní 70 %. Takového snížení dosahují fumiganty jako methylbromid (používá se například ke sterilizaci půdy v zahradnictví), herbicide širokou škálou účinností jako chlorpikrin a fungicide s obsahem rtuti.

3. Saprotrofní a fotoautotrofní potravní et zce v p d

3.1 Úvod do znázor ování trofických vztah

Potravní ili trofické vztahy mezi organismy lze znázornit jako potravní et zce, síť i pyramidy. Každé takové znázornění má svoje opodstatnění a klade důraz na něco trošku jiného. **Potravní síť** (angl. food webs, trophic webs) představují komplexní znázornění potravních vztahů mezi členy určitého společenstva (ve skutečnosti je často jak kvůli neúplné znalosti tak kvůli potěbné perspektivě zakreslit pouze předpokládané nejdivnější druhy i shrnout některé do vyšších taxonů). První publikovaná potravní síť (Summerhayes & Elton, 1923) se týkala společenstva organismů na norském ostrově Bjørnøya v Arktidě (do literatury vešel pod anglickým překladem svého jména jako Bear Island) a zahrnovala organismy suchozemského prostředí včetně, sladkovodních těles a mořského prostředí. Nebylo náhodou, že první pokus o popis všech trofických vztahů ve společenstvu se týkal Arktidy? Jednoduchá společenstva, jaká nacházíme v extrémních přírodních podmínkách, tento přístup výrazně usnadňují.

Oproti tomu je **potravní et zec** (angl. food chain, trophic chain) znázornění jednoho konkrétního sledu organismů, které se navzájem požírají: od prvního článku, který tvoří kořist, článku dalšího, a tak dále, až po konečného konzumenta, který se za života jen vzácně stane sám potravou (kořistí). Zpravidla je jako konečný článek znázorován tzv. vrcholový predátor, ale v podstatě by zde mohl být i nějaký parazit, parazitoid i dokonce hyperparazitoid. Ve velmi jednoduchém společenstvu takový potravní et zec může skutečně odrážet celou realitu, zpravidla se ale jedná pouze o jakýsi výsek z více i méně složitě potravní sítě, který v lepším případě ukazuje skutečně působící trofické vztahy mezi znázorněnými organismy. Takto znázorněný sled organismů odpovídá jejich odlišné trofické pozici (úrovni); k problematice zařazení konkrétního druhu na konkrétní trofickou úroveň viz níže. Než se vrátíme ke konceptu potravního et zce, vysvětlíme si v této souvislosti ještě jeden pojem, resp. způsob znázornění trofických vztahů: potravní pyramidu.

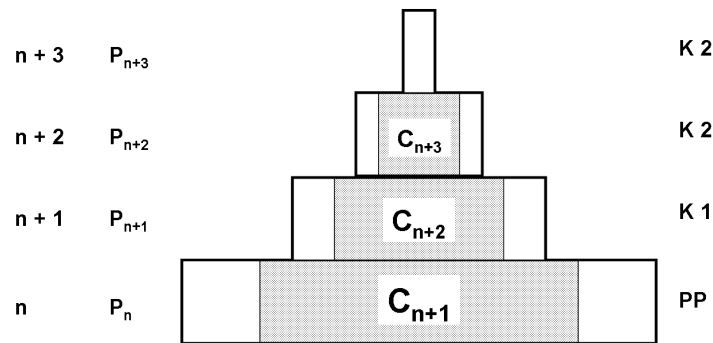
Potravní i trofická pyramida (angl. food pyramid, trophic pyramid) schématicky znázorňuje kvantitativní zastoupení jednotlivých trofických úrovní v daném společenstvu (biocenóze daného ekosystému). Klasická úběnicová potravní pyramida vychází z fotoautotrofních rostlin a primárních producentů na bázi. Nad nimi stojí jako tzv. primární konzumenti i konzumenti 1. řádu býložravci (fytofágové = herbivoři; podle toho zda se přikloníme k terminologii založené na staré řeštině nebo latině). Následuje jedna i více úrovní

sekundárních konzumentů, neboli konzumentů 2. řádu, 3. řádu atd. Jedná se o predátory (zoofágy), kteří se zase mohou stát kořistí dalších predátorů a tak dále, ať po predátory vrcholové (viz výše). Vzhledem k tomu, že konkrétní predátor může mezi trofickými úrovněmi šikákat (uloví-li dravec semenofravého ptáka nebo třeba hrabče, tedy konzumenty 1. řádu, vystupuje v pozici konzumenta 2. řádu, uloví-li hmyzofravého ptáka nebo třeba lasičku, je z něj konzument 3. řádu), je zařazení konkrétního druhu do určité trofické úrovně často problematické a představuje určitý kompromis. Konzumenta jakéhokoli řádu může představovat také všežravec (polyfág = omnivor), například divoké prase (pokud mofno, tak takový druh zařadíme podle toho, který typ potravy u něj převládá). Při znázornění výše popsané potravní pyramidy mnozí autoři nezahrnují saprotrofní organismy (včetně mrchofrotů a nekrofágů), protože nemají z hlediska potravních vztahů vliv na kvantitu základního článku potravní pyramidy (primární producenty). Zpravidla ani nejsou zahrnováni paraziti a parazitoidi. Jiní autoři tyto skupiny zahrnují, což ale často vede ke koncepčním nedělnostem. Ne všechny organismy zařazené na jednotlivých úrovních do potravní pyramidy musí být vzájemně provázány skutečnými trofickými vztahy.

Předpokladem pro vytvoření potravní pyramidy je tedy kvantifikace jejich úrovní a stupňů. Nejsmyslnější se zdá kvantifikace na základě biomasy, při které v různých typech ekosystémů vzniká skutečně tvar pyramidy nejčastěji na bázi (příbinném dvojrozměrném znázornění také trojúhelníku, binně se ale znázorňuje jako pyramida stupovitá). Pokud vycházíme z počtu jedinců (abundancí), nemusí tomu tak být: v lesním ekosystému je počet jedinců primárních producentů (zde především stromů) malý oproti počtu fytofágního a zoofágního hmyzu na vyšších trofických úrovních (naopak v případě vodních ekosystémů s významnou produkcí fytoplanktonu si pyramidy vytvořené na základě abundance a biomasy celkem odpovídají). Jak u biomasy tak u abundance je třeba hodnoty vztáhnout k nějaké plošné jednotce. Potravní pyramida také může být založena na hodnotách produkce (v jednotkách biomasy na plochu a čas).

Zúflování potravní pyramidy směrem k vrcholu je dané značnými energetickými ztrátami mezi jednotlivými úrovněmi: flivost za svůj flivot seflere mnohonásobek biomasy svého vlastního těla. Velká část potravy je vyuffita k získání energie, část této energie je ztracena ve formě vyzářeného tepla, část potravy je v transformované podobě oproti vyloučena (výkaly, moč, exkreta, svleky apod.). Ekotrofický koeficient udává, jaký podíl bezprostředně předcházející trofické úrovně je pozřen konzumenty příslušné úrovně, například ekotrofický koeficient úrovně K_{n+1} neboli $n+1$ se rovná C_{n+1} / P_n (obr. 10).

ím je v t-í primární produkce, tím m fle mít pyramida více pater, tedy vícero ád konzument . To také znamená, fle nejdel-í potravní et zce (absolutní délkou i pr m rnou délkou v rámci potravní sít) se vyskytují v nejproduktivn j-ích ekosystémech.



Obr. 10: Schematická potravní pyramida z primárních producent (PP) a konzument 1.-3. ádu (K1-3). K produkci (P_n a P_{n+3}) dochází na n a $n+3$ trofických úrovních (v levém sloupci). Rastrovaná plocha zna í ekotrofický koeficient, tj. podíl bezprost edn p edcházející trofické úrovn , který je poz en konzumenty (C = konzumace, angl. consumption).

3.2 Autotrofní a saprotrofní potravní et zce

Potravní et zec nám ale také sloufí jako model ó zjednodu-ení, pomocí kterého popisujeme ur itou realitu, totifl spole enstva, která se na základ svých trofických vztah zásadn li-í. V tomto kontextu se sice hovo í o potravních et zcích, ufvívá se v-ak jakási kombinace znázorn ní potravního et zce a potravní pyramidy, p i emfl se zpravidla uvád jí vy-í taxony za azené do jednotlivých trofických skupin, nikoliv jednotlivé druhy. Do ur ité míry synonymn se také hovo í o subsystémech (angl. subsystem, compartment) daného ekosystému (hovo íme-li o potravních et zcích, je v-ak jasn j-í, fle máme na mysli vztahy r zných trofických úrovní, naopak do subsystému ekosystému pat í také jeho abiotická sloflka).

Klasickým, nej ast ji uvád ným potravním et zcem je et zec, jehofl základ tvo í fotoautotrofní organismus jako primární producent (zpravidla zde hovo íme o rostlinách, pat í sem ale také r zné asy, a to nejen ty zelené, dále pak li-ejníky, fotoautotrofní prvoci a sinice ili cyanobakterie). V angli tin se tento typ potravního et zce nej ast ji nazývá šerbivore

food chainů, a koliv p i zahrnutí v–ech zapojených organism jeho základ nep edstavují býloffravci, ale fotoautotrofní organismy. V e–tin byl pro n j zaveden pojem **pastevn - ko istnický potravní et zec**. V zásad podobn vypadá potravní et zec vycházející z chemoautotrofních bakterií, cofl je vzácný p ípad p edev–ím n kterých hlubokomo ských spole enstev u hydrotermálních pr duch . Tyto potravní etezce jsou autotrofní - mají spole né, fle jejich základ tvo í flivé autotrofní organismy ó primární producenti. Tím se zásadn li–í od typu potravního et zce, který p evládá p edev–ím práv v p d a který vychází z mrtvé organické hmoty. Ta je zpravidla rostlinného p vodu, m fle se ale také jednat o trus a r zné exkrementy flivo ich nebo jejich mrvá t la (v p d jsou zastoupeny v–echny tyto prvky). Jeho snad nejvhodn j–í pojmenování je **saprotrofní potravní et zec** (tomu by odpovídalo angl. saprotrophic food chain).

Anglicky se nej ast ji uflívají pojmy detritivore food chain a detritus food chain (n kdy také saprovore food chain, cofl obsahuje ne– astnou kombinaci e tiny a latiny v jednom slov), emufl odpovídá esky detritivorní i detritový potravní et zec; jak uvidíme nífle, uflívá se také potravní et zec dekompozí ní. V extrémn j–ích p ípadech se jedná o potravní etezce spole enstev, která jsou specializována na zuffitkování trusu v t–ích zví at nebo mr–iny obratlovc . Zatímco oba základní typy autotrofních potravních et zc za ínají primárními producenty, kte í získávají energii a budují svou biomasu pomocí fotosyntézy i chemosyntézy, jsou na bázi saprotrofního potravního et zce organismy, které ve–kerou energii a fliviny získávají z mrtvé organické hmoty. Nemusí se p itom jednat o saprofágy (= detritivory, šsaprovoryō) v pravém slova smyslu, protofle se asto nejedná o flivo ichy ani jim ekologicky podobné heterotrofní prvky, ale o bakterie a houby. To vystihuje neutrální ozna ení šsaprotrofníō, tedy flivící se hmotou nacházející se v rozkladu. Více a více se ostatn ukazuje, fle flivo ichové, kte í p íjímají odum elou organickou hmotu, v t–inou nejsou schopni tuto ádn strávit (chybí jim k tomu pot ebná enzymová výbava). Pot ebné fliviny ve skute nosti získávají spí–e trávením bakteriálních povlak a pror stajících hyf hub, p ípadn pomocí symbiotických bakterií a prvok . V n kterých zobrazeních potravních et zc i pyramid lze najít na bázi šmrtvou organickou hmotuō, šhumusō i šdetritusō ó pak by ale nap . u suchozemských fotoautotrofních (pastevn -ko istnických) vztah musely být na bázi uvedeny fliviny z p dy (i jiného substrátu), oxid uhlí ítý z atmosféry a slune ní energie (jako zdroje pro fotosyntézu).

A koliv je saprotrofní potravní et zec z hlediska energie, která jimi prochází, velice významný (viz nífle), byla mu v ekologii, tedy mimo spí–e okrajový obor p dní biologie, historicky v nována pom rn malá pozornost a v eské odborné literatu e zde panuje zna né

zmatení pojmů . V Ekologický slovníku Jakrlové a Pelikána (1999) o jeho vydání byla svého času velmi záslužně zaplněna mezera z hlediska české odborné literatury o lze v rámci výše uvedených typů potravních sítí najít následnou definici: šp. . dekompozice, vede od odumřelých organické hmoty přes etné následné rozkladové (dekompozitory) až k mikroorganismům. Velikost se zmenšuje, počet vysoce zvláště. Dále zde lze najít definici tzv. dekompozice a zce: šp. enos látek a energie v procesu *dekompozice*; rozklad odumřelých látek od počátečních (iniciálních) rozkladačů (*dekompozitorů*), přes návazné další články až ke konečným (finálním) dekompozitorům, uvolujícím v konečné fázi dekompozice minerální látky. Důležitá práce (funkce) dekompozitorů, protože žádný druh organismu nemůže sám kompletně rozložit mrtvé tělo až na látky minerální. Viz *potravní sítě*.

Obdobný výklad jako v uvedeném díle lze najít i jinde. To, co je výše popsáno, však v obou případech není potravní sítí, ale sled organismů, které se podílejí na rozkladu (= dekompozici). Jistě by bylo možné tento sled nazvat dekompozicí a zce, nebyť toho, že slovo šp. *decomposición* nutně svádí tená k domněnce, že se o šp. *decomposición* jedná o šp. *decomposición* potravní, což nadto potvrzuje odkaz autora na příslušné heslo.

Potravní sítí vycházející z mrtvé organické hmoty takto tedy nevypadá. Jedná se totiž o **šp. *decomposición* popisující trofické vztahy, nikoliv o šp. *decomposición* popisující průběh rozkladu**. Jak bylo zmíněno výše, jsou jeho prvním článkem konzumenti mrtvé organické hmoty, kteří mají schopnost z této hmoty získávat živiny a energii. Jedná se tedy o konzumenty 1. řádu. Může se jednat o bakterie, houby (a sice hovoříme o mikroorganismech, ale toto označení v případě hub není příliš vhodné), tzv. prvoky, nebo pravé (vícebuněné) živočichy s potrubnou enzymovou výbavou. Pokud jde o nekrofágní živočichy o mrchofrouty, nelze se z tohoto hlediska nijak významně odlišit od predátorů. U saprofágních živočichů v užším slova smyslu (také je nazýváme detritivory, a zdaleka ne všechny jejich potrava má charakter detritu), je zde ovšem problém, že toho o jejich skutečné schopnosti trávit mrtvou organickou hmotou stále víme poměrně málo. Pokud k tomu vyvíjejí symbiotickou mikroflору uvnitř vlastního těla (ve své trávicí trubici i speciálních orgánech), tak to jim status primárních saprofágů budeme upírat (symbiotickou mikroflору mají i konzumenti dalších řádů a býložravci by bez ní také nebyli schopni života). Problém nastává, když se zdá, že vlastní mrtvá organická hmota (a se jedná o první spadlý list nebo o molekuly humusových látek později) prochází trávicím traktem bez změny až na to, že živočich strávil část přisedlých mikroorganismů. Pak totiž nejednou vystupuje jako mikrobiofág či mikrobivor (název bakteriofág má v biologii jiný, rozdílný význam, a proto se v daném kontextu příliš nevhodně, nadto nemusí

být potravou bakterie, může se také jednat o houby), a tím se stává konzumentem 2. řádu. Problém s trofickým zařazením tak máme dokonce u tak známých, probádaných a dobře známých druhů, jako jsou flířaly. Konzumenty 2. řádu jsou také mycetofágové (= mykofágové, fungivori). Zde se může jednat o typické druhy bezobratlé, které se živí například napichováním a vysáváním hyf (například hmyzenky a mnozí chvostoskoci), mnohé xylobiontní resp. saproxylické druhy bezobratlých (přede vším zástupce hmyzích řádů brouci a dvoukřídlí), které můžeme najít pod odumřelou kůrou, v tlejícím dřevě nebo v plodnicích dřevních hub), také samozřejmě druhy, které se živí a vyvíjí například uvnitř plodnic hub rostoucích na povrchu. Zajímavým příkladem jsou také mravenci subtropického a tropického rodu *Atta*, které do speciálních komůrek svých podzemních hnízd nosí úkrojky zelených listů rostlin, na kterých pěstují houbu, která jim slouží za potravu. Ekologicky tedy navenek působí jako býložravci (konzumenti 1. řádu fotoautotrofního potravního řetězce), z hlediska skutečně přijímané potravy jsou ale do značné míry mycetofágni, tedy konzumenti 2. řádu saprotrofního potravního řetězce. Konzumentem 2. řádu v rámci saprotrofního potravního řetězce může být ovšem také zoofágni druh ili predátor. Zoofágové pak představují všechny další trofické úrovně až po vrcholového predátora. Stejně jako u fotoautotrofního potravního řetězce zde velikost jedince s trofickou úrovní přibývá (a početnost i celková biomasa na každé úrovni naopak ubývá). Vrcholový predátor ostatně může být totálně s vrcholovým predátorem fotoautotrofního potravního řetězce například jestliže nebo jako domácí, když uloví kosa, známého lovce flířal.

Pokud bychom se zaměřili zvláště tzv. **parazitický potravní řetězec**, u kterého na hostitele navazuje parazit ili parazitoid a na něj hyperparazit ili hyperparazitoid, je třeba si uvědomit, že hostitelem může být například jakéhokoliv autotrofního ili saprotrofního potravního řetězce. Jedná se tedy o jakousi odbočku v rámci těchto potravních řetězců, přičemž se zde na trofických úrovních následujících po hostiteli velikost jedinců zmenšuje.

