

Síla sukcese

Vývoj půdy na haldách chemické továrny

Josef Rusek

Sukcese je obecný přírodní fenomén progresivních postupných změn společenstev organismů od jednoduchých přes složitější až po ty nejvýše organizované ekologické systémy. Je to proces, během něhož dochází k ožívování skalních, písčitých či jiných substrátů společenstvy mikroorganismů, rostlin a živočichů, k zazemňování jezer a jiných vodních prostředí či k ožívování jakýchkoli „půdních“ odkryvů. Sukcese probíhá ve vodách (např. po napuštění nové vodní nádrže) i na souši. Bez ní by nebyl možný vývoj žádných ekosystémů. Řadu příkladů primární sukcese na skalních výchozech, velkých balvanech nebo na balvanitých sutích můžeme najít v horách, v pahorkatinách i nížinách.

O sukcesi jsem již psal dříve (viz Živa 2000, 5: 217–221; v seriálu Živá půda byly vysvětleny i důležité pojmy z půdní zoologie používané v tomto příspěvku — Živa 2000, 1–6) a v posledních ročnících Živy se objevily další články o tomto velmi důle-

žitým ekologickém fenoménu (např. Živa 2005, 5: 201–204). Připomeňme si, že půdní fauna hraje aktivní úlohu v sukcesi ekosystémů. Rozkládá mechanicky mrtvou organickou hmotu, vytváří charakteristickou půdní mikrostrukturu a významně přispívá

Krytenky (*Testacea*) patří k vodní půdní mikrofauně. Jsou to kořenonožci (*Rhizopoda*) s typickými schránkami. Druhy *Euglypha laevis* (2) a *Trinema lineare* (4) vstupují do sukcese již v raném stadiu na červené haldě s lišejníky a mechy, ale teprve na 48 let staré haldě dosahují nejvyšší početnosti (abundance) 400 a 700 jedinců/100 cm². V další sukcesi ale jejich počet klesá a dosahuje na 84leté haldě jen desetinu uvedených hodnot. Druh *Trinema enchelys* (3) vstupuje do sukcese později než předchozí dva druhy, a to ve stadiu pronikání trsů trav, nejvyšších hodnot početnosti dosahuje na 48 a 60 let staré haldě (490 a 600 jedinců/cm²). V 84 let starém stadiu klesla početnost tohoto druhu na 60 jedinců/cm². Krytenka *Corythion dubium* (1) dosahuje na všech haldách velmi nízkých hodnot početnosti, nebo se na nich nevyskytuje vůbec. Je typická až pro klimaxové stádium bučin v širším okolí

k tvorbě základních forem humusu. Řada sukcesních mechanismů v půdní části ekosystémů je málo prozkoumaná. Zejména vývoj ekosystémů v extrémních klimatických podmínkách, na tvrdých skalních útvarcích nebo dokonce na substrátech z odpadů při produkci různých chemických výrobků je zajímavý tím, že do sukcese mohou na počátku i v pokročilejších sta-

