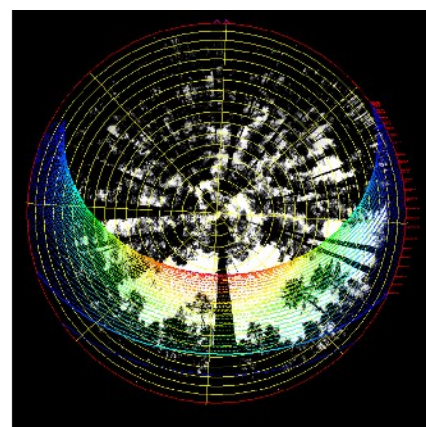
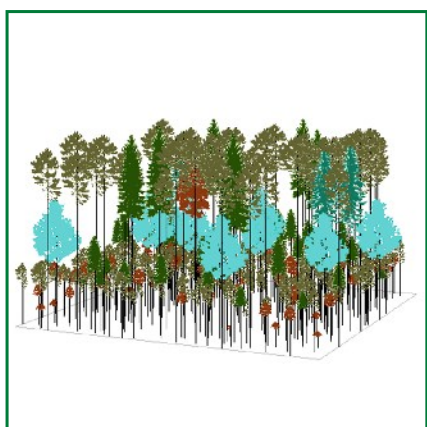




Borové hospodářství ve světle klimatických změn a rostoucího významu mimoprodukčních funkcí lesů

Sborník příspěvků



**Česká technologická platforma pro zemědělství
a
Česká lesnická společnost, z. s.**

Pořádáno za podpory Ministerstva zemědělství
při České technologické platformě pro zemědělství,
ve spolupráci s Lesnicko-dřevařskou komorou ČR





Borové hospodářství ve světle klimatických změn a rostoucího významu mimoprodukčních funkcí lesů

Sborník příspěvků



**Česká technologická platforma
pro zemědělství
a
Česká lesnická společnost, z. s.**

Pořádáno za podpory Ministerstva zemědělství
při České technologické platformě pro zemědělství,
ve spolupráci s Lesnicko-dřevařskou komorou ČR



Anotace akce

V současné době se v důsledku probíhajících klimatických extrémů v plné míře naplňuje předpoklad, že praktický výkon pěstování lesů by měl respektovat rovněž princip managementu rizika. Toto riziko vyplývá především z naší neúplné znalosti dopadů změny klimatu na jednotlivé dřeviny a lesní ekosystémy. Dalším důležitým faktorem, který představuje významnou výzvu pro správce a vlastníky lesů, je rostoucí důraz na mimoprodukční funkce lesů. Cílem semináře, je prezentovat postupy pěstování a managementu lesů s podílem borovice lesní, které se na tyto nové souvislosti snaží reagovat.

Seminář je určen vlastníkům a správcům obecních, soukromých, církevních a státních lesů, osobám ze státní správy, z lesních družstev, zájmových skupin a podnikatelských subjektů v lesním hospodářství, ale i dalším, které tato problematika zajímá. Témata příspěvků jsou zvolena tak, aby seminář přinesl účastníkům co největší informační hodnotu v dané aktuální problematice.

Odborný garant:

Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Fakulta lesnická a dřevařská České zemědělské univerzity v Praze

Tel.: +420 604 814 633, e-mail: bilek@fld.czu.cz

Organizační garant:

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

tajemník ČLS

tel.: +420 724 273 683, e-mail: tajemnik@cesles.cz

Texty ve sborníku neprošly jazykovou úpravou.

Foto na obalu: Ing. Iva Ulbrichová, Ph.D., Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

Tato konference byla uspořádána v rámci řešení projektu QJ1520037
Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky.

Česká lesnická společnost je akreditovaná vzdělávací instituce u MV ČR pod číslem AK/I-40/2012.
Česká lesnická společnost je členem PEFC.

1. vydání

© 2017, Česká lesnická společnost, z. s.

ISBN 978-80-02-02769-0



Obsah:

Možnosti ekologicky orientovaného pěstování lesů přirozených borových stanovišť Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.	7
Struktura, vývoj a management borových porostů nižších poloh ve vztahu ke klimatickým změnám prof. RNDr. Stanislav Vacek, DrSc.	12
Okrajový efekt jako významný faktor ovlivňující přirozenou obnovu borovice lesní Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.	23
Světelné podmínky a odrůstání přirozené obnovy borovice pod mateřským porostem Ing. Iva Ulbrichová, Ph.D.	31
Účinek algenitu na růst a mortalitu borovice lesní na zemědělské půdě Ing. Jan Cukor	38
Vliv brassinosteroidů na klíčivost semen borovice lesní v různých stresových variantách Ing. Rostislav Linda	44

MOŽNOSTI EKOLOGICKY ORIENTOVANÉHO PĚSTOVÁNÍ LESŮ PŘIROZENÝCH BOROVÝCH STANOVIŠŤ

Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta Lesnická a dřevařská

Abstrakt

V současné době vidíme rostoucí zájem lesníků o tzv. přírodě blízké či ekologicky orientované postupy pěstování lesů, pro něž je společným znakem snaha maximálního využívání přírodních procesů pro stanovené cíle hospodaření a snaha vytvářet porosty stabilní složené ze stanovištně vhodných dřevin. Častým impulzem pro zavádění těchto postupů je snaha o zvýšení rentability hospodaření na daném majetku a podpora mimoprodukčních funkcí lesů. Maloplošné hospodaření s výraznou diferenciací porostů je běžnější u stínomilných dřevin, ale obecné přístupy a postupy takto orientovaného pěstování lesů jsou adekvátní i v případě světlomilných dřevin včetně borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Tento příspěvek shrnuje hlavní zásady ekologicky orientovaného pěstování lesů zejména v rámci hospodářských borů a borových doubrav přirozených stanovišť.

Klíčová slova

Pěstování borovice, mimoprodukční funkce, stabilita lesa, přirozená obnova

1. ÚVOD

Zvyšující se zájem veřejnosti o les má hned několik příčin. K těm hlavním patří celkově vyšší povědomí o nutnosti ochrany přírody a významu lesa ve středoevropské krajině. Dále je to potřeba moderního člověka hledat v přírodě oddych; z lesa se tak de facto přímo stává činitel duševního zdraví obyvatelstva. Zatímco ještě nedávno byla v popředí zájmu produkční funkce lesů, v současné době stále více na významu získávají funkce rekreační a ochranné. Cílem trvale udržitelného obhospodařování lesů je pak aktivní navozování a podpora stabilních ekosystémů schopných plnit jak produkční, tak i mimoprodukční (ekologické a environmentální) funkce. Zároveň platí, že hlavní zárukou kvalitní péče o les je ekonomická stabilita vlastníka. Tato skutečnost je jednou ze zásadních otázek při aplikaci alternativních pěstebních postupů tam, kde jsou zvýšené nároky na některou z mimoprodukčních funkcí lesů.

V současné době vidíme rostoucí zájem lesníků o tzv. přírodě blízké či ekologicky orientované postupy pěstování lesů, pro něž je společným znakem snaha maximálního využívání přírodních procesů pro stanovené cíle hospodaření a snaha vytvářet porosty stabilní složené ze stanovištně vhodných dřevin. Výše jmenované principy pěstování lesů ve středoevropských podmínkách nejčastěji vedou k maloplošnému obhospodařování lesů s delší dobou obmýtí a v některých případech až k trvalé diferenciaci lesů. To se týká především dřevin stínomilných, jako jsou smrk, buk či jedle, ale daleko menší pozornost je věnována dřevinám světlomilným, jako jsou duby a zejména borovice lesní.

2. OBECNÁ VÝCHODISKA

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je jedním z nejrozšířenějších stromových druhů na zemi. Vyskytuje se např. takřka ve všech členských zemích Evropské unie. Její rozšíření je v teplejších, ale i chladných oblastech (v pohorích j. Evropy do výšky 2600 m n. m; ve Skandinávii zasahuje až za polární kruh). Vyskytuje se například v oblastech s ročním srážkovým úhrnem od 200 do 2000 mm. V zásadě se jedná o světlomilnou dřevinu, která dobře snáší chudá až extrémní stanoviště, je nenáročná na půdní vláhu a toleruje široké rozpětí pH. V ČR není její výskyt ovlivněn klimatickou stupňovitostí, ale edafickými podmínkami.

Přestože se u nás autochtonní borovice lesní vyskytuje jen na extrémních a reliktních stanovištích, v lesích hospodářských je po smrku druhou nejvýznamnější dřevinou (MZe 2016). Jako dřevina, která je adaptována na velmi široký klimatický rozsah, vykazuje i v našich podmínkách zejména vysokou toleranci k půdní vlhkosti od stanovišť vyloženě výsušných až po stanoviště zamokřená.

V Evropě je společně se smrkem spojena se vznikem lesního hospodářství vycházejícího ze školy čistého výnosu z půdy. Většinu 18. až 20. stol. bylo při pěstování borovice používáno holosečné hospodaření prakticky všude v oblastech s výrazným zastoupením této dřeviny. V rozlehlých porostech byla vysazována zejména na chudých písčích, kde často po hrabání steliva docházelo ke vzniku neproduktivních kultur. Na mnohých místech měla negativní vliv na kvalitu porostů nevhodná volba provenience, jinde se naopak vyvinuly hospodářsky cenné místní

kulturní typy (Musil a Hamerník 2007). Naprosto převažujícím hospodářským způsobem v porostech s dominancí borovice je pasečné hospodaření s využitím holosečného obnovního postupu.

Jen omezená pozornost byla v minulosti věnována možnostem využití jemnějších postupů obnovy a z Evropy je známo jen málo příkladů záměrné a trvalé strukturalizace borových porostů s odklonem od lesa věkových tříd. Nicméně již v první polovině 20. století vidíme první snahy o tyto metody hospodaření. Díky Möllerově lesu trvale tvořivému se světového věhlasu, nikoliv ovšem veskrze pozitivního přijetí, dočkalo borové hospodářství na majetku Bärenthoren. Během éry národního socialismu se koncept tzv. Dauerwaldu na krátkou dobu stává dokonce závazným pro Pruské státní lesy. Nicméně v daleko větší míře je jemného podrostního hospodaření a výběrných principů využíváno u dřevin stín snášejících, zejména pak dřevin jehličnatých s jako je jedle bělokorá a smrk ztepilý.

U dřevin světlo milných je nutným předpokladem pro úspěšnost podrostního či výběrného hospodaření daleko výraznější snížení porostní zásoby, nicméně lze i zde očekávat pozitivní efekty tradičně spojované s přírodě blízkými způsobem hospodaření. K těm patří zejména: využívání autoregulace, nižší vstupy do ekosystému, vyšší stabilita porostů s nižším rizikem velkoplošného kalamitního rozpadu a posílení mimoprodukčních funkcí lesa včetně hlediska estetického a hlediska zvyšování biodiverzity. Novodobé snahy o ekologicky orientované borové hospodářství jsou akcentovány nejen s rostoucím významem mimoprodukčních funkcí lesa i snahou o zvyšování produkce (Pretzsch 2015). Začínají se objevovat i četné publikace soustředící se na obnovu borovice pod porostem (eg. Kuuluvainen a Juntunen 1998; Pasanen et al. 2016; Nilsson et al. 2006).

Při tomto způsobu obnovy reaguje borovice poměrně silně na různou dostupnost světla v rámci porostních mezer, zejména celkovou výškou, přírůstem, nadzemní biomasou a listovou plochou. Obdobným způsobem reaguje poměrně výrazně na vzdálenost od porostního okraje v případě okrajové seče.

3. MOŽNOSTI ALTERNATIVNÍHO PĚSTOVÁNÍ BOROVICE

Odhlédneme-li od stanovišť s jednoznačně ochrannou funkcí, převážná většina hospodářských borů a borových doubrav přirozených stanovišť se nachází buď na SLT 0K, 1M, 0M, 0Q, 0P a 0O (CHS 13) či na 0T a 0G (CHS 39).

V rámci ekologicky orientovaného pěstování lesů je žádoucí se na SLT 0M vyvarovat velkých holin, pokud možno docílit přimíšení břízy a dubu, podporovat ekotypově vhodné borovice a podpořit přirozené zmlazení, aby se les sám skupinovitě obnovoval (PRŮŠA 2001). Obmýtní doba může být s ohledem na stav porostů a jejich růstovou dynamiku poměrně dlouhá. Zejména v keříčkovitých typech je zpravidla nutná příprava půdy. Na 0K případně 1M lze v případě kvalitních porostů realizovat obnovu lesa násečným či podrostním způsobem. Při těchto postupech se často vytváří spodní etáž přimíšených listnatých dřevin (dub a bříza), které jsou na těchto stanovištích zásadní pro udržení kvality půdy. Celkově v takto pojatém pěstování borových porostů jsou širší možnosti integrace přimíšených dřevin (Obr. 1).



Obr. 1 Přirozená obnova borovice, břízy a dubu pod mateřským porostem na stanovišti kyselého boru (SLT 0K)
 Foto: Lukáš Bílek

V návaznosti na velkoplošný obnovní prvek se často pod okrajem přilehlého dospělého prostu dostavuje přirozená obnova až do vzdálenosti jedné porostní výšky. Jak z pohledu ekologického, tak i produkčního se jedná o velice cenný prvek, který si zasluhuje pozornost lesního hospodáře. Tyto porostní okraje jednak představují větší druhovou a prostorovou pestrost, ale i jedinci následné generace lesa, kteří odrůstají v částečném zástínu horní etáži, vykazují vyšší kvalitu dřevní hmoty a jemnější větvení (Schönfelder et al. 2017). Na SLT 0O, 0P a 0Q vzhledem k nebezpečí zamokření a možnosti poškození mrazem v mrazových kotlinách, je nejvhodnějším postupem podrostní obnova či okrajová seč, ve vhodných případech s předsunutými kotlíky jedle. Žádoucí je rovněž zavádět do porostů olši, osiku a břízu (Průša 2001). Na SLT 0T a 0G je významná desukční funkce lesa, obnova by měla probíhat zásadně pod clonou mateřského prostu, s ohledem na půdoochrannou funkci těchto porostů spíše s maloplošným charakterem (Průša 2001). Aktuálním problémem je i otázka využívání těžebních zbytků na těchto živinově chudých stanovištích. Zásadní roli s ohledem na množství dostupných živin pro rostliny na těchto půdách hrají nadložní humusové horizonty. Odstranění těžebních zbytků se bez následné kompenzace jeví jako rizikové (Remeš et al. 2015, 2016). Při maloplošném podrostním hospodářství většině případů nepočítáme s vyklizováním klestu z porostů (může se však jednat o jeho koncentraci do valů či hromad), což nelze v podmínkách HS 13 hodnotit jako hospodářské negativum, ale naopak opatření podporující trvalost produkce na značně citlivých stanovištích.

4. PŘIROZENÁ OBNOVA

Obnova lesa není jen otázkou stanovištních a porostních podmínek (tedy otázka ekologie lesa), ale i otázkou technologickou a v konečném důsledku i otázkou hospodářskou. V první rovině je rozhodující kombinace růstových faktorů, míra jejich ovlivnění pedologickými, klimatickými a porostními podmínkami a charakterem přízemní vegetace. Podstatný je vliv škodlivých faktorů a konečně vliv lesního hospodáře. Ten se v případě pěstování borovice projeví zejména v úpravě světelných podmínek prostřednictvím porostní hustoty, dočasným omezením konkurence přízemní vegetace s využitím přípravy půdy a případně ochranou proti škodlivým činitelům.

V rámci ekologicky orientovaného hospodářství lze vylišit dva základní pěstební přístupy. Prvním je snaha o plošnou iniciaci přirozeného zmlazení pod mateřským porostem, druhým je maloplošná obnova skupinovitého charakteru s přechodem k výběrným principům. Stanovení minimálního věku porostu pro zahájení obnovy je vždy odvislé od konkrétních podmínek porostu či porostní skupiny s ohledem na jeho věk, kvalitu, očekávanou produkci, přítomnost spontánní obnovy, stanovištní podmínky a charakter přízemní vegetace. Důležité je, aby na mateřském porostu nevznikaly ztráty na produkci předčasnou těžbou zejména nejkvalitnějších stromů. Jako první z porostu odstraňujeme jedince s podprůměrně vyvinutou korunou, se známkami defoliace, stromy poškozené, nekvalitní a nahnuté. Naopak se snažíme podpořit stromy s dostatečně vyvinutou korunou a kvalitním kmenem, v porostu rovněž ponecháváme biotopové stromy a přímíšené dřeviny.

Borovice lesní akceptuje širokou amplitudu světelných podmínek v době vzcházení semenáčků (prakticky od podmínek holiny až po zakmenění 0,8), v prvních letech růstu semenáčků dokonce hraje větší roli konkurence o vodu způsobená jak mateřským porostem, tak přízemní vegetací. Ovšem s rostoucím věkem se její nároky na světlo znatelně zvětšují, a to zejména s ohledem na úživnost stanoviště a vláhové poměry. Snížení zakmenění v prvním fázi obnovní těžby s plošným charakterem na 0,7 brání přílišnému rozvoji přízemní vegetace, nicméně s ohledem na obnovu borovice zpravidla velice záhy do 2 až 3 let vyžaduje porost další těžební zásah. Z tohoto důvodu při optimálních podmínkách pro přirozenou obnovu lze prvním těžebním zásahem snížit zakmenění až na hodnotu 0,5. Při využití harvesterové technologie toto zakmenění zpravidla zaručuje bezproblémový pohyb techniky. V případě maloplošného postupu je pro iniciaci přirozené obnovy zpravidla velikost světliny do velikosti 5 ar dostatečná. Celkově se v tomto případě bude jednat o postup s delší dobou obnovy a větší diferenciací těžebních zásahů s ohledem na jejich intenzitu, umístění a vlastní výběr stromů k mýtní těžbě (Obr. 2).



Obr. 2 Věková a prostorová diferenciacie porostů je přirozeným důsledkem maloplošného způsobu obnovy s uplatněním jednotlivého výběru a dlouhou dobou obmýtí. Foto: Lukáš Bílek

Přes výše popsání úskalí k hlavním přednostem přirozené obnovy borovice pod clonnou mateřského porostu patří:

- jemnější větvení takových jedinců obnovy a předpoklad vyšší kvality dřevní suroviny,
- příznivější porostní klima s menší pravděpodobností výskytu klimatických extrémů (mráz, vítr, intenzivní sluneční záření, plné zatížení mokrým sněhem),
- hustotu a strukturu následného porostu lze regulovat mírou clonění mateřským porostem, naléhavost výchovných zásahů je zpravidla nižší ve srovnání s mladými porosty vzniklými holosečně,
- s přirozenou obnovou borovice se zpravidla dostavuje v závislosti na stanovišti i příměs listnáčů jako je bříza bělokorá, topol osika a duby s pozitivním vlivem na koloběh živin a druhovou pestrost lesního ekosystému,
- při delší době obnovy a velkém počtu východisek obnovy se zvyšuje pravděpodobnost odrůstání alespoň minimálního požadovaného počtu jedinců při zvýšených stavech zvěře.