3.3 Význam saprotrofního a fotoautotrofního potravního řetězce v prostředí

Jak ukázali Heal a McLean (1975) na příkladu travinného ekosystému, přechází energie procházející saprotrofním potravním řetězcem ili subsystémem vícenásobnou, která prochází potravním řetězcem fotoautotrofním, ve významných veličinách (tab. 4; obr. 11). Při takto markantních rozdílech není důvod se domnívat, že by tomu bylo v dalších významných suchozemských ekosystémech jinak (pokud jde o ekosystémy vodní, tak například v

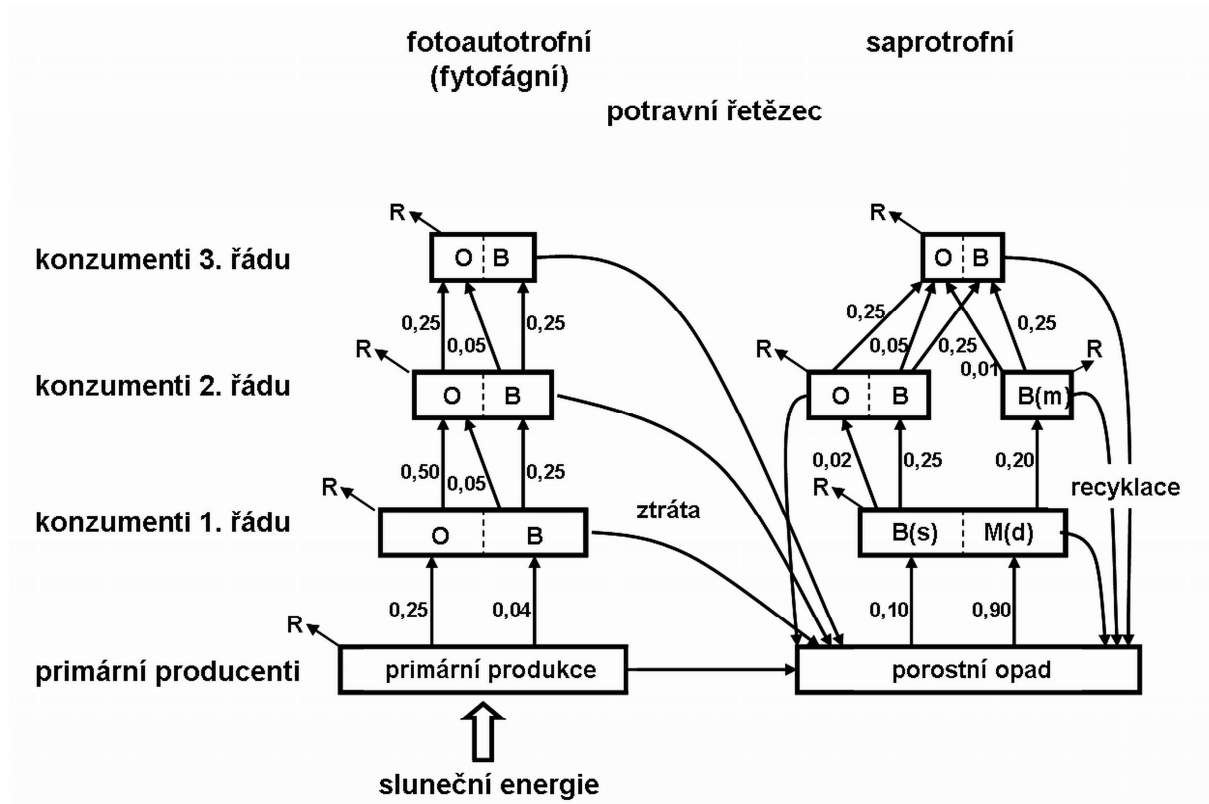
tekoucích vodách je tak malý podíl primární produkce, ale zde zcela převládá proudění živin a energie z terestrických ekosystémů; vodní toky tedy nelze považovat za samostatné ekosystémy, ale za součást povodí). Významnou výhodou saprotrofního potravního řetězce je skutečnost, že odumělá hmota vznikající v rámci řetězce se do systému vrací (je recyklována) zatímco pro fotoautotrofní řetězec znamená ztrátu (po mineralizaci do ní opět vstoupí živiny, nikoliv však energie obsažená v odumělé organické hmotě). O to více zarážející je, jak málo se tomuto saprotrofnímu potravnímu řetězci a podřadnému subsystému terestrických ekosystémů obecně vnuje pozornost jak z hlediska výzkumu tak z hlediska ekologických úvah. Zdá se, že lovčí jako švrcholový predátor fotoautotrofního potravního řetězce (a zde se pak skutečně hodí český termín špasevně-kořistič) i zde uplatňuje výrazně antropocentrický přístup.

Tab. 4: Vypočtené hodnoty příjmu potravy, produkce, respirace a vyměňování heterotrofních organismů ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) vztažené na $100 \text{ kcal/m}^2 \text{ roční}$ primární produkce travinného ekosystému (podle Heal a MacLean, 1975, ze Swift et al., 1979, upraveno).

		příjem	produkce	respirace	vyměňování
fotoautotrofní subsystém					
- fytofágové	obratlovci	25,000	0,250	12,250	12,500
	bezobratlí	4,000	0,640	0,960	2,400
- zoofágové	obratlovci	0,160	0,003	0,123	0,031
	bezobratlí	0,170	0,040	0,095	0,034
saprotrofní subsystém					
- saprofágové	bezobratlí	15,153	1,212	1,818	12,122
	mikroorganismy	136,377	54,551	81,826	.
- mikrobivori	bezobratlí	10,910	1,309	1,964	7,637
- zoofágové	obratlovci	0,041	0,001	0,032	0,008
	bezobratlí	0,648	0,155	0,363	0,130
celkem		192	58	99	35
% procházejících					
- fotoautotrofním subsystémem		15,2	1,6	13,5	42,9
- saprotrofním subsystémem		84,8	98,4	86,5	57,1

Většina mrtvé organické hmoty tvořící základ saprotrofního potravního řetězce je rostlinného původu a její rozklad se odehrává v půdě. Travinné ekosystémy (stepi, savany) se v tomto vyznačují obzvláště vysokými podíly velkých býložravců, takže zde je význam býložravých obratlovců patrně ve všech ekosystémech relativně nejvyšší. Proto zde také bude ve srovnání s jinými terestrickými ekosystémy nejvyšší podíl saprotrofního potravního řetězce přislušen společenstvu mrchofílů (včetně mikroorganismů a bezobratlých živočichů se mršinami obratlovců nebo lovců v tomto prostředí). Bude zde také obzvláště významný podíl

spole enstev druh vázaných na trus býložravců, tj. koprotrófních mikroorganismů, koprofágů a jejich predátorů (viz kap. 8).



Obr. 11: Jednoduchý trofický model srovnávající fotoautotrofní (fytofágní) a saprotrofní potravní řetězec i subsystémy travinného ekosystému (podle Heal a McLean, 1975, ve Swift et al. 1979; upraveno). O = obratlovci, B = bezobratlí živočišné, (s) = saprofágové, (d) = destruenti, (m) = mikrofágové (mikrobivori), R = ztráta respirací; jako porostní opad je zde chápána jakákoliv mrtvá organická hmota, která ve společenstvu (šporostuň) vzniká (včetně exkrementů, exkretů a mrtvých těl živočichů). Hodnoty u šipek udávají podíl předávaný z nižší úrovně na vyšší, tj. jednotlivé ekotrofické koeficienty ($= C_{n+1}/P_n$).

V lesích jsou v rámci saprotrofního potravního řetězce naopak významně zastoupena společenstva vázaná na rozklad dřeva, tj. saproxylická (viz kap. 7). Tento rozklad probíhá hlavně ve své poslední fázi, kdy dřevo již leží na zemi, a kdy dochází k jeho přeměně na organickou hmotu, rovněž v případě i v bezprostředním kontaktu s ní. Zcela v případě probíhá rozklad v těle odumřelých kořenů. Znamení část rozkladu dřeva se však odehrává povětšinou mimo vlastní prostředí, často ve výškových patrech porostu (zakleslé vyvrácené kmeny, stojící pahýly, stromové dutiny bez kontaktu s půdou, suché větve a větvičky v korunách apod.). Na toto nadzemní prostředí vázaná společenstva tzv. saproxylických druhů jsou také saprotrofní, velmi se však liší od společenstev podzemních. Určitá část rozkladu se

odehrává také v hnízdech pták (i jiných živočichů) ve stromech a jiné vyčnívající vegetaci a zde najdeme vláčky saprotrofního potravního řetězce. Především v tropických deštných lesích s výraznou patrovitostí porostu pak značná část rozkladu probíhá v akumulacích odumřelých částí rostlin a živočichů zachycených na rozsochách v kůvě, v trsech epifytických rostlin apod. Obvlastněme o zavěšených půdách (angl. suspended soils). Mnohé skupiny živočichů typické pro půdu, resp. její organickou vrstvu, jako jsou roztoči, chvostokoci a tříci, jsou silně zastoupeny také v hnízdech a zavěšených půdách (specifické prostředí představují také podzemní hnízda blanokřídlého hmyzu a termity nad i pod zemí, stejně tak i nory a chodby savců).

V půdě ale nacházíme i mnoho zástupců fotoautotrofního potravního řetězce. Zdaleka nejvýznamnějším zdrojem potravy pro býložravce zde představují kořeny rostlin (případně jejich zásobní orgány jako hlízy a cibule). Proto v půdě nacházíme z býložravců především gildu (cech) rhizofágů. Mezi hlísticemi je mnoho takových, které jsou dokonce označovány za fytopatogeny. Na rozdíl od hlístic se různé rhizofágní larvy hmyzu v půdě zdržují pouze do chvíle, kdy jim ale doba jejich vývoje výrazně přesahuje dobu flivota dospělce mimo půdní prostředí. Hospodářského významu dosahují především larvy některých kováříků (šdrátovců) a vrubounovitých brouků (šponravců), dále larvy některých nosatců, v Evropě především rod *Otiorrhynchus* a *Sitona*. Z tesaříků jsou rhizofágní larvy i dospělci kozlíků rodu *Dorcadion*. Významnými rhizofágy jsou larvy nočních motýlů čeledi hrotnokřídlcovití (Hepialidae). Především v travinných biotopech na kůlních sajíměch, které jsou v trofobiotickém vztahu s některými mravenci (ve střední Evropě například s mravencem drnovým *Lasius flavus*). V teplejších krajích mohou být významnými rhizofágy také larvy kříků, především cikád.

V nejvyšší vrstvě půdy se také nacházejí fotoautotrofní řasy, především řasovky, a sinice. Především na surových půdách lze od půdního prostředí také těžit oddělit porosty lišejníků a mechu, které se výrazně podílí na vytváření mrtvé vrstvy půdy. Na skalách, sutích a kůle stromů se lišejníky a řasami flívá například chvostnatka. Řasy jsou špásány (často napichovány a vysávány) také řadou roztočů a chvostokoců. Ve střední a západní Evropě se mechem a řasami v opadové vrstvě (ale také opadem jako takovým) flívá larva chrostíka *Eniocyla pusilla*, které na rozdíl od ostatních chrostíků neflívá ve vodě ale v půdě. Obdobně se flívá i některé larvy motýlů, například vakono-

3.4 Označení pro organismy podílející se na rozkladu organické hmoty

V pojmenování ekologických skupin organismů podílejících se na rozkladu organické hmoty panuje značná nejednotnost a nedělnost. Pojme si osvětlit, která označení, se kterými se můžeme setkat ve více či méně odborné literatuře.

Jako **rozklad** nebo **dekompozice** (z lat. základu, ang. decomposition) označíme rozpad a rozklad mrtvé organické hmoty chemicko-fyzikálními procesy (hydrolyza, oxidace, vyluhování), mikroorganismy a živočichy. Rozlíšíme rozklad za přítomnosti vzduchu (**aerobní**), který nazýváme **tlením** (angl. decay), a bez přítomnosti vzduchu (**anaerobní**), označovaný jako **hniloba** (angl. putrefaction).

Jako **rozkladači** a **dekompozitori** (angl. decomposers, n. m. Zersetzer; pojem dekompozice má latinský základ) jsou označeny organismy, které se živí mrtvou rostlinou a živočišnou hmotou. Jedná se o saprofágní (detritivorní) živočichy a saprotrofní mikroorganismy (včetně hub). Organismy, které odbourávají organickou hmotu a přeměňují ji v minerální látky (provádějí mineralizaci), jsou označeny jako **reducenti** a **destruenti** (angl. reducers). V užším slova smyslu jsou hlavně bakterie a houby, které provádějí skutečnou mineralizaci. V širším slova smyslu je toto označení ale používáno synonymně k rozkladačům. Označení za reducenty přitom není příliš přesné, protože (bio)chemické procesy, kterými k mineralizaci dochází, jsou v určitém oxidačním, nikoliv redukčním.

4. P dní organismy ó edafon

4.1 Úvod do p dních spole enstev

Spole enstvo v–ech organism v p d ozna ujeme také jako **edafon** (ec. a dle toho i angl. edaphon). Tento souhrný pojem se stále t –í zna né oblib v aplikované sfé e (zem d lství, lesnictví), která na jedné stran p iznává jeho velký význam pro úrodnost p dy, na druhé stran se souborem p dních organism ale zachází jako s jakousi ernou sk í kou, do které není vid t (a snad to ani není nutné). V dne–ní odborné literatu e, psané p edev–ím anglicky, se pojem edafon p íli–nepoufívá, nahrazují jej spí–ozna ení jako p dní organismy (angl. soil organisms) i p dní fliv na (angl. soil biota). D vodem je patrn obecn j–í srozumitelnost posledn jmenovaných ozna ení; oproti tomu má ov–em jednoslovné ozna ení jist sv j p vab. Edafon p edstavuje 1-10 % (suché hmotnosti) organické hmoty v p d . Tradi n edafon d líme na fytoedafon a zooedafon. Mezi **fytoedafon** adíme asy, sinice (cyanobakterie), dal–í bakterie v etn aktinomycet a houby. Obdobn se také uflívá pojem **mikroflóra**. Z hlediska taxonomického za azení, resp. dne–ního stavu poznání fylogenetických vztah mezi jmenovanými skupinami, se jak p edpona šfyoř tak ozna ení za šflóruř jeví jako p ekonané, nicmén se tato ozna ení nadále poufívají. Fytoedafon i p dní mikroflóra p edstavuje asi t i tvrtiny celkové suché hmotnosti edafonu. Rostliny mezi p dní organismy ili edafon tradi n ne adíme, a proto ani jejich ko eny, a pro flivot a procesy v p d nadmíru d leflité, nepo ítáme mezi fytoedafon. D vodem je jist p evaha nadzemních ástí v t–iny rostlin, p edev–ím pak jejich asimila ních orgán (velikost ko enového systému se ov–em asto podce uje), s kterými je spojena závislost na slune ním zá ení jako p edpokladu fotosyntézy. V p ípad vzácných saprotrofních rostlin by zahrnutí do fytoedafonu naopak bylo jist oprávn né, obdobn jako do n j zahrnujeme saprotrofní houby v . jejich nez ídka velkých nadzemních plodnic. Jako **zooedafon** ozna ujeme **p dní faunu** (angl. soil fauna, soil animals) v etn heterotrofních provok (šProtozoař). P edstavuje asi jednu tvrtinu celkové suché hmotnosti edafonu.

P dní organismy (edafon) lze klasifikovat (t ídit) na základ taxonomie, trofické pozice, výskytu z hlediska preferované p dní vrstvy (která vypovídá o mí e p izp sobení p dnímu prost edí) a flivotního cyklu, velikosti t la a ekologické funkce. Poslední dv hlediska jsou p ítom do ur íté míry provázaná. T íd ní podle taxonomie ili pozice v systému nevyfladuje dal–í vysv tlení ó bude (spole n se za azením do velikostních t íd) základem p edstavení jednotlivých skupin (vy–ích taxon) p dních flivo ich v dal–ích podkapitolách.

U trofických skupin je bohužel třeba uvádět jak označení odvozené z latiny tak označení odvozené od starověké řečtiny. Tak například označení detritivor (angl. detritivore) je sloveno z lat. *detritus* (dr., rozmělněný materiál, pouze v daném kontextu organický; –í jeji pojmato v ekologii znamená jakoukoliv mrtvou organickou hmotu) a lat. *švorareō* (hltať). Saprofág (angl. saprophage se vidí vzácně, saprophagous jako adjektivum jifl. –ast ji) je označení z ec. *šsaprošō* (hnijící, shnilé) a *šphageinō* (jíst). Názvy trofických skupin slovené z řeckých slov jsou tradičně preferované v evropské kontinentální literatuře. Jeden z důvodů je, že zaflitá latinská označení jsou často chápána úflejji, například herbivor by měl označovat požírače bylin (lat. herba = bylina; rostliny jsou jak známo plantae), nikoliv například požírače plodů (fructivor) či semen (granivor), pod carnivorem (masožravcem) si představíme –elmu, ale střílí ptáka nebo pavouka flivícího se hmyzem (insectivor) atd. Nicméně, označení odvozené z latiny jsou preferovány v anglosaské literatuře, a tím pádem také dominují ve světové odborné literatuře psané anglicky. Jeden z důvodů je patrně (jak uvedeno výše u pojmu edafon), že názvy odvozené ze staré řečtiny jsou chápány jako příliš nesrozumitelé nezastvenému tená i o p edev–ím americký autor tak dá zpravidla přednost označení jako je *šroot feeder* a *šroot feeding* (oproti *šrhizophage* a *šrhizophagous*).

Základní trofické skupiny zastoupené v půdě jsou:

- **primární producenti** (angl. primary producers) – oasy, fotoautotrofní prvoci, sinice,
- **reducenti** (angl. reducers; rozkladné procesy jsou však v t–inou oxidativní, nikoliv redukční) neboli **destruenti** (angl. destruenters –ak je neobvyklé) – o saprotrofní bakterie a houby,
- **saprofágové** ili **detritivoři** (angl. saprophages neobvyklé, detritivores): zahrnují mikrobiofágy ili mikrobivory (ti se dále d–lí na myko/mycetofágy ili fungivory a bakterivory ili bakteriofágy – druhý tvar je však preokupován pro viry, které napadají bakterie) a nekrofágy neboli mrchoflouty (angl. carrion feeders, scavengers),
- **fytofágové** ili **herbivoři** (p edev–ím rhizofágové a konzumenti jednobuněných fotoautotrofních organismů p i p dním povrchu), a
- **zoofágové** neboli **carnivoři** (angl. zoophages neobvyklé, carnivores b flné) – o masožravci, často také označováni jako dravci ili predátoři (angl. predators) – o pojmy nejsou zcela synonymní: zoofágové zahrnují i parazitoidy a parazity flivících .

len ní p dní fauny podle flivotního cyklu navrhl nap . Kevan (1962):

- permanentní: v-echny flivotní stádia se nachází v p d (praví p dní flivo ichové)
- periodická: p da je ast ji opou-t na a op t vyhledávána (nap . drobní zemní savci)
- áste ná: do asní p dní flivo ichové, kte í p du periodicky vyhledávají i b hem nadzemní fáze svého flivota (nap . chrobáci)
- st ídavá: jedna nebo n kolik generací flijících v p d se st ídá s jednou nebo více generacemi flijícími nad zemí (nap . flibatkovití, m-i ka révokaz)
- p echodná: v p d se nachází jen inaktivní stádia jako vají ka a kukly.