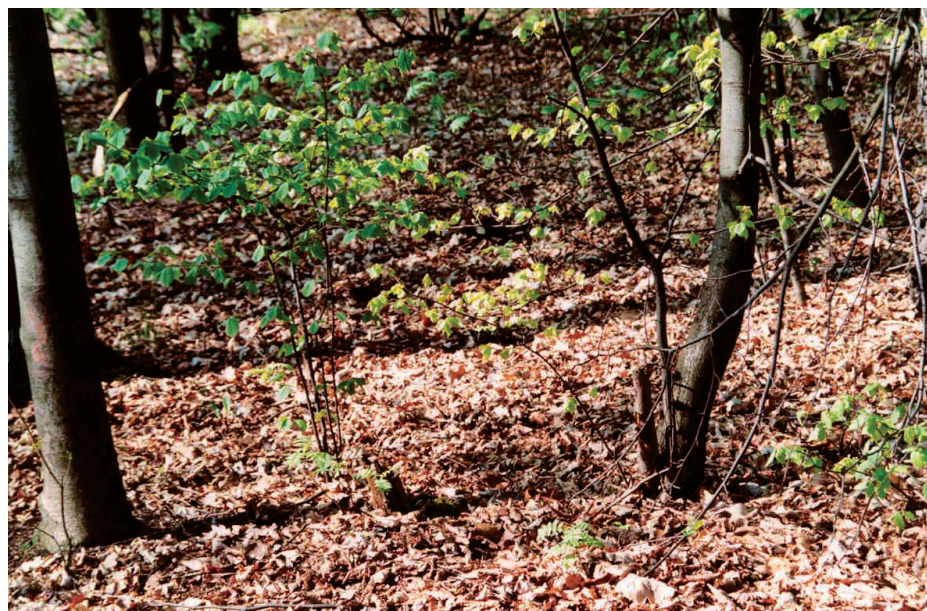


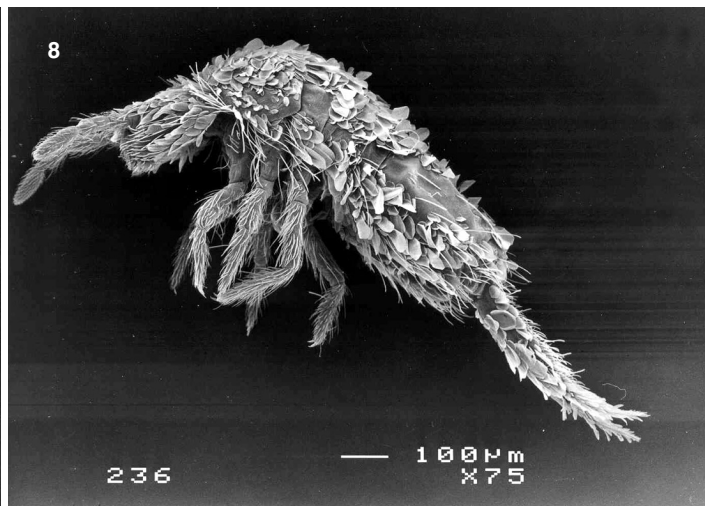
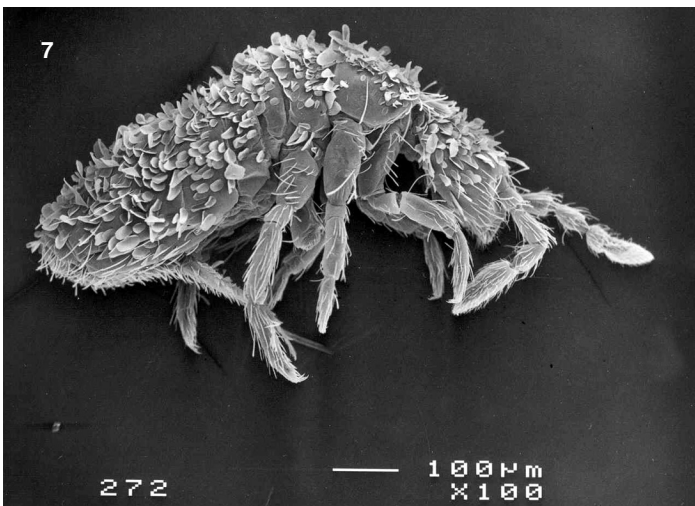
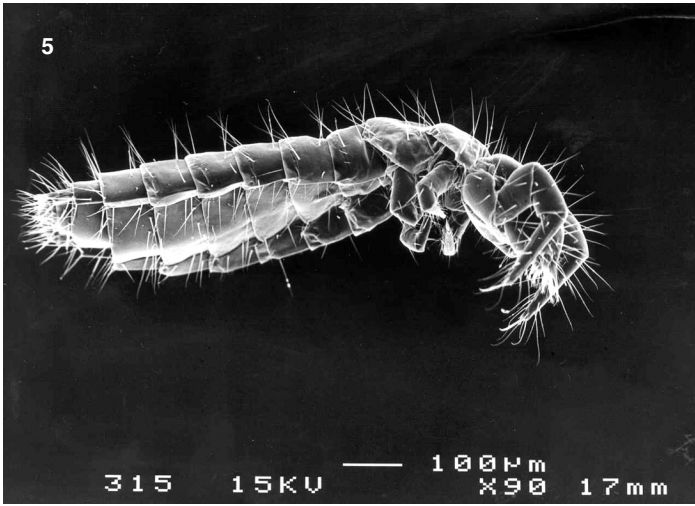
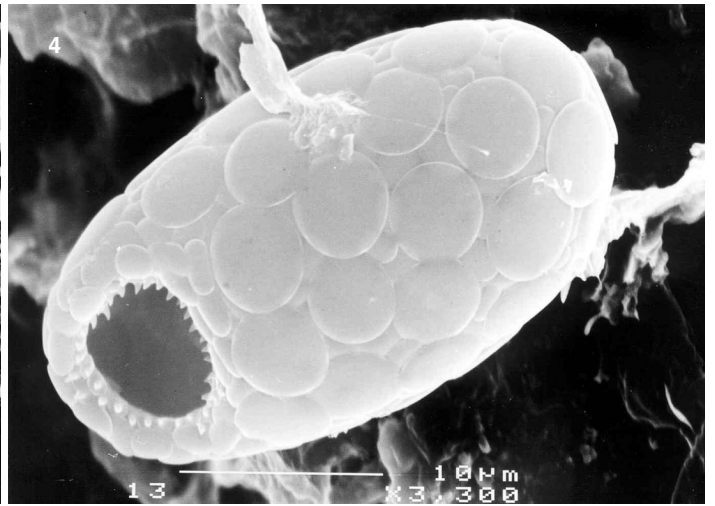
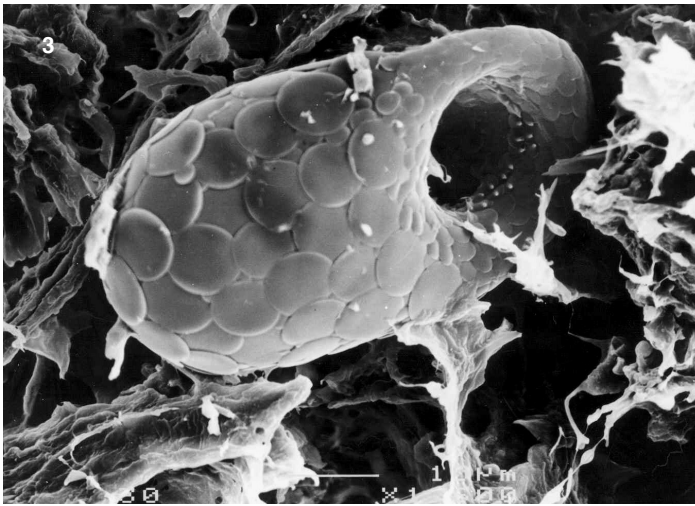
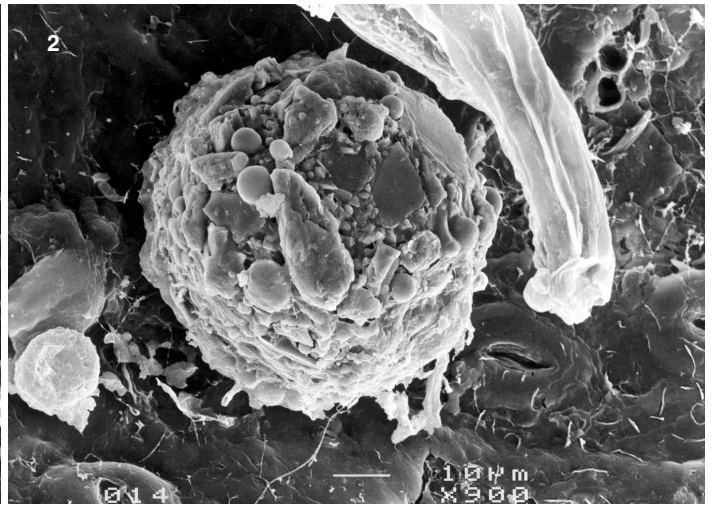
