

Ekologie extrémů: život na popílku – sopky a/nebo odkaliště

Substrát vychrlený tepelnou elektrárnou, který skončil jako strusko-popílková materie na odkališti, a substrát, jenž se dostal na svět vulkanickou činností a pokrývá nyní okolí kužele některé sopky, mají velmi mnoho společného. Měli jsme možnost si to porovnat na jedné straně výzkumem opuštěných a nerekulitovaných odkališť ve střední Evropě a na straně druhé studiem různě starých sopečných materiálů v jihoamerických Andách (např. živá sopka Cotopaxi nebo vyhaslá sopka Chimborazo, Ekvádor). Procesům, jimiž si příroda znovu osvojuje první jmenovaný typ stanovišť, se věnujeme v tomto čísle na str. 116 v seriálu Ekologie obnovy narušených míst, o druhém případě jsme se na stránkách Živy letmo zmínili v širě pojatých textech (Živa 1996, 1–2: 8–10 a 56–59; 1999, 6: 262–264).

Vulkanická činnost vs. vegetační obnova
Sopečná aktivita je všudypřítomným prvkem vývoje přírody vysokohorských And a významným způsobem ovlivňuje druhové složení, prostorovou strukturu a dynamiku přítomných ekosystémů. Živé vulkány mohou v periodách své aktivity ovlivňovat vegetaci přímým narušením (disturbancí) ať už lávovými proudy, vyvrženým hrubým i jemným horninovým materiálem, či vrstvami popílku nanese-

nými větrem nebo vodou. Nepřímé vlivy u vyhaslých sopek mohou spočívat ve stresovém působení nepříznivých vlastností, resp. extremitou fyzikálních a chemických charakteristik starých sopečných substrátů. Charakter vegetace, která se na popsáných podkladech vyvinula, závisí na nadmořské výšce a lokálních podmínkách stanoviště; bývá označována jako formace pionýrských travinných nebo křovinných páramos. Ve vysokohorské zóně prudce

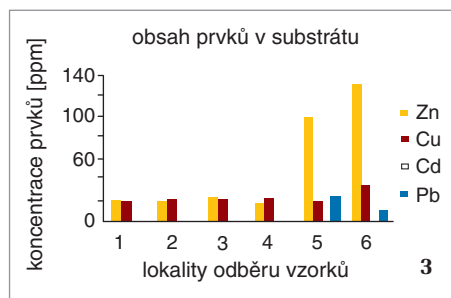
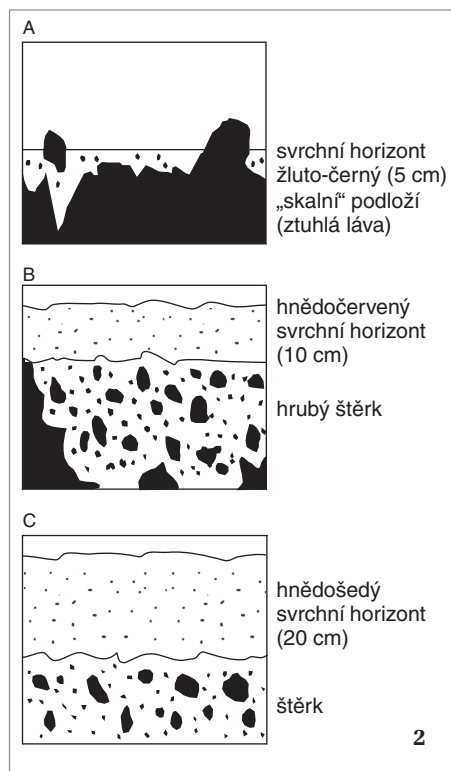
proměnlivých geomorfologických a klimatických jevů to pro vegetaci znamená stálý boj s tlakou prostředí, což vytváří pásmo nepřetržitého pnutí a ustálení zapojených porostů trvá nesrovnatelně déle, než je tomu v nižších polohách.