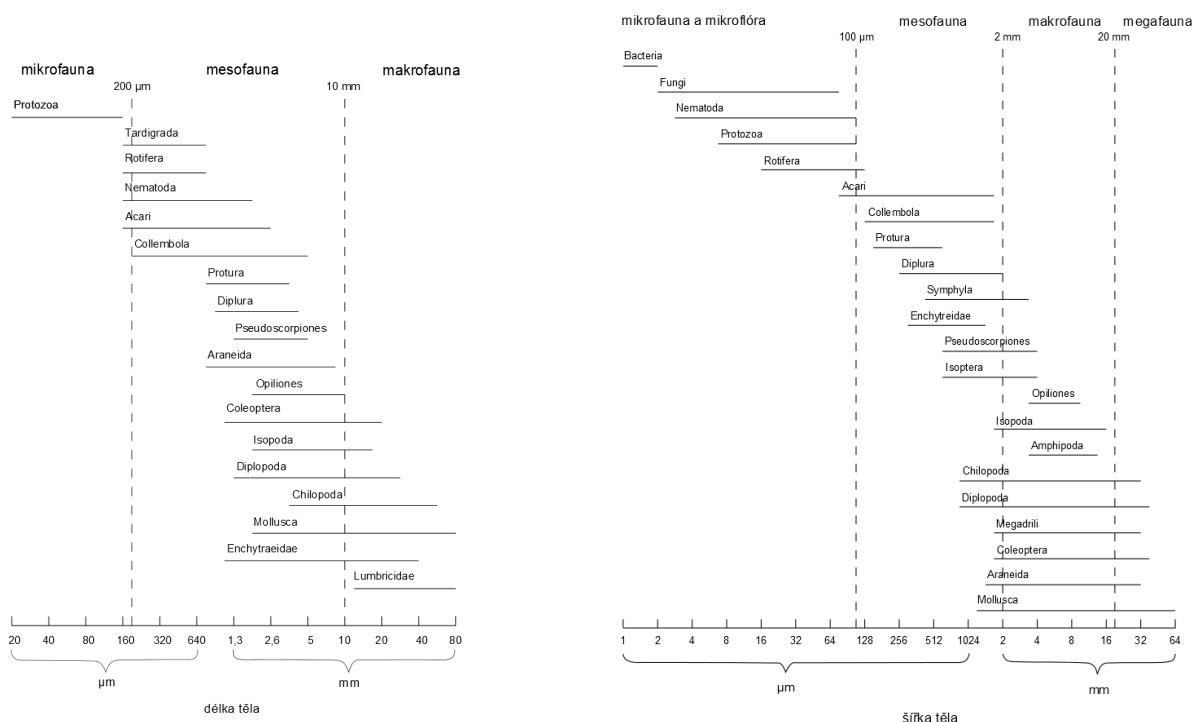
len ní edafonu na základ preferované p dní vrstvy má smysl p edev-ím u taxonomických skupin, které dýchají vzduch a mají své zástupce jak nad zemí tak ve v t-í hloubce p dního profilu. V rámci tohoto vertikálního gradientu tak na n p sobí soubor ekologických faktor , které se m ní do zna né míry soub fln : jak p echází do p dy a v ní do v t-í hloubky, zvy-uje se vlhkost a snižují teplota, objem p dních pór , míra sv tla (slune ního zá ení) a obsah kyslíku v p dním vzduchu. Tomu odpovídají flivotní formy charakteristické pro prost edí v ur ité ásti vertikálního profilu, které byly snad nejlépe popsány u chvostoskok , ale lze je dob e pozorovat také u rozto a larev dvouk ídlých: sm rem od nadzemní vegetace do p dy se zmen-uje velikost, dochází k redukci pigmentace a o í, jsou zkracovány kon etiny, ubývá odolnost proti vysychání a naopak p íbývá odolnost proti vy-í koncentraci oxidu uhli ítého (Dunger, 1983). Za azení do flivotních forem tak odráží funk ní vlastnosti druh (v sou asnosti tak moderní šspecies traitsö) a zna í, jak moc se flivot v p d špodepsalö na vzhledu, fyziologii a chování druh . To, co platí pro drobné lenovce obývající vzduchem napln né p dních póry, v-ak neplatí pro semiakvatickou faunu obývající p dní vodu ani pro velké p dní flivo ichy, kte í si razí vlastní cestu p dou (fliflaly a v t-í lenovce). Obecné len ní edafonu na základ výskytu v ur ité hloubce p dního profilu se tak jeví spí-e jako samou elné, a to p edev-ím i proto, fle je dost nejednotné, i pokud jde o definice kategorií stejných jmen. Zde uvádím pro srovnání (v p ípad rozporu p ekryv mezi uvád ěnými kategoriemi není úplný) krátké definice dle dvou ekologických slovník ó eského (Jakrlová a Pelikán, 1999; nífle ozna eno JaP) a n meckého (Schaefer,1992; nífle ozna eno Sch) ó a klasické odborné knihy o p dní faun n meckého autora W. Dungera (1983; nífle ozna eno D):

- **euedafon:**
 - stále flující v p d , geobionti (JaP)
 - flující ve v t-í hloubce (Sch)
 - fauna spodních vrstev p dy: celá akvatická p dní fauna a ást mesofauny (D)
- **hemiedafon:**
 - vyskytuje se ob as v p d (JaP)
 - v nejsvrchn j-í vrstv mineralní p dy a v opadové vrstv (Sch)
 - fauna svrchní vrstvy p dy a opadu: velká ást mesofauny, celá makrofauna a megafauna, v rámci poslední skupiny hlavn hrabavé formy; také obyvatelé podobných biotop mimo vlastní p du (D)
- **epedafon:**
 - fauna p dního povrchu s vazbou na p du a alespo ob asným pronikáním do její opadové a svrchní minerální vrstvy (Sch)
 - stejná definice, adí sem p edev-ím druhy makrofauny (D)
- **protoedafon:**
 - v p d flují jen ur itá vývojová stádia, geofilové (JaP)
- **pseudoedafon:**
 - ob asný výskyt v p d : úkryt, hibernace, získávání potravy (JaP)
- **tychoedafon:**
 - náhodný výskyt v p d (JaP); v angl. literatu e asto jako štouristsö, zde je t eba podotknout, fe se tedy o fládnou sou ást edafonu nejedná
- **epigeon** (epigaion, epigeic animals):
 - flíje na p dním povrchu (p ímo, oproti hypergeonu, který flíje na vegetaci), dle JaP v etn svrchí ásti p dy, podle Sch n kdy synonymn k atmobios, p i emfl atmobios zahrnuje v-echny organismy flující nad p dním povrchem v kontaktu s volnou atmosférou

lenení p dní fauny podle velikosti navrhla, resp. upravila, celá ada autor , cofl bohuffel op t vede k jisté nejednotnosti v uflívání jednotlivých kategorií. Zásadní rozdíl vzniká tím, zda je jako míra velikosti brána délka t la nebo tlou- ka (-í ka, pr m r) t la. Star-í len ní bylo zalofeno na délce (Wallwork, 1970; Bachelier, 1978), pozd ji se ale spí-e prosadilo len ní zalofené na pr m ru t la (Swift et al., 1979). Klasifikaci lze aplikovat na celý edafon, tedy i na mikroflóru. Uflitná hodnota d lení podle velikosti sestává mimo jiné v tom, fe p i studiu

p dní fauny pot ebuji r zn velké vzorky p dy, abych z nich získal údaje o jednotlivých skupinách organism dostate n vysoké vypovídací hodnoty (velcí flivo ichové jsou p ítomni v men-ích hustotách nejl malí, proto pot ebuji v t-í vzorky, z kterých by vyhodnocení drobné p dní fauny i mikroorganism naopak bylo nad lidské síly). Stejnou metodou odb ru vzork tedy postihnu p dní organismy ur íté velikostní kategorie. Také metodika pozorování i ur ování získaných exemplá zálelí na jejich velikosti ó ufl jenom podle toho zda a jaký typ mikroskopu k tomu je pot eba. Je jist uflite né, kdyfl pro tyto velikostní kategorie máme k dispozici n jaké obecn srozumitelné pojmenování. len ní podle pr m ru t la má ale je-t jednu velkou výhodu: daleko lépe nejl délka t la vyjad uje dostupnost p dních pór r zných velikostí pro daný organismus, tedy i prost edí, ve kterém se v p d vyskytuje, p ípadn zp sob, kterým se v p d pohybuje. Nejdrobn j-í zástupci jsou zpravidla vázání na úzké póry napln né vodou, st edn velcí se pohybují v pórech napln ných vzduchem a velcí p dní flivo ichové si razí p dou své vlastní chodby nebo se zdrflují pouze na jejím povrchu v listovém opadu, pod kameny a padlými kusy d eva. P edev-ím u p dních flivo ich výrazn protafleného, ervovitého tvaru t la (hlístice, krouflkovci, n které larvy hmyzu) je mezi délkou a tlou- kou t la obrovský rozdíl, takfle se dostávají i do pom rn malých pór . P i tradi ních len ních podle délky nadto v t-ina taxonomických skupin p dní fauny kon í v jediné kategorii (mesofaun , viz nífle), a takové len ní pak není p íli- praktické. Klasifikace na základ pr m ru t la tak má smysl jak po stránce metodické tak z hlediska autekologie druhu a jeho funkce v p d . P i obou p ístupech (podle délky i tlou- ky) jsou uflívány následné t i kategorie: mikrofauna/flóra, mesofauna a makrofauna. Nejv t-í zástupci p dních bezobratlých, nap . velké flíflaly, a p dní obratlovci jsou n kdy je-t odd lování do zvlá-tní kategorie ó megafauny. Srovnání obou p ístup k len ní podle velikosti v etn rozp tí jednotlivých velikostních kategorií ukazuje obrázek 12. Jak je i na t chto schématech patrné, máme sice ve zvyku jednotlivé taxonomické skupiny adit vfldy celé do jedné ze zvolených velikostních kategorií, ve skute nosti ale ásto p esahují z jedné do druhé. Je tomu tak kv li velikostním rozdíl m jak mezi druhy tak mezi juvenilními stádii r zného stá í (nap . instary hmyzích larev) a dosp lci.

Ur ítou kombinací za azení podle taxonomie a velikosti je ásto uflívané ozna ení pojmu **mikroarthropoda** (angl. microarthropods) pro skupinu drobných p dních lenovc . Zpravidla se pod tento pojem zahrnují rozto í a chvostoskoci (pat í sem ale podle velikosti a taxonomie p ínejmen-ím je-t hmyzenky, vidli natky a drobnu-ky).

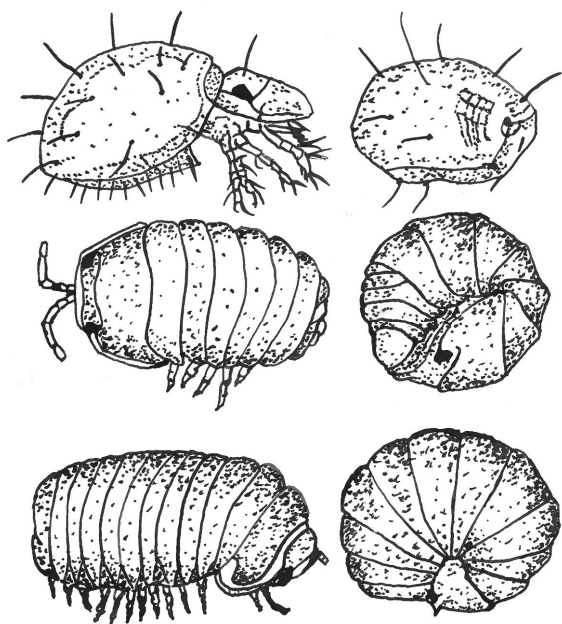


Obr. 12: len ní p dní fauny, resp. celého edafonu, do velikostních kategorií na základ délky t la (vlevo, podle Wallwork, 1970) a šířky t la (vpravo, podle Swift et al., 1979); ze Swift et al., 1979, upraveno).

4.2 Adaptace na život v p d

život v p d vede k ad adaptací. N které jifl byly zmín ny vý-e v souvislosti s len ním p dní fauny podle preferovaného výskytu v p dním profilu. Dal-í budou uvedeny u konkrétních skupin. Zde si ale narýsujeme základní trendy. V p ípad mikroorganism v této souvislosti snad má pouze smysl zmínit se o v t-ím zastoupení obligátn i fakultativn anaerobních druh ve v t-ích hloubkách, resp. tam, kde dochází k trvalému nasycení p dy stagnující vodou chudou na kyslík. U fotoautotrofních mikroorganism je pak jasné, fle pokud mají p eřívát v aktivním stavu v p d jinde, nefl na jejím povrchu, musí být schopny pohybu za sv tlem nebo p echodu na heterotrofní zp sob obřivny. U flivo ich lze pozorovat celou adu adaptací, nejlépe tehdy, kdyfl lze srovnávat p řbužné druhy, které se specializovaly na r zné p dní horizonty. Pokud jde o morfologické adaptace, lze u druh s p íbývající hloubkou výskytu v p d pozorovat tyto trendy: áste ná afl úplná redukce o í a pigmentace, zkracování kon etin a -t tin, protařlení t la, snířená míra sklerotizace exoskeletu. Fyziologické adaptace t mto druh m zase umofl ují p eřívát za niř-ích koncentrací kyslíku a vy-ích koncentrací CO₂ v p dním vzduchu i vod . Naopak u druh , které preferují flivot v nadlořním humusu, opadové vrstv , i dokonce pronikají do nadzemních pater ekosystému,

lze pozorovat výraznou pigmentaci, dobrý zrak, často dlouhé –t tiny i kon etiny (nap . bývá u t chto chvostok dob e vyvinuta skákací vidli ka, která byla u euedafických zástupc redukována) a silnou sklerotizaci. Sklerotizace je d leffitá i z hlediska fyziologické adaptace proti vysychání. Vysychání brání i sto ení do spirály i lépe kuli ky (volvace), poslední nacházíme u skupiny suchozemských stejnonofc , tzv. svinek (u nás rod *Armadillidium*) stejn tak jako u svinulí, tj. mnohonofek válcovitého, výrazn zkráceného t la. Podobn se do kuli ky mohou uzav ít i mnozí rozto i ze skupiny pancí ník (obr. 13).



Obr. 13: Volvace u pancí ník (nahoe), suchozemských stejnonofc ó svinek (uprost ed) a mnohonofek ó svinulí (dole). Podle Brauns (1968) v Topp (1981).

P edev-ím primárn vodní (semiakvatické) skupiny p dní fauny mají r zné typy anabiózy i anhydrobiózy k p e kání i dlouhodobého sucha (podobné platí i pro vodní faunu vysychavých vod). často (nap . u ví ník a fclvu-ek) se jedná o skupiny, které jsou aktivní práv v povrchové vrstv p dy a napojeného mechového patra, tedy v prost edí, které je riziku vysychání obzvlá- vystaveno. Díky schopnosti zde p e kat nep íznivé podmínky a po nastání p íznivých rychle op t p ejít do aktivního stavu získávají oproti jiné p dní faun významnou konkuren ní výhodu. V souvislosti s délkou kon etiny a –t tin jakofi i s pigmentací je vhodné upozornít na rozdíl mezi pravou p dní faunou a faunou v t-ích podzemních prostor ó jeskyní

(trogló-biontní fauna, angl. subterranean fauna). ŠV t-íõ zde platí z pohledu t chto fivo ich ó ukázalo se, fe mnohé druhy dlouho považované za vzácnou faunu jeskyní lze mnohdy i ve v t-ích po tech zastihnout v prostorách kamenných sutí, které jsou pro lov ka prakticky nedostupné (i metody sb ru jsou zde složitě). Troglobionti totiž ukazují n které znaky shodné s euedafickými druhy, jinými se naopak výrazn li-í: shodný je trend k redukci pigmentace a zraku, u troglobiont ale dochází naopak k protažení kon etin a hmatových t tin ó ve tmavém le pom rn prostorném prostředí sloufí k nahmatávání ko isti i jiné potravu i sexuálního partnera. V úzkých p dních pórech naopak jakékoliv p ív -ky p i pohybu p ekáfí.

V t-í p dní fivo ichové si nevysta í s pohybem existujícími p dními póry, mají-li proniknout do minerálních horizont , musí si prorazit cestu. K tomu sloufí p edev-ím válcovité t lo, které m fe být vystuveno hydrostatickou klostrou jako v p ípad íflal i larev tiplic (Diptera: Nematocera: Tipulidae). Válcovité a vyztuvené t lo najdeme také nap . u larev kova íkovitých brouk (šdrátovc ō), mnohých mnohonofek, a mezi obratlovci u bytostn p dních obojživelník (ervo i ó Gymnophiona) a plaz (Amphisbenidae, Trogonophidae, Typhlopidae).

fivo ichové spí-e epigei tí, kte í se p ed sv tlem a predátory i suchem ukrývají spí-e na p dních povrchu pod kameny i lefícím d evem, se vyzna ují spí-dorsoventráln zplo-t lým t lem (nap . v t-ina stonofek). Jedná se o dobrou preadaptaci také na fivot pod trouchniv jící k rou odum elých strom (u larev i dosp lc mnohých podkorních brouk nacházíme obdobný tvar t la).

V leh ích, p edev-ím píse ných p dách a píscích se naopak osv d ují hrabavé kon etiny ó v t-inou nacházíme roz-í ený první pár jako nap . u krtek , afrických zlatokrt i australských vakokrt mezi savci, nebo také u hmyzu jako u krtonofek (ne nadarmo podle toho pojmenovaných) a mnohých chrobák (zde sloufí pohybu v trusu, ale také jeho zahrabávání), k ís apod.

4.3 Vertikální rozmíst ní p dních organism

Jak jifl bylo nazna eno vý-e, li-í se mnohé p dní organismy z hlediska p dní hloubky, ve které se p ednostn nacházejí, p i emfl podmínky v jednotlivých p dních horizontech dávají vznik odli-ným fivotním formám. **Vertikální rozmíst ní** (angl. vertical distribution) v p d se li-í dle vlastností dané p dy. Jedno omezení výskytu do hloubky je dáno celkovou

mocností p dního profilu afl po nezv tralou mate nou horninu, p ípadn vrstvu nasycenou podzemní vodou (jejífl fauna se spí-e povafluje za vodní nefl p dní). Druhé omezení p edstavuje dostupnost potravy. Jako prvotní zdroje potravy p ítom slouflí mrtvá organická hmota (saprotrofnímu potravnímu et zci) a ko enový systém rostlin (autotrofní potravní et zec). Tam, kde jsou p ítomni konzumenti 1. ádu (primární saprofágové, resp. destruenti na stran jedné, rhizofágové na stran druhé), mohou existovat i jejich predáto i a paraziti.

flie dostupnost potravy p edstavuje omezení daleko podstatn j-í nefl samotná hloubka p dy, lze demonstrovat na p íkladu hluboko zv tralých tropických p d. Zde nestojí r stu ko en rostlin a pronikání p dních mikroorganism a flivo ich do velké hloubky v cest fládná fyzická p ekáflka (odhlédneme-li od zpevn né lateritové vrstvy v n kterých z t chto p d). P esto vede nedostatek mrtvé organické hmoty (humusu) v p d a tedy i nedostatek flivin k tomu, fle jsou jak ko enové systémy tak p dní organismy omezeny na velmi m lkou horní vrstvu.

