

Borovice, bory a požáry

Borovice (*Pinus*) je rod nahosemenných dřevin severní polokoule, jehož evoluce byla spjata s působením požárů již od doby jeho vzniku, tedy rané křídy (druhořory, asi před 130 miliony let). Období bylo charakteristické relativně častým výskytem požárů, což dokazují fosilní nálezy zuhelnatělého rostlinného materiálu, a expanzí prvních krytosemenných rostlin. Tato evolučně moderní forma rostlin se ukázala být konkurenčně úspěšnější než do té doby dominantní nahosemenné. Ty tak byly postupně vytlačeny ze svých původních biotopů do oblastí s extrémnějšími klimatickými podmínkami – nízkými teplotami a nedostatkem vláhy. Jiné druhy nahosemenných naopak osídlily oblasti se zvýšenou četností požárů, které se staly jejich pomocníkem v konkurenčním boji o přežití. Druhou cestou se vydala také početná skupina druhů borovic podrodu *Diploxylon* (se dvěma cévními svazky v jehlici). Tyto borovice se vyznačují specifickými vlastnostmi umožňujícími požár přežít anebo ho jinak šikovně využít ke svému prospěchu, např. k rozmnožování a eliminaci konkurenčně schopnějších druhů.



Druhy a celé ekosystémy nejsou adaptovány na oheň jako takový, ale spíše na určitý požárový režim, který se vyznačuje typickou frekvencí výskytu, typem, intenzitou a sezonalitou ohně. Některé druhy borovic se tak přizpůsobily na méně časté korunové požáry s vysokou intenzitou, jiné spíše na čtenější a méně intenzivní povrchové požáry. Druhy první skupiny bývají anglicky označovány fire-embracers (oheň vítající). Vyznačují se absencí ochranných struktur, neshazují spodní staré větve a umožňují ohni vystoupat jako po žebříku až do koruny. Mají typicky serotinní šišky, které se otevírají jen žářem. Přitom se uvolní najednou velké množství semen uchovávaných po několik let až desetiletí v uzavřených šiškách, tvořící nadzemní semennou banku (viz předchozí článek na

str. 239–241). Prohořelá hrabanka, obnažená minerální půda po požáru a porost zbavený konkurence ostatních druhů je pro klíčení semen těchto druhů ideálním prostředím a hned po požáru následuje jejich masivní zmlazení. Požár tvoří součást jejich životního cyklu. Patří k nim např. severoamerická borovice Banksova (*P. banksiana*) a b. pokroucená (*P. contorta*) nebo jihoevropská b. halepská (*P. halepensis*) a b. kalábrijská (*P. brutia*).

Zástupci druhé skupiny, nazývané fire-resisters (ohni vzdorující), se vyznačují naopak tlustou borkou, která chrání živá pletiva stromu před žářem ohně a shazováním starých spodních větví. Díky tomu je koruna dospělých stromů mimo dosah plamenů méně intenzivních požárů. Tyto druhy zpravidla nemají serotinní šišky, ale



1 Tlustá borka chránící borovici lesní (*Pinus sylvestris*) proti ohni. Na kmeni jsou patrné stopy dřívějšího požáru. Chráněná krajinná oblast Slavkovský les

2 Porost borovice smolné (*P. resinosa*), ve kterém hořelo naposledy před 126 lety. Jedinec s požárovou jizvou v popředí je pamětníkem posledního požáru. Spodní etáž tvoří hustý porost stínomilné jedle balzámové (*Abies balsamea*) a zmlazení borovice je potlačeno. Minnesota, USA

3 Přírodě blízký borový porost na potenciálním stanovišti acidofilní bučiny podle lesnicko-typologického mapování. V podrostu zmlazuje smrk ztepilý (*Picea abies*) a buk lesní (*Fagus sylvatica*). Borovice zde téměř nezmlazuje. Národní park České Švýcarsko

pro klíčení jejich semen je také optimální substrát připravený ohněm a světliny vytvořené odumřením některých jedinců dřevin v porostu. Příkladem jsou severoamerická borovice těžká (*P. ponderosa*) a b. smolná (*P. resinosa*), jihoevropská borovice pinie (*P. pinea*) a b. přímořská (*P. pinaster*) a také naše borovice lesní (*P. sylvestris*, obr. 1).