V Živě ilustroval kolonizaci vyvrženého vulkanického materiálu ve svém článku o mladé mexické sopce Paricutín Marcel Rejmánek (Živa 1978, 5: 173–176). Přes výrazně nižší nadmořskou výšku popelových polí, severnější geografickou polohu a sušší makroklima se jeho zobecňující odhady v předpovědi vývoje druhové diverzity rostlin významně neliší od našich pozorování a odečtů v terénu ekvádorských And, kde jsme měli k dispozici dobře datovaná sukcesní stadia lišící se stářím o stovky let. Lapidárně řečeno: lidský život není souměřitelný s pomalostí vegetační sukcese, kde počet druhů rostlin přibývajících v čase klesá tak, že dosažení běžné hodnoty odpovídajícího sukcesního stadia přes 100 druhů cévnatých rostlin na hektar řádově přesahuje možnosti přímého svědectví jednotlivce.

Abychom byli konkrétnější: stratovulcán Cotopaxi (od r. 1975 národní park) dosahuje nadmořské výšky 5 897 m a leží

1 Chimborazo, vyhaslá sopka zajímavá tím, že pokud by se její nadmořská výška přes 6 000 m vztahovala ke středu Země při respektování mírně zploštělého tvaru glóbu, byla by nejvyšším vrcholem světa. Partie ležící v deštovém stínu s výsušným prouděním větru poskytují možnost být svědky pozvolné expanze horské pouště. Eroze starých uloženin popílku narušuje porosty s dominantními travami a konstruuje bizarní tvary mikroreliefu.





ve východní kordilleře Ekvádoru. Při základně má jeho kužel průměr 22 km. První přesně datovaná erupce se klade do r. 1534. Další série výbuchů, z níž pocházejí rozsáhlé proudy lávy a depozice popela, se odehrála v letech 1742–68. Nejmladší silná perioda vulkanické aktivity nastala v letech 1844–86 a objem tehdy přemístěného materiálu při odtržení části sopečného kužele se odhaduje na 2,5 km³ (vytvořil se tak r. 1877 oddělený geomorfologický útvar zvaný Chillós Valley Lahar a silnou vrstvou materiálu byla pokryta rozloha 170 km² převážně severovýchodně od sopky). K posledním větším erupcím pak došlo na začátku minulého století (1903–04). Do r. 1980 byla Cotopaxi pokryta ledovcem od 4 600 do 4 800 m n. m., od té doby se datuje nepřetržitý ústup zalednění.

Tab. 1 Rozdíly v druhové diverzitě mezi nejmladším (A), středně starým (B) a nejstarším (C) laharem (směs kamenitého materiálu vyvrženého při sopečné erupci s bahem pocházejícím z tajícího ledovce) Cotopaxi podle hlavních taxonomických skupin

Taxonomická skupina	Lahar A	Lahar B	Lahar C	Celkem
Lišejníky	22	28	21	33
Mechy	11	15	9	16
Játrovky	1	0	0	1
Kapradorosty	1	1	1	1
Cévnaté, dvouděložné	17	29	37	44
Cévnaté, jednoděložné	5	7	14	14
Celková početnost	57	80	82	109

Kolonizace a sukcese

Vegetace kolonizujících rostlinných formací má většinou dvě patra (bezcévných rostlin a bylin), druhové složení závisí na stáří substrátu. Nejstarší, možná „konečné“ sukcesní stádium představuje travinné páramo s dominantními trsy třtiny *Calamagrostis intermedia* a kostravy *Festuca subulifolia*. Těžko se ovšem měří vliv lidského faktoru, jako je záměrné vypalování nebo pastva (převážně koní a lam).