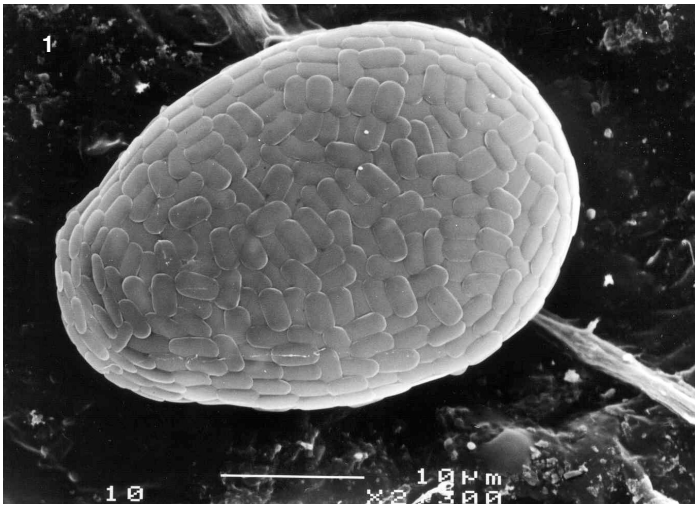
Vlevo nahoře 25letá červená halda s lesním sukcesním stadiem směřujícím k lipové doubravě
♦ Vlevo dole 84letá bílá halda s lesním porostem lip, dubů, habrů a lísek — pokročilejší sukcesní stádium k lipové doubravě