K záporům přirozené obnovy borovice lesní pod porostem naopak patří:

- zpravidla náročnější příprava půdy pod porostem pro obnažení minerálního půdního horizontu a snížení kompetice přízemní vegetace, v případě orby se zvyšuje riziko poškození kořenového systému jedinců mateřského porostu,
- vyšší riziko zmařené investice v případě, kdy se obnova po přípravě půdy nedostaví v dostatečném počtu a dojde k obnovení souvislého bylinného patra,
- obnova borovice nastupuje pouze v obdobích, kdy dostatečná semenná úroda koinciduje s příznivým průběhem počasí na jaře a v létě,
- v prvních třech letech nedostatečné světelné a vláhové poměry (v případě příliš vysoké hustoty horní stromové etáže) rychle vedou ke zvýšené mortalitě jedinců obnovy.

5. ZÁVĚR

V rámci celého areálu rozšíření je borovice pěstebně plastická dřevina. Nejčastější motivy pro alternativní postupy jsou snaha snížit pěstební náklady podporou přirozených procesů, podpora mimoprodukčních funkcí lesa, snaha o zvýšení hodnotové produkce, tlak zvěře či adaptace na klimatickou změnu. Hlavní omezení těchto postupů pak jsou charakteristika borovice lesní jako světlomilné dřeviny a otázka kompetice přízemní vegetace a konkurenčně silnějších dřevin na bohatších stanovištích. V podmínkách ČR je potřeba usměrnit pěstování borovice přednostně na sušší stanoviště.

Při ekologicky orientovaném pěstování lesů je nutné se vyvarovat přílišných paušalizací. Lze předpokládat, že v souladu se zvyšujícím se významem mimoprodukčních funkcí lesů (ekologických i environmentálních) bude péče

o lesní ekosystémy zaměřená zejména na dosažení jejich větší přirozenosti. Současné znalosti pěstování lesů jsou dobrým výchozím bodem pro naplnění těchto cílů, nicméně ověřování dosavadních a formulace nových kritérií a indikátorů optimálních postupů pěstování lesů se zvýšenou mimoprodukční funkcí jsou nezbytná, a to i v úzké vazbě na měnící se podmínky prostředí.

6. PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla realizována a prezentována díky finanční podpoře MZe v rámci projektu QJ1520037 Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky.

7. LITERATURA

- KUULUVAINEN T., JUNTUNEN P. 1998. Seedling establishment in relation to microhabitat variation in a windthrow gap in a boreal *Pinus sylvestris* forest. *Journal of Vegetation Science* 9(4): 551-562.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ 2016. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- MUSIL I., HAMERNÍK J. 2007. Jehličnaté dřeviny. Praha, Academia. 352 s.
- NILSSON U., ÖRLANDER G., KARLSSON M. 2006. Establishing mixed forests in Sweden by combining planting and natural regeneration - effects of shelterwood and scarification. *Forest Ecology and Management* 237(1): 301-311.
- PASANEN H., ROUVINEN S., KOUKI J., 2016. Artificial canopy gaps in the restoration of boreal conservation areas: long-term effects on tree seedling establishment in pine-dominated forests. *European Journal of Forest Research* 135(4):697-706.
- PRETZSCH H., DEL RÍO M., AMMER CH. et al. (2015). Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research* 134:927-947.
- PRŮŠA E. 2001. Pěstování lesů na typologických základech. *Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy*. 593 s. ISBN 80-86386-10-4.
- REMEŠ J., BÍLEK L., FULÍN M. 2015. Vliv zpracování těžebních zbytků a následné mechanické přípravy půdy na chemické vlastnosti půd přirozených borů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60(2):138-146.
- REMEŠ J., BÍLEK L., JAHODAM. 2016. Vliv přípravy půdy a hnojení dřevěným popelem na růst sazenic borovice lesní. *Zprávy lesnického výzkumu* 61(3):197-202.
- SCHÖNFELDER O., ZEIDLER A., BORŮVKA V., BÍLEK L. 2017. Influence of site conditions and silvicultural practice on the wood density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – a case study from the Doksy locality, Czech Republic. 63(10):457-462.

Kontakt

Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Katedra pěstování lesů

Fakulta lesnická a dřevařská

Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha 6, 165 21

tel.: +420 224 383 790

e-mail: bilek@fld.czu.cz

STRUKTURA, VÝVOJ A MANAGEMENT BOROVÝCH POROSTŮ NIŽŠÍCH POLOH VE VZTAHU KE KLIMATICKÝM ZMĚNÁM

prof. RNDr. Stanislav Vacek, DrSc., Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D., Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesa

Abstrakt

Struktura a vývoj porostů jsou dva nesmírně důležité aspekty přirozených lesních porostů a vzhledem k tomu bylo cílem toho příspěvku popsat a zhodnotit jak strukturu, vývoj a management porostů borovice lesní na jejich přirozených stanovištích v nižších polohách ve východních Čechách. Výzkum byl proveden na 5 trvalých výzkumných plochách (TVP) ve dvou měřeních s desetiletým intervalem. Růstové strukturální ukazatele se v průběhu sledovaných let převážně zvýšily a zejména u zásoby došlo k nárůstu až o 20 %. V porostech došlo k výraznému posunu stromů do vyšších tloušťkových tříd, i když se průměrná výška stromů na jednotlivých TVP změnila jen minimálně. Naproti tomu došlo k výraznému odrůstání přirozené obnovy. Pozornost byla také věnována biodiverzitě a horizontální struktuře, přičemž rozmístění jedinců stromového patra na jednotlivých je s výjimkou jedné TVP pravidelné a u přirozené obnovy je shlukovité. Biodiverzita na zkoumaných plochách i v čase vykazovala výraznější variabilitu. Korelace mezi tloušťkovým přírůstkem a množstvím srážek byla silnější při porovnání s teplotou. Pozitivní signifikantní korelace mezi přírůstkem a průměrnou teplotou byla prokázána pouze pro březnovou teplotu. Koncentrace SO_2 a depozice N v kombinaci s klimatickými extrémy, zejména suchem, způsobují silnou defoliaci a snižují růst borových porostů. Naopak, radiální růst borovice pozitivně významně koreloval s průměrnými koncentracemi NO_x . Z výsledků vyplývá, že i borovici lesní lze na stanovištích kyselých borů a borových doubrav při respektování její ekologické valence pěstovat přírodě blízkým podrobným způsobem.

Klíčová slova

Pinus sylvestris, přirozené borové porosty, struktura a vývoj porostů, management porostů, klimatické změny, znečištění ovzduší

1. ÚVOD

Bory mají zvláštní postavení ve vývoji a stupňovitosti vegetace (Chytrý et al. 2010). Tato půdně exponovaná stanoviště překrývají svou osobitou povahou rozdíly klimatu a silně omezují konkurenční zdatnost většiny vegetace (Mikeska et al. 2008). Borovice lesní jako pionýrská dřevina má relativně vysoké nároky na světlo a její přirozená obnova pod korunovým zápojem jiných dřevin kromě borovice je minimální (Poleno et al. 2008). Nelze tedy uvažovat o strukturně bohatých porostech s trvalým zastoupením borovice v řádu desítek procent, které by trvale splňovaly podmínku continuous cover forestry (Vrška 2006). Do určité míry však v hospodářských lesích lze borovici kombinovat především s dubem, břízou, smrkem, částečně s modřínem a vtroušeně s dalšími listnáči, a to vždy s ohledem na dlouhodobý hospodářský cíl (Vacek et al. 2007).

Bory v nížinách střední Evropy se často nacházejí na chudých a vysušených písčitých půdách a klimatické změny pak mají za následek ještě sušší a teplejší počasí během vegetačního období (Briffa et al. 2009; Dubrovský et al. 2009), které může ekologické podmínky těchto xerothermních stanovišť ještě zhoršit (Slodičák et al. 2011). Ačkoliv jsou bory významnou složkou středoevropských lesních ekosystémů, tak bylo v posledních letech na těchto lokalitách v tomto regionu vykonáno jen velmi málo studií (Orzechowska, Fernes 2011; Matuszkiewicz et al. 2013). Vzhledem k tomu by naše studie měla přispět k doplnění a rozvoji poznání o borech v poměrně širokém rozsahu v rámci celého středoevropského regionu.

Lesní management přináší řadu změn v lesních ekosystémech (Montes et al. 2005; Matuszkiewicz et al. 2013), které mohou změnit celou řadu strukturálních a vývojových parametrů (Kint et al. 2009). Odpovědné zhodnocení jednotlivých strukturálních parametrů je tak z hlediska cílů lesního hospodaření velice důležité (Montes et al. 2008). I vzhledem k nastávajícím změnám v lesních praktikách, které podporují zachování a zvyšování biologické rozmanitosti prostřednictvím využívání přirozené obnovy a větší druhové bohatosti lesů je třeba věnovat pozornost těmto porostům (Coote et al. 2012).

Lesy jsou v podstatě trojrozměrné ekosystémy, jejichž biofyzikální struktura hraje ve fungování a rozmanitosti hlavní roli (Li et al. 2012). Mezi hlavní faktory struktury lesních porostů patří druhová rozmanitost, variabilita rozměrů (Pommerening 2002) a jako poslední z hlavních faktorů lesní struktury, který je stále více uznáván jako její

nedílná součást, je udávána heterogenita v prostorovém uspořádání stromů (Puettmann et al. 2008). Analýza prostorového uspořádání nám může poskytnout celou řadu cenných informací týkajících se základních procesů probíhajících v lesních ekosystémech, jako jsou vnitrodruhové či mezidruhové interakce nebo specifické reakce druhů na různorodé podmínky životního prostředí (Nicotra et al. 1999; Keitt et al. 2002). Prostorová struktura také může sloužit k objasnění mikroklimatických změn, pomoci predikovat produkci dřeva či objasňovat vznik přirozené obnovy a dynamiku mezer v zápoji (Zenner, Hibbs 2000). V neposlední řadě pak informace o struktuře porostů přispívají k lepšímu chápání historie, funkce lesů a budoucího vývojového potenciálu lesních ekosystémů (Franklin et al. 2002).

Variabilita v prostorovém uspořádání je pak výsledkem komplexu interagujících biotických a abiotických ekologických procesů (Franklin, Van Pelt 2004; Tuten et al. 2015), zejména pak je do značné míry determinována vztahy mezi sousedními stromy a jejich skupinami (Hui et al. 2011). Zároveň má prostorová různorodost vliv nejen na budoucí vliv a vývoj stromů, ale je také důležitá pro rozvoj ekosystémových společenstev v podrostu (Fahey, Puettmann 2008). V současnosti je také stále více uznáváno maloplošné jemné hospodaření s důrazem na větší heterogenitu jako hospodaření, které v lesích zvyšuje jak jejich rezistenci a tak i schopnost přizpůsobit se změnám klimatu a různým disturbancím (Franklin et al. 2007; Churchill et al. 2013). Tento moderní přístup je na řadě míst cílem současného pěstování lesů, obzvláště pak v suchých lokalitách (Reynolds et al. 2013). Neboť v posledních několika desetiletích docházelo k zvyšování teplot a ke změnám v rozložení srážek (Merlin et al. 2015), tyto změny pak byly doprovázeny zvýšenou frekvencí a intenzitou extrémních klimatických událostí, jako jsou sucha (Smith 2011). Otázka schopnosti lesních ekosystémů čelit takovým klimatickým změnám a extrémním událostem se stala otázkou pro řadu vědeckých studií, které se jí snaží řešit a je velice studovaným tématem (Allen et al. 2010; Lloret et al. 2012; Cavin et al. 2013).

V naší práci jsme velkou pozornost věnovali i jednotlivým růstovým veličinám a produkci porostů na jednotlivých lokalitách. Produkce lesů obecně může být stimulována a naopak inhibována mnoha různými faktory životního prostředí a jejich interakcemi, v závislosti na ekologických požadavcích jednotlivých druhů, které se v lesních ekosystémech vyskytují. Se změnou intenzity daného faktoru, za jinak neměnných ostatních faktorů, růstová reakce obecně následuje v podobě „a unimodal dose-response curve model“ (Pretzsch 2009). Jedním z hlavních faktorů produktivity lesa je pak dostupnost vody (Gholz et al. 1990), kterou může být zejména produkce borových porostů výrazně ovlivněna (Socha 2012) a i vzhledem k výše nastiněným klimatickým změnám, je toto téma velmi aktuální obzvláště u borových porostů.

2. MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika zájmového území

Studie byla provedena v podmínkách přirozených borů a borových doubrav na 5 trvalých výzkumných plochách (TVP) ve východních Čech na Třebechovicku. Jedná se o TVP o velikosti 50 × 50 m (0,25 ha), které leží na rovině. Jedná se o TVP, které jsou typické pro přirozená stanoviště borovice lesní v podmínkách střední Evropy. Podle Quitta 1976 se jedná o klimatickou oblast MT11 – dlouhé léto, teplé a suché, přechodné období krátké s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, zima je krátká, mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota je dle klimatického normálu 1961–1990 6,9 °C, ve studovaném období byla 8,3 °C; průměrné roční normál úhrnu srážek 774 mm, ve studovaném období byl o 5,9 % nižší (728 mm); vegetační doba se zde pohybuje kolem 160 dnů. Z hlediska typologie se jedná o stanoviště 1M7 - 1M7 - Borová doubrava brusinková, 0K1 - Kyselý dubový bor, 0M2 - Chudý dubový bor.

Sběr dat

Pro stanovení struktury stromového patra dřevin lesních ekosystémů byla při zakládání a opakovaném měření 5 trvalých výzkumných ploch (TVP) v r. 2005 a 2015 použita technologie FieldMap (IFER-Monitoring and Mapping Solutions Ltd.). Při jednotlivých měřeních byla zaměřena poloha všech jedinců stromového patra o výčetní tloušťce nad 7 cm. U stromového patra byly též změřeny výšky nasazení zelené koruny a obvod koruny, a to minimálně ve 4 směrech na sebe kolmých. Výčetní tloušťky stromového patra byly vždy měřeny kovovou průměrkou s přesností na 1 mm a výšky stromů a výšky nasazení zelené koruny pomocí výškoměru laser Vertex s přesností na 0,1 m. Stromové patro bylo dle stromových tříd rozděleno na horní etáž (stromy úrovně a nadúrovně) a dolní etáž (stromy podúrovně). U přirozené obnovy nad 1,5 m byly též měřeny stejné parametry jako u stromového patra. U přirozené obnovy do 1,5 m byly na transektu 5 × 50 m na každé ploše zjišťovány počty a výšky jedinců jednotlivých druhů dřevin. U 30 úrovnových stromů na každé TVP byly v r. 2015 pomocí Presslerova nebozezu odebrány vývrty ve výčetní výšce (130 cm) kolmo na osu kmene ve směru sever a jih.

Analýza dat

U všech jedinců stromového patra byly na jednotlivých plochách zhodnoceny strukturální a růstové parametry, kvantita a kvalita produkce, horizontální a vertikální struktura a biodiverzita. Objem stromů byl kalkulovaný podle objemových rovnic publikovaných v práci Petráš, Pajtík (1991).

Z hlediska prostorového rozmístění byly spočítány Clark-Evansův agregační index a Ripleyova L- funkce. Pro výpočet těchto charakteristik popisujících horizontální uspořádání jedinců na ploše byl použit program PointPro 2.1. Strukturální charakteristiky byly spočítány pomocí růstového simulátoru Sibyla (FABRIKA, ĎURSKÝ 2005). Při studiu horizontální struktury na TVP byla též odvozena hustota porostu, biologický zápoj a taxační zápoj. Situační mapy byly vytvořeny v programu ArcGIS (Copyright 1995–2010 Esri). Dále byly v rámci hodnocení biodiverzity spočítány: index tloušťkové diferenciaci výškové diferenciaci, index druhové různorodosti, index druhové vyrovnanosti, Arten-profil index a index celkové diverzity (VACEK et al. 2016).

Data pro analýzu růstových poměrů byla získána odběrem vývrtů ve výšce 1,3 m Presslerovým nebozezem z 30 živých úrovnových a nadúrovnových stromů borovice lesní. Šírky letokruhů byly měřeny s přesností na 0,01 mm binolupou Olympus na měřicím stole LINTAB a zaznamenávány programem TsapWin (www.rinntech.com). Aby bylo možné vzorky datovat a odstranit chyby spojené s výskytem chybějících letokruhů, byla každá přírůstová série křížově datována s využitím statistických testů v programu PAST4 (Knibbe 2007) a následně podrobena vizuální kontrole podle Yamaguchiho (1991). Jestliže byl nalezen chybějící letokruh, byl na jeho místo vložen letokruh s šířkou 0,01 mm. Průměrné letokruhové série z TVP pak byly korelovány s klimatickými daty (srážky, teploty; 1961–2013 ze stanice Hradec Králové) a imisními daty (koncentrace SO₂, NO_x, AOT40F, S and depozice N (1979–2014) ze stanice Svatouch) podle jednotlivých měsíců a let. Pro modelování tloušťkového přírůstu v závislosti na klimatických charakteristikách byl použit software DendroClim (Biondi, Waikul 2004).

3. VÝSLEDKY

Struktura a vývoj stromového patra

Základní strukturální parametry stromového patra na TVP 1–5 v roce 2005 a 2015 jsou uvedeny v Tab. 1. Počet živých stromů s DBH ≥ 7 cm se v r. 2015 pohyboval mezi 508–660 ks.ha⁻¹, což na TVP 1 a 4 představuje nárůst o 2,5 a 7,6 % a na TVP 2, 3 a 5 pokles o 3,7–9,9 %. Index hustoty porostu (SDI) = 0,65–0,78, za stejné období narostl o 0,1–10,1 %, pouze na TVP 5 se snížil o 2,5 %. Na všech plochách ve sledovaném období o 4,2–26,5 % poklesla plocha korunových projekcí.

Průměrná kruhová základna se v r. 2015 pohybovala mezi 32,5–39,7 m².ha⁻¹, čemuž odpovídá nárůst o 2,8–13,7%, pouze na TVP 5 kruhová základna v důsledku nahodilé těžby poklesla o 0,5 %. Zásoba hroubí sdruženého porostu v r. 2015 se pohybovala mezi 320–434 m³.ha⁻¹, což ukazuje za 10 let nárůst o 5,9–20,0%. Největší zásoba hroubí (410 a 430 m³.ha⁻¹) byla na TVP 5, tj. v porostu, a byl zde zaznamenán nejvyšší nárůst objemu středního kmene (o 17,4 %). Nejmenší zásoba hroubí proti tomu byla na TVP 3 (299 a 320 m³.ha⁻¹). Na zásobě se na všech TVP dominantně podílela borovice lesní (93,1–100 %), což vyplývá i z počtu jedinců jednotlivých dřevin na TVP (Tab. 2).