Když jsme chtěli porovnat druhové složení a početnost rostlin na sopečných podkladech starých 130, 250 a 475 let na severovýchodní straně Cotopaxi, rozhodli jsme se pro dosti detailní a strukturovaný způsob odečtu přítomnosti a četnosti výskytu rostlin. Síťovou matici s rozměrem vždy 6×2 m jsme hierarchicky rozdělili do základních čtverců 50×50 cm a v několika opakováních na každém ze tří různě starých sopečných polí jsme v nejmenším zrna analyzovali úhrnem 3 600 elementárních plošek (ok) s rozměrem 5×5 cm. V nich byla zaznamenána přítomnost a pokryvnost každého druhu cévnatých rostlin, mechorostů a lišejníků. Celkový počet druhů ze všech sukcesních stádií dohromady čítal 109, z toho 33 lišejníků, 16 mechů, 1 játrovku, 1 kapradorost, 44 druhů dvouděložných a 14 jednoděložných rostlin. Je ovšem třeba si uvědomit, že iniciální stádium sukcese jsme zachytili nemožli, i nejmladší ze srovnávaných polí jsme zachytili až po 130 letech od erupce. Dá se předpokládat, že zcela na počátku osídlování figurovaly sinice a zelené řasy, po nich korovité lišejníky. Změny s délkou vývoje vegetace vzrůstají, přibýly další typy lišejníků, postupně pak cévnaté rostliny, zejména dvouděložné, mezi nimiž se objevily kobercové či plazivé (prostrátní) byliny. Vzácněji se objevily dřeviny z čel. hvězdicovitých (*Asteraceae*), poněkud juvenilní exempláře *Gynoxys* sp. (obr. 10) nebo *Pentalia peruviana*. Nejnížší celkový počet druhů byl zjištěn na nejmladší ploše, výrazně vyšší a vzájemně srovnatelný počet druhů dosáhl středně starý a nejstarší sopečný substrát, ovšem s jiným prostorovým uspořádáním a jinými relativními pokryvnostmi – pro nejstarší formaci byl příznačný vyšší zápoj trsnatých dominant přisuzovaných závěrečnému (klimaxovému) stadiu sukcese.

Velmi nápadné keříčkovité lišejníky rodu *Stereocaulon* jsou charakteristické pro pionýrské fáze osídlování obnažených popelů. Zdejší dominantní druh *S. verruciferum* (obr. 9) se může snadno rozšiřovat větrem podobně jako některé cévnaté rost-

2 Profily substrátů na laharech Cotopaxi. A – nejmladší, B – středně starý, C – nejstarší. Upraveno podle P. Sklenáře a kol. (v tisku)

3 Srovnání vlastností substrátu na následujících lokalitách: 1–3: Cotopaxi, 1 – nejmladší sukcesní stádium (1877), 2 – středně staré sukcesní stádium (1740–68), 3 – nejstarší sukcesní stádium (1530), 4 – Chimborazo, hraniční svahové partie mezi páramos a otevřeným prostorem, 5 – manganorudné odkaliště Chvalětice, 6 – strusko-popílkové odkaliště Bukovina u Opatovic nad Labem: průměrné hodnoty ze čtyř analyzovaných vzorků. Upraveno podle P. Kováře (2001)

4 Pomalou sukcesí zatrávněné plochy na starých vulkanických profilech narušených erozí (Chimborazo)

5 Z čeledi hořcovitých (*Gentianaceae*) je patrně nejběžnějším druhem vysokohorských plání drobná bylina *Halenia weddelliana* s čtyřčetnými žlutými květy a výraznými ostruhami.

6 Typický americký rod *Castilleja* z čel. zárazovitých (*Orobanchaceae*) je v Andách zastoupen několika druhy. Ohnivá červeň listunů druhu *C. fissifolia* kontrastuje s nenápadnými bledě žlutými květy.

7 Koberce hvězdicovité *Werneria humilis* stabilizují vrstvy sopečného popela a zároveň slouží jako vhodný „substrát“ pro uchycení semenáčků ostatních druhů.