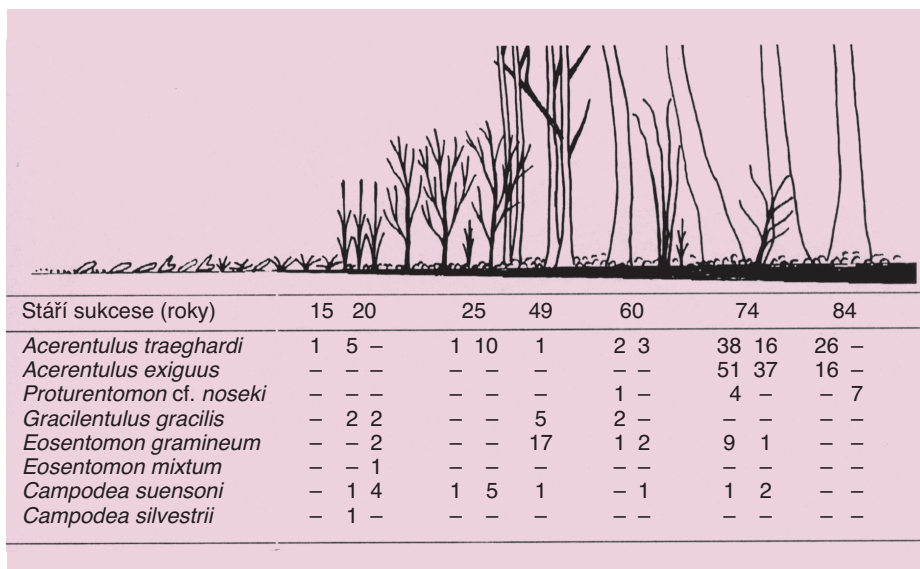
diích vstupovat pouze některé organismy. Řada druhů do studované sukcesní řady vůbec nevstupuje, protože nevhodný substrát jim po dobu 84 let dosud neposkytl dostatečně příznivé podmínky pro život. To umožňuje usoudit, které sukcesní pochody jsou jejich nepřítomností bržděny nebo neprobíhají vůbec, a tak odhalit úlohu chybějících organismů v sukcesních pochodech.