V p ípad jednobun ných fotoautotrofních organism (as, fotoautotrofních bi íkove , sinic) je zásadním omezením také nedostatek sv tla v p d . Proto jsou aktivní pouze v nejsvrch j-í vrstv nebo jako rozsivky p í nedostatku slune ního zá ení p echází na heterotrofní zp sob obflivy. Mrtvá organická hmota se dostává do p dy p edev-ím s rostlinným opadem a je tudífl koncentrována p í p dním povrchu. Významný je sice také p ísun organické hmoty z exsudát flivých ko en , jejich odumíráních povrchových bun k a samotných odum elých ko ínk a ko en (vzniká tzv. **rhizosféra**, ve které se koncentrují p dní organismy), ko enový systém se ale vytvá í p edev-ím tam, kde rostlina nachází v p d dostatek flivin. Obecn proto platí, fle nejv t-í popula ní hustoty p dních organism a nejv t-í druhovou diverzitu nacházíme ve svrchní vrstv p dy, cofl zpravidla znamená v nadlofních organických horizontech (jsou-li p ítomny) a ve svrchních centimetrech humózní minerální p dy (horizontu Ah). Samotná p dní fauna p ítom velkou m rou ovliv uje hloubku, do které je p da humózní a tudífl osídlená, a to tím, fle p du obrací, resp. zatahuje organické zbytky do hloubky (hovo íme o **bioturbaci**, její dal-í pozitivní vliv p edstavuje rozvol ování a provdu- ování p dy). Z tohoto hlediska celosv tov nejd leflit j-í skupina p dních flivo ich jsou velcí krouflkovci ó flíflaly. Druhy flíflal, které zakládají více mén vertikální chodby (tzv. anektické flíflaly, viz nífle) p ítom zatahují listový opad a dal-í potravu do velké hloubky (zde jsou chrán ny p ed predátory pohybujícími se na p dním povrchu). V jejich chodbách, resp. podél nich, tak dochází ke koncentraci organické hmoty a tudífl i p dních organism ó vzniká tzv. **drilosféra**. V subtropích a tropech se na bioturbaci podíli také mnohé druhy termit . V n kterých p dách se mohou obdobn projevovat i velké larvy brouk a mravenci, p ípadn zemní savci ó hlodavci (p edev-ím ve stepních ernozemích).

Tam, kde chybí bioturbace makrofaunou (v Evropě tedy především na kyselých lesních půdách s chybějícími i nevýznamnými populacemi řířňů), vzniká surový humus a v tina rozkladných procesů i řivota p dních organismů se odehrává právě v n m.

Také lidská zemědělská činnost prohlubuje osídlený p dní profil. Zatímco na loukách a pastvinách se v tina drobnější p dní fauny soustředí v n kolika horních centimetrech půdy, na poli bývá p ítomna v pozoruhodných počtech i v hloubce n kolika desítek centimetrů. Obracením půdy orbou se dostává odumělá organická hmota do v tina hloubky a je zajištěn i p ístup vzduchu. Na druhé straně dochází touto činností k narušení p dních společenstev, p enesení organismů do hloubky, jejímř podmínkám není p ízpůsobena, a riziku zvýšeného vysychání horní vrstvy. Celkové hustoty p dních organismů tak mohou být navzdor v tina hloubce osídlení nízké.

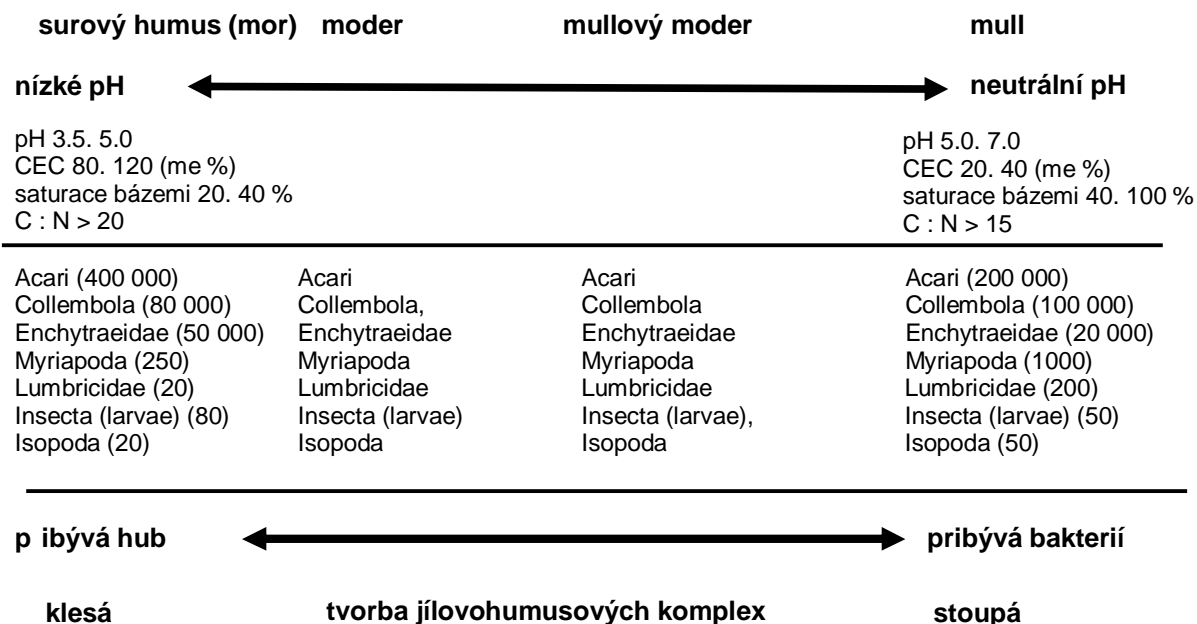
4.4 Prostorové rozmístění p dních organismů

Půda je z hlediska svých vlastností prostorově velmi heterogenní prostředí a to neplatí zdaleka jen pro vertikální gradient podél p dního profilu. P dní podmínky se mění také v ploše. I na více méně sourodé ploše se stejnou vegetací mohou podmínky v p d vytvářet pestrou mozaiku odlišných mikrostanoviř. P dní organismy jsou malé, a tak se jim prostředí jeví daleko homogennější nežli organismům v tina. Například může být v okolí jednotlivých kamenů z horniny obsahující uhlíkatý vápenatý zvýšené p dní pH, naopak na lesní ploše může být půda v okolí kořenových nářh více okyselená nežli ve v tina vzdálenosti mezi stromy. Za sucha může být půda v dosahu kořenových systémů stromů zase suchší nežli mimo n j (vyšší evapotranspirace). Tlející dřevina p dním povrchu nebo v p d (padlý kmen, pařez, větev, ale třeba jen tenká větevka) vytváří jiné podmínky, nežli nacházíme v okolní p d, půda pod v tina kusy dřeva například bývá vlhčí. Listový opad na p dním povrchu je pro p dní organismy řzně atraktivní podle toho, z jaké rostliny pochází a v jakém stupni rozkladu se nachází. Ostřvky zvýšené koncentrace řivin p edstavují místa, kde leřel na p dním povrchu trus nebo kde se rozlořilo mřtvé zvíře, a toto platí také pro trus a mřtvolky drobných p dních řivořich v p d (na menším prostorovém měřtku), p ítomnost řivých i mřtvých kořenů (konkrétních druhů rostlin) i opuřtých i uřřvaných chodeb p dní makro a megafauny. Mraveniřt i termitiřt mohou p edstavovat významné koncentrace řivin oproti okolní p d (ale také zónu smřti pro p ípadnou kořist tohoto sociálního hmyzu). Půda může být místně zhuřtná šast jina pohybem v tina zvířat (např. dobytka na pastv nebo stezkami zvíře v lese), v menších terénních depresích zamokřena apod. Z toho vřeho pramení, ře

nabídka vhodné potravy i fyzikálně vhodných podmínek pro život se v rámci plochy mozaikovitě mění. Tyto výrazné rozdíly na malém prostoru představují zásadní rozdíl oproti vodnímu prostředí, kde dochází k daleko větší homogenizaci podmínek.

Z výše uvedeného vyplývá výrazně shlukovitě rozmístění plošných organismů na ploše o **rozmístění horizontálním** (angl. horizontal distribution). Shluky plošných živočichů přitom mohou být jednodruhové nebo vícedruhové. Jednodruhové vznikají například v sledku aglomerace dospělých při rozmnožování, přítomnosti velkého počtu juvenilů i larev vyhlíhlých z jedné snůžky vajec, nebo preference pro určitý typ potravy, nebo shlukování za účelem aestivace (překání letního sucha) i hibernace (překání zimních mrazů). Příznivé podmínky z hlediska potravní nabídky nebo překání nepříznivých podmínek mohou ale také vést k shlukům jedinců několika druhů (logicky například přítomnost kořisti přitahuje lovce). Shluky různých plošných živočichů tak mohou být společné, ale také na sobě zcela nezávislé. Mikroorganismy se v prostředí samozřejmě nacházejí také ve shlucích a představují významný zdroj potravy pro mnohé plošné živočichy. Jejich studium je stíheno tím, že mnozí jedinci se nacházejí v klidových stádiích i tam, kde v dané chvíli nepanují pro ně příznivé podmínky, a při práci s plošným vzorkem, resp. kultivace mikroorganismů z nich, může dojít k jejich aktivaci. Výrazně shlukovitě horizontální rozmístění představuje závažný problém pro spolehlivou kvantifikaci edafonu na jakémkoliv studijní ploše (pochopitelně o to větší o čem je samotná plocha z hlediska vegetace a tedy heterogennější).

Na větším prostorovém měřítku se pak dají velmi výrazně, vznikají zejména gradienty faktorů, jako jsou plošné reakce (pH), vlhkost, textura, charakter listového opadu (například při přechodu z listnatého k jehličnatému lesu) nebo teplota (například ve vertikálním gradientu v horách). Jako v ekologii obecně se studium takových gradientů prostředí i v pedobiologii značně oblibilo, protože z nich lze odvodit řadu informací o ekologii jednotlivých druhů i celých společenstev. Základní rozdíly mezi plošnou faunou podél gradientu od kyselých prostředí se surovým humusem až po neutrální prostředí s mullovou humusovou formou ukazuje obrázek 14. Tento rozdíl úzce souvisí také s proměnou společenstva destruentů ze společenstva dominovaného houbami ke společenstvu dominovanému bakteriemi.



Obr. 14: Zastoupení p dní fauny v p dách podél gradientu p dní reakce (st ední Evropa); v závorkách jsou pro ob krajní polohy uvedeny průměrné roční hustoty jedinců na m²; CEC = kationtová výměnná kapacita (cation exchange capacity).

4.5 Výskyt a aktivita p dních organismů v lese

Také výskyt p dních organismů v prbhuasu není stabilní. P edevším v klimatech vyznaujících se vyhraněnou sezonalitou (roční období, období sucha a deště) lze očekávat výraznou odezvu z hlediska přítomnosti, resp. aktivity, p dních organismů a jejich početnosti. V dobách vyschnutí půdy i jejího promrznutí přecházejí p dní organismy do klidových stádií. Je-li půda prostředí v tomto smru pří- extrémní, vyskytují se zde pouze p dní organismy s velkou schopností nepřetržitě období přetrvat. Mezi ně patří kromě mikroorganismů a tzv. provoků především víčníci (anhydrobiosy) a hlístice, značně odolnost vykazují také některé roztoči. Sezónní závislost p dních organismů je ovšem výrazně menší než u organismů flujících v nadzemní části daného ekosystému, protože velmi tlumí výkyvy teploty. Je-li lepší izolací je snhová pokrývka, takže pokud dojde k dlouhodobému pokrytí půdy silnější snhovou pokrývkou dříve, než dojde k promrznutí půdy (holomrazy), mnohost p dních organismů pod snhem nerušeně pokračovat.

Organismy v klidových stádiích nebývají v t-inou metod k vzorkování p dní fauny zachyceny, získáváme tedy často informace p edev-ím o mí e aktivity studovaných skupin (zejména, pokud je získáváme n kterou z metod založených na únikové reakci i pozitivní fototaxi flivo ich ó viz kap. 6). Jsou naopak metody, které nám zachytí hlavn klidová stádia nebo schránky odum elých jedinc , jako nap . vymývání p dy (resp. flotace) k získání kukel hmyzu nebo ulit plfl . P í inou kolísání po etnosti není ale pouze p echod na inaktivní stádia, resp. do klidového stavu, a poté návrat do stavu aktivního (po etnost jako taková vlastn nekolísá, pouze kolísá aktivita). Dal-í p í inou je zvý-ená mortalita v d sledku zhor-ených flivotních podmínek, resp. naopak p i zlep-ení pom r zvý-ená natalita (líhnutí z vají ek, nepohlavní množení n kterých kroufkovc pomocí fragmentace apod.). Zvý-ená mortalita m fle být také d sledek antropogenních zásah : naru-ením p dního prost edí mechanickými zm nami jako orbou nebo zhutn ním, odvodn ním pozemku, aplikací hnojiv, vápna, nebo pesticid , kontaminací toxickými látkami apod. Jiné lidské zákroky, jako nap . aplikace organického hnojiva, mohou naopak vést k výraznému navý-ení po etnosti p dních organism . K poklesu studované populace (a naopak nástupu populace jiné) m fle také vést konkurence nebo predace, obzvlá- patrné to m fle být v p ípad invaze nep vodních druh (k invazním druh m p dní fauny viz nífle). Vlivy takovýchto faktor jsou práv astým p edm tem pedobiologického výzkumu. Práv proto je ale t eba je odli-it od p irozených fluktuací p dních organism .

Obzvlá- výrazné jsou p irozené fluktuace p dních populací u druh , které v p d tráví pouze ást svého flivotního cyklu. Odhlédneme-li od mnohých druh bezobratlých, kte í se v samotné p d i podobném prost edí (nap . trouchniv jících pa ezech a kmenech) skrývají jenom za ú elem p ezimování i vyhledávání denního (i naopak no ního) úkrytu, týká se to p edev-ím hmyzu s p dními larvami, ale flivotem dosp lc zna n odpoutaným od p dního prost edí. V dob kuklení dosp lc tak v p d náhle poklesá aktivita daného druhu a ve chvíli jejich líhnutí pak b hem krátké doby dochází k poklesu populace v p d , a to v extrému afl na nulu. P íkladem mohou být druhy s dlouhými vývojovými cykly, kdy jednou za as dojde k masovému výletu dosp lc , jako u severoamerická cikády *Tibicen septendecim*, jejífl vývojový cyklus trvá 17 let. Masové výskyty st ídané s lety velmi slabého výskytu nakonec známe i u na-ích chroust . V t-inou ale máme p ed sebou populace s víceletým vývojem larev, takfle se náhlý úbytek týká pouze nejstar-í generace, která byla p ítomna.

4.6 P dní mikroorganismy

4.6.1 P dní autotrofní organismy

U fotoautotrofních mikroorganismů se jedná se o řasy (preferují vlhká, stinná stanoviště), sinice (preferují osluněná stanoviště), lišejníky (preferují světlá stanoviště s nízkými srážkami) a fotoautotrofní bakterie. Mnohé z nich patří k pionýrům při osídlování surových půd (skal, písčinych dun, sopečného substrátu) a **podílejí se na zvětvování mateřské horniny a tvorbě půdy**. V křemíčitých horninách se řasy (např. rodu *Pleurococcus*) a lišejníky (např. *Rhizocarpon geographicum*) usídľují v jemných puklinách, nashromážděná voda se podílí na **fyzikálním zvětvování** mrazem. Zvýšením koncentrace CO₂ a vylučováním organických kyselin řasami dochází k **chemickému zvětvování** horniny (např. lišejníkové řasy rodu *Gloeocapsa* a na vápenci vytvářejí škrátery). V nejvyšších vrstvách půdy žijí i **rozsivky (Diatomaceae)**, které jsou schopny lokomoce a při nedostatku slunečního záření mohou přežít na heterotrofní obživu.

Některé sinice váľou atmosférický dusík. Volně žijící druhy fixují v řýflových polích ročně 30-50 kg N / ha. Dusík fixuje také např. rod *Nostoc*, který žije symbioticky u některých jätrovek.

Sloufří v živém stavu za potravu fytofágům, v odumřelém stavu saprofágům.

V půdách se také vyskytují některé **chemoautotrofní mikroorganismy**. Oxidují např. sloučeniny železa a síry. Při spotřebě organické části železohumátů se mohou podílet na vzniku ortsteinu.

4.6.2 P dní heterotrofní mikroorganismy

Heterotrofní mikroorganismy v půdách patří mezi houby (basidiomycety, kvasinky, plísň) a bakterie a do druhé skupiny dnes řadíme také paprskité aktinomycety.

Houby tvoří často antibiotika; v půdách žije mnoho zástupců rodu *Penicillium* (*P. chrysogenum* tvoří penicilin). Plísň jsou zastoupeny např. rodem *Mucor*. Basidiomycety svými hyfami prorostají především organické vrstvy půdy. Houby jsou hlavními rozkladači dřeva (tento rozklad však do značné míry probíhá nad zemí, tedy ne v půdách jako takové). Rozklad celulózy provádí např. *Fomes marginatus* a *Stereum* spp., zůstává hlavně lignin, typický je rozpad do kvádrů a polyedrů. Hovoříme o tzv. hnědém hnilobu. Rozklad ligninu

vede k tzv. bílé hnilobě : zůstává bílá celulóza, typická je vláknitá struktura. Provádí je například *Fomes fomentarius* nebo *Trametes versicolor*. U tzv. červené hniloby se vlastně jedná o hnilobu bílou (rozklad ligninu), ke zbarvení dochází vlivem látek vylučovaných houbou, která tuto hnilobu způsobuje (například václavky nebo *Armillaria* spp.).

Aktinomycety jsou zvláštní skupinou bakterií, která vytváří pseudohyfy (proto se připomínají houby, viz jejich jméno). Tvorbí antibiotika, které slouží potlačení konkurenčních mikroorganismů například rod *Streptomyces* (antibiotika: Actinomycin, Streptomycin, Erythromycin, Neomycin, Novobiocin, atd.). Rod *Frankia* žije symbioticky v kořenových hlízách rostlin, prospívá jim svou schopností vázat atmosferický dusík (například u *Alnus*, *Hyppophae*, *Casuarina equisetifolia*, *Ceanothus*, *Myrica*, *Dryas*, *Elaeagnus*, *Shepherdia*).

U ostatních **bakterií** stojí za zmínku také jejich podíl na koloběhu dusíku v etní schopnosti, v kterých z nich vázat atmosferický molekulární dusík. **Fixaci atmosferického dusíku** provádí jak volně žijící tak symbiotické bakterie, a to jak aerobní tak anaerobní. Ze symbiotických bakterií je třeba jmenovat rod *Rhizobium* (striktně aerobní) u bobovitých rostlin. Roční fixace v porostech bobovitých rostlin činí 100–300 kg N na hektar. Fixovaný dusík se prvotně dostává z 95 % jako NH_4^+ do cytoplasmy hostitelské (rostlinné) buňky. Volně žijící bakterie zpravidla fixují 163 kg N na hektar za rok. Za optimálních podmínek se ale pro rody *Azotobacter* a *Beijerinckia* uvádí roční hodnota do 30 kg N na hektar. Obzvláště efektivní je striktně aerobní rod *Azotobacter*, například druh *A. chroococcum*. *A. paspali* roste na povrchu kořenů trávy *Paspalum notatum*, *A. lipoferum* v rhizosféře druhu *Digitaria decumbens*. Mezi volně žijící bakterie podílející se na fixaci dusíku patří dále rod *Clostridium*, fakultativně anaerobní druhy *Klebsiella pneumoniae* a *Bacillus polymyxa*, i chemoautotrofní druhy *Xanthobacter autotrophicus* a *Alcanigenes latus*.