8 Keříky (rodu *Pentalia* aj.) nejděle odolávají vlivům narušujícím povrch sopečných vrstev, nakonec však dojde k obnažení jejich kořenů a podlehnou také.

9 Lišejník pevnokmínek *Stereocaulon verruciferum* a mech ploník jalovcový (*Polytrichum juniperinum*) tvoří hlavní složku v sukcesí na sopečném materiálu.

10 I na hrubozrnném laharech se pořádku uchytí dřeviny jako *Gynoxys* sp. z čel. hvězdicovitých (*Asteraceae*).

liny na otevřených bezlesých pláních (tzv. stepní běžci). Jejich zpevněné, přibližně válcovitě utvářené stélky bývají navátý na exponovaných místech. S postupující vegetační sukcesí se jejich pokryvnost snižuje, neboť je zastihují vyšší rostliny a v případě zpevněné a jen pomalu zvětrávající krusty na lávovém povrchu trpí malou dostupností živin. Tato zkušenost platí nejen pro lokality námi popisované, ale obecně pro mnohé další vulkány od Havaje po Japonsko (s tím, že na druhové úrovni je třeba počítat s jiným taxonomickým zařazením). Ovlivnění následného vývoje vegetace těmito a možná i dalšími méně četnými lišejníky se odehrává různými způsoby. Jednou ze symbiotických složek dominantních lišejníků je cyanobakterie (sinice) *Stigonema* schopná fixace dusíku, u jiných je to zase *Nostoc* sp. Protože na počátku primární sukcese na vulkánech dusík zcela chybí, je jeho postupná kumulace prostřednictvím lišejníků klíčová pro nastupující rostlinnou garnituru. Na druhé straně může souvislý lišejníkový pokryv uchycení jiných druhů rostlin blokovat či zpomalovat tím, že brání semenům vyklíčit, případně semenáčkům se rozvíjet.

Mechy na žádné z námi zkoumaných ploch netvořily dominanty, byly slabší komponentou v konkurenci o prostor nejprve s lišejníky, později s cévnatými





11 V nejmladších sukcesních stadiích na vulkánech se uplatňuje *Ephedra rupestris* s plazivou strategií růstu jako ojedinělý zástupce skupiny stojící na pomezí nahosemenných a krytosemenných rostlin.

12 Trojštět *Trisetum spicatum* nebývá dominantou zapojených porostů, ale tvoří součást pionýrské druhové garnitury.

13 Rozvolněná vegetace pionýrského páramo s nápadnými květy hořečku *Gentianella cerastioides* je charakteristická pro mělké skeletovité substráty při úpatí Cotopaxi. Druhová bohatost rostlinného společenstva je nízká, na druhou stranu je společenstvo poměrně vyrovnané a žádný z druhů většinou nedokáže převládnout.

14, 15 Jak graminoidní (14), tak keříčkovité (15) růstové formy vedou pokaždé jinou strategii pro boj o přežití v materiálu snadno podléhajícímu narušujícím faktorům.

16 Detailní analýza druhového složení a pokryvnosti zastoupených druhů na různých starých podkladech s Cotopaxi v zádech si vyžádala řadu dnů při neobvyklé tělesné poloze v nehostinných podmínkách. Stratifikovaný design záznamových ploch vyžaduje dobré oko pro odečet pokryvnosti drobných rostlin a lišejníků v základním poli sítě 5×5 cm. Všechny snímky P. Kováře



rostlinami a svého maxima zapojení dosáhly na středně starém laharu. Cévnaté rostliny postupně převládly a v nejstarším sukcesním stadiu se probojovaly k největší úspěšnosti v porostním zastoupení hvězdnicovitá *Werneria nubigena*, hořcovitá *Halenia weddelliana*, bobovitý *Lupinus microphyllus* a růžovitá *Lachemilla orbiculata*, které zároveň patří v ekvádorských páramos obecně k nejběžnějším druhům. Jednoznačné dominanty v nich ovšem tvoří trávy při zhruba 75% pokryvnosti.