Takovými extrémními substráty jsou haldy chemických továren. V minulých desetiletích jsem na nich sledoval vývoj půdy a celých ekosystémů. Na třech haldách bývalé chemické továrny na výrobu kyselí-

Na protější straně: Hmyzenka *Acerentomon fage-ticola* (5), popsána z bučin v širším okolí bald, do sukcese na haldách nevstoupila, protože je potravně specializována na mykorrhizní houby žijící pravděpodobně na kořenech buku. Hmyzenky (*Protura*) jsou zástupci primitivního entognatního (celé ústní ústrojí mají skryto v hlavové schránce) hmyzu. Žijí výhradně v půdě v euedafických, tj. v pravých půdních podmínkách. Na hlavě mají orgán k vnímání relativní vzdušné vlhkosti v půdě (*pseudoculus*), jsou slepé a zcela jim schází tykadla, jejichž funkci přebraly dopředu nad hlavu namířená chodidla prvního páru noh. Na středo- a zadobrudí je pár kráčivých nožek, zadeček je v dospělosti 12článkový a na jeho prvních třech článcích jsou pahýlovité zbytky zadečkových končetin. Euedafický, bílý a slepý chvostokok *Protaphorura armata* (6) a hemiedafický (z povrchové vrstvy půdy) druh *Pseudosinella alba* (7) s pignnetem pouze v zakrnělých očkách je typický pro lesní vývojové stupně sukcese na haldách, kdežto epigeický (žijící na povrchu půdy), modře zbarvený druh *Lepidocyrtus cyaneus* (8) žije v raných sukcesních stádiích na povrchu haldového substrátu s tenkou vrstvičkou humusu







ny sírové, solné a dusičné a sody v Petrovicích u Karviné na severovýchodní Moravě probíhala v době prvního odběru vzorků v r. 1979 primární sukcese 15, 25 a 60 let a v r. 2003 dosáhla na dvou nejstarších haldách s nejvyspělejšími sukcesními stupni stáří 49 a 84 let. Předpokládali jsme, že na chemicky extrémních substrátech do sukcese vstupují jen některé skupiny půdní fauny a to že umožní lépe poznat jejich úlohu při tvorbě půdy a půdní mikrostruktury. Cílem projektu bylo:

- popsat společenstva půdní mezofauny (chvostokoci — *Collembola*, pancířníci — *Oribatida* a jiné skupiny drobných čle-

Zastoupení různých druhů hmyzenek i jejich početnost (abundance) se v průběhu sukcese mění. První druh Acerentulus traeghardi se objevuje již v 15letém sukcesním stadiu a dosahuje nejvyšší hustoty v 74–84letém stadiu (16 až 38 jedinců/100 cm²), kdežto A. exiguus se objevuje a dosahuje nejvyšší početnosti teprve v nejrozvinutějších lesních stadiích sukcese

novců) a mikrofauny (krytenky — *Testacea*, hlístice — *Nematoda*) a jejich změny v průběhu sukcese;

- porovnat společenstva půdní fauny různých starých sukcesních stadií s klimaxovými lesními společenstvy v okolí;

Halda ve stáří 15 let s otevřeným porostem mechů. Na místě odběru půdních vzorků lze vidět červenou barvu baldového substrátu

- popsat, kvantifikovat a analyzovat na půdních výbrusech (tj. velkých mikroskopických preparátech zhotovených z půdních vzorků napuštěných umělou pryskyřicí, která na přesných diamantových bruskách umožňuje zhotovení 15–20 μm tenkých výbrusů vyhodnocovaných v normálním a polarizovaném světle) mikrostrukturu nestárných sukcesních stadií a úlohu různých skupin půdní fauny v půdotvorných procesech;

Tab. Sukcesní vývoj některých skupin půdní fauny na baldách bývalé chemické továrny v Petrovicích u Karviné sledovaných v letech 1979–2003. Čísla v tabulce udávají počet druhů jednotlivých organismů (skupiny označené - nebyly v daném roce studovány či určovány do druhu), v závorce je uveden počet jedinců na 100 cm². Početnost půdní fauny (abundance) se udává v počtech jedinců na plošnou jednotku povrchu půdy, protože do hloubky 5–10 cm se nachází 95–99 % všech půdních organismů