Ostatní druhy bakterií přijímají vázaný dusík. Některé rody se podílí na nitrifikaci, tj. převod z amoniového na nitrátový iont (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), jiné naopak na denitrifikaci a uvolnění molekulárního dusíku (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus*) viz kap. 2.7.1).

V podobě žijí jak bakterie bez spor, a to tyinky i koky, tak bakterie se sporami, a to anaerobní i aerobní (například *Bacillus*, *Clostridium*).

4.7 Mikrofauna

4.7.1 Prvoci (šProtozoaõ)

V p d flije velké množství jednobun ňých heterotrofních eukaryot, kterým zde pro jednoduchost budeme nadále íkat prvoci, a se jedná o seskupení fylogeneticky vzdálených organism . Probádanost této skupiny v p d je malá a do zna né míry omezená na n kolik zemí Evropy. Alespo p i morfologickém studiu (tedy bez nasazení molekulárn - biologických metod) se zdá, že v t-ina druh s výskytem v p d se zároveň vyskytuje i ve sladkých vodách (kde byly prvoci daleko d kladn ji studováni). I v p d jsou prvoci zásadn vázáni na vodní prostředí, a jím vzhledem k malé velikosti t la (bu ky) sta í tenká blanka i vodou napln ná p dní kapilára. Men-í dostupnost vody, ale také velikost jejich t la, limituje: totofné druhy jsou v p d o hodn men-í nejl ve vodních t lesech (nap . nálevník *Colpoda steini* dosahuje ve vod 30660 m, v p d pr m rn jen 18 m; Dunger, 1983). V p d nacházíme jak prvoky lezoucí po podkladu tak voln plovoucí. Stejn jako ve vodních t lesech se fliví detritem, bakteriemi, asami, jinými prvoky a ví níky. Schopnost encystace jim umoŕuje p etrvat vyschnutí a jiné nep íznivé podmínky, a to n kdy i n kolik desetiletí. Cysty mohou být v trem p ená-eny na velké vzdálenosti. Schopnost rychlého p echodu z cysty do aktivního stavu (hlavn pokud encystace netrvala dlouho), potífl u rozli-ování plných a prázdných schránek v p ípad krytenek, extrémní kolísání po etnosti v p d (krátký flivotní cyklus) a shlukovitá rozmíst ní st flují jakékoli odhady po etnosti a významu prvok v p d . V mírném klimatu jsou maxima po etnosti dosahovány zpravidla na ja e a na podzim, tedy za vy-ích teplot a zároveň zvý-ené vlhkosti p dy. Hnojení p dy jejich hustoty zvy-uje, v t-í hustoty nacházíme p edev-ím v rhizosfé e, tedy tam, kde se nachází více flivin a bakterií. Význam v p d mají p edev-ím zástupci bi íkoc , ko enonofc a nálevník . Bi íkocci (šFlagellataõ) nejsou dle dne-ních poznatk monofyletickou skupinou. Nej ast ji jsou v p d p ítomni zástupci eledi Bodonidae (Protomonadina). A koliv jsou striktn vázáni na vodní prostředí, z stávají aktivní i v relativn suchých p dách. Krom bakterií p íjímají i jemný detrit a rozpu-t né organické látky. Stejné druhy nacházíme i v siln zne i-t ných sladkých vodách.

Z ko enonofc nacházíme v p d takové zástupce, kte í nedostatek bun né membrány mohou nahradit zpevn ním ektoplasmy nebo vytvá ením schránky. M avky (Amoebina) se fliví bakteriemi a asami, n které také hyfami hub. V t-í druhy, nap . *Thecamoeba terricola* b flná ve vlhkém listovém opadu a mechových pol-tá ích, loví jiné m avky, ví níky a

flivnu-ky. Jmenovaný druh se brání vyschnutím vytvářením silné vrstvy zpevněné ektoplasmy na svém povrchu a může tak zstat určitý čas aktivní i mimo vodu. Lépe chráněné jsou krytenky (Testacea) se svými schránkami z tlišek cizorodých i vylučovaných samotnou buňkou. Proti vysychání se chrání rychlým stažením do schránky a uzavřením jejího otvoru (pseudostomatu) blankou (hovoříme o anabiose), mohou ale také vytvářet pravé cysty, které přetrvávají déle. Jedná se o polyfágy, kteří se mohou flivit i částicemi mrtvé organické hmoty. Vysoké hustoty a velká diversita bývají dosahovány v nadloňním humusu, na kterém jsou zástupci osídlují i horizont Ah. Ve střední Evropě byly zjištěny hustoty 100 000 jedinců /m² v orné půdě, 1 000 000 jedinců /m² v listnatých lesích s humusovou formou mull a 10 000 000 jedinců /m² v lesích s humusovou formou mor (Dunger, 1983). Po tyto druhy v lesních podmínkách se přitom pohybují mezi 50 a 60.

Nálevníci (Ciliata) vyžadují více vody jak pro svůj pohyb plaváním tak pro získávání potravy i obojí za pomoci vířivých asinek. Přidní nálevníci jsou výrazně v t-í nejlvíše uvedení prvoci, a koliv opotmení nejlvíše jejich sladkovodní formy. Vyskytují se nejčastěji ve vlhkém listovém opadu a mechových porostech. Jedná se především o holotrichní, volně plovoucí a peritrichní přisedlé zástupce. Obě skupiny získávají potravu i bakterie a detrit i pomocí vířivých asinek, které jim nahánějí k buněčným ústům. Dále zde nalezneme i hypotrichní nálevníky, kteří pomocí silných brv pobíhají po podkladu a špásají mikroorganismy, a protáhle zástupce skupiny Prostomata (*Spathidium* spp.), kteří loví jiné prvoky, hlavně krytenky.

4.7.2 Vířiví (Rotifera)

Mezi vířivky najdeme nejmenší mnohobuněčné flivočichy v béc, na kterém jsou menší nejlvíše velcí nálevníci (přede vším trpasličí sameci). Velikost jejich těla leží v t-ínou mezi 200 a 500 μm (extrémy: 30-1000 μm). Bez zahrnutí daleko v t-ích, parazitických vrtejšů Acanthocephala (vystupují nejen jako buňční paraziti ryb, ale také například divokého prasete, přičemž mezihostitelem je broučí larva i ponrava i flijící v půdě) i se patří jedná o parafylum.

Tělo se dělí na tři oddíly (hlavu, trup, nohu). Lepové flázy na noze slouží k přichycení k podkladu. Na hlavě se nachází vířivý orgán z brv, který slouží pohybu ve vodě (plavání) a získávání potravy z vodního sloupce. Za potravu slouží jemný detrit, bakterie, asy, prvoci, u v t-ích druhů také menší vířiví. U některých druhů specializovaných na lov došlo k redukci vířivého orgánu a potravu je získávána jiným způsobem, například uchopena flvýkacím hltanem (mastax), který je přitom u všech vířivků, ale zde může být vychlícen ústním otvorem.

P eváfln sladkovodní jsou to ivky (Monogononta), které dobe plavou. Fauna ví ník je také ve vodním prost edí daleko lépe probádána. V p d se uplat ují hlavn pijavenky (Bdelloidea), které jsou také hojn é na li- ejnících a me- ích. Uvádí se, fle 90 % p dních ví ník pat í k Bdelloidea a jen 10 % k Monogononta (Dunger, 1983), av-ak p dní ví níci z stávají málo prozkoumání. T lo je cylindrické, teleskopicky staffitelné. Pohyb po substrátu je špijavkovitý. Zatímco u to ivek se st ídají partenogenetické a pohlavn se rozmnořující generace (s trpasli ími same ky), jsou u pijavenek známé pouze partenogenetické samice. U to ivek p e kávají nep íznivé podmínky, p edev- ím vyschnutí, jejich trvalá, diploidní vaj í ka. Pijavenky se vyzna ují výraznou schopností anabiózy í anhydrobiózy (zakulacení t la za vypuzení vody afl po vytvo ení trvanlivých cyst, které mohou p etrvat n kolik let sucha nebo také n kolik hodin extrémn nízkých í vysokých teplot). V tomto stavu se mohou í it pomocí v tru na velkou vzdálenost. Díky t mto vlastnostem jsou ví níci jedna z mála skupin, kterou nacházíme í ve velmi extrémních podmínkách. P dní pijavenky mívají men- í ví ivý orgán, také se pokrývají cizorodým materiálem, patr n jako ochranou proti vysychání. N které mají zplo- t lé t lo, a tak si vysta í s tenkou vodní blankou. Stále se ale jedná o faunu vázanou í v p d na vodní prost edí. Potravu p íjímají bu ví ením zatímco plavou, nebo ví ením p ichycení k podkladu, p ípadn p í lezení p ímo ze substrátu. Jako pr m rná hustota ví ník v p d se uvádí 25 000 jedinc /m², jako maximální p es 600 000 jedinc /m² (Dunger, 1983).

4.7.3 Drobné plo- t nky (šmikroturbellaria)

Voln flijící plo- t nci bývali ázení mezi tzv. plo- t nky (šTurbellaria), nejedná se v-ak o monofyletický taxon. Obdobn jako u vý-e uvedené mikrofauny se jedná o primárn vodní flivo ichy, v daném p ípad hojn é jak v mo ích tak ve sladkých vodách. P da v-ak má svébytnou faunu drobných druh , délky t la v rozmezí 0,2-1,5 mm. Preferují p dy vlhké, av-ak nikoliv trvale zamok ené. P í vysychání p dy, ale také p í jejím výrazném zamok ení, dochází k encystaci, která v-ak nep edstavuje spolehlivou ochranu p ed dlouhodobým suchem. V Evrop se nej ast ji nachází v hlub- ích vrstvách listového opadu vlhkých p d listnatých les (údaje z jiných oblastí sv ta jsou vzácné). Jedná se o predátory prvok , hlístic, ví ník a drobných krouřkovic , n které druhy flerou také asy v . rozsivek. Údaj o této skupin a jejím významu v p d je málo. Reisinger (1954) našel v rakouském T yrsku 26 druh . Popula ní hustoty se zdají malé, av-ak to m fle být ovlivn no malým po tem studií a možná nedostate n kvantitativní metodou extrakce z p dy.

4.7.4 Hlístice (Nematoda)

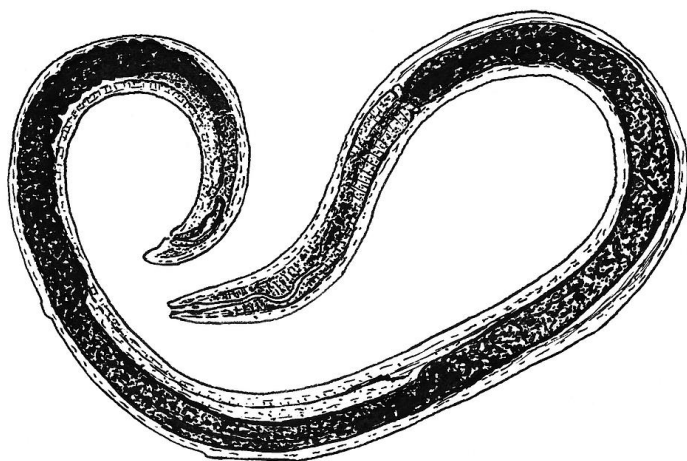
Patí spolu s prvky ke zdaleka nejpočetnějším skupinám půdní fauny. Především ve vlhkých půdách nacházíme velký počet druhů taxocenózy hlístic mezi půdou a sladkovodním prostředím (až 50 % druhů). Velikost volně plívajících (neparazitických) hlístic se pohybuje mezi 0,5 a 2 mm, v půdě převládají druhy blízce spodní hranice tohoto rozptí. Většina druhů má hladkou kutikulu (obr. 15), na které naopak s výrazně strukturovaným povrchem, například rod *Bunonema*, který nacházíme hlavně v mechových porostech. Tenké, protáhlé tělo kruhovitěho průřezu s pouze podélnou svalovinou umožňuje pohyb pomocí charakteristického vlnění i v tenké vodní blance a vodou nasycených malých pórech (kapilárách). Zdrflují se v půdním roztoku a nemají schopnost si půdou razit vlastní chodby. Délka aktivního života kolísá podle druhu mezi několika dny a měsíci. Při vysychání se svinou do spirály, vyloučí vodu a přechází do anabiózy. Míra odolnosti se druh od druhu liší. Dospělci v anabióze se zdají odolnější než vejčka a juvenilové, avšak některé rody (*Rhabditis*, *Caenorhabditis*) mají tzv. trvalé larvy s výraznou rezistencí proti suchu a nemají dospělci. Jedinec druhu *Tylenchus polyhypnus* byl ovliven po 39 letech v anabióze (Dunger, 1983). U fytoparazitických druhů rodu *Heterodera* (například *H. schachtii* ošátkoepné) jsou vejčka a juvenilové chráněny jiným typem cysty o kutikulou mrtvé samice. Živí se dle vodou, v anabióze v tme. Dlefité je ižení forezií (jako cysty pichyčné k tělu lenovce, především létavého hmyzu), které má velký význam pro druhy vyhledávající roztroušené rozptížené zdroje potravy jako trus, mršiny nebo tlející dřevo.

Na potravní specializaci jednotlivých druhů a celých výše taxonů usuzujeme především na základě přítomnosti různých typů ústního ústrojí, v nichž jsou k dispozici i poznatky z přímého pozorování potravního chování. Druhy s vychlípitelným bodcem (styletem) nasávají tekutou potravu často sají na kořincích, hyfách i jednotlivých buňkách hub (kvasinek) a řasách; některé však napichují jiné půdní živočichy a za využití proteolytického předtrávení jejich těla je vysávají. Patí sem rody *Tylenchus*, *Aphelenchoides*, *Dorylaimus* a *Heterodera*. Samice druhů řadí Heteroderidae, Tylenchulidae a Naccobinae přitom plívají trvale přisedle na kořenech hostitelské rostliny a jsou označovány za fytoparazity.

Druhy, které pohlcují celé mikroorganismy, se vyznačují zoubky v ústní dutině a případně i v jícnu nebo s bulbózním hltanem s pevnými destičkami, tedy v každém případě s tvrdými strukturami, které slouží rozmlnění potravy. Patí sem v půdě početně zastoupené rody *Plectus*, *Rhabditis*, *Teratocephalus*, *Acrobeles*, *Cephalobus*, *Panagrolaimus* a další (Dunger, 1983).

Druhy lovcí prvky, ví níky nebo jiné hlístice mají v ústní dutině často zoubky nebo drsné destičky, zoubky se nacházejí také v hltanu (bulbus chybí). Patří sem například rody *Tripyla*, *Mononchus* a *Choanolaimus*. V půdě flíje také mnoho hlístic parazitujících v jiných podmínkách flivo i-ích (včetně samotných hlístic). Existují i předstupně k pravému parazitismu, například juvenilové (šlarvyō) hlístice *Rhabditis pellio* pronikají do flíflal a encystují v jejich disepimentech. Nijak dále ne-kodí, ale po uhynutí flíflaly se aktivují, pokračují ve vývoji a flíví se mrtvým tělem flíflaly (Dunger, 1983).

Nejvyšší abundance volně flíjících hlístic byly nalezeny v nezamokřených půdách s vysokými hustotami bakterií. Průměrně zde flíje 5650 milionů jedinců /m², jsou ale dosahovány hodnoty cca 400 milionů jedinců /m². V kyselějších půdách s humusovou formou moder a mor bývají hustoty výrazně nižší, do cca 10 milionů jedinců /m². Pevnější vrstva hlístic se zdrfluje v horních 5 cm půdy, v suchých písitých půdách v hloubce 5-10 cm.

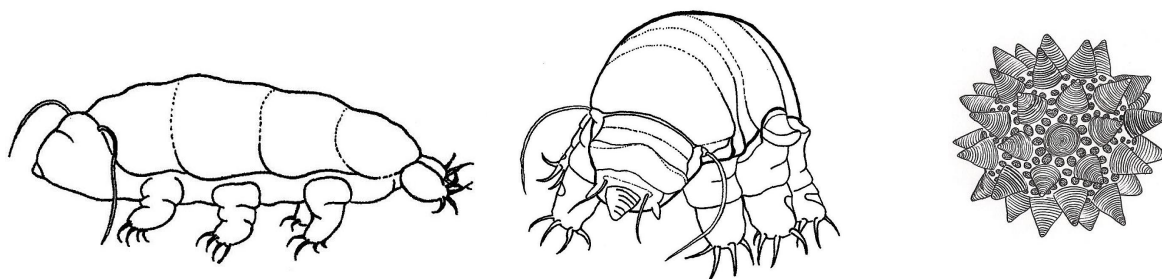


Obr. 15: Zástupce hlístic (Nematoda) flíjících v půdě.

4.7.5 flivky (Tardigrada)

flivky se vyskytují v sladkovodním, mořském i suchozemském prostředí, zde hlavně v půdě a mechových a lišejníkových porostech. Tělo je válcovité, se čtyřmi páry laločnatých končetin (obr. 16), délky nejčastěji od 200 do 500 μm (krajní hodnoty cca 100-1000 μm). V přední části trávicí trubice se nachází stýlet, hltan je savý. Na které půdní flivky jsou dravci lovcí hlístice, ví níky nebo jiné flivky (například *Milnesium tardigradum*, *Macrobiotus*

hufelandi a *Macrobiotus harmsworthi* jsou významní konzumenti hlístic). Další jsou mikrofágové (bakterivory), např. rody *Isohypsibius*, *Diphyscon* a *Mikrobiotus*, jiné (např. rod *Echiniscus*) fytofágové flivíci se rostlinnými pletivy, řasami a sinicemi (v posledním případě bychom je jistě mohli aditovat mezi bakterivory, podstatná je ale pozice sinic jako primárních producentů). Rod *Hypsibius* flere krom flivých a mrtvých řas také detrit. Odvozené taxony bývají hermafroditi, rozdílné jsou stídání pohlavního a nepohlavního rozmnořování i partenogeneze. Jedinci mohou přežít nepříznivé podmínky v cyst tvaru soudku ve stavu tzv. anabiózy (anhydrobiózy, kryptobiózy) v němž ustávají veškeré metabolické pochody. V tomto stavu jsou i v zimě. V anabióze jsou schopni odolat zcela extrémním podmínkám nízkých i vysokých teplot, gama nebo ionizujícího záření, podtlaku (vakua) nebo naopak vysokému tlaku (přeflují i v meziplanetárním prostoru). U druhů mechových polštářů bylo zjiřeno, fler se doflívají 4 až 12 let, přičemž délce aktivního flivota trvají až 30 měsíců. V listovém opadu a horních centimetrech minerální půdy vhodných půd dosahují hustot 1000 až 10 000 jedinců /m², které sezónně výrazně kolísají. Hallas a Yeates (in Dunger, 1983) zjistili v dánském bukovém lese 10 druhů a přibližnou roční abundanci cca. 4000 jedinců /m², přičemž v sílných hodnotách v rozptí 1000 až 12 100 jedinců /m². Dastych (1980) uvádí pro nárosty na vápencových skalách v Tatrách až 120 000 jedinců /m².