Nezanedbatelnou součástí této životní strategie je hořlavost. Borovice svým charakterem požáry přitahují. Produkují pryskyřičnatý, snadno vznětlivý opad (jehličí, větvičky, šišky), který se obtížně rozkládá a má tendenci se hromadit. Nahromaděná vrstva opadu pod borovicemi snadno vysychá díky jejich řídké koruně propouštějící dostatek slunečního záření.

Borové ekosystémy

Výskyt porostů některých druhů borovic je podmíněn pravidelným působením požárů o určité intenzitě a frekvenci – Fire Return Interval (FRI, interval návratu ohně). Označujeme je jako požárový (sub)klimax a jde v podstatě o sukcesi blokovanou pravidelnými požáry. Klasickým příkladem ze Severní Ameriky jsou porosty borovic z kategorie fire-resisters, chráněných před požárem tlustou borkou a vysokou postavenou korunou. Pravidelné požáry nízké

intenzity eliminují stínomilné neboli klimaxové druhy dřevin, které mají potenciál na daném stanovišti dominovat, ale mají tu smůlu, že nedokážou oheň přežít. V jejich zástínu naopak nejsou schopné zmlazovat světломilné borovice. Jde o porosty borovice těžké ze západu USA, které mají působením přirozeného požárového režimu s obvyklým FRI 20–60 let strukturu řídkého lesa s prosvětleným, druhově bohatým podrostem. Vlivem moderní, někdy až příliš důkladné, prevence požárů dochází k jejich zarůstání zmlazením stínomilné douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) a dalších druhů, v jejichž zástínu světломilné borovice nedokážou zmlazovat. Požáry vzniklé v lesích, kde delší dobu nehořelo, se snadno dostanou přes keřové patro a podúrovňové jedince douglasek až do korun borovic. Takové požáry mívají katastrofický průběh, obtížně se hasí a bývají fatální i pro staré mohutné jedince borovice těžké. Podobným příkladem jsou porosty borovice smolné ze severovýchodu USA, které při absenci požáru podrůstají stínomilnou jedlí balzámovou (*Abies balsamea*), lískou rohatou (*Corylus cornuta*) a dalšími druhy, v jejichž zástínu je zmlazení borovice silně potlačeno (obr. 2). Podle dendrochronologické analýzy požárových jizev starých jedinců borovic byl pro tento ekosystém stanoven přirozený FRI 1–40 let s průměrem zhruba 10 let s určitými rozdíly mezi konkrétními lokalitami a obdobími. Jde o historický FRI před počátky moderního lesnictví a prevence požárů (tedy před r. 1936). Takto vysoká frekvence požárů pravděpodobně souvisí s aktivitou indiánů, kteří záměrně vypalovali lesní porosty za účelem lovu, výskytu lesních plodin a průchodnosti terénu.

V boreálních jehličnatých lesích Eurasie, v tajze, se vyskytuje méně druhů dřevin než v boreálních lesích Severní Ameriky. Přestože zde chybějí druhy s nápadnými požárovými adaptacemi, např. serotinními šiškami, bylo zjištěno, že historické i recentní frekvence požárů jsou srovnatelné mezi oběma kontinenty. Požár je tak považován za důležitý faktor ovlivňující přirozenou dynamiku lesa a za předpoklad dlouhodobé stability boreálních lesních ekosystémů také v Eurasii. Vyskytují se zde zaprvé druhy stínomilné, schopné zmlazovat v zástínu starších jedinců, které jsou většinou citlivé vůči požáru z důvodu absence požárových ochranných struktur. Jsou to např. smrk ztepilý (*Picea abies*), jedle sibiřská (*A. sibirica*) a borovice limba (*P. cembra*) z „nepožárového“ podrodu *Haploxylon*. Naproti tomu světломilné druhy, vyžadující ke svému zmlazení otevřené plochy, zároveň dokážou přežít požáry malé až střední intenzity. Jde zejména o borovici lesní a různé druhy modřínů (*Larix* spp.). Borovice lesní přežívá požáry hlavně díky tlusté borce, vysoko postavené koruně mimo dosah přízemních požárů, vytvořeně shazováním starších spodních větví, a hlubokému kořenovému systému. Na otevřených plochách po disturbancech a obnažené minerální půdě po požáru pak borovice lesní snadno zmlazuje.