Organismus	krytenky (Testacea)	hlístice (Nematoda)	chvostokoci (Collembola)	pancířníci (Oribatida)	bezpancířníci (Acaridida)	čmelíkovci (Gamasida)	Actinedida
Červená halda po výrobě kyselin (pH 4,8) stará 15 let (v r. 1979)							
rané stádium sukcese s řasovými povlaky	–	–	3–5 (13–50)	2–3 (9–24)	0	0	– (390–835)
rané stádium sukcese s lišejníky	–	–	4–6 (50–124)	– (80–185)	0	0	– (273–590)
rané stádium sukcese s mechy (2 mm humus)	3–4 (50–70)	12 (220–1 410)	6–9 (26–69)	3–5 (38–81)	0	0	– (110–598)
rané stádium sukcese s 2 cm vrstvou humusu	–	–	12–18 (49–326)	9–20 (390–1 173)	sporadicky (365–648)	sporadicky	–
sukcesní stádium s trsy trav	8 (100–730)	38 (1 340–62 450)	15 (348–807)	–	–	–	–
Červená halda stará 25 let (z r. 1979)							
sukcesní stádium lipové doubravy	– (115–316)	– (134–641)	12–20 (8–16)	19–25 (38–185)	– (141–352)	–	–
Červená halda stará 49 let (z r. 2003)							
sukcesní stádium lipové doubravy	12–22 (890–5 035)	65 (4 360–11 800)	16–20 (649–830)	23 (528)	–	–	–
Bílá halda po výrobě sody (pH 7,4) stará 60 let (z r. 1979)							
sukcesní stádium lipové doubravy	– (118–302)	– (446–1 658)	12–17 (12–174)	12–18 (2–24)	– (141–352)	–	–
Bílá halda stará 84 let (v r. 2003)							
sukcesní stádium lipové doubravy	9–11 (500–1 100)	61 (96–3 115)	24 (649)	16 (40 300)	–	–	–



Rané sukcesní stupně na jižní haldě v r. 1979. Na úpatí mírného svahu je porost otevřených společenstev lišejníků a mechů, do nějž postupuje tráva medyněk vlnatý (*Holcus lanatus*) a výše položený keřový porost vrby a břízy. Snímky J. Ruska

● korelovat zjištěné parametry společenstev půdních živočichů se sukcesním stářím, půdní mikrostrukturou a chemickými parametry substrátu a nově vzniklé půdy.

Haldy studovaných chemických substrátů byly jednak bílé se zbytky po výrobě sody (pH 7,4), obsahující až 73 % CaCO_3 , a jednak červené se zbytky rozemletých kyzových (pyritových) výpražků (pH 4,8) po komorové výrobě kyseliny sírové obsahující zbytky mateční horniny a více než 50 % Fe_2O_3 . Primární sukcese bez rekultivačních zásahů byla při prvním odběru vzorků v r. 1979 zbrzděna jednak na místech s nakupenými, až 2 m vysokými hromadami haldového substrátu, jednak na jižních a jihozápadních mírných svazích (viz obr.) u výrobních hal zrušené chemické továrny (založené v r. 1852). Na místech se zpomalenou sukcesí byl povrch substrátu nesouvisle porostlý řasami, lišejníky nebo mechy, na mírných svazích začaly do sukcese vstupovat jednotlivé trsy trav (medyněk vlnatý — *Holcus lanatus*), břízy a vrby. Porost stromů, keřů a podrostu na 25 a 60leté haldě představoval vývojová sukcesní stadia směřující ke klimaxu lipových doubrav rostoucích v blízkém i širším okolí.

Na studovaných haldách bylo zjištěno 72 druhů a variet krytenek (*Testacea*), 68 rodů půdních hlístic (*Nematoda*), 14 druhů vířníků (*Rotatoria*), dva druhy želvušek (*Tardigrada*), 58 druhů pancířníků (*Oribatida*), 6 druhů drobnušek (*Pauropoda*), tři druhy stonožek (*Symphyla*), pět druhů hmyzenek (*Protura*), dva druhy vidličnatek (*Diplura*) a 96 druhů chvostoků (*Collembola*).

