

Stromy formují šumavskou krajinu

Část hřebene Šumavy, především závětrné partie nad 1 200 m n. m., byla během pleistocénu opakovaně zaledněna. V periglaciální zóně v širokém okolí ledovců působily geomorfologické procesy související s chladem a periodickým rozmrzáváním a zamrzáváním vody v půdě i ve skalách. V krajině vznikala charakteristický reliéf, jako jsou kryoplanáčnické terasy s pahýly rozpukaných skal (tory), kamenné polygony nebo balvanová moře. Na zmrzlých vrstvách zvětralin docházelo soliflukcí (půdotokem) ke klouzání svrchních vrstev půdy. Tyto abiotické procesy formovaly tvář krajiny. S postupným oteplováním klimatu však sílila přítomnost stromů v krajině a ty se začaly více podílet na modelování její podoby. Část dřevin, např. smrk ztepilý (*Picea abies*), olše šedá (*Alnus incana*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*), nemigrovala z velkých vzdáleností, ale přežila i vrcholný glaciál v blízkých refugiích, což po oteplení umožňovalo rychlé formování lesních ekosystémů. V nich měla zpočátku silné zastoupení borovice podrostlá lískou obecnou (*Corylus avellana*), postupně začal převládat smrk. Během holocénu převzaly stromy roli krajinného architekta a přemazávaly obraz ledové krajiny.

Buk zastavil oheň

Převážně borové a posléze i smrkové lesy ve starší polovině holocénu intenzivně a často hořely. Dokladem tohoto fenoménu je množství uhlíků v půdě a mikroskopické uhlíky uložené hluboko v sedimentech šumavských rašelinišť a jezer (obr. 2). Přibližně 6 tisíc let před současností došlo na Šumavě k zásadnímu útlumu požárové aktivity. Za změnou režimu narušování lesního ekosystému (disturbančního režimu) stál primárně nárůst podílu buku lesního (*Fagus sylvatica*; viz Bobek a kol. 2019). Absence pryskyřice v jeho dřevě, odlišná struktura opadu i jiné mikroklima bukového lesa brání vzniku a šíření požárů. Lze v tom spatřovat unikátní strategii buku k ovládnutí ekosystému – spíše než o plán k podmanění krajiny jde ale o svého druhu životní styl ve směru omezení požárů.

Pokles frekvence požárů vedl k nárůstu objemu živé i odumřelé dendromasy v ekosystémech a zvětšování velikosti stromů. To patrně způsobilo jejich větší citlivost vůči silným větrům, protože síla přenesená po kmeni vysokého stromu namáhaného větrem ke kořenům je ve srovnání s nápořem, kterému čelí nízký stromek, obrovská. Výsledkem byla intenzifikace vývrátové dynamiky. Součástí změny disturbančního režimu se stal i větší rozvoj biotických disturbancí, např. gradací lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*). Jak lze pozorovat i v dnešních lesích, intenzivní rozvoj gradace často následuje po narušení větrem. Lýkožrout se v takovém případě namnoží ve vyvrácených kmenech, které často odumírají pozvolna a jsou pro něj dlouho atraktivní, a šíří se do okolí. V krajině se tvoří specifická mozaika narušení, jež zásadně zvyšuje její pestrost (obr. 3). Část krajiny je „zoraná“ vývraty, navazující část posetá pahýly lámajících se nastojato odumřelých stromů, na to navazuje les s převahou

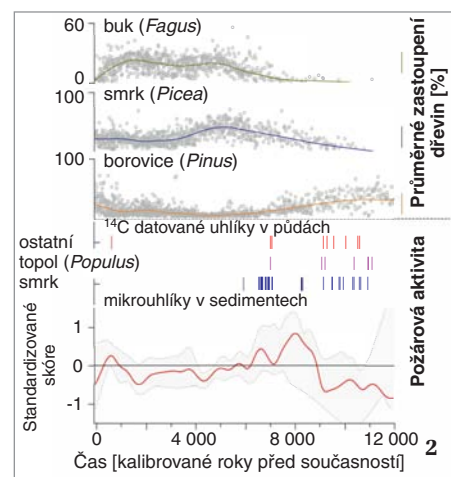


živých stromů. Změna režimu narušení ještě více posílila roli stromů při formování krajiny. Nejen, že ji pomáhají formovat, ale staly se dokonce hlavní silou svahové dynamiky (Šamonil a kol. 2018, 2020).