Výskyt jednotlivých druhů v tajze závisí na klimatických a půdních poměrech. Světломilné druhy dominují na místech nepříznivých pro růst klimaxových druhů,



jako jsou např. skalnatá místa s mělkou a vysychavou půdou, zatímco stínomilné druhy rostou spíše na vlhčích místech s hlubšími půdami, kolem vodních toků apod. Důležitým faktorem ovlivňujícím druhové složení tajgy je také požárový režim lokality. Pravidelně se opakující požáry vychylují rovnováhu ekosystému ve prospěch světломilných druhů a mohou tak udržovat borové porosty i na místech, kde by vzhledem ke stanovištním podmínkám převládaly stínomilné druhy, např. smrk. Přirozený FRI evropské tajgy se pak liší podle konkrétních stanovišť. Na vlhkých místech kolem vodních toků s dominancí smrku, olše (*Alnus*) a vrb (*Salix* spp.) se požáry téměř nevyskytují. Na mezických stanovištích s porosty směsí smrku a borovice lesní, s podrostem keřůvek brusnic (*Vaccinium* spp.) a pleurokarpních mečů jako např. travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) k požáru dochází s FRI menším než 100 let. Na suchých stanovištích s dominancí borovice lesní a s podrostem tvořeným hlavně vřesem obecným (*Calluna vulgaris*) a lišejníky rodu dutohlávka (*Cladonia* spp.) jsou požáry nejčastější, s FRI 40–60 let.

Na požáry jsou adaptované i běžné druhy podrostu borových lesů, např. keřičky brusnice borůvky (*V. myrtillus*), b. brusinky (*V. vitis-idaea*) a vřesu obecného, které dokážou přežít i požáry vyšší intenzity. Oheň obvykle spálí jen nadzemní část a rostliny po požáru obřežejí z nepoškozených podzemních orgánů.

Požáry a naše bory

Na území České republiky se také můžeme setkat s lesními porosty, které se svým druhovým složením a fyziognomií podobají boreálním lesům. Pomineme-li hospodářské smrkové a borové výsadby, jde zejména o horské smrčiny a bory nebo borové doubravy v menších nadmořských výškách. Donedávna však ani ve vědeckých kruzích nebylo uvažováno, že by dynamika a vývoj středoevropských borových lesů mohly být ovlivňovány požáry podobně

jako v Severní Americe nebo Skandinávii. Přirozený výskyt lesů s dominancí borovice lesní býval tradičně vysvětlován pouze extrémními edafickými podmínkami, jako jsou vrcholové partie skal s mělkou půdou či stanoviště s extrémně živinově chudou, propustnou, písčitou nebo štěrkovitou půdou, nevhodné pro růst ostatních druhů dřevin. Takové porosty se rovněž označují termínem reliktní bory, protože jsou považovány za reliktní společenstva z období raného holocénu, kdy tento typ vegetace převládal na většině území. Do dnešních dob se v krajině udržel jen na nejextrémnějších stanovištích. Zajímavé je, že přirozené bory se vyskytují i na opačné straně vlhkostního gradientu – na podmáčených rašeliništích. Ta se však v obdobích déletrvajícího sucha dokážou změnit v poměrně hořlavý biotop díky vyschlé vrstvě rašeliny, která se dříve také využívala jako palivo.

U nás se s přirozenými borovými lesy můžeme setkat nejčastěji v pískovcových oblastech. Vegetace těchto oblastí je silně ovlivňována živinově chudými písčitými půdami a členitým reliéfem pískovcových skalních měst, kde se na malé prostorové škále prudce mění vlhkostní podmínky od vysychavých vrcholů skal s mělkou půdou přes svahy s hlubšími půdami až po podmáčená dna inverzních roklí. Velkou roli hraje i expozice svahů ke světovým stranám. V pískovcových oblastech se i oproti zbytku republiky relativně častěji vyskytují lesní požáry. Loňský požár v národním parku České Švýcarsko je toho jen potvrzením. Požáry se na území NP vyskytují každoročně a výjimkou nejsou ani ty způsobené úderem blesku, ke kterým zde dochází podle dostupných archivních dat častěji než jinde na našem území.