Celkový běžný přírůst byl v r. v r. 2015 3,1–5,5 m³.ha⁻¹.rok⁻¹, což ukázalo nárůst za posledních 10 let o 5–17 % a celkový průměrný přírůst v r. 2015 kolísal mezi 6,4–8,1 m³.ha⁻¹.rok⁻¹ a na všech plochách kromě TVP 1 (nárůst o 1 %) vykazoval pokles o 2–17 %. (Tab. 1). Objem nahodilých těžeb za zkoumané období se pohyboval v rozmezí od 11,1 do 34,2 m³.ha⁻¹, (v průměru 22,5 m³.ha⁻¹), přičemž nejvyšší objem byl zaznamenán na TVP 5.

Tab. 1 Strukturální charakteristiky stromového patra na jednotlivých TVP v r. 2005 a 2015 v přepočtu na 1 ha

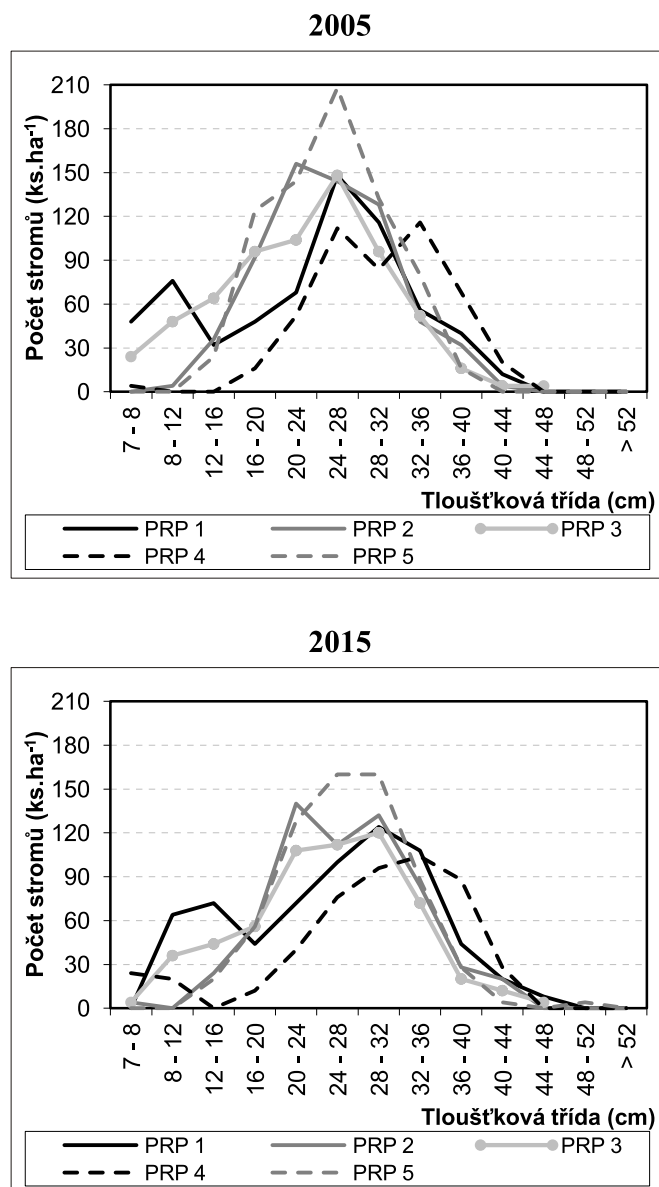
TVP	Rok	věk	dbh	h	v	N	G	V	CBP	CPP	COP	CC	SDI
1	2005	68	25.8	19.90	0.536	644	33.5	345	8.0	4.42	345	80.2	0.66
	2015	80	27.1	21.44	0.627	660	38.1	414	8.1	5.18	440	77.1	0.73
2	2005	59	26.3	21.33	0.531	644	35.1	342	7.5	4.96	342	80.2	0.70
	2015	70	27.3	23.05	0.621	620	36.4	385	7.0	5.50	408	72.7	0.72
3	2005	59	24.7	19.76	0.455	656	31.5	299	8.0	4.33	299	80.2	0.65
	2015	70	26.0	20.60	0.523	612	32.5	320	7.0	4.57	339	69.3	0.65
4	2005	120	31.2	22.63	0.798	472	36.2	377	6.5	2.90	377	76.2	0.68
	2015	130	30.5	22.42	0.791	508	37.2	402	6.4	3.08	412	74.8	0.70
5	2005	117	26.4	22.40	0.564	728	39.9	410	8.5	3.23	410	81.1	0.80
	2015	128	27.8	23.91	0.662	656	39.7	434	7.1	3.39	468	70.4	0,78

Vysvětlivky: TVP – trvalá výzkumná plocha, Rok – rok měření, Věk – průměrný věk porostu, dbh – průměrná výčetní tloušťka, h – střední výška, v – průměrný objem stromu, N – počet stromů, G – výčetní kruhová základna, V – objem porostu, CBP – celkový běžný přírůst, CPP – celkový průměrný přírůst, COP – celková objemová produkce ($m^3 \cdot ha^{-1}$), CC – stupeň zápoje, SDI – index hustoty porostu.

Tab. 2 Počty jedinců stromového patra v přepočtu na hektar a procentuální zastoupení diferencovaně podle dřevin na jednotlivých TVP v roce 2005 a 2015

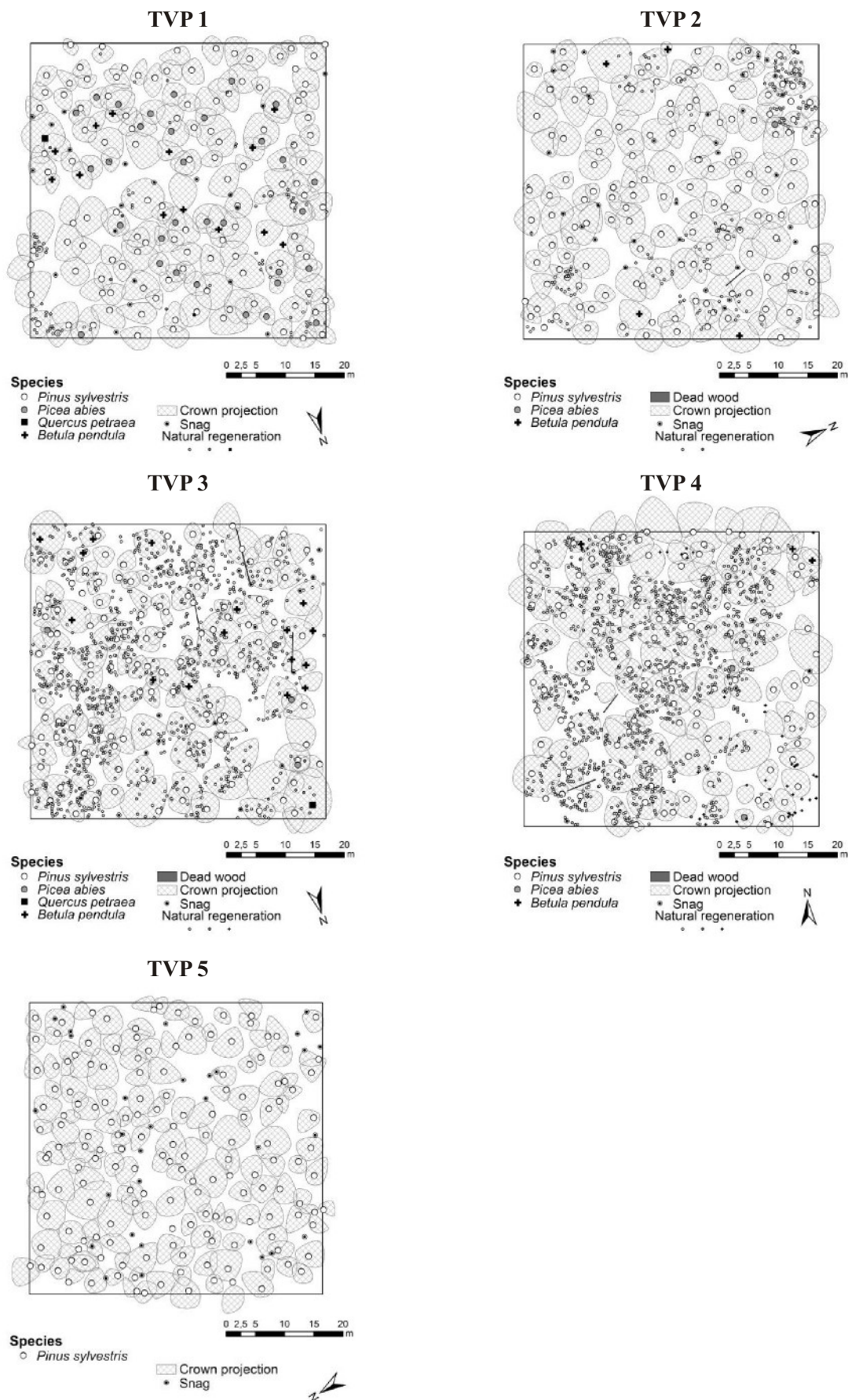
Dřevina	Rok	TVP									
		1		2		3		4		5	
		ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%
<i>Pinus sylvestris</i>	2005	456	71	624	97	576	88	468	99	728	100
	2015	476	72	600	97	528	86	484	95	656	100
<i>Picea abies</i>	2005	116	18	0	0	8	1	4	1	0	0
	2015	128	19	4	1	16	3	12	2	0	0
<i>Betula pendula</i>	2005	68	11	20	3	68	10	0	0	0	0
	2015	52	8	16	3	64	10	12	2	0	0
<i>Quercus spp.</i>	2005	4	1	0	0	4	1	0	0	0	0
	2015	4	1	0	0	4	1	0	0	0	0

Tloušťkové četnosti stromového patra v r. 2005 a 2015 jsou znázorněny na Obr. 1. Na všech TVP došlo k výraznému posunu stromů do vyšších tloušťkových tříd a zejména pak na TVP 1 a 4 byl zaznamenán výraznější nárůst jedinců v nejslabších tloušťkových třídách, a to nejen u smrku ztepilého, ale i u břízy bělokoré a borovice lesní.



Obr. 1 Histogram tloušťkové struktury stromového patra borovice lesní na TVP 1–5 diferencovaně podle dřevin v přepočtu na 1 ha v r. 2005 a 2015

Horizontální struktura stromového patra v roce 2015 je znázorněna na Obr. 2 a pomocí strukturálních indexů zachycena v Tab. 3. U stromového patra jsou jedinci dle strukturálních indexů na TVP rozmístěni pravidelně, Podobně je to mu i dle L-funkce, kde jsou stormy o rozestupu do 3–6 m rozmístěny pravidelně a v ostatních případech náhodně. V průběhu sledovaných let došlo v horizontální struktuře jen k minimálním změnám.



Obr. 2 Horizontální struktura porostů na TVP 1–5 vr. 2015

Biodiverzita stromového patra

Indexy charakterizující diverzitu stromového patra na TVP 1–5 jsou popsány v Tab. 3. Vertikální struktura je v rámci TVP poměrně variabilní, pohybuje se od nízké až po vysokou rozrůzněnost. V průběhu sledovaných let se na všech TVP vertikální rozrůzněnost snižovala. Nejvyšší byla na TVP 5 v r. 2005. TM index výškové a tloušťkové diferenciaci poukazuje na porosty s převážně nízkou a střední strukturální diferenciací. Nejvyšší diferenciaci tloušťkové i výškové struktury byla ve sledovaných letech zaznamenána na TVP 1. Z hlediska celkové diverzity B se jedná o plochy s monotónní výstavbou, rovnoměrnou až nerovnoměrnou výstavbou a nerovnoměrnou až různorodou výstavbou. V průběhu sledovaných let se celková diverzita na TVP 1, 4 a 5 mírně a naopak na TVP 2 a 3 zvyšovala. Nízká až střední korunová diferenciaci v průběhu sledovaných let na TVP 2, 3 a 5 stoupala a na TVP 1 a 4 klesala. Druhová různorodost stromového patra byla na TVP 1–3 nízká a na TVP 4 a 5 minimální. Druhová vyrovnanost stromového patra dle E indexu též ukazuje na nízkou biodiverzitu na TVP 1–3 a na minimální na TVP 4 a 5.

Tab. 3 Strukturální indexy stromového patra na jednotlivých TVP za r. 2005 a 2015

TVP	Rok	Indexy							
		A(Pri)	B(J&Di)	TM _d (Fi)	TM _h (Fi)	K(J&Di)	H' (Si)	E (Pii)	R (C&Ei)
1	2005	0.400	8.022	0.349	0.304	2.809	0.163	0.271	1.105
	2015	0.241	6.694	0.328	0.273	1.718	0.174	0.289	1.230
2	2005	0.333	4.500	0.219	0.107	1.034	0.081	0.269	1.248
	2015	0.269	6.469	0.229	0.099	2.310	0.062	0.130	1.264
3	2005	0.407	6.211	0.289	0.191	1.486	0.145	0.241	1.198
	2015	0.375	7.011	0.305	0.195	2.485	0.165	0.274	1.216
4	2005	0.360	6.454	0.204	0.091	2.692	0.001	0.003	1.225
	2015	0.322	5.791	0.307	0.187	1.706	0.012	0.025	1.205
5	2005	0.595	2.923	0.194	0.094	0.579	0.000	0.000	1.268
	2015	0.216	2.449	0.205	0.074	0.615	0.000	0.000	1.308

Vysvětlivky: A – Arten-profil index, B – index porostní proměnlivosti, TM_d – index tloušťkové diferenciaci, TM_h – index výškové diferenciaci, K – index korunové diferenciaci, H' – index druhové různorodosti (entropie H'), E – index druhové vyrovnanosti, R – agregační index

Struktura a vývoj přirozené obnovy

Stav přirozené obnovy na jednotlivých TVP v r. 2000 a 2015 je uveden v Tab. 4 a Obr. 2 (pro rok 2015). Na počátku sledování byly počty jedinců přirozené obnovy relativně nízké (64–1492 ks.ha⁻¹) a úměrné růstové fázi či vývojovému stadiu porostu i zápoji porostu. Pouze na TVP 5 se ve sledovaných obdobích žádná obnova nevyskytovala. Do r. 2015 došlo ke značnému nárůstu počtu jedinců přirozené obnovy (344–4940 ks.ha⁻¹, tj. 3,2– 5,9krát) a k podstatnému zvýšení jejich vyspělosti (Tab. 4). K největšímu jejímu nárůstu došlo na TVP 3 a 4, tj. na plochách s nejnižším zápojem (SDI 0.64 a 0.70). Okus terminálního vrcholu obnovy byl zaznamenán pouze u dubu zimního. Poškození jedinců vytloukáním (do 0,3 %) bylo zjištěno pouze v r. 2015 u borovice na TVP 3 a 4. Dostatečný počet jedinců obnovy a jejich vyspělost z hlediska aplikovaného jednotlivého výběru je na TVP 3 a 4. Dle sledovaných strukturálních indexů je na TVP 1–4 přirozená obnova značně agregovaná. Podle výsledků L-funkce je nejvyšší agregovanost obnovy v nejmladších vývojových stadiích (na TVP 1 a 2) a u vyspělejší obnovy (TVP 3 a 4) se míra agregovanosti snižuje.

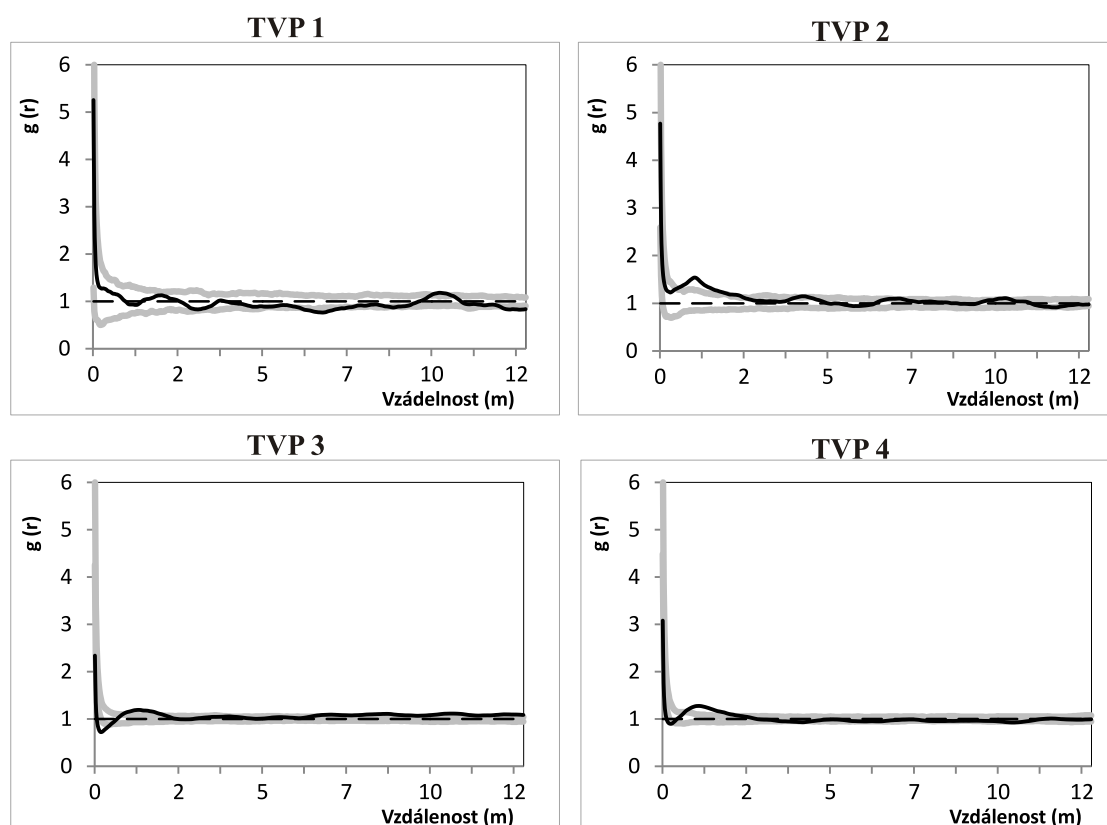
Tab. 4 Počty jedinců přirozené obnovy v přepočtu na hektar a jejich procentuální zastoupení diferencovaně podle dřevin na jednotlivých TVP 1–4

Dřevina	Rok	TVP							
		1		2		3		4	
		ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%
<i>Pinus sylvestris</i>	2005	44	69	116	94	1284	99	1448	97
	2015	304	89	724	98	4080	99	4732	96
<i>Picea abies</i>	2005	12	19	8	6	12	1	16	1
	2015	36	10	12	2	40	1	32	1
<i>Betula pendula</i>	2005	0	0	0	0	4	0	24	2
	2015	0	0	0	0	4	0	176	3
<i>Quercus petraea</i>	2005	4	6	0	0	0	0	0	0
	2015	4	1	0	0	0	0	0	0
Σ	2005	64	100	124	100	1296	100	1492	100
	2015	344	100	736	100	4124	100	4940	100

Poznámka: na TVP 5 žádná přirozená obnova ve sledovaných letech nebyla

Vztah stromového patra a přirozené obnovy

Prostorové vztahy přirozené obnovy a stromového patra pomocí párové korelační funkce jsou znázorněny na Obr. 3. Na všech TVP bylo prostorové rozmístění obnovy vůči stromovému patru hodnoceno jako náhodné ve vzdálenostech větších než 2 m, pouze na TVP 3 je ve vzdálenostech větších než 8 m tendence ke shlukovitosti. Ve vzdálenostech do 2 m vykazují vztahy obnovy a stromového patra na všech plochách kromě TVP 1 signifikantní shlukovité uspořádání, na TVP 1 je prostorové uspořádání obnovy a stromového patra v celém průběhu náhodné.