Během sukcesního vývoje dochází obecně ke zvyšování početnosti u většiny skupin půdní fauny. U některých skupin je tomu ale naopak, jak jsme mohli zaznamenat u roztočů z řádu *Actinedida* (viz tab.). Sukcese společenstev půdní fauny se v počátečních fázích na obou substrátech lišila, ale již v 25letém stadiu se sblížila dosud odlišná společenstva do jediného, směřujícího ke klimaxu lipových doubrav zastoupených v okolní krajině.

Pro raná stadia sukcese na červeném kyselém substrátu jsou typičtí chvostokoci *Mesaphorura atlantica*, *M. macrochaeta* a *Schoettella ununguiculata*, na bílém mírně zásaditém haldovém substrátu druhy *Hypogastrura assimilis*, *Lepidocyrtus cyaneus* (viz obr.) a *Proisotoma minuta*. Druh *M. atlantica* jsem popsal z raných sukcesních stadií na lupkových hlušíňových haldách vzniklých při těžbě uhlí v Anglii, posléze byl potvrzen i na výsypkách po povrchové těžbě hnědého uhlí v Německu, kde byly typické i *S. ununguiculata* a *H. assimilis*. Pro nejvyspělejší stadia sukcese bez závislosti na substrátu byli charakterističtí chvostokoci *Lepidocyrtus lanuginosus* (epigeický druh žijící na povrchu půdy), hemiedafické druhy *Parisotoma notabilis* a *Folsomia quadrioculata* žijící v povrchových půdních vrstvách a druhy euedafické *Protaphorura armata* (viz obr.), *Mesaphorura hylophila* a *Folsomia lawrencei* žijící hlouběji. Ve většině lesních půd spolu žije 3–5 druhů euedafického rodu *Protaphorura*, na studovaných haldách je dominantní pouze *P. armata* a další tři druhy se vyskytují jen vzácně. V lesních půdách dominantní chvostokoci *Isotomiella minor*, *Megalothorax minimus* a *Friesea mirabilis* se na haldách během 84leté sukcese neobjevili vůbec s výjimkou posledního druhu, který se vyskytuje velmi vzácně v nejstarším stadiu.

Zmíněný sukcesní sled druhů chvostoků dokumentuje např. „zmírňování“ extremity substrátu s hloubkou půdy. Např. na 84leté haldě bylo pH v hloubce 0–2 cm 6,31, v 2–5 cm 6,16, v 5–10 cm 6,03 a v 10–15 cm 5,73. Rovněž sukcesní vývoj forem humusu byl v horních částech půdního profilu příznivější a na styku s haldovým substrátem zůstával v méně příznivé formě surového humusu. Tyto skutečnosti umožňují postupně rozrůznění společenstva půdních živočichů nejen co do druhové bohatosti, ale i co do zastoupení náročnějších ekomorfoloogických forem ve sledu epigeonti (méně náročné formy snášejí větší výkyvy klimatických podmínek) — náročnější hemiedafobionti — nejnáročnější euedafobionti, nesnášejí např. pokles relativní půdní vzdušné vlhkosti pod 99 % (viz Živa 2000, 4: 169–172).

Během 84letého sukcesního vývoje došlo i k postupnému nahrazování a zmožování jednotlivých funkčních skupin půdních organismů odpovědných např. za rozklad mrtvé organické hmoty, za promíchávání a provzdušňování tvořícího se humusového horizontu i za samotný vývoj vyspělejších forem humusu. Také potravní rozrůzněnost mezi jednotlivými skupinami a rody či druhy půdní fauny je silně ovlivněna potravní nabídkou z řad půdní mikroflóry (bakterie, řasy, houby).