Podle klasické středoevropské lesnicko-ekologické doktríny opřené o koncept potenciální přirozené vegetace a lesnickou typologii, která nebere v potaz vliv disturbancech na fungování lesních ekosystémů, jsou za přirozenou vegetaci většiny území NP České Švýcarsko považovány hlavně

acidofilní bučiny s příměsí jedle bělokoré (*A. alba*) a dalších klimaxových druhů. Výskyt přirozených borů se omezuje pouze na vrcholky pískovcových skal, kde je díky extrémním edafickým podmínkám snižená konkurence klimaxových druhů a borovice lesní zde zmlazuje i pod dospělými jedinci. Faktický rozsah přírodě blízkých borových lesů v NP je však mnohem větší, než naznačují údaje v lesnicko-topologických mapách. Bory se vyskytují také na svazích pod vrcholovými partiemi skal a na skalních plošinách s hlubšími půdami na potenciálních stanovištích bučin. V podrostu těchto lesů dominuje brusnice borůvka a ve starších porostech se často vyskytuje nižší etáž podúrovňových stromů tvořená stínomilnými klimaxovými druhy, tedy hlavně smrkem a bukem. Po zmlazení borovice ani památky (obr. 3). Je možné, že by takové porosty i v naší středoevropské krajině mohly být udržovány pravidelně se opakujícími požáry, podobně jako jinde ve světě? Donedávna to byla poměrně exotická představa.

Výzkum vlivu požárů na vývoj borových lesů pískovcových oblastí ČR

Úvahy o přirozeném vývoji lesních ekosystémů nejvíce komplikuje fakt, že na prostá většina našich lesů byla v minulosti lesnicky kultivována. To se týká i pískovcových oblastí, snad až na výjimky obtížně dostupných vrcholových částí skal. Neda-li jsme se však touto skutečností odradit a zaměřili jsme svůj výzkum vlivu požárů na dlouhodobý vývoj vegetace borových lesů pískovcových oblastí České republiky jen na ty plochy, kde v minulosti proběhl požár a zároveň nedošlo k následnému lesnickému hospodaření ve smyslu umělého zalesnění. Sledovali jsme tedy přirozený, spontánní vývoj (sukcesi) lesní vegetace po požáru v Labských pískovcích, Českém ráji, na Kokořínsku a na Dokesku v okolí Máchova jezera metodou space-for-time substitution, což znamená, že jsme rekonstruovali dlouhodobý vývoj vegetace na základě různých starých spálenišť v podobném typu lesa (Adámek a kol. 2016). Celkem jsme navštívili 70 spálenišť, na nichž od požáru uplynulo 1–192 let. Informace o nejstarších požárech jsme získávali z lesnických archivů. Postihli jsme tak téměř 200 let přirozeného vývoje lesa po požáru. Zajímalo nás zejména, jaká je schopnost jednotlivých druhů dřevin přežít požár, jak se mění druhové složení vegetace v průběhu sukcese a jak dlouho trvá, než se vegetace vrátí do původního stavu před požárem, a jestli mohou být také naše borové lesy udržovány v krajině působením požárů.

Výsledky ukázaly, že po požáru dojde k téměř úplnému odstranění keřového patra a výrazné změně druhového složení podrostu. Míra této změny ale závisí na síle (intenzitě, tzv. severitě) požáru. Dospělí jedinci stromů dokážou přežít slabší požáry, naopak požáry velké intenzity mohou vést až k totální destrukci stromového patra. Schopnost přežívání stromů se také výrazně liší mezi jednotlivými druhy. Požáry nízké intenzity přežilo 70–90 % dospělých jedinců druhů chráněných tlustou kůrkou, jako je modřín opadavý (*L. decidua*), dub zimní (*Quercus petraea*)



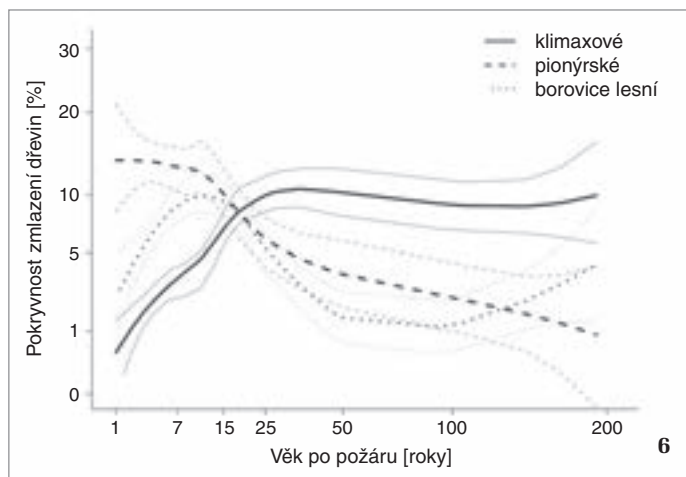
Tab. 1 Schopnost jednotlivých druhů dřevin přežít požár různé intenzity. Uveden je celkový počet jedinců daného druhu (N) a procento těch, kteří požár přežili. Převzato z publikace M. Adámek a kol. (2016)