Chimborazo, nejvyšší vrchol Ekvádoru (6 310 m n. m.), leží v západním pásmu And a jeho vysokohorské páramo dosahuje s nepravidelnostmi do cca 5 000 m n. m., kde začíná zalednění. Staré vulkanické substráty této vyhaslé sopky hostí speciálně na západních svazích velmi chudou vegetaci „vysokohorské pouště“ v deštném stínu s pozoruhodnými fenomény eroze (přenos vodou) a deflace (přenos větrem), které reprezentují podobnosti s procesy pozorovatelnými u středoevropských antropogenních úložišť.

Podobnosti a odlišnosti substrátů

Analogie se substráty vulkanického původu lze vidět v našich podmínkách u odkališť rudných nebo elektrárenských reziduů. Pokud jsou kalojemy v provozu, je možno srovnávat jejich přímou interakci s kolonizujícími rostlinami. Pokud bylo odkaliště vyřazeno z provozu a ponecháno alespoň nějakou dobu samovolnému vývoji, dají se sledovat nepřímé vlivy deponie na mechanismy vegetační kolonizace a sukcese. Rozdíly při srovnávání s poměry v jiném tropickém pásu (vulkány v Andách) jsou primárně makroklimatické, kolem rovníku dominuje rytmicitata cirkadiánní (denní cyklus) v kombinaci s obdobími deště a sucha, zatímco v Evropě se střídají čtyři roční období s různou délkou dne. Jisté substrátové rozdíly nutno posuzovat případ od případu. Navzdory zmíněným rozdílům je však pozor-

hodným faktem, že v tak odlehlých oblastech existuje velký překryv ve výskytu rostlin, alespoň na úrovni rodů, s mírně stoupající procentuální tendencí směrem k bezcévným rostlinám. Výrazně se to týká specifických rodů mechorostů (např. prutník – *Bryum*), lišejníků (např. dutohlávka – *Cladonia*). V horkých rovníkových oblastech vyrovnává odlišnou geografickou polohu oproti mírnému klimatickému pásu nadmořská výška velehor a umožňuje tak relativní srovnatelnost podmínek.

U odkališť a mnohdy též u materiálů vyvržených sopečným kráterem hrají podstatnou roli specifické vlastnosti – např. vysoký obsah těžkých kovů nebo aniontů kyselin a silné zasolení. Srovnáme-li počty zastoupených rostlinných rodů na vulkanických materiálech v Andách a na uměle navršených substrátech rudných a struskopopílkových odkališť v ČR, tak z 55 cel-

kově zaznamenaných rodů lišejníků bylo společných 16 rodů (21 %), ze 40 rodů mechorostů 8 společných (20 %) a z 83 rodů cévnatých rostlin 15 společných (18 %).

Má tedy význam ptát se na to, jakou shodu či podobnost můžeme shledat při výzkumu přirozených procesů oživení původně sterilních vulkanických na jedné straně a antropogenních substrátů z energetiky nebo těžby surovin na straně druhé. V dalším kroku nás logicky bude zajímat, jak zjištěné výsledky srovnávacího výzkumu aplikovat v ekologii obnovy toho či onoho prostředí, té či oně krajiny.

Pro tento text byly použity výsledky získané za podpory grantových projektů č. 206/93/2256, 206/98/1194 a 526/02/0651 GA ČR a výzkumného záměru MŠMT ČR č. 31300042.

Jakub Hruška, Filip Oulehle, Pavel Krám, Irena Skořepová

Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy

2. Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy

Vliv imisí (depozice) síry a dusíku na horské lesy byl považován za hlavní problém 2. poloviny 20. stol. a po odsíření velkých zdrojů emisí v 90. letech byl poněkud zapomenut. Skončily totiž katastrofické velkoplošné úhyny lesů a problém imisí se tak zdál jednou provždy vyřešen. Přesto ale depozice síry a dusíku stav horských lesů stále negativně ovlivňují, i když jinými, na první pohled méně viditelnými mechanismy.