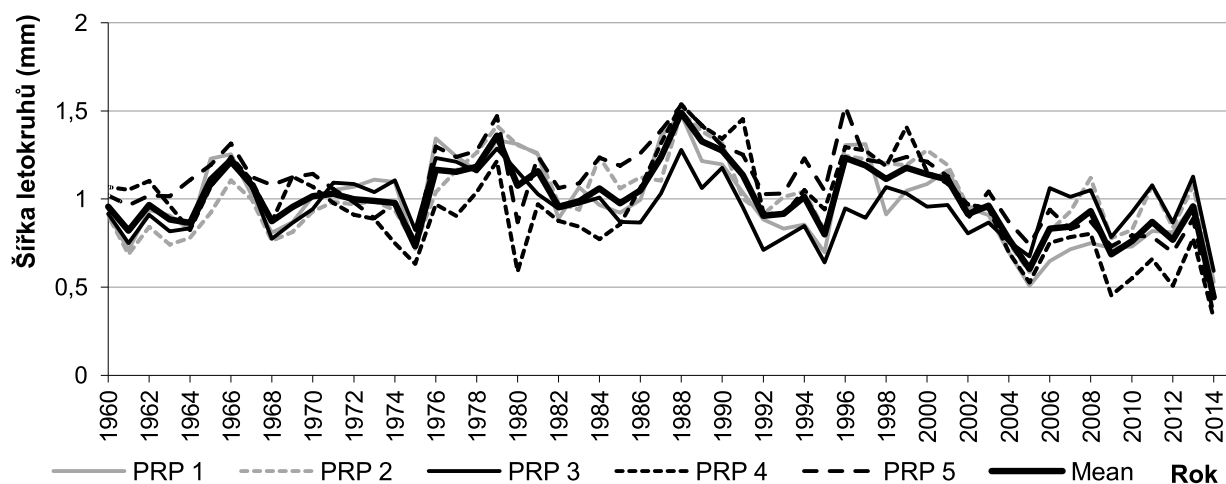


Tloušťkový růst, jeho dynamika a vztahy ke klimatu

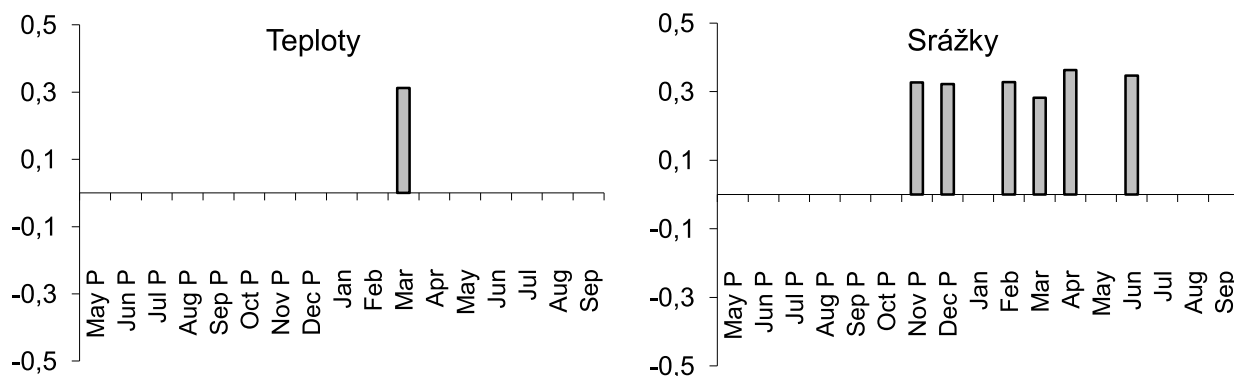
Průměrný radiální přírůst se v rámci studované oblasti borů Třebechovicka v období 50 let odpovídá stáří porostů, průměrná šířka letokruhů na TVP 1 dosahovala hodnot 1.4 mm (± 0.5 SD), na TVP 2 hodnot 1.3 mm (± 0.3 SD), na TVP 3 hodnot 1.3 mm (± 0.3 SD), na TVP 4 hodnot 0.9 mm (± 0.3 SD) a na TVP 5 hodnot 1.2 mm (± 0.3 SD). Z regionální standardní letokruhové chronologie je v letech 1960–1991 patrný relativně vyrovnaný radiální přírůst a následně pak dochází k trendu jeho vlnovitého poklesu (Obr. 4). Letopočty s nízkým radiálním přírůstem byly potvrzeny analýzou významných negativních let 1980, 2005 a 2014.

Z porovnání průměrných letokruhových křivek pro jednotlivé TVP je patrná jejich vysoká vzájemná shoda, jejich hodnoty t-testu nad 3.4 ukazují na spolehlivost synchronizace. Díky ní bylo možné sestavit standardizovanou regionální letokruhovou sérii pro borové porosty na Třebechovicku.

Korelace tloušťkového přírůstu a s průměrnými měsíčními teplotami a srážkami ukazují na některé statisticky signifikantní hodnoty. Tloušťkový přírůst v letech 1962–2014 vykazuje na Třebechovicku kladné statisticky průkazné korelace s teplotou v březnu aktuálního roku ($r = 0.31$; Obr. 5). Dále byly zjištěny statisticky průkazné kladné korelace s úhrnem srážek v listopadu a v prosinci předcházejícího roku ($r = 0.33$ a 0.32) a v únoru, březnu, dubnu a v červnu aktuálního roku. ($r = 0.33, 0.28, 0.36$ a 0.35 ; Obr. 5).



Obr. 4 Standardizovaná letokruhová chronologie po odstranění věkového trendu na TVP 1–5 a celkem ze všech TVP



Obr. 5 Hodnoty korelačních koeficientů standardizované regionální letokruhové chronologie s průměrnými měsíčními teplotami od května předcházejícího roku do září aktuálního roku v období 1962–2014 (vlevo) a mezi měsíčními srážkovými úhrny od května předcházejícího roku do září aktuálního roku v období 1962–2014 (vpravo). Zobrazeny jsou pouze korelační koeficienty se statisticky průkaznými hodnotami ($\alpha = 0.05\%$)

4. DISKUZE

Studie, která se zabývá strukturou a vývojem autochtonních borových porostů je ve středoevropských podmínkách unikátní. V rámci této práce jsme věnovali velkou pozornost řadě strukturálních parametrů, přičemž počet živých stromů s DBH ≥ 7 cm se v r. 2015 pohyboval mezi 508–660 ks.ha⁻¹ a během studovaného období došlo v závislosti na TVP buď k mírnému nárůstu či naopak k poklesu. Při srovnání hustoty jedinců s prací Sullivan et al. (2009) lze největší podobnost zaznamenat s počtem jedinců v porostech pralesovitého charakteru (830 ks.ha⁻¹) v ostatních porostech zkoumaných ve zmíněné práci pak hustota jedinců přesahuje 1000 ks.ha⁻¹. K obdobným výsledkům vyšší hustoty jedinců dochází z přirozených borových lesů i práce Marcos et al. (2007). Kruhová základna na sledovaných TVP dosahovala maxima 39,7 m².ha⁻¹ a poměrně výrazně přesahovala hodnotu 30,6 m².ha⁻¹, kterou z borů prezentuje Mellander et al. (2007). S jednou výjimkou na všech TVP za sledované období zvyšovala. V budoucnu lze předpokládat přiblížení se hodnotě 41,2 m².ha⁻¹, kterou z jedné výzkumné plochy v oblasti Valsain v centrálním Španělsku prezentuje práce Montes et al. (2008).

V příspěvku jsme věnovali pozornost také biodiverzitě, kterou jsme hodnotili podle celé řady různých indexů. Na základě jejichž vyhodnocení lze konstatovat výraznou variabilitu jak mezi jednotlivými TVP, tak i v rámci nichž během sledovaného období. Tyto výsledky jsou v podstatě v souladu s prací Gao et al. (2014), která uvádí, že dospělé porosty s víceetážovou strukturou zpravidla mívají větší druhovou rozmanitost, obzvláště v případech, kdy se jedná i smíšené lesy, které mají narušený zápoj. Zmíněná práce také prezentuje nízkou druhovou rozmanitost u mladých jednovrstevných porostů, jež jsou jehličnaté nebo mají uzavřený zápoj. Práce Barbier et al. (2008) či Chávez, MacDonald (2012), které se také zabývají biodiverzitou, považují druhovou rozmanitost za výsledek kombinovaných účinků několika faktorů mezi, které řadí zejména vliv věku, zápoje a samotného druhového složení studovaných porostů. Samotná druhová rozmanitost se může měnit i během vývoje jednotlivých porostů, což lze odvodit z námi studované přirozené obnovy na TVP. Změna druhové skladby pak úzce souvisí s rozdíly ve světelných podmínkách, vývojových stadiích a porostním dřevinném složení (Smith et al. 2008; Coote et al. 2013) a větších variability dosahuje v listnatých porostech (Alexander et al. 2006). V neposlední řadě na biodiverzitu porostů má významný vliv lesní hospodaření Zobel et al. (1993).

Velice důležitou složkou lesních porostů je přirozená obnova, přičemž porozumění jejím klíčovým faktorům vede k lepšímu poznání celé prostorové struktury porostů (Pardos et al. 2008). Vzhledem k tomu jsme nemalou část příspěvku věnovali právě přirozené obnově a studiu jejího vývoje. Na základě výsledků můžeme konstatovat poměrně značný nárůst jedinců přirozené obnovy, neboť na počátku sledování byly počty jedinců relativně nízké, ikdyž byly úměrné růstové fázi či vývojovému stadiu porostu a zápoji porostu. Do r. 2015 pak došlo k poměrně značnému nárůstu počtu jedinců přirozené obnovy (až 5,9krát). Při srovnání těchto výsledků s prací Martín-Alcón et al. (2015) ovšem dostáváme opačný trend, neboť tato práce naznačuje snižující se počet jedinců. Tento trend pozorován i v jiných studiích (Urbieta et al. 2011 či Carnicer et al. 2014). Práce Martín-Alcón et al. (2015) snižující se počet jedinců v přirozené obnově zdůvodňuje zhoršenou dostupností světla v porostech. Další práce pak uvádějí negativní vliv konkurence bylinné vegetace (Lucas-Borja et al. 2011; Prévosto et al. 2012). Také změny v hospodaření během několika posledních desetiletí ovlivnily strukturu borových porostů (Montes et al. 2005) a mohli tak ovlivnit i podmínky pro přirozenou obnovu.

Další z cílů tohoto článku bylo zhodnocení horizontální struktury stromového patra pomocí strukturálních indexů a L-funkcí. U stromového patra jsou jedinci dle strukturálních indexů na TVP rozmístění převážně pravidelně. Podobně je to mu i dle L-funkce, kde jsou stromy o rozestupu do 3–6 m rozmístěny pravidelně a v ostatních případech náhodně. V průběhu sledovaných let pak došlo v horizontální struktuře jen k minimálním změnám. Při srovnání našich výsledků si jinými pracemi dostáváme odlišné hodnoty. Práce Tuten et al. (2015) například prezentuje vysoký stupeň agregace do vzdálenosti jedinců <10 m, obdobné výsledky z borových porostů také prezentuje práce Sánchez Meador et al. (2011), kde je uváděno statisticky významné agregované uspořádání jedinců do vzdálenosti menší než 40 m, s vrcholem agregace ve vzdálenosti 6–8 m. Jiná práce Lydersen et al. (2013) prezentuje agregovanou strukturu do vzdálenosti až 20 m, přičemž pak dochází k přechodu na náhodné uspořádání. Tento trend pak podporují i práce Youngblood et al. (2004) či Sánchez Meador et al. (2009). Převažující náhodné rozmístění dominantních stromů pak prezentuje práce Li et al. (2011).

Přírodní borové lesy jsou značně odolné díky své relativně členité výstavbě s překryvem dvou generací životaschopných jedinců, kteří vytvářejí převážně horní a dolní etáž a někdy i střední etáž (Poleno 1990). Pokud není překročena maximální časová hranice druhové snášenlivosti zástinu borovice, přežijí právě pod touto clonou autoredukci nejodolnější jedinci, vytvářející maloplošné stabilní části celkové strukturální mozaiky (Mikeska et al. 2008). K vysloveně morfologicky nekvalitnímu vývoji dochází jen v extrémně dlouho cloněných podrostech a to

není případ hospodářského využívání dlouhé porostní clony, která byla aplikována např. na TVP 1 a na TVP 3. Relativně dostatečná přirozená obnova borovice pod clonou mateřského porostu byla i na TVP 2 a 3. Z toho vyplývá, že i borovici lesní lze na obdobných stanovištích kyselých borů a borových doubrav lze při respektování její ekologické valence pěstovat přírodě blízkým podrostním způsobem, a to i za využití clonosečných způsobů.

5. ZÁVĚR

Lesní hospodaření založené na využití přírodě blízkého vývoje porostů a jejich dynamiky k dosažením hospodářských cílů je v současnosti v lesnictví velmi aktuální. Výsledky naší studie tak mohou hrát důležitou roli ve zlepšení našeho chápání přirozených borových porostů ve střední Evropě. Mohou pomoci v rozvoji pěstování těchto specifických lesních ekosystémů a nemalou měrou mohou přispět k lesnímu hospodářskému managementu těchto lesů. Po 10 letech výzkumu, sledované porosty vykazovaly pozitivní vývoj z hlediska strukturních parametrů, diverzity, hustoty přirozené obnovy a růstových charakteristik. Lesnický management by však neměl být zaměřen pouze na produkční stránku, ale také na prevenci rizik před narušením porostu stresovými faktory, jako je období sucha a znečištění ovzduší. Pěstování porostů s dominantním zastoupením borovice lesní je u nás, ale i jinde ve střední Evropě, do jisté míry opomíjeno na úkor smrkového hospodářství, které je, co se týče produkčního potenciálu významnější. Nicméně i vzhledem k zvláštnímu azonálnímu postavení borů a jejich ekologických nároků v rámci středoevropských ekosystémů a k předpokládaným klimatickým změnám se dá očekávat zvyšující se význam borových porostů, a to nejen v rámci střední Evropy, ale i v kontinentálním měřítku.

Literatura

Literatura je na vyžádání u autorů příspěvku.

Kontakt

prof. RNDr. Stanislav Vacek, DrSc.

Česká zemědělská univerzita Praha

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesa

Kamýcká 129, 165 21 Praha tel.: +420 602 783 428

e-mail: vacekstanislav@fld.czu.cz

OKRAJOVÝ EFEKT JAKO VÝZNAMNÝ FAKTOR OVLIVŇUJÍCÍ PŘIROZENOU OBNOVU BOROVICE LESNÍ

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D., Ing. Daniel Bulušek, Ph.D., prof. RNDr. Stanislav Vacek,
DrSc., Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Česká lesnická společnost, z. s.

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská

Abstrakt

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) patří mezi naše nejdůležitější dřeviny a má velký ekologický a ekonomický potenciál zvyšující se s nastávajícími klimatickými změnami. Z hlediska přírodně blízkého pěstování lesů je pro optimalizaci podrostního způsobu obhospodařování důležité poznat světelné nároky této pionýrské dřeviny. Příspěvek popisuje vliv okrajového efektu na vývoj přirozené obnovy borovice v CHKO Kokořínsko. Jedná se o 2 trvale výzkumné plochy (TVP) o velikosti 40×40 m, nacházející se v odlišných světelných podmínkách. Cílem studie bylo zhodnocení vlivu bočního světla na růst, početnost, strukturu a kvalitu přirozené obnovy z hlediska vzdálenosti od porostního okraje při podrostním způsobu hospodaření. Celkový počet přirozené obnovy ($h > 150$ cm) na TVP umístěné 5 m od okraje porostu dosahoval 11 413 ks.ha⁻¹, přičemž na TVP ve středu porostu byl pouze 1 594 ks.ha⁻¹. S rostoucí vzdáleností od okraje signifikantně klesal počet přirozené obnovy. Ve vzdálenosti 5–10 m od okraje počet obnovy dosahoval 19 000 ks.ha⁻¹ a ve vzdálenosti 40–45 m pouze 5 400 ks.ha⁻¹, poté nebyl zjištěn rozdíl v její početnosti. Také výška a prostorové rozmístění přirozené obnovy borovice signifikantně negativně korelovala s klesajícím bočním světlem, zatímco signifikantní vliv na průměrnou kvalitu borovice nebyl prokázán. Obecně lze říci, že z hospodářského hlediska okrajový efekt má vliv na přirozenou obnovu do vzdálenosti 1 (1,5) velikosti porostní výšky.

Klíčová slova

boční světlo, podrostní způsob hospodaření, struktura a vývoj obnovy, CHKO Kokořínsko

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je druh borovice s vůbec největší oblastí rozšíření a patří k nejdůležitějším dřevinám v rámci celé Eurasie a má velký jak ekologický, tak i ekonomický význam (GRIGORIADIS et al. 2014), zejména pak v kontextu globálního oteplování s nepříznivým dopadem na lesy (LOARIE et al. 2009). Vzhledem k širokému areálu výskytu musí čelit řadě ekologicky různorodých podmínek odlišných od jejího ekologického optima (BENAVIDES et al., 2013). Ze střední Evropy jsou pak hlavním faktorem omezujícím výskyt borovice především nízké teploty a v posledních letech i sucho (RYYPPO et al. 1998).