Intenzita požáru Druhy	Nízká		Střední		Vysoká	
	N	přežilo [%]	N	přežilo [%]	N	přežilo [%]
dub zimní	11	90,9	1	100	8	87,5
modřín opadavý	28	71,4	30	66,7	14	85,7
borovice lesní	287	81,5	231	57,6	122	39,3
buk lesní	8	62,5	6	83,3	4	0
borovice vejmutovka	5	100	19	36,8	60	5
břízy	42	61,9	43	41,9	12	25
smrk ztepilý	44	31,8	42	11,9	25	0
jeřáb ptačí	11	18,2	0	–	1	0

a borovice lesní. Jiné druhy, např. smrk ztepilý a jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), byly naopak citlivé i ke slabým požárům, které přežilo jen kolem 20–30 % jedinců. Celkově nejdolnějšími se ukázaly modřín a dub, jejichž schopnost přežívání nebyla téměř ovlivněna rostoucí intenzitou požáru. V případě dubu je to také díky schopnosti obrážet z paty odumřelého kmene. O něco citlivější byla borovice les-

ní a břízy (*Betula* spp.), u nichž se schopnost přežití s narůstající intenzitou požáru plynule snižovala až na přibližně 40 % (borovice) a 25 % (břízy) u požárů velké intenzity. Silné požáry nepřežili téměř žádní jedinci invazní borovice vejmutovky (*P. strobus*), smrku ani jeřábu ptačího. Přežívání buku lesního (*Fagus sylvatica*) bylo vzhledem k malému počtu pozorování méně jasné. V případě požárů nízké





4 Borový porost dva roky po požáru malé intenzity. Většina jedinců stromů přežila, spálené keřičky brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*) obrají z podzemních orgánů.

5 Přirozené zmlazení borovice lesní čtyři roky po požáru velké intenzity. CHKO Kokořínsko (obr. 4 a 5)

6 Vývoj pokryvnosti zmlazení dřevin po požáru. Druhy byly rozděleny do kategorií: klimaxové, pionýrské a borovice lesní. Vizualizace pomocí metody lokální regrese (neparametrické techniky, která umožňuje proložení bodů v grafu křivkou citlivě reagující na lokální změny hodnot dat), šedé linky znázorňují střední chybu průměru. Upraveno podle: M. Adámek a kol. (2016)

7 Popsaný mechanismus sukcese blokován požárem v praxi. Borový porost podřetající smrký zasažený loňským požárem v NP České Švýcarsko. Borovice přežily, podúrovňové smrky byly z porostu odstraněny.

8 Rezistence a regenerace borovice lesní na spáleništi 35 let po požáru na Dokesku. V popředí je vidět jedinec borovice s požárovou jizvou, který oheň přežil. V pozadí jsou mladší jedinci borovice, břízy (*Betula* sp.) a smrku zmlazujících po požáru ze semen. Snímky M. Adámka

intenzity se buk zdá být podobně odolný jako břízy (asi 60 % přežilo), k požárům vyšší intenzity je ale citlivější (tab. 1).

Vliv požáru na druhové složení podrostu závisí především na tom, zda prohořel organická vrstva půdy (hrabanka a humus). Požáry nízké intenzity způsobily nejmenší změny druhového složení, většina jedinců stromů přežila a druhové složení se vrátilo do původního stavu za nejkratší dobu (asi 10 let). Požár zpravidla jen spálil nadzemní části borůvek a zmlazení dřevin. Keřičky brusnic obrazily z podzemních orgánů a během několika let obnovily svou původní pokryvnost (obr. 4). Požáry větší intenzity způsobily větší mortalitu stromového patra a výraznější změny druhového složení podrostu, které byly patrné delší dobu (minimálně 40 let). Asi po 100 letech vývoje lesa se již druhové složení včetně pokryvnosti všech vegetačních pater nelišilo od kontrolních porostů nezasazených požárem, z čehož lze usoudit, že borový les se vrátí po požáru do původního stavu nejpозději za přibližně 100 let.