Obr. 16: Zástupce flivulček (Tardigrada), vpravo přiklad vajíka taxonu Eutardigrada (zde bývají vajíka výrazně skulpturována).

4.8 Mesofauna

4.8.1 Roupice (Enchytraeidae)

Roupice jsou drobní krouřkoveci nebo opaskovci (dříve byly řazeny do máločetné třídy Oligochaeta, jedná se však o paraflyletický taxon). Vyskytují se v suchozemských (půdách i v organických půdách a opadové vrstvě), sladkovodních (sedimenty tekoucích i stojatých vod) i mořských (předešlými sedimenty litorálu) biotopech. Celosvětově je známo cca 700 druhů.

(Schmelz a Collado, 2012). V Evropě je validních cca 200 druhů vyjma mořské fauny (Schmelz a Collado, 2010), ve střední Evropě cca 150. Dospělci dorůstají délky 1660 mm (několik druhů i více než Arktida, SZ sev. Ameriky; rekord: *Mesenchytraeus grandis* o délce 170 mm).

Jedná se o saprofágy a mikrofágy (houby, bakterie), kteří mají důležitou funkci jako rozkladová i odumřelé biomasy. Vysoké populační hustoty dosahují především v kyselých půdách (jehličnaté lesy se surovým humusem, v esovníku a rašeliníku), kde jsou zároveň slabě zastoupeny některé další skupiny meso a makrofauny (viz příloha), takže se zde roupičtí stávají jednou z dominantních skupin rozkladu a půdní fauny vůbec. Populační hustoty (bráno pro celou taxocenózu) zde mohou dosahovat roční průměrné hodnoty mezi 50 000 a 100 000 jedinců/m², k jednotlivým termínům mohou být výrazně vyšší. Zároveň se v kyselých půdách jedná o druhově chudá společenstva, kde v Evropě zpravidla dominuje druh *Cognettia sphagnetorum*, který se rozmnožuje především nepohlavní fragmentací (rozpadem na několik kusů, které pak regenerují v celé jedince). Další typické druhy kyselých půd v Evropě jsou *Marionina clavata*, *Achaeta camerani* a *A. brevivasa* (rod *Achaeta* se vyznačuje absencí svazků těl). V neutrálních půdách s humusovou formou mulle jsou naopak hustoty roupičtí nízké (do 20 000 jedinců/m²), avšak druhově bohatší (přes 30 druhů). Zde především v Evropě dominuje rod *Fridericia*, který je druhově nejbohatší a jehož zástupci se vyznačují relativně značnou velikostí. Biomasa roupičtí v těchto půdách tak nemusí být nižší než v půdách kyselých, protože průměrný jedinec bývá v slabě kyselých a neutrálních půdách výrazně větší. Na moderových půdách jsou poměry někde mezi oběma extrémami. V tropických půdách jsou hustoty zpravidla nízké, nízká je ovšem také jejich probádanost. Většina roupičtí se soustředí v horních 10 cm půdy (záleží ovšem na jejím charakteru; v orné půdě pronikají hlouběji). Jednotlivé druhy se vyznačují preferencí pro určitou hloubku, resp. typ substrátu. Vlivem sucha i mrazu dochází k vertikální migraci do větší hloubek, ale také k zvýšené mortalitě. Kromě několika fragmentujících druhů se rozmnožují pohlavně, existují i případy sebeoplovnosti (jedná se o hermafrodity) a partenogeneze. Vajíčka jsou kladena do kokonů, které jsou někdy pokrývány organickým detritem.

4.8.2 Ostatní drobní kroufkovci (Annelida pars)

V půdě se také vyskytují jiní drobní kroufkovci velikosti maximálně několika milimetrů. Jedná se především o zástupce se záhadným fylogenetickým postavením. Jedná se spíše

o zoologickou kuriozitu, nejlépe by mohl být jaký v t-í p dn -biologický význam. Z nit-ncovc , v drtivé v t-in vodních, je to v Evrop p edev-ím *Rhyacodrilus falciformis*. Dle v-eho se fliví obdobn jako roupice. P dní naidky byly popsány z tropických p d Jišní Ameriky (bývalé Tubificidae dnes adíme také mezi naidky ó Naididae). Zatímco u p edcházejících zástupc se jedná o opaskovce, dal-í mezi n nepat í a adíme je tedy provizorn do parafyletických mnoho-t tinatc ó Polychaeta. Ve vlhkých, spí-e neutrálních p dách m fleme také narazit na olejnu-ky (Aphenoneura: Aeolosomatidae), které jako jediní evrop-tí zástupci mikroskopických p dních kroufkovc mají vlasové -t tiny a dále se vyzna ují nápadnými, asto barevnými olejovými kapénkami v pokofce. B flná je *Aeolosoma hemprichi* s oranřovými kapénkami. Rozmnořování probíhá také nepohlavn pomocí paratomie. Stejně druhy známe i ze sladkovodního prost edí, fliví se mikrořágñ spásáním bakteriálních povlak . *Parergodrilus heideri* (Parergodrilidae) a *Hrabeiella periglandulata* (Hrabeillidae) jsou řmnoho-t tinatciř, jejichřl postavení v systému je stále sporné (p edev-ím u druhého jmenovaného druhu, kde se uvařluje o mořlném postavení na bázi opaskovc i v postavení sesterském ó jedná se tedy o druh velmi d leřlitý pro systematiku). Oba druhy jsou známy z Evropy, nedávno byly také nalezeny na Dálném Východ a v Severní Americe.

4.8.3 Rozto i (Acari)

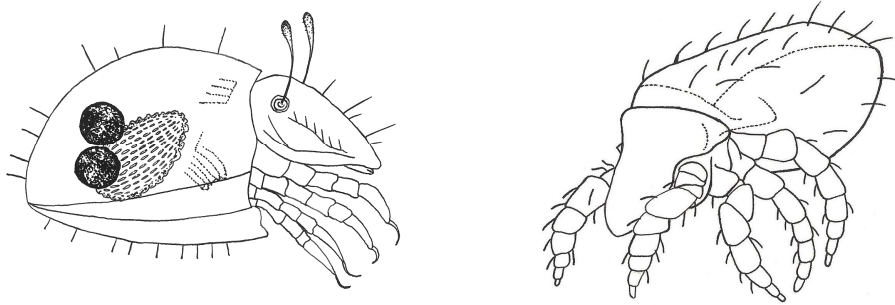
Tato namíru druhov bohatá skupina drobných lenov ó pavoukovc je v p d zastoupena obrovským po tem druh i jedinc . Nejvy-í abundance byly zaznamenány v lesních p dách s rozvinutým surovým humusem (100 000ó400 000. jedinc /m²), na loukách a pastvinách bývají niř-í (50 000ó150 000 jedinc /m²), je-t výrazn niř-í pak v orné p d (Dunger, 1983). K-í ení pouřlvávají rozto i b flñ řorézii, dob e známe je to nap . u druh vyskytujících se v trusu v t-ích býlořřavc , kam se dostávají p ichyceni na t la chrobák , hnojník apod. Rozli-ujeme dva hlavní taxony: Anactinotrichida ili Parasitiformes a Actinotrichida ili Acariformes.

Mezi Parasitiformes pat í (krom nap . obecn známých klí- at) melíkovci (Gamasida ili Mesostigmata), kte í v p d p edstavují p edev-ím d leřlitou skupinu predátor (Gamasina, sem také pat í ada ektoparazit), n kte í řlijí také saprořágñ i vysávají hyfy hub a jednobun né asy (Uropodina). Celosv tov bylo popsáno p es 11 tis. druh melíkovc . Velikost t la dosp lc je 0,3 ařl 6 mm. Druhy jsou asto specializovány na ur itou ko ist, asto se jedná o rozto e a chvostokoky.

Mezi Acariformes patří například sametkovci (Actinedida ili Prostigmata). Celosvětově bylo popsáno přes 24 tis. druhů. Dorůstají 0,1 až 4 mm. Mezi nimi najdeme mnoho fyto- i zooparasitů, ale mezi sametkami (Trombidiinae) také řadu půdních predátorů a mikrofytofágů. Také mezi zákofkivci (Acaridida ili Astigmata; celkem přes 6 tis. druhů), kteří jsou drobní (0,1-1,2 mm) a málo sklerotizovaní, najdeme mnoho půdních mykofágů, mikrofytofágů (sem akarologové požívají i houby a bakterie) a i ději i saprofágů (patří sem i známí ektoparaziti savců a ptáků a skladištních škůdců). Avšak v půdě snad nejvíce studovaná skupina roztočů jsou pancířníci (Oribatida ili Cryptostigmata). Jedná se o výsostně půdní skupinu (v období mikrostano- nad zemí), která celosvětově čítá přes 10 tis. popsaných druhů. Jenom ve střední Evropě lze po- čítat s cca. 1 tis. druhů. V t-ina z nich jsou saprofágové (najdeme zde ale i fytofágy –kodící na kulturních rostlinách a vektory houbových onemocnění). V humózních půdách představují pancířníci cca 70 (až 90) % všech roztočů. Zpravidla představují ostatní skupiny roztočů 5-20 % všech roztočů v půdě, avšak například v chudých vesov-tních půdách v Anglii bylo zji-tno nížší zastoupení pancířníků nežli sametek (Dunger, 1983). V t-ina roztočů se zdržuje v nadlofním humusu, například horních 5 cm minerální půdy. To platí právě také pro pancířníky, kteří zde nacházejí nejvíce potravy. Díky výrazné sklerotizaci jsou i v aktivním stavu odolní proti suchu nežli v t-ina ostatních půdních flivo-ích. Přesto provádějí vertikální migraci v závislosti na vlhkosti půdy. Nacházíme zde ale i specialisty na konkrétní půdní horizonty v etn euedafických forem vyskytujících-áste n ve velké hloubce (obr. 17, 18).



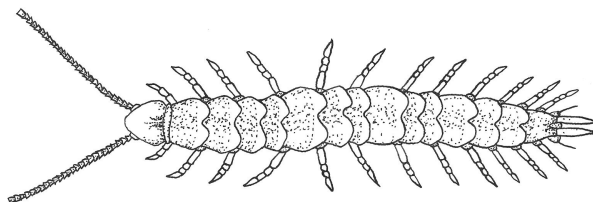
Obr. 17: *Pseudotritia duplicata* (vlevo; reálná velikost 0,7 mm), *P. minima* (vpravo; reálná velikost 0,3 mm) – dva pancířníci (Oribatida: Phthiracaridae) vyskytující se ve v-tní hloubce. Zatímco první nevykazuje výrazné adaptace, je druhý nejen menší, ale také zkrácené-tytiny jsou výrazem euedafického způsobu flivota.



Obr. 18: Vlevo samice pancířníka *Oribotritia loricata*: v zadní části těla prosvítají velké skulpturované vajíčko a dvě tmavé kulky kytrusu; vpravo pancířník *Nothrus truncatus*.

4.7.4 Stonofňky (Symphyla)

Drobní stonofňkovi patří k úzce příbuzným mnohonohým (Myriapoda: Progoneata). Délka těla do 9 mm. Nepigmentované, celé bílé, bez očí. Pár vzdušnic se stigmaty na hlavě, 11-12 párů nohou, na konci těla plováky se snovacími chloupky (obr. 19). Živoucími živočichy, bakterie, houby, odumřelou organickou hmotou v etn mrtvých živočichů, také žijí rostlinná pletiva (kořeny). Ve vlhkém atlantickém klimatu západní Evropy páchá *Scutigera immaculata* – kody na mladých kořenech různých kulturních rostlin. Žijí v minerální půdě (minimálně do 50 cm hloubky), opadu, mechových porostech, pod kameny a kůrou. Vyhýbají se zamokřeným půdám i půdám s malým podílem humusu. Bylo zjištěno až 20 000 jedinců /m² (Dunger, 1983).

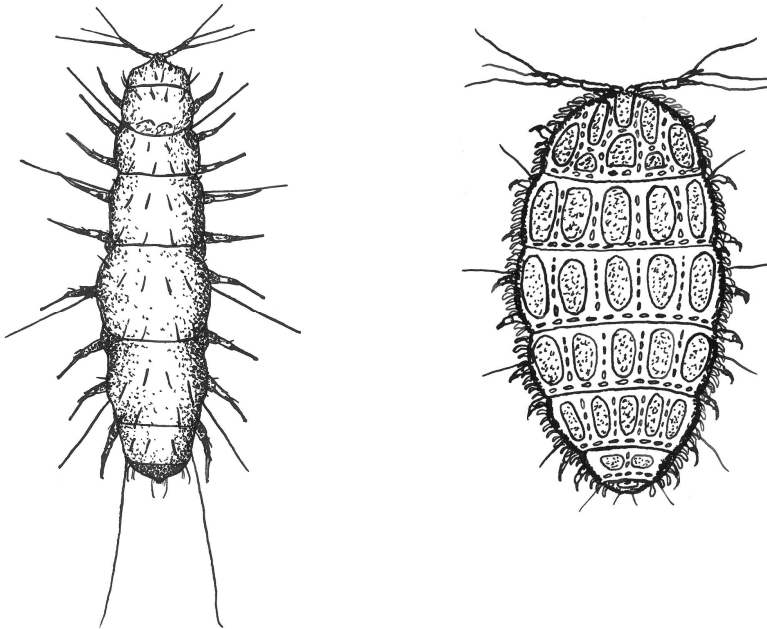


Obr. 19: *Scutigera immaculata* z dorsálního pohledu (reálná délka 5 mm)

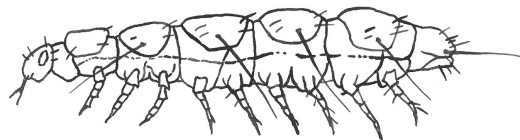
4.7.5 Drobníky (Paupoda)

Drobní stonofňkovi patří k úzce příbuzným mnohonohým (Myriapoda: Progoneata). Délka těla 0,5 až 0,7 (max. 1,9) mm, v těle nepigmentované, bílé, někdy hnědé (obr. 20, 21). Oči a vzdušnice chybí, orientaci slouží tykadla, pseudoculus a trichobothrie. Mycetofágové, nekrofágové a

zoofágové (loví Collembola apod.). Zpravidla v nejsvrchnější vrstvě půdy, pod kameny a dřevem, někdy však až do hloubky 50 cm. V humózních, vlhkých, ale nikoliv zamokřených půdách, především lesních. Populační hustoty na vhodných stanovištích patří do 1000 jedinců /m².



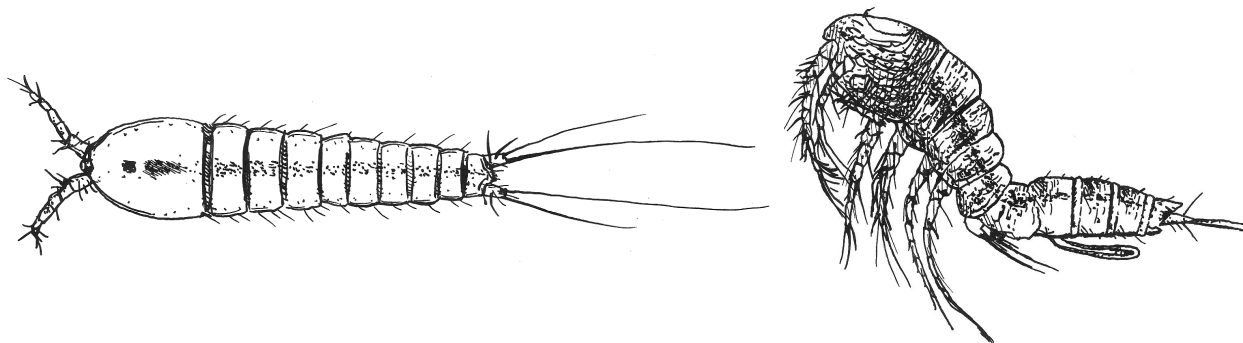
Obr. 20: *Pauropus huxleyi* (vlevo) a *Eurypauropus ornatus* (vpravo) z dorsálního pohledu; reálná velikost 0,8 mm, *E. ornatus* představuje zavalitou, pigmentovanou formu drobnoušky



Obr. 21: *Pauropus sylvaticus* z laterálního pohledu.

4.7.6 Plazivky (Copepoda: Harpacticoida)

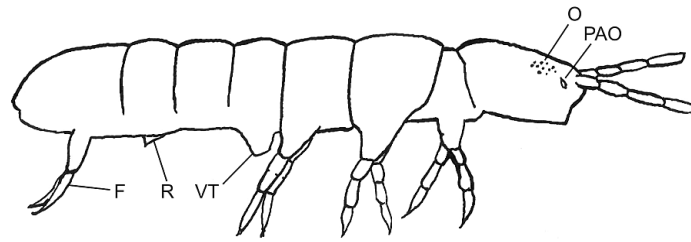
První druhy se vyskytují ve vlhkém opadu listnatých lesů, další druhy v podzemní vodě. Tyto jsou dlouhé cca. 1 mm, většina druhů známých z půdy patří do rodu *Canthocamptus* (Dunger, 1983). Na rozdíl od jiných klanonofců (buchanek, vznášivek) není nápadný přechod (zúžení) na přechodu mezi hlavohrudí a zadkem (obr. 22). Jak napovídá české jméno, neplavou, ale plazí se po podkladu (pomocí poměrně krátkých končetin i vlnění těla). Jsou patrně schopny přežít i suchem v nějaké formě anabiózy. Živí se patrně dravě drobnými živočichy. Pozornosti přírodních biologů zpravidla unikají a o jejich biologii je toho známo málo.



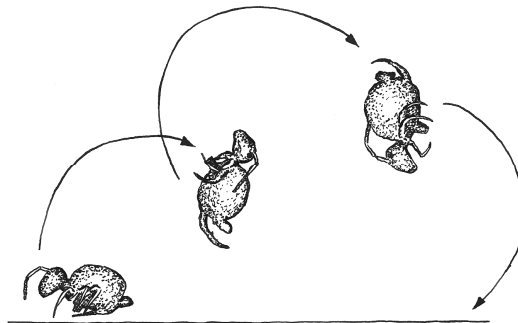
Obr. 22: Dorsální (vlevo, *Canthocamptus* sp.) a laterální pohled na plazivenku.