Přirozené bory, nacházející se nejčastěji na chudých a výsušných písčitých půdách, mají zvláštní postavení ve vývoji a stupňovitosti vegetace. Tato půdně exponovaná stanoviště překrývají svou osobitou povahou rozdíly klimatu a silně omezují konkurenční zdatnost většiny vegetace (MIKESKA et al. 2008). Borovice lesní jako pionýrská dřevina má relativně vysoké nároky na světlo a její přirozená obnova pod plným korunovým zápojem je minimální (POLENO et al. 2009), nelze tedy uvažovat o strukturně bohatých porostech. Z tohoto hlediska zvýšené světelné podmínky, jako jsou mezery v zápoji nebo okrajový efekt vytěženého porostu, významně ovlivňují výskyt přirozené obnovy (BURTON 2002, BÍLEK et al. 2014). Dalšími důležitými podmínkami pro úspěšnou přirozenou obnovu borovice jsou klimatické podmínky (teplota a srážky) v období klíčení semen a při počátečním růstu semenáčků, rovněž pak silná vrstva humusu může zpomalit nebo dokonce potlačit vznik semenáčků zabráněním kontaktu mezi klíčkem semínka a minerální půdou (IBÁÑEZ, SCHUPP 2002).

Management borových porostů přináší řadu změn v lesních ekosystémech, které mohou změnit celou řadu strukturálních a vývojových parametrů (BÍLEK et al. 2016, VACEK et al. 2016). V hospodářských lesích je však i ekologické obhospodařování lesních porostů obecně považováno za nástroj homogenizace porostní struktury (UOTILA et al. 2002). Pro zvýšení biodiverzity je proto nezbytné důsledně využívat přírodně blízkých pěstebních postupů podporujících přirozenou obnovu, které zajistí větší strukturální diferenciaci lesů (VACEK et al. 2016). V současnosti je stále více preferováno maloplošné jemné hospodaření v lesích s důrazem na větší heterogenitu, která zvyšuje jejich rezistenci a schopnost přizpůsobit se změnám klimatu a různým disturbancím (CHURCHILL et al. 2013). Tento moderní přístup je na řadě míst cílem současného pěstování lesů, obzvláště pak v sušších lokalitách (REYNOLDS et al. 2013), jako je naše zámjmové území.

Pro rozvoj pěstebních metod založených na podrostmém způsobu hospodaření je nezbytná znalost strukturálních parametrů jednotlivých dřevin. Pozornost se v tomto směru soustředila především na klimaxové dřeviny a borovici lesní byla věnována jen minimální pozornost. Cílem tohoto příspěvku proto bylo zhodnotit vliv okrajového efektu, resp. bočního světla na růst, početnost, strukturu a kvalitu přirozené obnovy. Výběr zájmového území byl zaměřen na možnosti využití podrostmého způsobu hospodaření, vycházející z principů přírodě blízkého pěstování lesů, které jsou v případě borovice, jakožto světlo milné dřeviny, spíše výjimečné.

2. MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika zájmového území

Zájmové území se nachází v Chráněné krajinné oblasti Kokořínsko u Máchova jezera v blízkosti Národní přírodní památky Swamp, sloužící k ochraně zbytků původního rašeliniště. Základní matečnou horninou jsou kvartérní pískovce a převládajícím půdním typem je kambizem arenická. Srážkové roční úhrny dosahují 610 mm a průměrná roční teplota je 8,1 °C. Délka vegetačního období se pohybuje okolo 162 dní, průměrná teplota ve vegetačním období kolísá okolo 14,4 °C a úhrn srážek ve vegetačním období je v průměru 375 mm. Zásoba porostu ve věku 129 let se pohybuje v rozmezí 257–277 m³.ha⁻¹ se zápojem 0,73–0,78 a zakmeněním 0,61–0,67, tudíž produkční parametry jsou porovnatelné. Porostní výška dosahuje 21 m s průměrnou výčetní tloušťkou 27 cm. Z typologického hlediska se jedná o OM3 – chudý dubový bor borůvkový na píscích. V současnosti zde probíhá strukturalizace čistých borových porostů za využití podrostmého způsobu hospodaření.

Sběr dat

Pro stanovení struktury stromového patra a přirozené obnovy byla při zakládání dvou trvalých výzkumných ploch (TVP) o velikosti 40×40 m použita technologie FieldMap (IFER-Monitoring and Mapping Solutions Ltd.). První plocha byla založena 5 m od okraje porostu rovnoběžně s porostním okrajem, kde ve vedlejším porostu východním směrem byla před 30 lety provedena holoseč s následnou umělou obnovou. Druhá kontrolní TVP byla vytyčena ve středu porostu (> 50 m od okraje). Pomocí této sestavy byla zaměřena poloha všech jedinců stromového patra s výčetní tloušťkou (dbh) > 4 cm a jejich korunové projekce, a to minimálně ve 4 směrech na sebe kolmých pro určení zápoje. U stromového patra byly též změřeny výčetní tloušťky, výšky a výšky nasazení zelené koruny. U přirozené obnovy (h > 150 cm, dbh < 4 cm) byla u všech jedinců změřena pozice, výška, výška nasazení koruny a kvalita podle 4 stupňů (K1 – nejkvalitnější až K4 – nejméně kvalitní a odumírající jedinci). Jako hodnotící kritéria kvality obnovy byla použita průběžnost (zakřivení) kmene, rozdvojení, poškození, přírůstavost a životaschopnost. U vybraných 50–150 jedinců byla změřena šířka koruny a dbh.

Analýza dat

Na TVP byly u stromového patra zhodnoceny růstové parametry, produkce a zápoj porostu, respektive plocha korunových projekcí a stupeň zápoje. U jedinců přirozené obnovy byla zhodnocena horizontální struktura na základě Clark-Evansova indexu a Ripleyovi L-funkce. Následně pomocí párové korelační funkce byl analyzován vztah stromového patra a přirozené obnovy (VACEK et al. 2016). Z hlediska vertikální diference byl vypočten Giniho index. Statistické analýzy růstových parametrů přirozené obnovy byly zpracovány v softwaru Statistica (© StatSoft). Rozdíly mezi vzdálenostmi od porostního okraje (hodnoceno podle 8 transektů po 5 m) a plochami byly testovány pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a korelačních matic. Analýza hlavních komponent (PCA) byla provedena v programu CANOCO (© Microcomputer Power) pro zhodnocení vztahu mezi parametry přirozené obnovy, vzdáleností od porostního okraje a zápojem porostu. Data byla před analýzou zlogaritmována a standardizována. Situační mapy byly vytvořeny v programu ArcGIS (© Esri).

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

Hustota a struktura obnovy

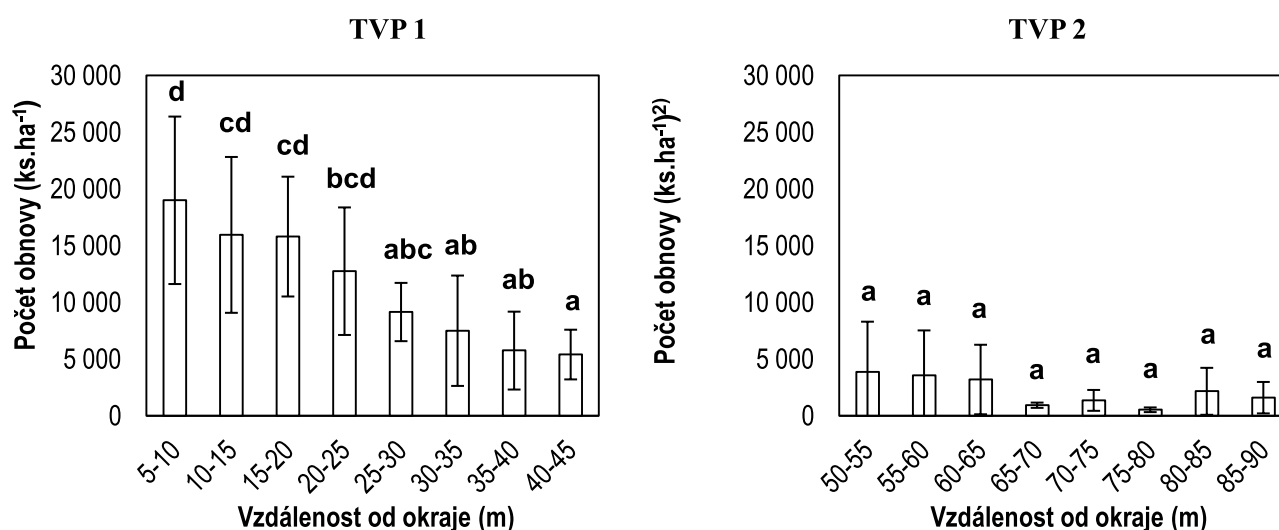
V zkoumaných čistých borových porostech počet přirozené obnovy dosahoval na TVP 1 umístěné při okraji porostu 11 413 ks.ha⁻¹ a na TVP 2, nacházející se uprostřed porostu 1 594 ks.ha⁻¹ (Tab. 1). Nižší počet přirozené obnovy než zde byl zjištěn ve východních Čechách v hospodářských borových porostech (344–4 940 ks.ha⁻¹; VACEK et al. 2016) a zejména pak v reliktních borech (244–1348 ks.ha⁻¹; VACEK et al. 2017). Hustota přirozené obnovy je základní složkou studovaných přirozených borových stanovišť, přičemž porozumění jejím klíčovým faktorům, jako jsou světelné podmínky, vede k lepšímu poznání celé prostorové struktury porostů (PARDOS et al. 2008).

V hospodářských lesích, jako je zájmové území, s vyšší intenzitou probírek nastávají příznivější podmínky pro přirozenou obnovu borovice pod mateřským porostem (BERBEITO et al., 2009), což je v souladu s principy přírodě blízkého hospodaření borových porostů dle práce BÍLEK et al. (2016). Boční světlo mělo signifikantní vliv na výskyt přirozené obnovy na TVP 1 ($p < 0,001$) a na TVP 2 nebyl zjištěn rozdíl v početnosti mezi jednotlivými transektu (p>0,05; Obr. 1). S rostoucí vzdáleností od okraje signifikantně ($r = -0,70$; $p < 0,001$) klesá počet přirozené obnovy. Ve vzdálenosti 5–10 m od okraje počet obnovy dosahoval 19 000 ks.ha⁻¹, ve vzdálenosti 20–25 m 12 750 ks.ha⁻¹ a ve 40–45 m pouze 5 400 ks.ha⁻¹, poté již nebyl zjištěn rozdíl v početnosti obnovy. Podobně klesající počet jedinců obnovy se zhoršující dostupností světla v borových porostech ve Španělsku dokumentuje MARTÍN-ALCÓN et al. (2015).

Tab. 1 Základní parametry přirozené obnovy borovice na trvalých výzkumných plochách

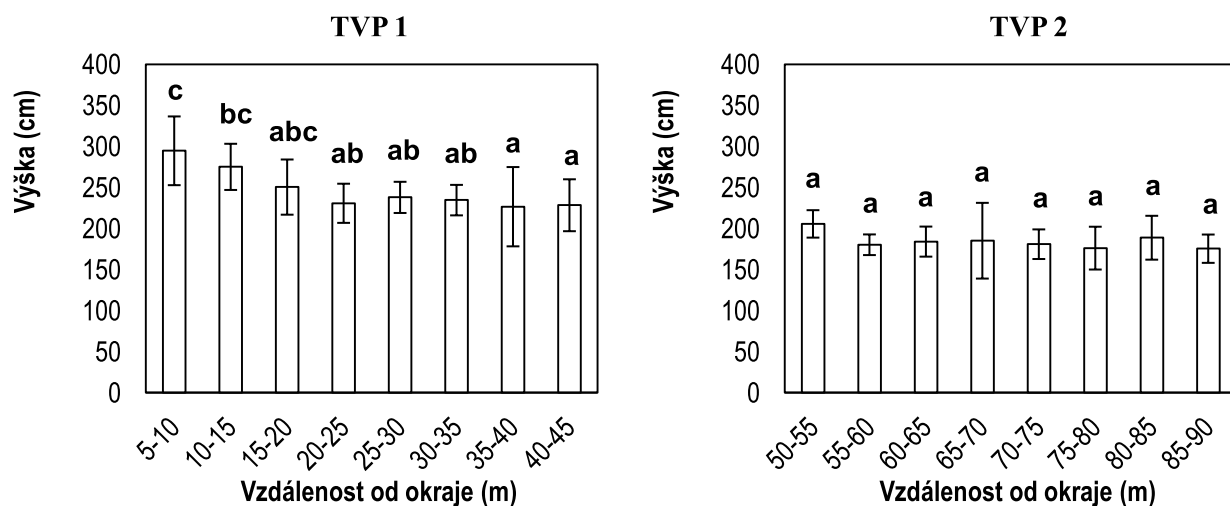
TVP	Počet (ks ha ⁻¹)	Výška (cm)	DBH (mm)	Šířka koruny (cm)	Nasazení koruny (cm)	Prům. kvalita	Kvalita				R (C&Ei)	G (Gi)
							K1 (%)	K2 (%)	K3 (%)	K4 (%)		
1	11 413	257	18,5	50,1	100	2,44	8,2	46,2	28,2	9,9	0,83*	0,64
2	1 594	194	12,9	43,1	86	2,81	2,2	28,9	54,8	14,3	0,56*	0,32

Vysvětlivky: *shlukovitost - statisticky významné hodnoty pro R index ($\alpha = 0,05$)



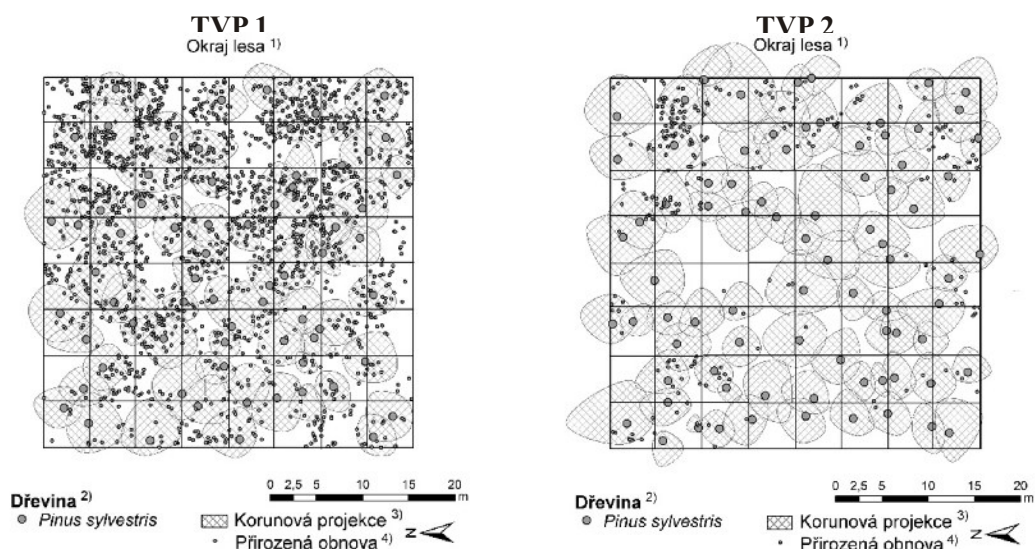
Obr. 1 Počet jedinců přirozené obnovy borovice diferencovaně dle vzdálenosti od porostního okraje na TVP; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou označeny odlišnými písmeny; chybové úsečky představují směrodatnou odchylku (SD)

Průměrná výška jedinců obnovy byla na TVP 1, která je typická vysokou intenzitou bočního světla a pokročilejší fází obnovy, signifikantně vyšší (257,9 cm ± 87,5 SD) než na TVP 2 (194,6 cm ± 46,5 SD, Tab. 1). Obdobné průměrné výšky borového zmlazení, pohybující se v rozmezí 237–326 cm, byly zjištěny v borových lesích ve věku 80–140 let (VACEK et al. 2016). Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán v průměrné výšce na TVP 1 ($p < 0,001$) ve srovnání s jednotlivými transektu na TVP 2 ($p > 0,05$; Obr. 2). S klesající vzdáleností od okraje byla zjištěna signifikantní negativní korelace s výškou ($r = -0,54$, $p < 0,001$). Pozitivní vliv bočního světla byl také zjištěn u ostatních dřevin (BURTON 2002, BÍLEK et al. 2014). Se stoupající výškou obnovy borovice klesalo zastoupení ve vyšších výškových třídách, zejména na TVP 2. Naopak relativně vyrovnaná výšková struktura byla zjištěna v práci VACEK et al. (2016), kde ještě nenastaly vhodné podmínky pro obnovu.