Nehybné stromy pohybují půdou

Padesátiletý výzkum dynamiky Boubínského pralesa i více než pětisetletý záznam v letokruzích dnešních stromů odhalily detaily režimu narušení horských pralesů na Šumavě. Můžeme předpokládat, že v hrubých obrysech platil podobný režim i v hlubší minulosti, pro kterou nemáme tak detailní informace.

Stromy v Boubínském pralesu pohybují v průměru 322 m³ půdy na každém hektaru. To představuje úctyhodných více než 320 tun půdy a kamenů, které v daném okamžiku prokazatelně souvisejí s působením stromů. Velmi pravděpodobně je ještě významnější, uvádíme ale jen doložitelné objemy. Protože jde o mechanický vliv



1 Tor neboli skalní pahýl rozpukaný rozmrzáváním a zamrzáváním.

Les na Velké Mokrůvce (1 370 m n. m.)

2 Holocenní vegetační vývoj na Šumavě a doklady požárové aktivity. Průměrné křivky zastoupení hlavních dřevin jsou odvozeny ze záznamu 15 lokalit zpracovaných analýzou fosilních pylových zrn (databáze PALYCZ). Změny regionální požárové aktivity v minulosti (červená křivka) jsou založeny na stanovení depozice mikroskopických uhlíků na tehdejší povrch rašelinišť a jezer. Taxonomická determinace uhlíků v půdě a jejich radio-karbonové datování umožňuje zjistit druh dřeviny, která hořela. Orig. P. Bobek

3 Lesy na Poledníku (1 315 m n. m.) v r. 2016 po disturbanci vichřicí a gradací lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*)

4 Vývraty smrků v Boubínském pralesu způsobené orkáne Herwart v r. 2017

5 Průřez horskou smrččinou na Šumavě. Na hluboko zvětralé hornině se nachází mělká půda mechanicky formovaná působením stromů. Vývraty stromů, kořenové kupy, rozkládající se kořenové systémy vyplňované okolní půdou i rozpadající se kmeny zvyšují drsnost povrchu a blokují povrchový odtok vody. Orig. P. Mores

6 Objem půdy spojený s vyvrácením stromů a jejich zlomením na 10 lokalitách temperátních lesů. Vrcholy lomené linie reprezentují skóre v konkrétní periodě výzkumu, kříž vyjadřuje těžiště pro celou lokalitu za celé sledované období. Samostatně je ukázán dopad orkánu Herwart v Boubínském pralesu (BB) v r. 2017

a Kyrill v Žofínském pralesu (ZF) v r. 2007.

Šedá linka vyjadřuje vyrovnaný poměr zlomů versus vývrátů 1 : 1. Půda se nejvíce přesouvala při orkánech v Žofínském a Boubínském pralesu. Z dlouhodobého hlediska je Boubín lokalitou s největším dopadem vývrátové dynamiky. V Yosemitech byl naopak v důsledku požáru nejvýraznější intaktní rozklad kořenových systémů. RN – Raňšpurk (oblast soutoku Moravy a Dyje); RZ – Razula (Javorníky), SL – Salajka (Beskydy), ZH – Žákova hora (Žďárské vrchy); v USA pak SCBI – Smithsonian Conservation Biology Institute (Virginie), UFDP – Utah, WFDP – Wind River (Washington), YFDP – Yosemite národní park (Kalifornie). Osy jsou v logaritmickém měřítku. Orig. P. Šamonil