4.7.7 Chvostoskoci (Collembola)

Jedná se o nejpočetnější skupinu křídlatých (Entognatha) nebo o monofylii jsou pochyby), tedy pětislabých šestinohých (Hexapoda) neboli hmyzu v širším slova smyslu (Insecta sensu lato). Jako primárně bezkřídlý hmyz bývali dříve zařazeni do Apterygota, toto zařazení v mnohých popularizačních dílech, často i v odborné práci biologické a ekologické literatuře přetrvává. Jedná se o taxon převážně půdních živočichů, avšak každý druh obývá také nadzemní patra terestrických ekosystémů. Malé tělo (0,369 mm) se dělí na hlavu, hrudník a zadek (obr. 23). Kusadla jsou zanesena do hlavové kapsle, jednotlivé články tykadel (zpravidla čtyři) mají vlastní svalovinu. Na bocích hlavy je umístěn jeden pár šluků jednotlivých článků (po 8 v každém z nich). Mezi bází tykadel a šluků článků je párovitě umístěn postantennální orgán (chemoreceptor). Každý z čtrnácti hrudních článků nese pár nohou. Zadek z čtrnácti článků nese ventrální kolik orgán vzniklých přestavbou bývalých končetin. Na prvním článku se jedná o ventrální tubus (collophor), který může být vychlípen a může vyprodukovat lep (ec. kolla = lep). Slouží k přichycení k podkladu, ale také k výměně plynů (dýchání), osmoregulaci, přijmu vody i vylučování. Na čtrnáctém článku se nachází retinaculum, které v klidu drží skákací vidličku (furcu (= furcula), která je vkloubena na čtrnáctém zadečkovém článku a v klidu je sklápěná dopředu pod tělo. Je-li furca dobře vyvinutá, mohou chvostoskoci s její pomocí provádět velké skoky (na vzdálenost až 35 cm), a to jak dopředu (např. zástupci čeledi Hypogastruridae) tak přemetem dozadu (např. zástupci čeledí Entomobryidae a Sminthuridae) – viz obrázek 24. Tyto skoky slouží úniku před predátory. U euedafických druhů však může být furca redukována, stejně tak dochází k redukci článků, pigmentace těla, tělo je více protažené. Druhy hýžící na podzemním povrchu i vegetaci naopak mají zpravidla výkonnou furcu, výrazné zbarvení a dlouhé končetiny i články (obr. 25, 26).



Obr. 23: Vnitřní stavba chvostoskoka na příkladu hemiedafického druhu z řádu Isotomidae: O – oči (shluky jednotlivých ommatidií), PAO – postantennální orgán, VT – ventrální tubus, R – retinaculum, F – furca.



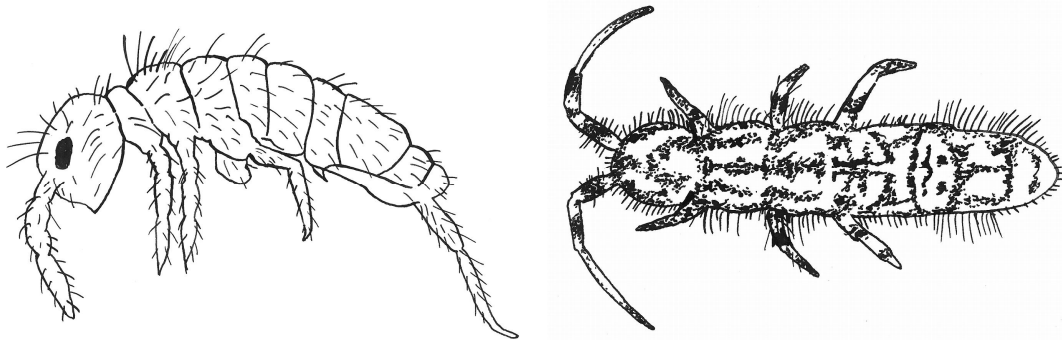
Obr. 24: Skok dozadu (s přemetem) u chvostoskoka rodu *Sminthurus* (Symphypleona: Sminthuridae) podle Dunger, 1983.

Příslušníci taxonu Symphypleona mají pár vzdušnic (pár stigmat ústí mezi hlavou a hrudí), ostatní dýchají celým povrchem těla (v předních pórech také pomocí plastronu). Symphypleona mají kulovité, zpravidla vlnité a pigmentované tělo, ačkoliv na výjimky se jedná o nadzemní druhy (obr. 26).

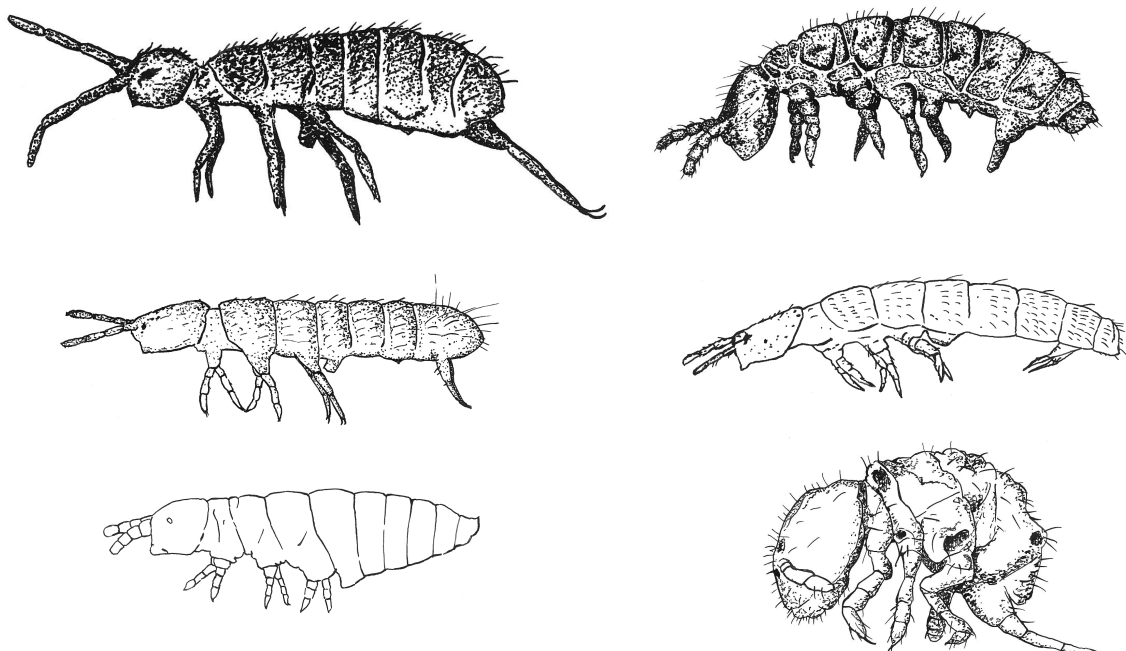
Celkově bylo popsáno cca 5000 recentních druhů, ze střední Evropy jich je známo cca 1500 (Dunger, 1983). Taxocenózy na druhově bohatých stanovištích mají ve střední Evropě ačkoliv cca 200 druhů, dominuje ale zpravidla jenom malý počet druhů. Nejvyšší abundance byly zjištěny v předních severských lesích se surovým humusem – např. 700 000 jedinců/m² v severním Švédsku (Forsslund, 1941, in Dunger, 1983). Běžné hustoty ve střední Evropě se pohybují v rozmezí 50 000–100 000 jedinců/m² v lesích, 20 000–50 000 jedinců/m² v travinných biotopech (pastviny, louky, trávníky) a zpravidla v ještě nižších hodnotách v orné půdě. Nejvíce chvostoskok flukuje v organických vrstvách F a H. Při suchu migrují do větší hloubky (hlavně v případě orné půdy), zatímco nízké teploty přetrvávají na místě.

U chvostoskoků jsou známy tři typy ústního ústrojí. Vlnitina má silná kusadla se silnými zoubky na konci a drsnou destičkou s prými hranami uprostřed. Tyto druhy svou potravu rozmělní a flukují. Přetrvávají se flukují hyfami a spory hub, ale také asami (někdy i

zelenými rostlinami, například klíčky), a odumelou organickou hmotou a listovým opadem a dřevem. Fierou také exkrementy v těchto podmínkách a některé i loví, například hlístice. Další druhy mají na kusadlech silné zoubky, kterými mohou potravu roztrhnout a nažnout, poté jí patrně vysávají. Pědevím se jedná o zoo- a nekrofágy, které fíerou například ví níky, řelvu-ky, hmyzenky a vajíka chvostoskoků. U jiných došlo k přeměně ústních končetin v bodce a zároveň mají silný svalnatý hltan, který funguje jako sací pumpa k vysávání potravy. Poslední skupina pak má silně rozšířené maxilly, jakési škořtů, kterým snad shrnují sliz s rostlinnými buňkami nebo bakteriemi.



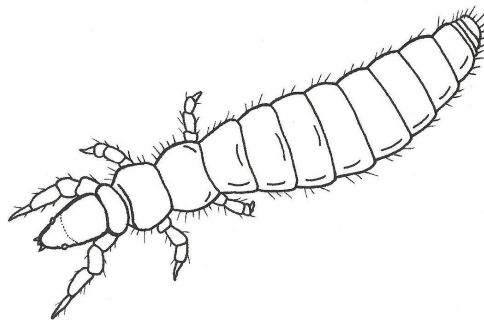
Obr. 25: *Orchesella villosa* v laterálním (vlevo, jedinec krátce po vylíhnutí) a dorsálním pohledu (vpravo) o základ epigeického (epedafického) druhu.



Obr. 26: Zástupci chvostoskoků (Collembola) žijících v půdě (znázornění není v měřítku, reálné velikosti uvedeny): hemiedafické druhy *Isotoma viridis* (vlevo nahoře, 4 mm) a *Hypogastrura viatica* (vpravo nahoře, 1,6 mm), euedafické druhy *Folsomia quadrioculata* (vlevo uprostřed, 1,9 mm), *Isotomodes productus* (vpravo uprostřed, 0,7 mm), *Willemia anophthalma* (vlevo dole, 0,6 mm) a *Neelus minimus* (vpravo dole, 0,35 mm)

4.7.8 Hmyzenky (Protura)

Jsou členy mezi entognathní Hexapoda, někdy jako sesterská skupina chvostokok (společně s taxonem Ellipura je však sporný). Protáhlé (12 zadekových článků), nepigmentované a málo sklerotizované tělo má délku 0,5–2,5 mm (obr. 27). Oči a tykadla zcela chybí. Pár pseudoocul slouží patrně chemo, hygro a termoreceptci. První pár nohou je protáhlý a bývá drfěn napřímený vpřed a slouží jako makadla, v podstatě náhrada chybějících tykadel. Euedafické formy se vyznačují kratšími končetinami než hemiedafické. Žijí v půdě do 10 cm hloubky, pod kameny, kory v mechových porostech. Živí se vysáváním hub. Ústní ústrojí zanořené do hlavové kapsle mají k tomu příslušné nasádky – řetězovitých bodců. Často se vyskytují shlukovitě v rhizosféře rostlin s úžitou mykorrhizou. Mohou dosahovat abundance až 10 000 jedinců/m², běžné hustoty se ale pohybují kolem několika set jedinců/m². Vyhýbají se suchým podmínkám. Celkem bylo popsáno přes 700 druhů, z toho je asi 200 známo ze střední Evropy.

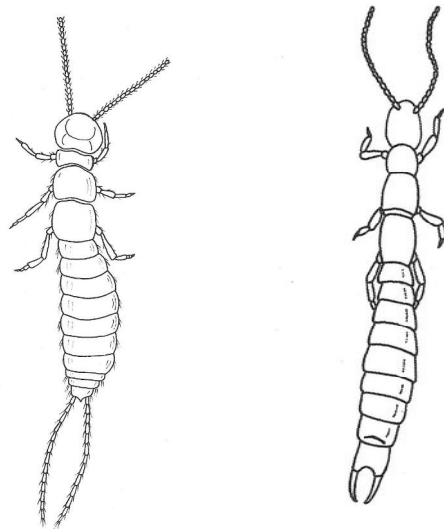


Obr. 27: Zástupce hmyzenek (Protura) z dorsálního pohledu

4.7.9 Vidličnatky (Diplura)

Jedná se o entognathní Hexapoda; monofylie vidličnatek je občas zpochybňována, dříve se na dva jasné odlišné taxony – řetězkatky (Campodeina) s dlouhými terminálními cerky a řetězkatky (Japygina) u kterých jsou cerky příslušné na klíčky (připomínají klíčky – řetězky). Jedná se o typické půdní živočichy. Tělo je protáhlé (zadekových článků je 12), nepigmentované a málo sklerotizované (s výjimkou silně sklerotizovaných, tmavých klíček u Japygina), hlava s dlouhými tykadly a bez očí (obr. 28). Vychlípitelné kyčelní váčky na klíčkách zadeku (rudimenty končetin) slouží k výjmu vody z podkladu. Délka těla je zpravidla 2,5–6,5 mm, u některých druhů rodu *Japyx* (Japygina) ale až přes 5 cm (australský druh *Heterojapyx gallardi* 5,8 cm). Zdrfují se ve vlhkém prostředí pod kameny, ležícími kusy

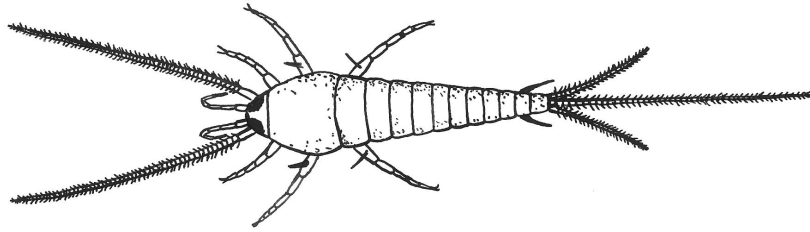
děra a v nadloňním husumu, pronikají také so svrchí vrstvy minerální pody. Třvorovky jsou dravé, klíčky na konci zadeku slouží k uchopení kořisti o chvostoskok, roupic, malých flířal, jiných vidli natek apod. Třtinatky jsou alespoň částečně také dravé (larvy dvoukřídlých, roupic, chvostoskoci apod.), přinejmenším některé ale patří řadu i hyfy hub, odumělé organickou látku (detritus) a snad i pletiva živých rostlin. Celosvětově je známo cca 500 druhů, ze střední Evropy cca 50. Japygina se ve střední Evropě vyskytují pouze v teplých oblastech, na jih přibývají.



Obr. 28: Zástupci dvou skupin vidli natek (Diplura): třtinatek o Campodeina (vlevo) a třřvorovek o Japygina (vpravo) z dorsálního pohledu

4.7.10 Chvostnatky (Archeognatha)

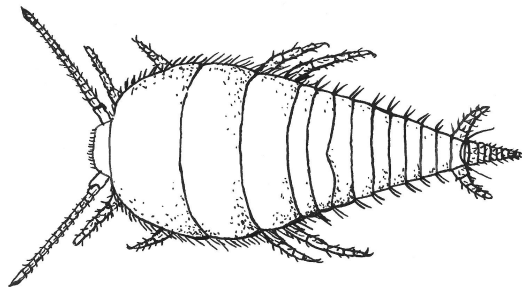
Třřlo bývá v třřině 10-15 mm dlouhé (max. 23 mm), pokryté pigmentovanými třřupinkami. Pouze volná vazba na pody: v třřině v kamenných třřutích, v teplejších oblastech i v lesích na kůře stromů. Ve střední Evropě hojně pouze v teplých oblastech, ve vysokých horách a na mořském pobřeží. Aktivní hlavně v noci. Protáhlý zadeček s cerky a terminálním třřtem slouží k odraňení od podkladu (skoky jako úniková reakce). Fyto- (asy, lišejníky) a saprofágní (odumělé fytomasa), vzácně zoofágní. Mohou mít význam při rozkladu a tvorbě humusu na surových, kamenitých podych.



Obr. 29: Zástupce chvostnatek (Archeognatha) z dorsálního pohledu.

4.7.11 Rybenky (Zygentoma)

Rybenky se na první pohled podobají chvostnatkám (terminální prsty mají ale daleko kratší), patří však již do Dicondylia společně s křídlatým hmyzem (dvojitě vkloubení mandibul do hlavové kapsuly a odpovídající uspořádání svaloviny). V Mediteránu flují některé druhy ve volném prostředí, a to podobně jako chvostnatky. Ve střední a severní Evropě fluje kromě známých synantropních druhů jediný druh, s kterým se můžeme setkat ve volném prostředí, a to v mraveníkových hnízdech pod kameny apod., tedy v prostředí, které je svým způsobem také podmíněno (obr. 30).



Obr. 30: Rybenka mraveníková (*Atelura formicaria*) z dorsálního pohledu. Jediná nesynantropní rybenka střední a severní Evropy, obligátně myrmekofilní druh.

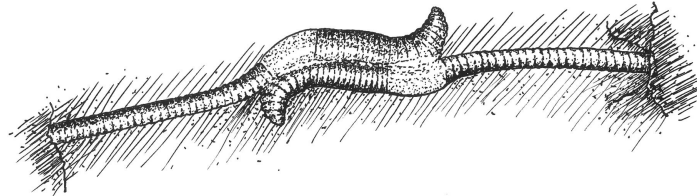
4.8 Makrofauna

4.8.1 řířaly (Megadrili)

Jako řířaly oznaujeme velké krouřkonce (Annelida) ó opaskovce (Clitellata). Tradi n je adíme mezi Oligochaeta (v tradi ním pojetí, tedy bez pijavic, se v–ak jedná o parafylum) a dále do Ophistopora. Fylogeneticky založené moderní systémy adí v–echny řířalyõ do Megadrili a v t–inu dále do Crassicitellata (opasek u nich sestává z n kolika vrstev řláznatých bun k, u ostatních opaskovc pouze z jedné). Pro na–e ú ely je tedy dobré si uv domit, ře se jedná o n kolik r zných více i mén vzdálených eledí (asi 20) velkých opaskovc s p evářn suchozemským, konkrétn p dním zp sobem řivota (vyjma n kolika sladkovodních druh). Bylo popsáno cca. 6000 druh . Mezi řířalami je zastoupeno velké rozp tí velikostí od délky 1 cm ařl po 1,5 m, p ípadn i více. *Dendrobaena minuscula* má řivou váhu 10 mg, *Glossoscolex giganteus* 600 kg. P edev–ím v tropických a subtropických eledích se nachází n kolik ob ích řířal, nap . v eledí Megascolecidae australský druh *Megascolides australis* (Giant Gippsland Earthworm), který dosahuje délky do 1 m, natařený ařl do 3 m, řivou váhu do 200 g, a hloubí chodby do hloubky 1,5 m. Dnes se jedná o velmi ohrořený druh omezený na údolí eky Bass v JV Austrálii (Victoria), kde se vyskytuje ve vlhké řílové p d podél vody (d íve blahovi níkové lesy, dnes pastviny). Dal–í australský druh ze stejné eledi, *Terriswalkeris terraereginae* (Giant Blue Earthworm) dor stá délky 1 m a je řit mod e zbarvený. Obývá vulkanické p dy tropických de–tných les v sev. Queenslandu. I v Evrop se vyskytuje druh dosahující délky 1 m ó *Scherotheca occidentalis*. Ná–endemit *Allolobophora hrabei* dor stá 0,5 m. Evropské řířaly pat í z velké v t–iny do eledi Lumbricidae (celkem cca. 230 druh). Tato ele byla také zavle ena, resp. úmysln vysazena, jinde ve sv t (nap . Sev. Amerika, Austrálie, Nový Zéland). V Severní Americe, kde p vodní řířaly p řily pouze řifn od oblasti opakovaného zaledn ní severní ásti kontinentu, se p edev–ím evropské druhy eledi Lumbricidae projevují jako vysoce invazní (viz níře).