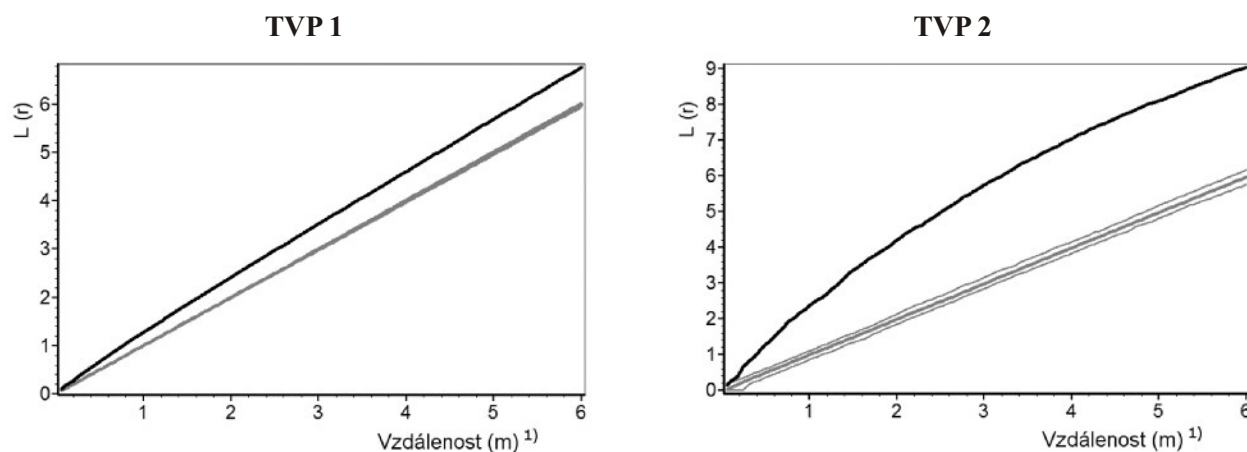


Obr. 2 Průměrná výška obnovy diferencovaně dle vzdálenosti od porostního okraje na TVP

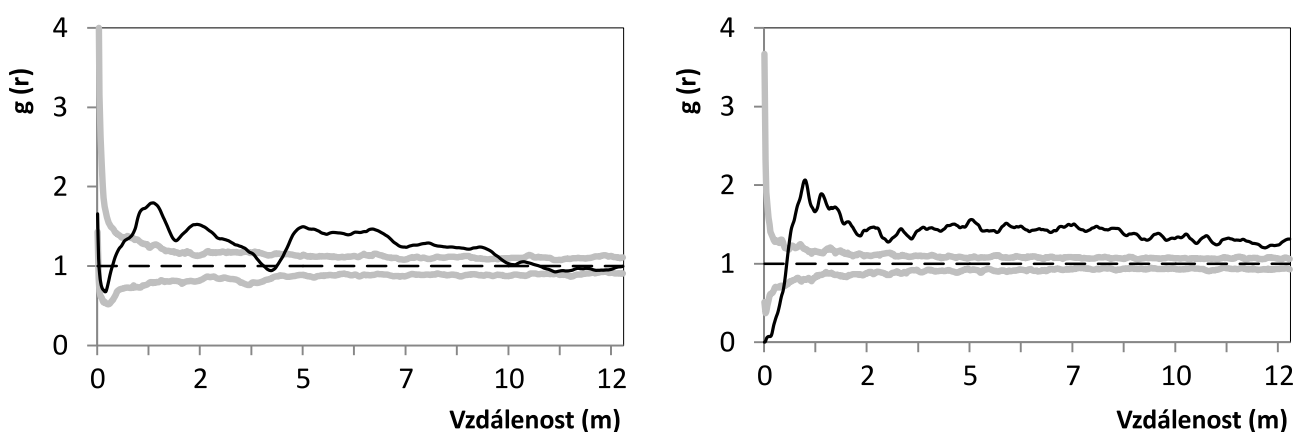
Horizontální struktura stromového patra a přirozené obnovy je znázorněna na Obr. 3. Podle zjišťovaných indexů, tak i L-funkce přirozená obnova na TVP byla výrazně agregovaná (Tab. 1, Obr. 4), stejně jako v jiných studiích borových lesů v České republice a Polsku (VACEK et al. 2016). S rostoucí vzdáleností od okraje porostu dochází k výraznější agregovanosti přirozené obnovy, resp. TVP 2 měla signifikantněji agregovanou horizontální strukturu ($R=0,562$) oproti TVP 1 ($R=0,831$), zejména pak ve vzdálenosti 5–10 m ($R=0,841$). Také VACEK et al. (2017) dokládá zvyšující agregovanost přirozené obnovy se zvyšujícím zápojem horní etáže a snižujícím počtem obnovy. Při porovnání prostorového vztahu horní etáže a přirozené obnovy, tak stromové patro má negativní vliv na zmlazení do 1 m, ve větších pak pozitivní, resp. je struktura náhodná (Obr. 5).



Obr. 3 Horizontální struktura stromového patra a přirozené obnovy na TVP 1 a 2 v roce 2015 rozčtená na 5 m transekty



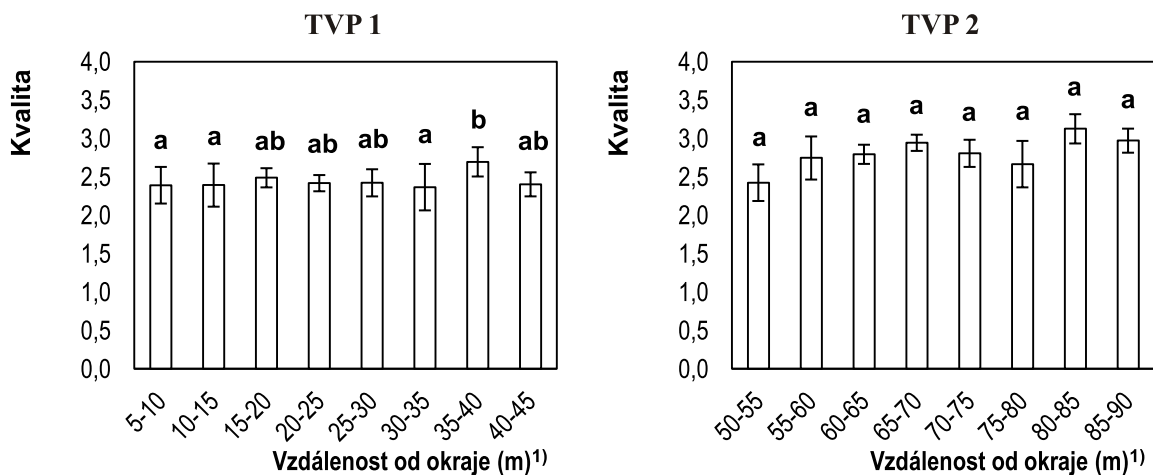
Obr. 4 Horizontální struktura přirozené obnovy na TVP vyjádřená L-funkcí



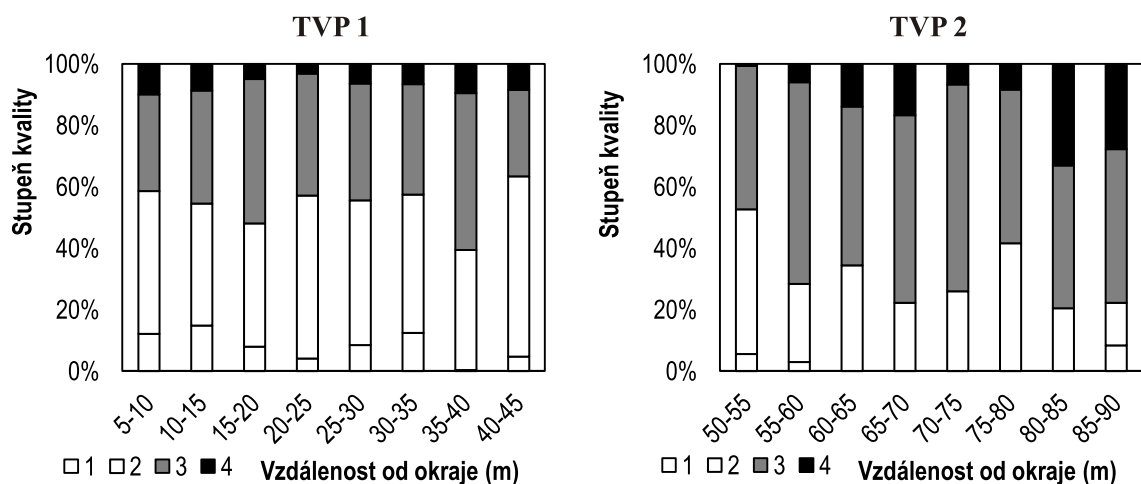
Obr. 5 Prostorové vztahy přirozené obnovy a stromového patra borovice lesní vyjádřené pomocí párové korelační funkce

Kvalita obnovy

Oproti početnosti a výšce, tak rozdíl v průměrné kvalitě nebyl celkově na TVP 1 signifikantně potvrzen ($p > 0,05$), avšak při porovnání jednotlivých transektů, zde již byly signifikantní rozdíly ve prospěch kvality obnovy při okraji porostu ($p < 0,05$; Obr. 6). Na TVP 2 opět nebyl prokázán významný rozdíl mezi jednotlivými transekty ($p > 0,05$), ale průměrně kvalitnější jedinci se vyskytovali na TVP 1 ($p < 0,01$). Vzdálenost od okraje neměla signifikantní vliv na průměrnou kvalitu porostu ($r = -0,15$, $p < 0,05$), ale signifikantní byl negativní vliv na relativní výskyt nejkvalitnějších jedinců K1 ($r = -0,40$, $p < 0,05$) s rozdílem v zastoupení mezi transekty ($p < 0,001$). Těchto nadějných jedinců, kteří tvoří základ budoucího porostu, se na TVP 1 nacházelo $1\,044 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ (8,1 %). Toto množství odpovídá hornímu rozmezí počtu stromů v hospodářských lesích v ČR ($476\text{--}1072 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$; BÍLEK et al. 2016) i ve Španělsku ($678\text{--}1092 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$; MARCOS et al. 2007). Rozdíly byly také zaznamenány u stupně kvality obnovy K2 ($p < 0,05$) a K3 ($p < 0,01$), přičemž u nejméně kvalitních jedinců K4 nebyl zjištěn žádný rozdíl v jejich výskytu ($p > 0,05$) na TVP 1. Zastoupení jednotlivých stupňů kvality je znázorněno na Obr. 7.



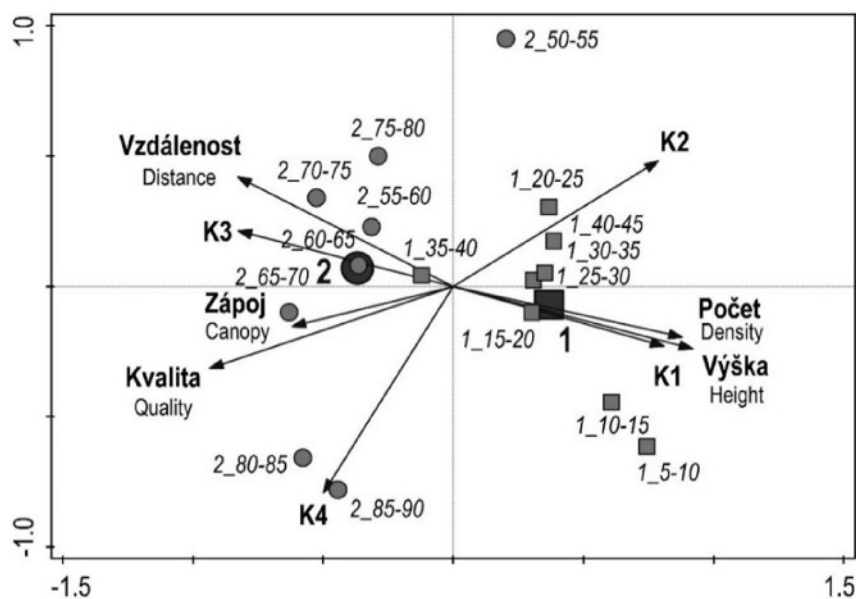
Obr. 6 Průměrná kvalita obnovy diferencovaně dle vzdálenosti od porostního okraje na TVP



Obr. 7 Procentuální zastoupení stupňů kvality obnovy na TVP diferencovaně dle vzdálenosti od porostního okraje

Vztah mezi přirozenou obnovou, horní etáží a bočním světlem

Komplexní vztah mezi přirozenou obnovou, zápojem a vzdáleností od okraje je prezentován formou PCA analýzy, resp. ordinačního diagramu na Obr. 8. První ordinační osa vysvětluje 65,6 %, druhá osa 80,3 % a všechny čtyři osy 95,5 % variability dat. Osa x představuje výšku a početnost přirozené obnovy borovice a zápoj porostu. Vzdálenost od porostního okraje byla pozitivně korelována s kvalitou jedinců – K3, zatímco tyto ukazatelé byly negativně korelovány s počty a výškou obnovy, a to i počty nejvyšších jedinců (K1). Naopak vzdálenost neměla vliv na relativní výskyt nejméně kvalitních jedinců obnovy (K4). Se zvyšujícím zápojem porostu klesala průměrná kvalita porostu, a naopak zvyšoval se podíl nadějných jedinců (K2). Z diagramu dále vyplývá, že nejmenší vysvětlující proměnou byl zápoj porostu, jenž také významně ovlivňuje hustotu přirozené obnovy (MONTES et al. 2008, VACEK et al. 2016). Pravá část diagramu, kde se nachází TVP 1 (na okraji porostu), je typická vysokou průměrnou výškou, počtem a výskytem nejvyšších jedinců obnovy, naopak obnova na TVP 2 (ve středu porostu) dosahovala horší kvality (levá část).



Obr. 8 Ordinační diagram PCA analýzy vztahů mezi parametry přirozené obnovy (počet, výška, kvalita – K1 nejkvalitnější, K4 nejhorší), zápojem porostu a vzdáleností od okraje porostu; označení charakterizují TVP (■ 1, ● 2) a transeky (5 m) od okraje

4. ZÁVĚR

Lesní hospodaření založené na využití poznatků přírodě blízkého vývoje porostů a jejich dynamiky, směřující k dosažení vytyčených hospodářských cílů, je v současnosti velmi aktuální. K přírodě blízkému šetrnému využívání lesa neodmyslitelně patří podrostní způsob hospodaření, na druhé straně tento způsob má svá omezení pro světlomilné dřeviny, jako je borovice. Naše studie prokázala statisticky významný vliv okrajového efektu na růst a kvalitu přirozené obnovy borovice lesní. S rostoucí vzdáleností od porostního okraje, resp. s klesající intenzitou bočního světla, dochází k výraznému poklesu počtu přirozené obnovy. Stejně tak byl zjištěn signifikantní pokles průměrné výšky obnovy. Vzhledem k vysoké náročnosti borovice na světlo, tak s rostoucí vzdáleností od okraje porostu klesá zastoupení nejkvalitnějších perspektivních či nadějných jedinců obnovy, avšak celková průměrná kvalita obnovy se signifikantně neliší. Zvyšující vzdálenost od okraje měla také negativní vliv na pravidelnost obnovy borovice, přičemž prostorové rozmístění zmlazení bylo silně agregované. Z hlediska přírodě blízkého hospodaření spojeného s podrostním způsobem hospodaření lze účelně a cílevědomě využít přirozené obnovy borovice v okrajových částech porostu do vzdálenosti jedné porostní výšky a následně doporučit následný postup okrajové seče směrem na sever a západ.

5. PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl díky podpoře Fakulty lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze (IGA č. B03/17) a Ministerstva zemědělství (NAZV č. QJ1520037).

6. LITERATURA

- BERBEITO, I., FORTIN, M.J., MONTES, F., CAÑELLAS, I. 2009. Response of pine natural regeneration to small-scale spatial variation in a managed Mediterranean mountain forest. *Applied Vegetation Science*, 12: s. 488–503
- BÍLEK, L., REMEŠ, J., PODRÁZSKÝ, V., ROZENBERGAR, D., DIACI, J., ZAHRADNÍK, D. 2014. Gap regeneration in near-natural European beech forest stands in Central Bohemia—the role of heterogeneity and micro-habitat factors. *Dendrobiology*, 71: s. 59-71
- BÍLEK, L., VACEK, S., VACEK, Z., REMEŠ, J., KRÁL, J., BULUŠEK, D., GALLO, J. 2016. How close to nature is close-to-nature pine silviculture?. *Journal of Forest Science*, 62 (1): s. 24-34
- BURTON, P. J. 2002. Effects of clearcut edges on trees in the sub-boreal spruce zone of Northwest-Central British Columbia. *Silva Fennica*, 36 (1): s. 329-352
- GRIGORIADIS N., SPYROGLOU G., GRIGORIADIS S., KLAPANIS P. 2014. Effect of soil scarification on natural regeneration of mature scots pine (*Pinus sylvestris*) stand in Greece. *Global NEST Journal* 16(4): 732-742.

- CHURCHILL, D.J., LARSON, A.J., DAHLGREEN, M.C., FRANKLIN, J.F., HESSBURG, P.F., LUTZ, J.A. 2013. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 291: s. 442–457
- CHYTRÝ, M., DANIHELKA, J., HORSÁK, M., KOČÍ, M., KUBEŠOVÁ, S., LOSOSOVÁ, Z., OTÝPKOVÁ, Z., TICHÝ, L., MARTYNENKO, V.B., BAISHEVA, E.Z. 2010. Modern analogues from the Southern Urals provide insights into biodiversity change in the early Holocene forests of Central Europe. *Journal of Biogeography*, 37: s. 767–780
- IBÁÑEZ I, SCHUPPEW, 2002. Effects of litter, soil surface conditions, and microhabitat on *Cerocarpus ledifolius* Nutt. Seedling emergence and establishment. *J Arid Environ* 52(2): 209-221
- LOARIE RS, DUFFY PHB, HAMILTON H, ASNER GP, FIELD CHB, ACKERLY DD, 2009. The velocity of climate chase. *Nature* 462: 1052-1055.
- MARCOS, J.A., MARCOS, E., TABOADA, A., TÁRREGA, R. 2007. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and a natural pine forest. *Forest Ecology and Management*, 247: s. 35–42
- MARTÍN-ALCÓN, S., COLL, L., SALEKIN, S. 2015. Stand-level drivers of tree-species diversification in Mediterranean pine forests after abandonment of traditional practices. *Forest Ecology and Management*, 353: s. 107–117
- MIKESKA, M., VACEK, S., PRAUSOVÁ, R., SIMON, J., MINX, T., PODRÁZSKÝ, V., MALÍK, V., KOBLIHA, J., ANĎEL, P., MATĚJKA, K. 2008. Typologické vymezení, struktura a management přirozených borů a borových doubrav v ČR. *Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy*, 450 s.
- MONTES, F., RUBIO, A., BARBEITO, I., CAÑELLAS, I. 2008. Characterization of the spatial structure of the canopy in *Pinus sylvestris* L. stands in Central Spain from hemispherical photographs. *Forest Ecology and Management*, 255: s. 580–590
- PARDOS, M., MONTES, F., CAÑELLAS, I. 2008. Spatial Dynamics of Natural Regeneration in Two Differently Managed *Pinus sylvestris* Stands before and after Silvicultural Intervention Using Replicated Spatial Point Patterns. *Forest Science*, 54: s. 260–272
- POLENO, Z., VACEK, S. et al. 2009. Pěstování lesů III. Praktické postupy pěstování lesů. *Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy*, 952 s.
- REYNOLDS, R.T., SÁNCHEZ MEADOR, A.J., YOUTZ, J.A., NICOLET, T., MATONIS, M.S., JACKSON, P.L., DE LORENZO, D.G., GRAVES, A.D. 2013. Restoring composition and structure in southwestern frequent-fire forests: a science-based framework for improving ecosystem resiliency. United States Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, United States. 76 s.
- RYPPÖ A, IIVONEN S, RIKALA R, SUTINEN ML, VAPAAVUORI E, 1998. Responses of Scots pine seedlings to low root zone temperature in spring. *Physiologia Plantarum* 102(4): 503-512.
- UOTILA, A., KOUKI, J., KONTKANEN, H., PULKKINEN, P. 2002. Assessing the naturalness of boreal forests in eastern Fennoscandia. *Forest Ecology and Management*, 161: s. 257–277
- VACEK, S., VACEK, Z., BÍLEK, L., SIMON, J., REMEŠ, J., HŮNOVÁ, I., KRÁL, J., PUTALOVÁ, T., MIKESKA, M. 2016. Structure, regeneration and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with respect to changing climate and environmental pollution. *Silva Fennica*, 50 (4): id 1564
- VACEK, S., VACEK Z., REMEŠ, J., BÍLEK, L., HŮNOVÁ, I., BULUŠEK, D., PUTALOVÁ, T., KRÁL, J., SIMON, J. 2017. Sensitivity of unmanaged relict pine forest in the Czech Republic to climate change and air pollution. *Trees - Structure and Function*, s. 1-19

Kontakt

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesa

Kamýcká 129, 165 21 Praha

tel.: +420 724 273 683

e-mail: tajemnik@cesles.cz

SVĚTELNÉ PODMÍNKY A ODRŮSTÁNÍ PŘIROZENÉ OBNOVY BOROVICE POD MATEŘSKÝM POROSTEM

Ing. Iva Ulbrichová, Ph.D., Ing. Lukáš Bílek, Ph.D., Ing. Jan Vítámvás, Ph.D.,
Ing. Vladimír Janeček, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta Lesnická a dřevařská

Abstrakt

Borovice lesní je naší významnou hospodářsky využívanou jehličnatou dřevinou s plošným zastoupením 16,5%. Tradičně se s ní hospodaří holosečně, ale v určitých podmínkách je možné použít i podrostní způsob hospodaření. Borovice jako světломilná dřevina má však poměrně vysoké nároky na světlo. Naším cílem bylo tyto nároky konkretizovat a pomocí hemisférické fotografie vyhodnotit, jaké typy záření ovlivňují charakteristiky přirozené obnovy pod porostem. Výsledky ukazují, že významnější pro ovlivnění výškového přírůstu je rozptýlené záření pod porostem a i kvalita obnovy je tímto zářením ovlivněna.