Přímé poškození lesů

Po dlouhá desetiletí byly za hlavní příčinu hynutí lesů vlivem imisí považovány vysoké koncentrace SO_2 v ovzduší, kdy přímý kontakt velmi koncentrovaného SO_2 s asimilačními orgány smrku poškodí chlorofyl a jehličí uschne (tzv. akutní poškození). Tento mechanismus se nejvíce uplatňoval v oblastech s extrémně vysokými koncentracemi SO_2 v ovzduší a tímto způsobem zahynuly v 60.–80. letech 20. stol. lesy v Krušných horách. Imisní epizoda může být velice krátká. Při vhodném počasí stačí k akutnímu poškození vedoucímu k odumření stromu desítky minut. Např. v zimě 1977/78 uhynuly tisíce hektarů lesa v Krušných horách, když se během jedné noci prudce snížila teplota zhruba o 25 °C a současně se prudce zvýšila koncentrace SO_2 .

Význam tohoto mechanismu v současné době ustoupil, protože koncentrace SO_2 v ovzduší se řádově snížily. Zatímco v r. 1990 bylo v oblasti Krušných hor průměrně více než 60 mikrogramů SO_2 na m^3

vzduchu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), po r. 2000 už to bylo jen okolo 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stejně jako ve většině horských oblastí. Průměrné koncentrace SO_2 v ovzduší jsou dnes na 98 % území ČR nižší než 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, což je hodnota imisního limitu na ochranu vegetace a ekosystémů stanovená Evropskou komisí, při níž by nemělo docházet k přímému poškození asimilačního aparátu.

Přesto se ale stav lesů výrazně nezlepšil. Nedochozí již sice k jednorázovým velkoplošným úhynům, ale chřadnutí lesů pokračuje. Průměrná defoliace smrku a buku v celé ČR (obr. 4) se mezi lety 1986–2003 nijak nesnížila, naopak se mírně zvýšila, přestože koncentrace SO_2 velmi poklesly. Defoliace je ztráta jehlic či listů oproti ideálnímu stavu plného olistění a je mírou zdravotního stavu stromů. Pokud je ztráta asimilačního aparátu nízká, má to na zdravotní stav jen malý vliv, jakmile ale překročí zhruba 40 %, strom začíná strádat nedostatkem látek, které jsou produktem asimilace probíhající



1 Smrkový porost v Jizerských horách strádající kvůli okyselení půd a nevhodnému hospodaření nedostatkem hořčíku. Foto J. Hofmeister

v jehličích či listech. Z měřených údajů vyplývá, že zhruba 40 % smrků v ČR má defoliaci vyšší než 40 %, a proto je průměrná defoliace velmi vysoká, dokonce nejvyšší ze všech evropských zemí. Protože se zdravotní stav (měřený defoliací) nezlepšil, je zřejmé, že existuje jiný mechanismus poškození stromů než jen přímé ovlivnění vysokými koncentracemi SO_2 . Navíc v mnoha horských oblastech nebyly koncentrace SO_2 nijak vysoké. Např. v Orlických horách a Jeseníkách nepřekračovaly 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ani v r. 1990. Přesto i tam došlo k masivnímu odumření lesa.

Dlouhodobé okyselení půd

Horské lesy poškozuje též dlouhodobé okyselení půd (obr. 1 a 7). Kyseliny, jež se do půdy dostávají deštěm, z ní vyplavují prvky, které jsou důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti a současně jsou nezbytnými živinami pro vegetaci. Jde zejména o vápník (Ca) a hořčík (Mg), menší roli hraje draslík (K) a nejmenší sodík (Na). Souhrnně je nazýváme bazické kationty. Tyto prvky jsou schopny