řířaly jsou hermafroditi (obr. 31); vají ka kladou do kokon ó ztvrdlého slizu vylou eného opaskem a p etařeného p es p ední ást t la. Kofn svalový vak a tekutina v coelomových vá cích slouří jako hydrostatický skelet. Postupné zúřlování a roz–i ování t la jim umořl uje hloubení chodeb i v pom rn hutné p d . Jak řifl bylo uvedeno v kapitolách vý–e, jsou ve v t–in p d hlavním initelem bioturbace: p íspívají k provzdu–n ní p dy, odvodu vody do

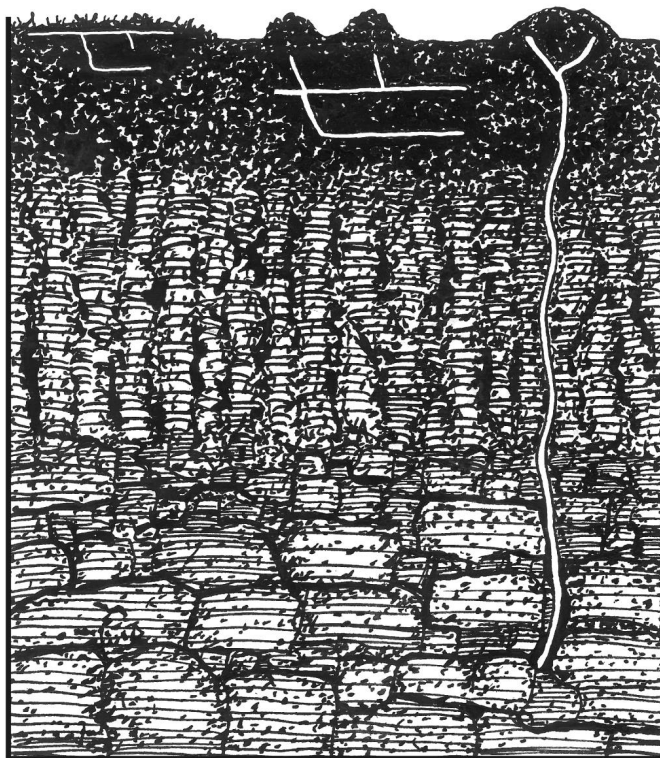
hlubších vrstev (zvyšují retenční schopnost), přemisují organické látky do minerální půdy a přispívají tak za příznivých podmínek jako klíčový faktor přeměny mullové formy humusu.



Obr. 31: Dvupáří se flířaly (rousnice) obecné (*Lumbricus terrestris*); zadní část těla zůstává v chodbách

Zpravidla snižují půdní erozi, jsou ale známy i opačné případy. Při průchodu směsí organické hmoty a minerální půdy zafixacím ústrojím vznikají stabilní humusojílové komplexy, které zvyšují úrodnost půdy. V tělnou flórou a tráví rozkládající se organickou hmotu (do značné míry přitom ve skutečnosti přispívají jako mikrofágové trávicí přisedlé mikroorganismy, jejich přítomnost ale v konečném důsledku podporují). Mohou ale také selektivně sbírat a požírat semena apod. Různé druhy se však liší tím, v jaké formě tuto hmotu přijímají a jak moc přitom pozoují minerální půdu. Obecně rozlišíme tři ekologické skupiny, které se chovají různě a mají také různý dopad na půdu a celý ekosystém (obr. 32). Epigeické flířaly (např. rody *Dendrobaena* a *Dendrodrilus*) jsou malé, tmavě pigmentované flířaly, které hlijí v nadložním humusu (mnohé také pronikají do tlejícího dřeva, podtrouchnivající křovodumělých stromů apod.). Jejich chodbičky jsou proto nezetelné a krátkodobého charakteru. Vyskytují se i ve svrchní vrstvě kyselých půd a jejich vliv na půdu a humusovou formu je spíše nevýrazný. Endogeické flířaly (např. mnozí zástupci rodu *Apporectodea*, rod *Octolasion*) jsou slaběji pigmentované, hlijí ve více méně humózní minerální půdě, kde vytvářejí spíše horizontální chodby a flórou humus (včetně mikroorganismů) promísený s minerální půdou. Anektické flířaly (např. *Lumbricus terrestris*) vytvářejí více méně svislé chodby do velké hloubky. Hlavně v noci jsou aktivní na povrchu a zatahují do svých chodeb listový opad, který často konzumují ať po dalším zetlení. Mají tmavší přední část těla, kterou nejčastěji vystrkují z půdy. Zakotvení zadní části v chodbě umožňuje především dospělým rychlou únikovou reakci. Terminologická poznámka: lat. annectare = spojovat, proto anektický, avšak přes původního francouzského autora (M. Bouché) tohoto slova vzniklo z franc. anecique angl. anecic, něme. anözisch. V středoevropských zemích je mezi 40-60 druhů (v Česku 52),

s výjimkou Polska (29 druhů) se na severu druhů ubývá, na jihu přibývá (Balkán je centrum endemismu, cca. 200 druhů). Hustoty kolísají mezi jednotlivými kusy a někdy i několika sty jedinci na m², vysoké abundance podobit mohou mít jak lesní tak zemědělské půdy.



Obr. 32: Půdní profil afl na zvětralou mateřnou horninu s chodbami tří ekologických skupin flířal (zleva doprava): epigeických, endogeických a anektických.

4.8.2 Terestrické pijavice

Pijavice jsou jen vzácně suchozemské, zpravidla se jedná o krevsající ektoparazity v tropických deštných lesích. V jihovýchodních Alpách a Dinárském pohorí se ale vyskytují i druhy rodu *Xerobdella*, které flířají patrně na povrchu bukových lesů (listový opad, pod kameny a dřevem) a loví flířaly.

4.8.3 Velcí volní flující plošci

Plošci, tj. volní flující plošci, v této velikosti tla vystupují jako predátoři ve vlhkých tropických oblastech, vysoká diversita je ale také v chladném klimatu na Novém Zélandu. Zdrflují se ve vlhkém prostředí pod kameny, kusem dřeva pod. Druh *Artioposthia triangulata* (= *Arthurdendylus triangulatus*) z Nového Zélandu byl zavlečen na Britské ostrovy, kde jako predátor významně redukuje populace flířal. *Bipalium kewense* (patrně z jihovýchodní Asie) je dnes kosmopolitně rozšířen po sklenících botanických zahrad apod. Druh *Bipalium aventitium* byl zavlečen do volné přírody severní Ameriky.

4.8.4 Stonofky (Chilopoda)

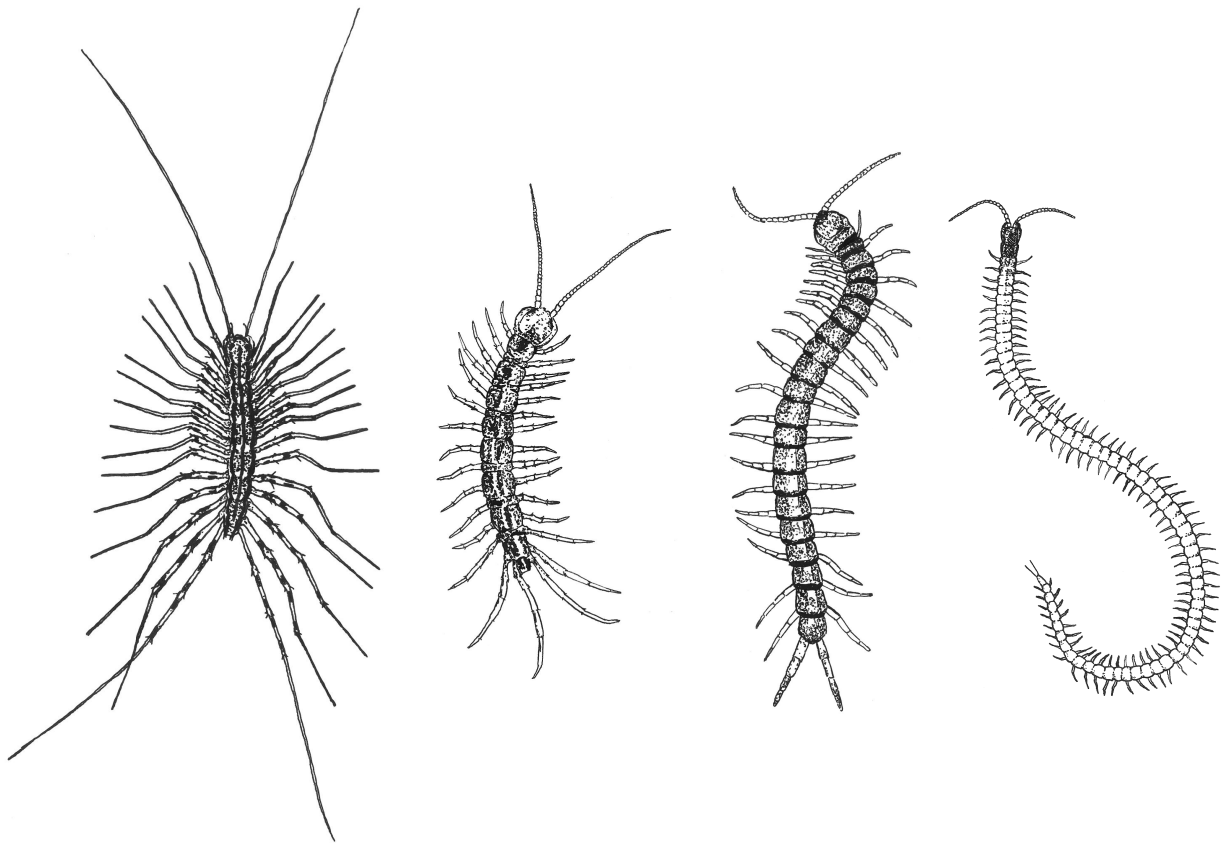
Jedni z nejvýznamnějších epigeických a podzemních predátorů o první pár nohou přeměněných na elistní nohy (maxillipedy) s jedovou flázou. Kořisti jsou různě členovci s nepříliš sklerotizovaným exoskeletem (chvostokoci, mšice, různě pavoukovci, larvy a dospělci dvoučlůvků, také jiné stonofky). Některé druhy přijímají doplněk, ale pravidelně, také rostlinou potravu (platí i pro známou stonofku křovovou *Lithobius forficatus*).

Na rozdíl od ostatních stonofkovic (Myriapoda) mají pohlavní otvor vzadu.

Rozlišíme několik řádů, které jsou zčásti také různě silně přizpůsobeny flivotu v samotném podzemí (obr. 33). Sesterský taxon k ostatním jsou strašníci (Scutigermorpha, nebo také Notostigmophora) o vzdušnice ústí mediálně na zádech, u ostatních párovitě bočně na pleurech), které se vyznačují pro stonofky jinak atypickým znakem o končetiny, v etn nohou, jsou velmi dlouhé. Pomocí těchto nohou chytají i hmyz v letu. Celkem bylo popsáno 80 druhů, které flíří především v teplých oblastech. Jediný stredoevropský druh, strašník dalmatský (*Scutigera coleoptrata*), se vyskytuje na sutích, vinohradech, synantropně ve sklepích apod. Strašníci tedy nepatří k podzemní fauně v užším slova smyslu. Další dvě skupiny o stonofky i různě členky (Lithobiomorpha) a stonohy i stejnočlenky (Scolopendromorpha) mají dorsoventrálně zploštělé tělo, které bývá relativně silně sklerotizované a dost výrazně zbarvené o často rezavě až tmavě hnědé, v případě stejnočlenky často i s varovným zbarvením (vzhledem ke značné velikosti těla a účinnosti jedu). Lithobiomorpha flítají celosvětově cca 1500 druhů (v Česku 37), Scolopendromorpha cca 550 (v Česku 3) o jedná se o výrazně teplomilnější skupinu, která je ale jifi v Mediteránu hojná. Nejvýraznější adaptace na flivot v podzemí o pohyb v úzkých podzemních pórech - vykazuje tvrdý taxon o zemivky i mnoho členky

(Geophilomorpha). Jejich tělo má až 191 tergitů a pár nohou (oproti max. 23 u stejno lenek a 15 u různých lenek), nohy jsou krátké, tělo tenké, málo sklerotizované a pigmentované (až na hlavu), zpravidla flutavé barvy, dochází k redukci očí. Do většiny kožních (mnohonofek, flifal) v podstatě pronikají celým tělem, menší jedinci loví jednoduše roupice a larvy dvoučlůvků. Celkem je známo 1100 druhů (v Česku 29). Řád Craterostigmomorpha, je znám pouze z Tasmánie a Nového Zélandu (celkem dva druhy).

Různé lenky dosahují ve střední Evropě v lesních podmínkách s nadložním humusem zpravidla hustoty 50 až 200 jedinců /m², mnoho lenky dosahují obdobné hustoty i na otevřených stanovištích.



Obr. 33: Vybrané taxony stonofek (Chilopoda) odrážejí jejich různou silnou vazbu na podnebí: zleva doprava dorsální pohled na strašáka (Scutigeroforma), různou lenku (Lithobioforma), stejno lenku (Scolopendroforma) a mnoho lenku i zemivku (Geophilomorpha).

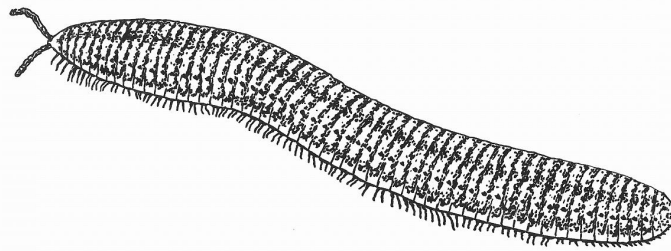
4.8.5 Mnohonofky (Diplopoda)

Pat í mezi progoneátní stonofkovce (Myriapoda: Progoneata) ó pohlavní otvor se nachází v p ední ásti t la (za 2. párem nohou). V t-ina t lních lánk nese dva páry krá ivých kon etin (nejedná se v-ak o pravé lánky, ale o splynutí tergít vřdy dvou po sob následujících lánk). Na hlav se nachází relativn dlouhá tykadla a jednoduchá oka umíst ná jednotliv nebo uspo ádaná do o ního pole. T lo délky n kolika milimetr ařl po desítky centimetr (v tropech) m ě být dlouhé válcovité jako u Julida a chobotulí (Polyzoniida) (obr. 34, 35), krátké válcovité jako u Glomerida (obr. 36) nebo zplo-t lé (v pr ezu klínovité) u plochulí (Polydesmida) (obr. 37). Dlouhé válcovité formy se mohou sto it do spirály, krátké zavalité druhy do kuli ky (volvace). T lo m ě být rozmanit zbarvené i strukturované, exoskelet je siln sklerotizovaný, inkrustovaný uhli itanem vápenatým. Chlupule (Polyxenida) jsou specializovány na řivot pod k rou odum elých strom (obr. 38). Jedná se o drobné mnohonofky (cca 263,2 mm), jejichř t lo je málo skerotizované (chybí uhli itan vápenatý) a siln ochlupené ó ve st ední Evrop *Polyxenus lagurus* a *P. germanicus*.

V laboratorních chovech se n které mnohonofky dořívají ařl 10 let. Celosv tov je známo cca 20 tisíc druh (v ěsku 78). Jedná se o saprofágy významné rozm l ováním organických zbytk , p edev-ím listového opadu (primární makrodestruenti), které se také podílejí na zapracování organické hmoty do p dy. Jejich exkrementy tvo í významný podíl tzv. arthropodového humusu. Tráví také nárosty bakterií a as. N které druhy mohou řrát i řivá rostlinná pletiva, nap . klí ky. Ve sklenících nebo i venku mohou proto n které druhy vystupovat i jako zem d l-tí -k dci, nap . *Blaniulus guttulatus* (Dunger, 1983). Obývají p dní povrch, opad, resp. nadlořní humus, tlející d evo i hlub-í minerální p dní vrstvy (zpravidla ne hloub ji neřl do 20 cm) jak lesních tak otev ených lu ních i polních p d. V závislosti na vlhkosti provád jí vertikální migrace (asto vylézají na povrch v noci). Dosahují hustot od n kolika jedinc po stovky jedinc /m² (v závislosti na stanovi-tních podmínkách i druhovém zastoupení). Ve vlhkých listnatých lesích Evropy m ě taxocenóza mnohonofek řtat i p es 15 druh (Dunger, 1983). Lesy na kyselém podloří (nedostatek vápníku) a louky (nedostatek úkryt na povrchu, nebezpe í zamok ení) jsou slab osídleny.



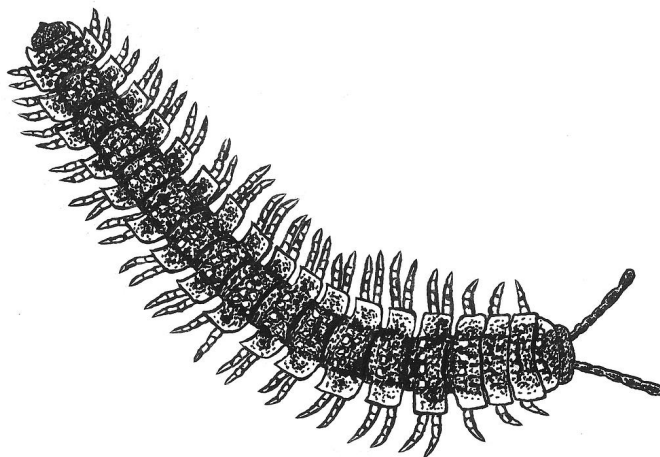
Obr. 34: *Julus curvicornis* (Julida) - typická válcovitá a protažená mnohonofka (ád Julida ó mnohonofky v uř-ím slova smyslu)



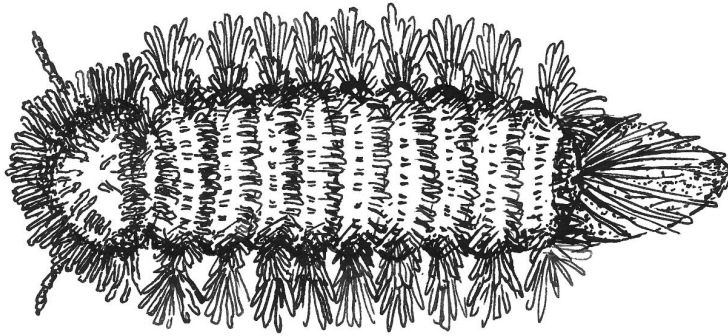
Obr. 35: *Polyzonium germanicum* (Polyzoniida) - mnohonofka ze skupiny chobotulí



Obr. 36: *Glomeris marginata* (Glomerida) ó západoevropský zástupce svinulí



Obr. 37: *Polydesmus complanatus* (Polydesmida) ó evropský zástupce plochlí



Obr. 38: *Polyxenus lagurus* (Polydesmida) ó evropský zástupce chlupulí, drobných mnohonofek (cca 2,63,2 mm) flijících pod krou odum elých strom