Klíčová slova

Přirozená obnova pod porostem; borovice lesní; přízemní vegetace; světelné podmínky, PPFD (photosynthetic photon flux density)

1. ÚVOD

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je jednou z nejvýznamnějších jehličnatých hospodářských dřevin v severských zemích, ale také ve střední Evropě – např. Německu a Polsku a v ČR. Historicky běžné je použití metod holosečného hospodaření, které vychází z charakteristiky borovice jako světломilné pionýrské dřeviny a z jejích vyšších ekologických nároků na světelné záření. Výhody tohoto obnovního způsobu spočívají především ve vysoké dostupnosti slunečního záření a snížení konkurence bylinného patra (zejména drobných keříků jako je borůvka) a současně v usnadnění přípravy půdy, která je zásadní pro přirozenou obnovu, ale usnadňuje i obnovu umělou.

V současnosti však začíná být (zejména v severských zemích a Německu) výraznější zájem i o alternativní metody hospodaření především v souvislosti s mimoprodukčními funkcemi lesa, maloplošným hospodařením a certifikací lesních porostů (Mirschel et al. 2011), ale i v souvislosti se snahou o zvyšování stability porostů v měnícím se klimatu. Začíná se objevovat celá řada publikací, zejména ze Severovýchodních zemí, soustředících se na obnovu borovice pod porostem (Karlsson, Nilsson 2005).

Mezi ekologické výhody obnovy pod porostem patří udržení zástínu, který omezuje přízemní vegetaci a daleko menší narušení charakteru lesní půdy. Další výhodou je i snížení extrémních podmínek oproti volné ploše (např. poškození obnovy pozdním jarním mrazem, ale i vysycháním a teplotními extrémy v letních měsících /Slodičák, Novák 1999/). Pod porostem je také stabilnější vodní režim v povrchových vrstvách půdy (Nilsson et al. 2002).

S obnovou borovice pod porostem je ale spojena řada problémů, protože se jedná o světломilnou dřevinu. Nedostatek světla může výrazněji omezovat růst obnovy a její kvalitu. V přírodních lesích umožňuje obnovu borovice pod porostem přítomnost porostních světlin (Scott et al. 2000; Marcos et al. 2007). V hospodářských lesích je pak potřeba optimalizovat zápoj mateřského porostu tak, aby umožnil počáteční fázi obnovy a po odtěžení porostu bylo možno výchovou podpořit dostatečně kvalitní jedince jako základ porostu nového (Šindelář et al. 2007; Sloup, Lehnerová 2016).

Cílem tohoto příspěvku je přiblížit, jak na přirozenou obnovu borovice působí zejména světelné podmínky, jejichž regulace je obvykle nutnou podmínkou pro iniciaci přirozené obnovy. Zhodnocení světelného režimu a jeho možných úprav je pak předpokladem pro možnost definovat vhodné (optimální) porostní podmínky pro nástup a zdárné odrůstání přirozené obnovy borovice.

2. METODIKA

Výběr lokalit

Pro hodnocení kvantitativních a kvalitativních znaků obnovy borovice pod porostem byly vybrány lokality, na kterých již tato obnova byla přítomna. Kritérium výběru lokalit byl mateřský porost v mýtním věku, zápoj mateřského porostu nad 50% a přirozená obnova pod porostem s průměrnou výškou 1-3m. Experimentální kruhové plošky (o poloměru 1,5m) byly pak v porostu umístěny v pravidelném uspořádání (5 plošek na plochu 50x50m²).

Jednalo se o lokality: Městské lesy Doksy (270-280 m.n.m.; CHS 13), LS Třeboň, LČR (440-480 m.n.m.; CHS 13), LS Choceň, LČR (290-300 m.n.m.; CHS 23) a LS Plasy, LČR (510-580 m.n.m.; CHS 13). Na všech lokalitách se jednalo o dospělé porosty v mýtním věku, se zápojem 50-80%, střední výška porostu se pohybovala mezi 19-24 m a střední tloušťka mezi 21-34 cm, výčetní kruhová základna se pak pohybovala mezi 13-33 m²ha⁻¹.



Obr. 1 a 2 Příklad borové obnovy pod porostem na CHS 13. Foto: Iva Ulbrichová

Sběr dat

Na zkušných plochách byly sledovány následující dendrometrické charakteristiky: výška (H, přesnost na cm), tloušťka kořenového krčku (D, mm), průměrná šířka korunky (Q, přesnost 5 cm), jednotlivé přírůsty v posledních 5 letech (P, P_{rel} , přesnost 0,5 cm).

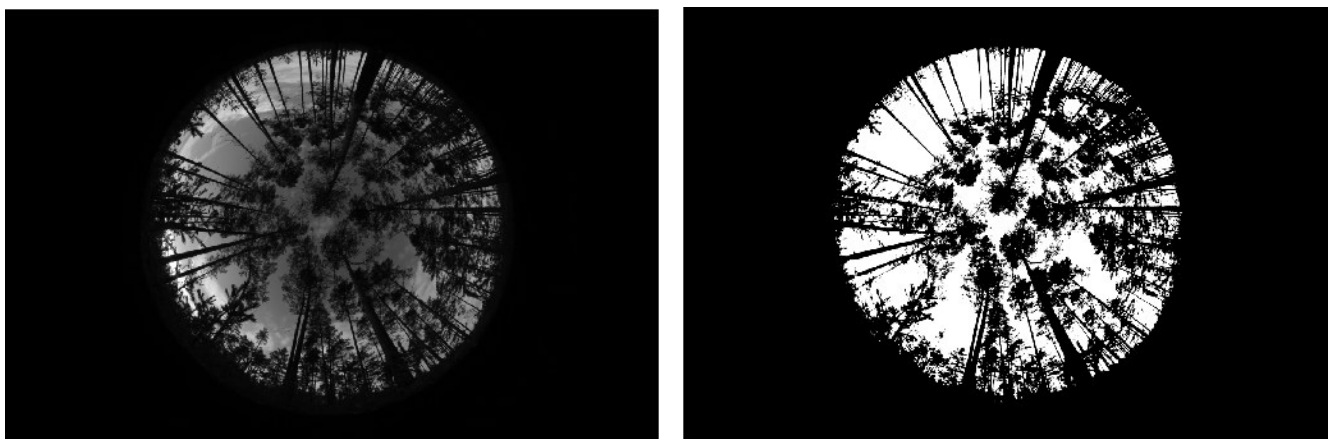
Dále byly hodnoceny následující kvalitativní parametry: třída pěstební kvality (S): 1 - bezvadný jedinec s průběžným kmenem a bez známek poškození, Třída 2 - Jedinec s mírnou vadou kmene, jako je zejména mírná jednoduchá křivost, či poškození oděrem či vytloukáním do 1/3 obvodu kmene, Třída 3 - Jedinec s výraznou jednoduchou či složitou křivostí kmene, se závažným poškozením vytloukáním či oděrem převyšující 1/3 obvodu kmene, či jedinec s poškozeným terminálem avšak s náhradním výhonem svírající ostrý úhel k ose kmene, či jedinec nahnutý, Třída 4 - Výrazně deformovaný jedinec bez pěstební hodnoty (Obr. 3).

U každého jedince byl stanoven úhel nasazení větví 2. přeslenu od vodorovné roviny (α_{br}), přesnost 5°.



Obr. 3 Třídy pěstební kvality jedinců obnovy borovice lesní. 1 – 4; Třída 1: bezvadný jedinec s průběžným kmenem a bez známek poškození, Třída 2: Jedinec s mírnou vadou kmene, jako je zejména mírná jednoduchá křivost, či poškození oděrem či vytloukáním do 1/3 obvodu kmene, Třída 3: Jedinec s výraznou jednoduchou či složitou křivostí kmene, se závažným poškozením vytloukáním či oděrem převyšující 1/3 obvodu kmene, či jedinec s poškozeným terminálem avšak s náhradním výhonem svírající ostrý úhel k ose kmene, či jedinec nahnutý, Třída 4: Výrazně deformovaný jedinec bez pěstební hodnoty (Foto: Lukáš Bílek)

Světelné poměry byly hodnoceny pomocí hemisférické fotografie snímané v centru kruhové plošky, vyhodnocení probíhalo v programu WinSCANOPY 2012 software. K dalšímu hodnocení výsledků byla použita převrácená hodnota zápoje (Openness - procento světlých pixelů v rámci záběru) a přímé, rozptýlené a celkové fotosynteticky aktivní sluneční záření ($PPDF_{dir}, PPDF_{dif}, PPDF_{tot}$) ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) pod korunami.



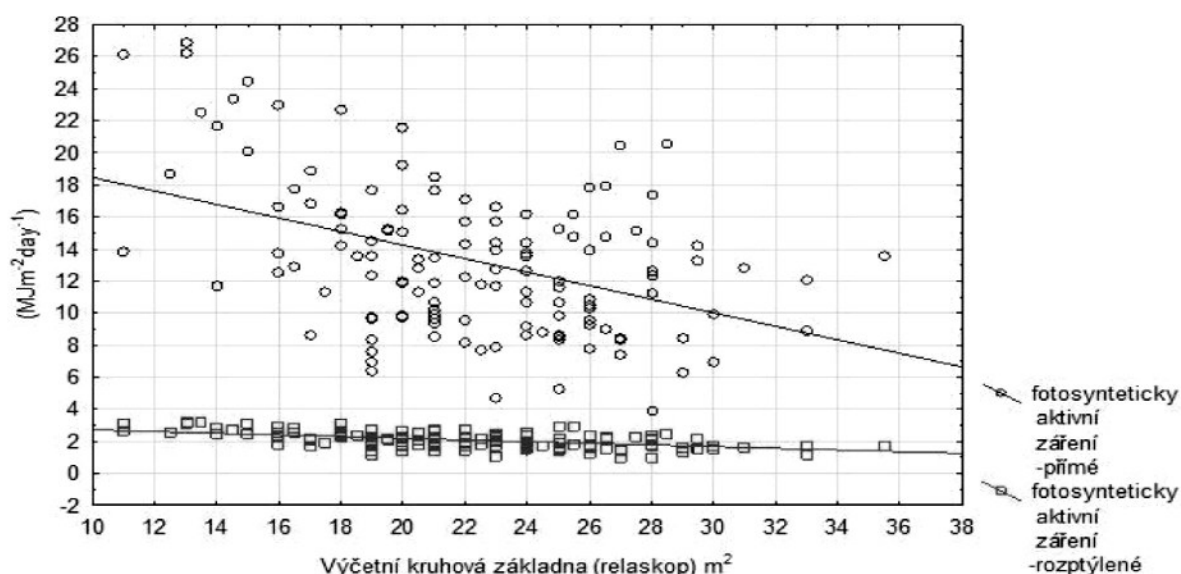
Obr. 4 Úprava hemisférických fotografií před zpracováním. Foto: Iva Ulbrichová

3. ÝSLEDKY A DISKUZE

Parametry prostředí zásadně ovlivňují sledované proměnné přirozené obnovy. Jedná se především o podmínky prostředí, které závisí na hustotě porostu (zápoji a výčetní kruhové základně). Ty však ovlivňujícího mikrostanovištní podmínky nejen pro obnovu borovice, ale i pro bylinné patro vytvářející pro obnovu borovice konkurenční prostředí.

Zapojený porost borovice v mytném věku výrazně snižuje množství světla dopadajícího na povrch půdy (v průměru na 20%) (Erefur et al. 2006). Výraznější zástin přirozenou obnovu zpravidla omezuje (Scott et al. 2000; Niinemets et al. 2002; Sloup, Lehnerová 2016), v některých případech však může snižovat konkurenci přízemní vegetace a obnovu naopak podpořit (Erefur et al. 2006). Ve většina porostů, ve kterých se vyskytuje přirozená obnova borovice, se však zápoj pohybuje mezi 40-70% (Mirschel et al. 2011). Na našich plochách toto rozmezí činilo 50-80%, s dolním limitem (pro výskyt přirozené obnovy) celkového světelného záření v intenzitě kolem $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ a horním limitem mezi 10-22 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (předpokládaná prům. hodnota na volné ploše $34,5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$). Fotosynteticky aktivní rozptýlené záření se v průměru pohybovalo okolo $2,3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ (Obr. 5).

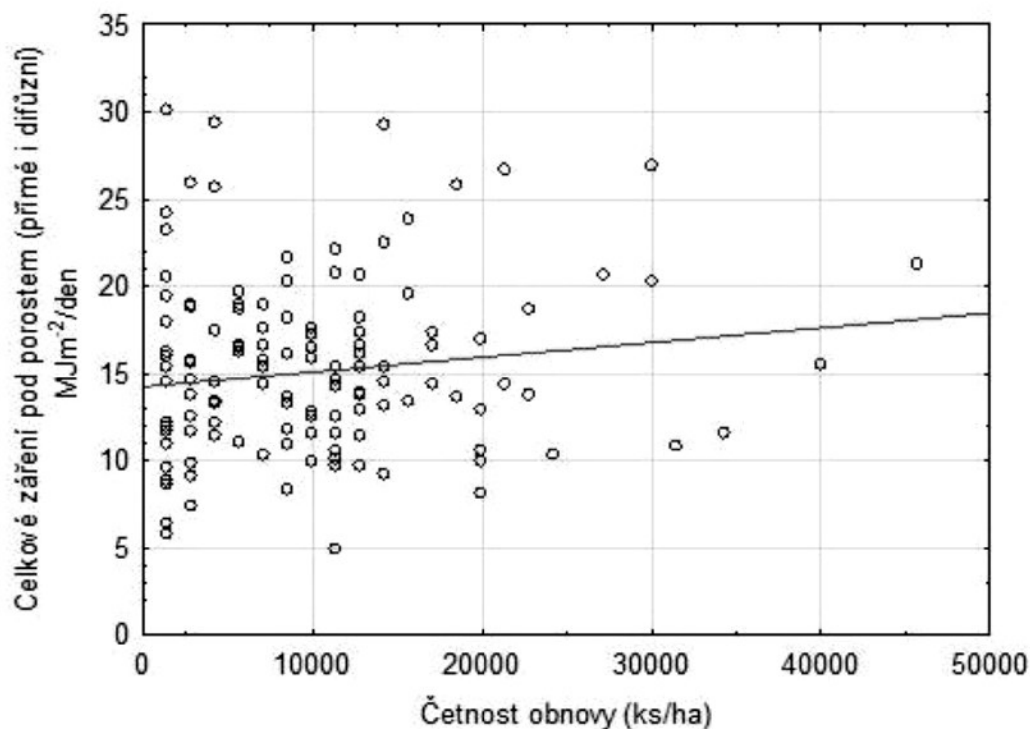
Hustota mateřského porostu má pak významný vliv na světelné podmínky pod porostem ($r = -0,44$ až $-0,57$) i na počty jedinců přirozené obnovy ($r = -0,34$), které mohou současně být ovlivněny nepřímo, pokryvností bylinného patra rovněž závislého na dostupném světle.



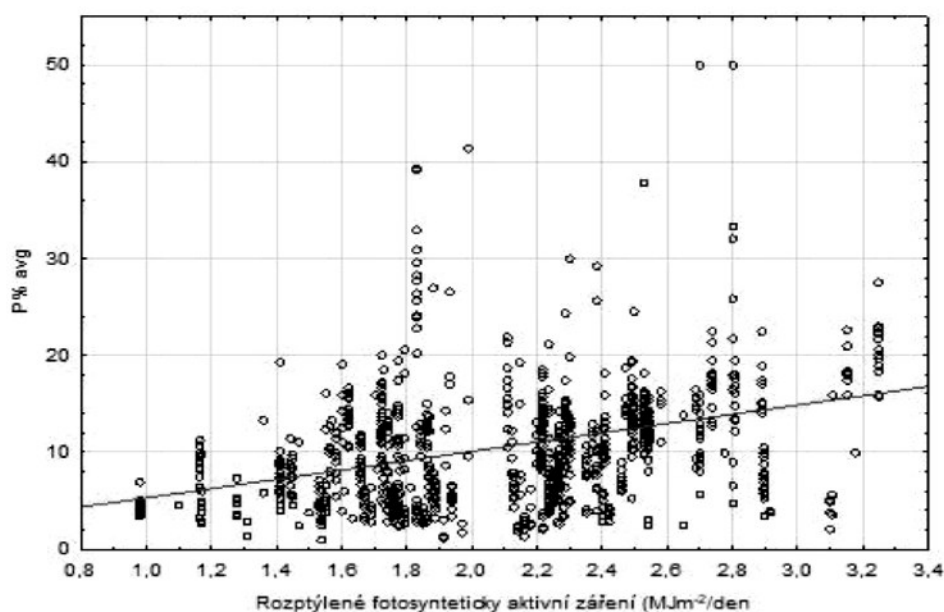
Obr. 5 *Vzájemný vztah mezi výčetní kruhovou základnou porostu, a přímým a difúzním fotosynteticky aktivním zářením pod porostem.*

Počty přirozené obnovy se na lokalitách statisticky významně lišily a jejich střední hodnoty se pohybovaly mezi 5 000-20 000 ks/ha, přičemž současně tyto počty měly velkou variabilitu jak v rámci lokalit, tak v rámci jednotlivých ploch. Střední hodnoty se pohybovaly mezi 1-2 $\text{ks} \cdot \text{m}^{-2}$, ale maxima dosahovala až 4 $\text{ks} \cdot \text{m}^{-2}$. Odpovídá to počtům z jiných studií, které jsou v borových porostech obvykle uváděny v rozmezí 0,5-2,3 $\text{ks} \cdot \text{m}^{-2}$ (Scott et al. 2000; Karlsson, Nilsson 2002; Mirschel et al. 2011; Sloup, Lehnerová 2016) s tím, že maximum se pohybuje okolo 10 $\text{ks} \cdot \text{m}^{-2}$ (Mirschel et al. 2011). Hustota jedinců obnovy, která je určující pro hodnocení úspěšnosti obnovy porostu, byla významně ovlivněna světelnými podmínkami v porostu (Obr. 6).