7 Výjimečné rozměry stromů na jedné ze studovaných lokalit – Wind River, Washington, USA. Snímky P. Šamonila



stromů při tvorbě krajiny, hovoříme o jejich biogeomorfologické roli nebo také biomechanice. Z hlediska objemu ovlivněné půdy je nejvýznamnějším procesem vývrátová dynamika, při které je z půdy vytržen kořenový systém stromu s celým balem okolní půdy a kameny (obr. 4). Dochází k promísení půdy i její částečné erozi po svahu. Každý rok se na Boubíně vývraty obrátí v průměru více než 5 m³ půdy na každém hektaru. Během orkánu Herwart, trvajících hodiny, to ale bylo 99 m³/ha. O podobné objemy šlo nejspíš i při vichřici v r. 1870, která představovala největší zásah do vývoje lesů okolo Boubína za poslední čtyři staletí. Vytlačování půdy při radiálním růstu stromů a kořenů představuje spolu s inverzním procesem vyplňování prostorů po odumřelých kořenech další významný proces s celkovým objemem nad 3 m³/ha/rok. Další vlivy stromů na půdy jsou z hlediska objemu zasažené půdy sekundární. Zahrnují tvorbu kořenových kup na bázi stromu, vytlačování kamenů tloušťkami kmeny a kořeny, zadržování půdy kmeny stojícími a ležícími na svahu, formování prohlubní při pádu stromu (obr. 5). Zmíněné vlivy pohybují ročně v součtu asi 10 tunami půdy na hektar. Mezi biomechanické vlivy patří i narušení podložní horniny pronikajícími kořeny, extrakce kamenů z podloží vývraty, a v důsledku toho intenzifikace zvětrávacích procesů a tvorby půdy. Tyto jevy se ale obtížně kvantifikují.



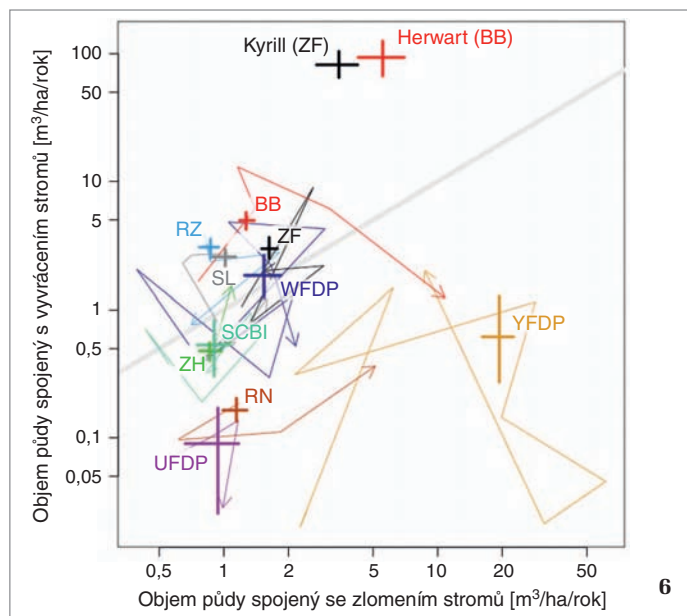
Blokáda tvorby říční sítě

Na podkladu laserového skenování (LIDAR, blíže str. 278–281) byl hodnocen podrobný reliéf hřebene Šumavy. Na jeho plochých pláních byla oproti srážkovým úhrnům zjištěna překvapivě řídká hustota říční sítě (Phillips a Šamonil 2021). Ke koncentraci odtoku dochází až ve středních partiích svahu, výše není odtoková

síť příliš vyvinuta. Podstatnou příčinou je dlouhodobé působení jednotlivých stromů a rovněž hluboké zvětrání podloží během celého pleistocénu. Popsané biomechanické jevy zásadně mění drsnost povrchu, zpomalují odtok, erozi půdy a vedou k zadržování vody v krajině. Nejlépe je to patrné na příkladu vývrátů, jejichž prohlubeň v místě, kde původně stál strom, funguje jako lokální sedimentační prostor. Vývraty působí proti koncentraci povrchového odtoku a mění ho na disperzní, podpovrchový (obr. na webu Živy). Podobně ale působí i další popsané jevy, ležící kmeny, kořenové kupy aj.

Je Boubín výjimečný?