Podobné poměry byly zjištěny u krytenek, hlístic i pancířníků. U krytenek začínala sukcese na dvouletém červeném substrátu s porostem řas převažujícím druhem *Plagiopyxis declivis* (početnost 50 jedinců/100 cm^2). Na 15leté haldě s porostem mechů dominovaly z krytenek *Trinema lineare* (viz obr.) nebo *Phryganella acropodia*. Rovněž místa s otevřeným porostem trsů trav na 15leté haldě byla obsazena převážně společenstvy krytenek *Phryganella acropodia*. Na 25–47 let staré červené haldě byly nejpočetnější krytenky *Trinema encbelys* a *Euglypha laevis* (viz obr.). Na sukcesně nejvyspělejší 82 let staré

haldě s bílým substrátem převažovaly *T. lineare*, *T. encbelys* a k nim přistupovalo mnoho subdominant (např. *Cyclopyxis eurystoma* a *Phryganella acropodia*) a řada vzácnějších druhů. V klimaxových lesních porostech v širším okolí bylo zjištěno v bučinách 11–14 druhů krytenek v hustotách 630 až 2 030 jedinců/100 cm^2 (dominanty *Plagiopyxis declivis*, *P. callida*, *Centropyxis orbicularis*, *Trinema encbelys*, *Phryganella acropodia*). Ve starých lipových doubravách žilo 12–24 druhů krytenek v hustotách 430–2 910 jedinců/100 cm^2 a dominantní byly druhy *Plagiopyxis declivis*, *P. callida*, *Trinema encbelys*, *T. complanatum*, *T. lineare* a *Valkanovia elegans*. Většina těchto druhů z klimaxové lipové doubravy se objevila již i na (25) 47 nebo 82leté haldě, ale jen některé patřily k dominantám.

Na sledovaných haldách se v průběhu sukcese u všech skupin postupně mění zastoupení jednotlivých druhů ve společenstvech, a to v souladu s abiotickými podmínkami v substrátu, se změnami v potravní nabídce apod. Výskyt některých druhů se omezil jen na iniciální sukcesní stadia, jiné druhy jsou vázány na poněkud pokročilejší pionýrská období a další druhy žijí jen v rozvinutějších vývojových stupních sukcese. Celá řada druhů zjištěná v širším okolí v klimaxových lipových doubravách s mulovou formou humusu (pokročilá forma s hlubším půdním profilem) na zkoumaných haldách nebyla zaznamenána a některé druhy zřejmě haldy ani neosídlí, protože v půdotvorném substrátu scházejí jílové minerály, které jsou pro vývoj mulové formy humusu základem.

V publikovaných vědeckých pracích se uvádí i další méně početné skupiny půdní fauny vstupující do sukcese na haldách. Mezi ně patří funkčně významná skupina hmyzenek (*Protura*), drobnušek (*Pauropoda*) a vidličnatek (*Diplura*). Hmyzenky (viz obr.) se živí mykorhizními houbami a přenášejí je (inokulace — naočkování) na kořeny specifických dřevin. Začínají se objevovat jednotlivě již na 15leté haldě s porostem mechů, hojnější jsou po invazi trávy medyněk vlnatého a na 25–84letých haldách jsou pravidelnou součástí ekosystému. V pokročilejších stadiích sukcese jsou zastoupeny ve vyšší hustotě a druhové početnosti (viz obr. na str. 130).

Jednotlivé druhy hmyzenek jsou potravně vázány na kořeny různých dřevin a je překvapivé, že na haldách žije 6 druhů. Dá se to vysvětlit tím, že je to součet všech druhů, které se na haldách vyskytly během sukcesního vývoje. Žily v určitém sukcesním stadiu kratší nebo delší dobu a zase vymřely. Současně žily v určitém vývojovém stadiu hald nanejvýš čtyři druhy hmyzenek.

Na různé druhy mykorhizních hub je rovněž potravně vázáno druhově početné společenstvo drobnušek. Vidličnatky patří k půdní makrofauně a do sukcese vstoupily teprve na 20leté haldě dvěma druhy, ale v dalších fázích vývoje se prosadil pouze druh *Campodea suensoni*. Pro otevřená mechová společenstva jsou na počátku sukcese charakteristické larvy svižníků (*Cicindela* spp.), mravkolůvů běžných (*Myrmeleon formicarius*) a mravenci rodu *Lasius*. V půdě mechových porostů se vyskytují (někdy dosti početně) larvy brouků z čel. *Byrrhidae* žijící se výhradně mechy.