V prvních zhruba 10 letech na spáleništi dominují živinově náročnější druhy otevřených stanovišť, což svědčí o zvýšené dostupnosti světla a živin vlivem poškození keřového a stromového patra a spálení organické vrstvy půdy. Jde často o různé druhy z čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*), jako jsou pampelišky (*Taraxacum* spp.), starčky (*Senecio* spp.), turanka kanadská (*Conyza canadensis*), prasetník kořenatý (*Hypochaeris radicata*), různé vrbovky (*Epilobium* spp.), z trav mimo jiné psineček obecný (*Agrostis capillaris*) a třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Dále také pionýrské mechorosty jako porostnice mnohotvárná (*Marchantia polymorpha*), zkrutek vláhojevný (*Funaria hygrometrica*), rohozub nachový (*Ceratodon purpureus*) a různé druhy ploníků (*Polytrichum* spp.; blíže na str. 229–231). Hojně se vyskytuje zmlazení světlomilných pionýrských druhů dřevin, k nimž patří např. břízy, topol osika (*Populus tremula*), vrba jíva (*S. caprea*) a borovice lesní (obr. 5).

V pozdějších vývojových fázích (ca po 15 letech) se v podrostu objevuje ve zvýšené míře vřes obecný, kapradiny jako hasivka orličí (*Pteridium aquilinum*) a lišejníky rodu dutohlávka. Původní živinově náročné druhy bylinného patra mizí, zvyšuje se pokryvnost lesních klimaxových mechorostů, jako jsou travník Schreberův, rokyt cypřišovitý (*Hypnum cupressiforme*) a dvouhrotce (*Dicranum* spp.). Postupně se prosazují opět keřičky brusnic a zmlazení pionýrských druhů dřevin dorůstá do keřového a stromového patra. V podrostu se začíná objevovat zmlazení klimaxových dřevin. Vegetace se tak složením postupně přibližuje okolním nespáleným porostům. Porosty asi 40 let po požáru jsou rozpoznatelné hlavně díky většímu zastoupení břízy ve stromovém patře a borovice lesní v keřovém patře.

Zmlazení pionýrských druhů a borovice lesní, které převažovalo zhruba 15 let po požáru, bylo v průběhu sukcese kontinuálně nahrazeno zmlazením klimaxových stínomilných dřevin – hlavně smrku a buku. Zmlazení borovice lesní bylo naopak v pozdních stádiích sukcese potlačeno, pravděpodobně vlivem zastínění, nahromaděním opadu a obnovené dominance keřiček brusnic (obr. 6). Tyto výsledky ukazují, že bez opakovaného působení požárů by postupně došlo k nahrazení borových porostů klimaxovými dřevinami, které jsou však k požárům citlivější než

borovice (obr. 7). Opakující se požáry s FRI menším než asi 200 let tedy mohou udržovat borové lesy i na stanovištích s příznivějšími edafickými podmínkami, kde jsou za potenciální přirozenou vegetaci považovány acidofilní bučiny s jedlí. Pro tuto skutečnost svědčí zároveň výsledky paleobotanického výzkumu, který analýzou půdních uhlíků a jejich radiokarbonovým datováním prokázal výskyt borovice lesní i na těchto potenciálně „neborových“ stanovištích v průběhu celého holocénu.

Uvážíme-li schopnost borovice lesní přežívat značnou měrou i požáry velké intenzity, a zmlazovat na spáleništi, pak může být požár považován za jeden z důležitých faktorů, který udržuje reliktní bory v naší krajině. Výsledky našeho výzkumu ukázaly, že v borových lesích pískovcových oblastí se uplatňují podobné principy požárové ekologie jako ve skandinávských boreálních lesích a některých typech jehličnatých lesů Severní Ameriky.

Výzkum byl podpořen projektem Grantové agentury České republiky (14-22658S) a INTER-COST Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (LTC20058).

Seznam použité literatury uvádíme na webové stránce Živy. K dalšímu čtení např. Živa 2020, 5: 222–224.