Tým českých a zahraničních specialistů porovnal biogeomorfologický vliv stromů na Boubíně s jinými evropskými a severoamerickými pralesy. Ve střední Evropě to byly smrko-jedlo-bukové porosty Žofínského pralesa v Novohradských horách, Razuly v Javorníkách, Salajky v Beskydech a Žákovy hory ve Žďárských vrších. Srovnávacím objektem byl i lužní nížinný prales Ranšpurk při soutoku Moravy a Dyje s převahou jasanu úzkolistého (*Fraxinus angustifolia*), lípy srdčité (*Tilia cordata*), habru obecného (*Carpinus betulus*) a javoru babyky (*Acer campestre*). V Severní Americe šlo o druhově bohaté pralesy v Yosemitejském národním parku v Kalifornii, Wind River ve státě Washington, plochu



Smithsonian Conservation Biology Institute ve Virginii a vysokohorský prales v Utahu. Ve zmíněných pralesích vědci dlouhodobě zaznamenávali odumírající stromy a vypočetli objem půdy, který se dostává do pohybu v souvislosti s jejich úmrtím (obr. 6). Výzkum byl o to zajímavější, že v jeho průběhu byly Žofinský a Boubínský prales silně narušeny orkány a prales v Yosemitech na části území hořel. Tyto málo frekventované události se promítly do celkových výsledků vedle formování malých mezer ve stromovém zápoji.

O intenzitě vlivu stromů na svahové procesy v ekosystému rozhoduje objem kořenových systémů stromů v lese, mortalita stromů (rychlost odumírání jedinců v čase), podíl vývrátů mezi odumřelými stromy oproti zlomeným stromům, vztah mezi tloušťkou stromu a objemem vyvráceného kořenového balu a výskyt silných disturbance a vývoji lesa. Seznam klíčových faktorů ukazuje výjimečné postavení vývrátů, které jsou nejdůležitějším jevem, a naznačuje, že schopnost stromů působit na svahovou dynamiku a tvorbu krajiny neodráží pouze jejich velikost, byť ta je jejím významným prediktorem. Přestože na některých severoamerických plochách (Yosemite, Wind River) dosahují stromy nebývalých rozměrů s výškami až 80 m (obr. 7), jejich přínos ke svahové dynamice

byl někdy menší než na Boubíně, kde nejvyšší smrky aktuálně dorůstají 55 m. Za opačný extrém lze považovat vysokohorský prales v Utahu s nízkými stromy na mělké půdě a jejich minimální roli v dynamice svahů. Mezi středoevropskými plochami se jen Žofinský prales blížil Boubínu schopností stromů ovlivňovat svahové procesy.

Důvodem překvapivě velkého objemu půdy přemísťované stromy na svazích Boubína je výjimečný podíl vývrátů mezi odumřelými stromy, který dlouhodobě dosahuje 50 % a v době vichřice dokonce překračuje 80 %. Vývraty jsou na Boubíně současně mimořádně objemné. Klíčovým impulzem pro svahovou dynamiku se zde stal orkán Herwart v r. 2017. Protože ale po Herwartu nedošlo (stejně jako po Kyrillu v Žofinském pralese) k poklesu objemu půdy přemísťovanému stromy, existuje tu prostor pro ještě silnější narušení ekosystému z hlediska svahové dynamiky. Unikátní vztah mezi velikostí stromů a frekvencí orkánů působí na Boubíně a celé Šumavě ve prospěch neobyčejné intenzifikace biogeomorfologické role stromů. Pokud by byla frekvence orkánů vyšší, začala by se brzy snižovat průměrná velikost stromů v porostu. Kdyby naopak frekvence vichřic poklesla, snížil by se podíl vývrátů. Oba scénáře by vedly k poklesu vlivu stromů na svahovou dynamiku.

Závěrem

Šumavské stromy jsou monumentální stejně jako disturbance, ve kterých periodicky zanikají celé šumavské hvozdy. Kombinace velkých stromů a jejich častého vyvracení činí ze Šumavy unikátní region, kde se stromy výjimečně intenzivně podílejí na utváření krajiny. Současná specifická vazba mezi velikostí stromů a frekvencí silných narušení se může měnit pod tlakem změny klimatu, obecně provázené nárůstem frekvence extrémních klimatických jevů. Zapomínat nelze ani na schopnost některých dřevin měnit režim narušení. Rostoucí podíl buku ve vysokých nadmořských výškách může sám o sobě promluvit do změny vývrátové dynamiky lesa. Uvnitř národního parku, ale i v maximální míře mimo jeho hranice, by měly být respektovány projevy biogeomorfologického působení stromů, které vede k zadržování vody v krajině, zachování její biokomplexity i produkční schopnosti půdy.

Kolektiv spoluautorů: Jonathan D. Phillips, Přemysl Bobek a Pavel Daněk

Studie byla podpořena projektem Grantové agentury České republiky 19-09427S.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.

Anna Lamačová, Radek Vlnas, Jakub Hruška

Hydrologické bilance šumavských povodí a pramenů – vliv klimatu je větší než vliv krajinného pokryvu

V souvislosti s ponecháním části šumavských lesů samovolnému vývoji se objevují nejrůznější hypotézy, jak tato změna poškozuje vodní bilanci. Pokud jsou roky srážkově bohaté, hovoří se o častějším riziku povodní, pokud jsou roky suché, tématem je extrémní sucho kvůli vyprahlosti „bezlesé“ krajiny. Jak to ale opravdu je, se dozvíme jen z dlouhodobých měření, která se na Šumavě našťestí již desetiletí provádějí. A mimo tuto analýzu minulosti a současnosti ukážeme i modelový předpoklad šumavské hydrologické budoucnosti.

Sucho a podzemní voda na Šumavě v období let 2015–20

Hory jsou ve střední Evropě pramenými oblastmi vodních toků, protože mají obecně vyšší srážkové úhrny a menší výpar. Ke vzniku pramenů v horských oblastech také přispívají geologické poměry, členitý terén a jeho větší sklon. Prameny představují soustředěný vývěr podzemní vody na zemský povrch a vznikají zpravidla na rozhraní různých geologických vrstev. Často jde také o oblasti, kde není patrný vliv hospodaření člověka tolik jako v nížinách – tam

intenzivním hospodářským využíváním krajiny řada prameništ zanikla. Prameny obvykle odvodňují širší oblast a umožňují nám tak utvořit si obrázek o stavu podzemní vody v daném území.

Český hydrometeorologický ústav provozuje v ČR celoplošnou síť monitorovacích objektů, která zahrnuje celkem 319 pramenů, z toho jich je v tzv. hlásné síti zařazeno 170. Hlásná síť se používá pro pravidelné týdenní a měsíční vyhodnocení stavu podzemní vody. Na území chráněné krajinné oblasti Šumava se nacházejí

čtyři prameny hlásné sítě (PP0281 Lipka, PP0282 Lipka – obr. 1, PP0293 Kubova Huť, PP0755 Zdíkov). Dále vyvěrá jeden pramen hlásné sítě na území NP Šumava (PP0849 Nová Pec). Tento pramen se nachází v zóně soustředěné péče o přírodu, kde převažují člověkem významně pozměněné ekosystémy – v těchto oblastech je podle nové zonace NP Šumava snaha o zachování nebo postupné zlepšování stavu ekosystémů, významných z hlediska biologické rozmanitosti, jejichž existence je podmíněna trvalou činností člověka nebo obnovou přírodě blízkých ekosystémů. Vybrané prameny začaly být sledovány v rozpětí let 1968–89. Měření jejich vydatnosti probíhá prostřednictvím dobrovolných pozorovatelů, kteří provádějí přímá stanovení měrnou nádobou v týdenním intervalu.

V posledních pěti letech na území naší republiky přetrvávalo sucho, které bylo důsledkem kombinace mírně podnormálních srážek a nadnormálních teplot. Ukázal se zde i efekt dlouhodobé kumulace deficitu, projevující se odlišným vývojem víceletého sucha ve srovnání s „běžným“ jednoletým suchem. Výskyt meteorologického sucha (nedostatek srážek) bývá následován suchem půdním a hydrologickým (deficitem odtoku a podzemních vod) v řádu týdnů až měsíců. V případě suché epizody posledních let byl patrný výskyt všech těchto typů sucha souběžně. Hydrologické sucho trvalo téměř nepřetržitě od r. 2015 až do jara 2020.

Vydatnost pramenů se vyznačuje výrazným ročním chodem, kdy maxima dosahují zpravidla v jarních měsících. To je dáno doplňováním zásob podzemní vody především z tajícího sněhu. Vydatnost během vegetační sezony klesá, až dosáhne minima na podzim nebo v zimě. Výše zmí-