Z hlediska vlivu kvality slunečního záření počty přirozené obnovy byly statisticky významně ovlivněny zápojem a zejména dostupným difúzním zářením. Tento typ záření ovlivnil i relativní přírůst přirozené obnovy a relativní šířku korunky (Obr. 7). Podobné ovlivnění morfologie korunky a asimilačního aparátu difúzním zářením uvádí např. (Niinemets et al. 2002; Gort et al. 2010).



Obr. 6 Závislost počtů přirozené obnovy na celkovém fotosynteticky aktivním záření pod porostem.



Obr. 7 Závislost relativního přírůstu přirozené obnovy na difúzním fotosynteticky aktivním záření pod porostem.

Absolutní hodnoty průměrného ročního přírůstu obnovy pod porostem byly samozřejmě nižší (5-12 % z celkové výšky obnovy) než jsou uváděny pro podobně staré výsadby na volné ploše (např. Oleksyn et al. 2001). Tento autor uvádí roční přírůst desetiletých výsadeb 40-80 cm (14-19% z celkové výšky obnovy). V německé literatuře se naopak objevuje doporučení dále snížit zápoj mateřského prostu, pokud hodnota ročního výškového přírůstu obnovy klesne pod 20 cm.

Základní růstové charakteristiky (H, D, P a Q) jsou nejvíce ovlivněny kompetičním tlakem. Relativní růstové parametry, jako je přírůst v % a šířka korony vztahená k velikosti jedince pak závisí na konkurenci o něco méně, zásadní jsou světelné poměry na stanovišti a to především rozptýlené světlo. Úhel větvení pak záleží především na přímém slunečním záření, ale i na konkurenci okolních jedinců, kteří mohou světlo procházející korunami mateřského porostu dále ovlivnit (Tab. 1).

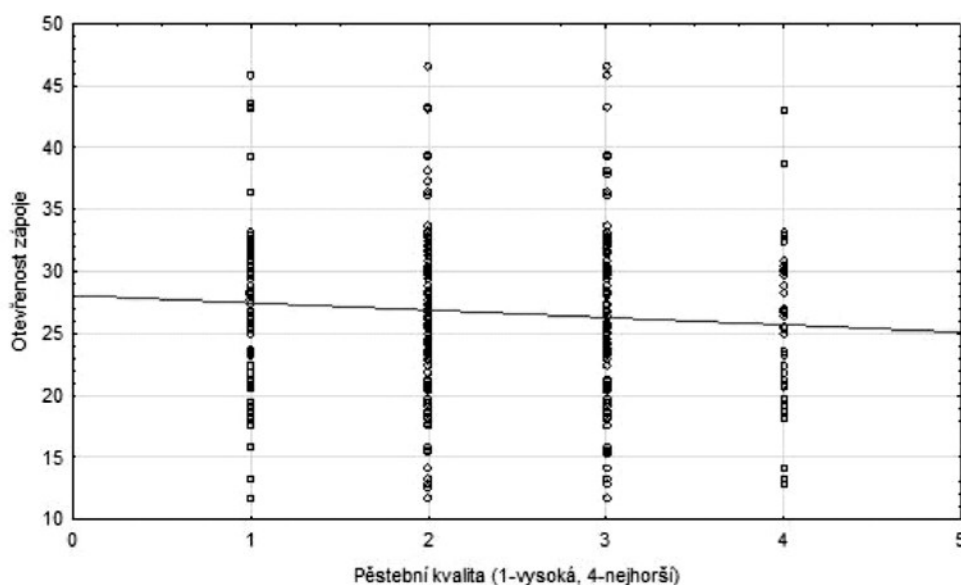
Tab. 1 Vliv fotosynteticky aktivního záření na různé parametry obnovy.

charakteristika	Opennes s	PPFD přímé	PPFD difúzní
Četnost obnovy	$F=14.63^{***}$		$F=14.60^{***}$
Relativní výškový přírůst (%)	$F=8.42^{**}$		$F=5.27^*$
Relativní šířka koruny (%)			$F=4.51^*$
α - úhel větvi druhého přeslenu s horizontálou		$F=10.95^{**}$	

 Pozn: *- $p=0.05$; **- $p=0.001$; ***- $p<0.0001$

Ve výše uvedené tabulce nejsou zmíněny aktuální hodnoty výšky, tloušťky a přírůstu obnovy, což je dáno společným vyhodnocením nestejnověké obnovy v rámci celé skupinky a výraznějším ovlivněním těchto charakteristik věkem než měřeným zářením.

Vliv přímého slunečního záření pod porostem je podle očekávání menší. Patrně díky své větší variabilitě a kolísání byl prokázán jeho vliv pouze na úhel větvení u druhého přeslenu s tím, že při nižší intenzitě záření byly větve postaveny vodorovně, při vyšší intenzitě a zejména u nejvyšších jedinců obnovy ve skupině se úhel pohyboval kolem 30-35°. Tento efekt je průkazný, přestože výsledky jsou mírně zkreslené tím, že pro celou skupinu obnovy na ploše byla intenzita světla hodnocena 1,3 m nad terénem, a nižší jedinci tedy byli zastíněni více. Na druhou stranu, význam světla stoupá pro jedince nad 50 cm (Mirschel et al. 2011), přičemž nižší jedinci jsou na světlo méně nároční. Vliv světla na morfologii asimilačního aparátu může být ovlivněn i rychlostí růstu obnovy a živinovou bohatostí stanoviště (Niinemets et al. 2002), avšak v našem rozsahu podmínek spíše chudých stanovišť se tento efekt neprojevil a efekt lokality byl minimální.


Obr. 8 Vztah mezi zápojem porostu (respektive jeho převrácenou hodnotou) a pěstební kvalitou jedinců obnovy.

Kvalita jedince obnovy je závislá především na přímosti kmínku a charakteru utváření korunky. Charakteristiky větví v korunce, zejména jejich síla a úhel, jsou pak ovlivněny nejen geneticky, ale i mírou zástínu resp. zápojem (Obr. 8) a konkurencí ostatních jedinců (Gort et al. 2010). V případě příliš malého zástínu (jak okolními jedinci, tak mateřským porostem) dochází k zesílení větví v korunce a snížení kvality (vyšší sukatosti) kmene (Sloup, Leherová 2016). Na druhou stranu příliš nízká intenzita záření může vést k omezení růstu terminálu a deformacím kmínku.

4. ZÁVĚR

Počty přirozené obnovy byly statisticky významně ovlivněny zápojem a prokazatelně zejména dostupným difúzním zářením. Toto rozptýlené záření pod porostem ovlivnilo i relativní přírůst přirozené obnovy a relativní šířku korunky. Současně byla dostupným zářením ovlivněna i pěstební kvalita jedinců.

Poděkování

Tato studie byla realizována a prezentována díky finanční podpoře MZe v rámci projektu QJ1520037 Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky. Dík také patří studentkám Ivě Kratochvílové a Hance Zázvorkové za spolupráci při terénním měření.

5. LITERATURA

- EREFUR CH., BERGSTEN U., CHANTAL M. DE (2008): Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation. *Forest Ecology and Management* 255: 1186-1195.
- GORT J., ZUBIZARRETA-GERENDIAIN A., PELTOLA H., KILPELAINEN A., PULKKINEN P., JAATINEN R., KELLOMAKI S. (2010): Differences in branch characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing. *Annals of Forest Science*, 67: 701–708.
- KARLSSON M., NILSSON U. (2005): The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183-197.
- MARCOS J.A., MARCOS E., TABOADA A., TÁRREGA R. (2007): Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and a natural pine forest. *Forest ecology and management* 247 (1-3): 35-42.
- MIRSCHER F., ZERBE S., JANSEN F. (2011): Driving factors for natural tree rejuvenation in anthropogenic pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of NE Germany. *Forest Ecology and Management* 261: 683-694.
- NIINEMETS U., CESCATTI A., LUKJANOVA A., TOBIAS M., TRUUS L. (2002): Modification of light-acclimation of *Pinus sylvestris* shoot architecture by site fertility. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 121-140.
- ROUVINEN S., KOUKI J. (2011): Tree regeneration in artificial canopy gaps established for restoring natural structural variability in a scots pine stand. *Silva Fennica*, 45(5): 1079-1091.
- SLODIČÁK M., NOVÁK, J. (1999): Vlhkost půdy v borových porostech s různým režimem výchovy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 44(1): 1 - 5.
- SLOUP M., LEHNEROVÁ L. (2016): Vliv prvních výchovných zásahů na růst a vývoj borové mlaziny z přirozené obnovy. *Zprávy lesnického výzkumu* 61 (3): 213-222.
- OLEKSYN J., REICH P.B., TJOELKER M.G., CHALUPKA W. (2001): Biogeographic differences in shoot elongation pattern among European Scots pine populations. *Forest Ecology and Management* 148: 207-220.
- SCOTT D., WELCH D., THURLOW M., ELSTON D.A. (2000): Regeneration of *Pinus sylvestris* in a natural pinewood in NE Scotland following reduction in grazing by *Cervus elaphus*. *Forest Ecology and Management* 130: 199-211.
- ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J., NOVOTNÝ P. (2007): Příspěvek k charakteristikám regionálních populací - ekotypů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v České republice. *Zprávy lesnického výzkumu* 52 (2): 148-159.

Kontakt

Ing. Iva Ulbrichová PhD.

Katedra Ekologie lesa

Fakulta lesnická a dřevařská

Česká Zemědělská Univerzita v Praze

Kamýcká 129, Praha 6, 165 21

tel.: +420 224 383 790

e-mail: ulbrichova@fld.czu.cz

ÚČINEK ALGINITU NA RŮST A MORTALITU BOROVICE LESNÍ NA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ

Ing. Jan Cukor, prof. Vilém Podrázský, CSc., Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.,
 Ing. Rostislav Linda

Fakulta lesnická a dřevařská ČZU v Praze, Katedra pěstování lesa
 Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Abstrakt

Borovice lesní patří mezi pionýrské dřeviny, a proto je stále častěji využívána při zalesňování zemědělské půdy. Specifickým aspektem zalesňování zemědělských půd bývají půdní podmínky, které jsou odlišné v porovnání s lesními půdami, a proto nemusí být zalesnění nelesních půd vždy úspěšné. Ujímavost sazenic a jejich následný růst je možné podpořit hnojením. Předkládaný příspěvek popisuje využití fosilního materiálu alginitu na mortalitu a růst borovice lesní v porovnání s vybranými druhy listnatých dřevin v letech 2013 až 2015 v přírodní lesní oblasti č. 17 (Polabí). Aplikovány byly dvě varianty množství alginitu, a to varianta B (0,5 kg na sazenici) a varianta C (1,5 kg na sazenici), tyto varianty byly následně srovnávány s kontrolní výsadbou bez přidané meliorační látky (A). Výsledky ukázaly snížení mortality sazenic v prvním roce po výsadbě, v roce 2014 byl účinek alginitu spíše negativní. Trend přírůstu sazenic byl v hodnocených letech nejednoznačný, borovice lesní reagovala pozitivně pouze na vyšší dávku alginitu a to v prvních dvou letech po výsadbě.

Klíčová slova

borovice lesní, alginit, zalesňování zemědělské půdy, mortalita, přírůst

1. ÚVOD

Z historického hlediska se obyvatelstvo střední Evropy zabývá zalesňováním zemědělských půd již nejméně dvě staletí. V dřívějších dobách se však projevoval naprosto opačný trend, tedy odlesňování, a to za účelem získávání paliva, stavební suroviny, ale také půdy vhodné k zemědělskému využití (Kaplan et al. 2009). První písemné zmínky o zalesňování zemědělské půdy v České Republice pocházejí z konce 16. století poblíž pražské obory a z okolí Karlových Varů. K největšímu rozmachu zalesňování zemědělských půd došlo však až po 2. světové válce (Kacálek & Bartoš 2002), a to především v pohraničních regionech po záboru pozemků německého obyvatelstva (Špulák & Kacálek 2011). V šedesátých letech 20. století dosahovalo zalesnění nelesních půd až 6 000 hektarů ročně, později se každoročně zalesňovalo zhruba 1000 hektarů (Černý et al. 1995). V nově zakládaných porostech byl nejvíce uplatňován smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) (Šindelář & Frýdl 2006). Stále více je na bývalé zemědělské půdě pěstována borovice lesní (*Pinus sylvestris* (L.)), úspěšné pěstování borovice na zemědělské půdě bylo doposud dokumentováno v Polsku a v dalších zemích zejména severní Evropy (Armolaitis et al. 2007; Hytönen et al. 2017).

Nejproblematictější fází při zakládání a vývoji lesních porostů je bezpochyby fáze samotné výsadby. Neúspěchy v zalesňování bývají často ovlivněny nepříznivými půdními podmínkami. Lesní dřeviny proto vyvinuly spoustu mechanismů umožňujících obnovu lesa v nepříznivých podmínkách (Vacek et al. 2012). V lesnické praxi je využíváno množství opatření sloužících k usnadnění obnovy porostů, řazených do skupiny chemické nebo biologické meliorace. Meliorační zásahy mohou spočívat v aplikaci vápnění nebo mouček bazických hornin (Kuneš et al. 2009), případně speciálních pomalu rozpustných hnojiv (Kuneš et al. 2004).

Náplní této studie je zalesňování nelesních půd v oblasti pro lesní dřeviny méně příznivé. Jedním z významných faktorů zabezpečujících úspěšné zalesnění a dobrou ujímavost sazenic je jednoznačně půdní vlhkost ve svrchním horizontu půdního profilu. Nedostatkem vláhy v půdě trpí nejvíce kořenový systém, který je z tohoto hlediska citlivější než nadzemní část rostliny. Tento problém může do určité míry zmírnit aplikace fosilních materiálů jako je například alginit (Kupka et al. 2015). Účelem alginitu by mělo být mimo jiné zvýšení sorpce vody v kořenovém prostoru sazenic.

Alginit je organogenní sediment patřící mezi olejové břidlice, který vznikl před 3-4 miliony let při vulkanických změnách. Tato šedá až tmavě šedá hornina je bohatá na organické látky, obsah organických látek tvoří 5 až 50 % (Szabó 2004). Alginit byl vytvořen ve vodním prostředí z řas a z toho důvodu má také vysoký obsah prvků jako jsou fosfor, draslík, vápník a hořčík (Gömöryová et al. 2009). Využití alginitu v lesním hospodářství popsal v minulosti Vass et al. (1998). Tento příspěvek dokumentuje vliv alginitu na ujmavost výsadby vybraných druhů dřevin na nelesních půdách s delším časovým odstupem od založení porostů.

2. MATERIÁL A METODIKA

Vliv a využití alginitu bylo zjišťováno na relativně suché lokalitě poblíž obce Hovorčovice severně od Prahy (PLO 17 Polabí). Přesné určení je specifikováno GPS souřadnicemi N 50°14.4', E 14°28.12', lokalita má pracovní název "U Hnojště". Jedná se o bývalou zemědělskou půdu na středně suchém stanovišti s průměrnou roční teplotou 8 – 9 °C. Průměrné roční srážky zde dosahují 500 až 600 mm a pravděpodobnost suchých vegetačních období je 20 - 30%. Na sledované ploše byla půda určena jako černozem s hloubkou 30 cm až 70 cm, silně skeletnatá, erodovaná s rovinatým terénem (zalesněná orná půda).

Samotná výzkumná plocha sestává z dílčích plošek o velikosti 20 m × 20 m. Lesní kultura byla založena na jaře roku 2013 jamkovou sadbou ve sponu 1 m × 1 m (400 ks/plošku). Jako varianty dřevin byly použity: borovice lesní (*Pinus sylvestris* (L.)), dub letní (*Quercus robur* (L.)) v samostatné výsadbě a řadová směs dubu letního, dubu červeného (*Quercus rubra* (L.)) a javoru mléče (*Acer platanoides* (L.)). Kromě kontrolní varianty (A) bez aplikace meliorační hmoty byly použity i varianty s aplikací 0,5 kg (B) a 1,5 kg (B) alginitu na sazenici. Každá varianta (3 varianty dřevina × 3 varianty alginit) byla založena ve 3 opakováních. Z dalšího hodnocení byly vyjmuty okrajové řady a první a poslední sazenice ve druhé až devatenácté řadě z důvodu možného ovlivnění sousední ploškou s jiným druhem dřeviny a jinou variantou alginitu.

U výsadeb byla měřena výška, a to vždy na podzim v letech 2013, 2014 a 2015 pomocí odměrné latě, každý rok byla také zaznamenána mortalita jednotlivých jedinců. V roce 2015 byly odebrány vzorky asimilačního aparátu z 50 jedinců na každé dílčí plošce, u listnáčů v průběhu měsíce srpna, u jehličnanů v říjnu. Pro každou dílčí plochu byl vytvořen směsný vzorek, pro každou dřevinu na každé variantě byly vždy vytvořeny 3 směsné vzorky. Analýza asimilačního aparátu byla provedena v laboratoři Tomáš se sídlem ve VÚLHM v Opočně podle standardně používaných metodik. Koncentrace makroelementů v sušině asimilačního aparátu dřevin byla porovnána s klasifikačními limity dle Bergmanna (1993). Data výšek byla zpracována statistickým programem Statistica v. 12. Použita byla jednofaktorová analýza rozptylu. Pro ověření normality dat byl použit Tukeyův test.

3. VÝSLEDKY

Mortalita sazenic

Hodnocení mortality sazenic borovice lesní, dubu letního, dubu červeného a javoru mléče v letech 2013 až 2015 prokázalo rozdíly v reakcích jednotlivých dřevin na aplikaci alginitu. Podrobné hodnoty pro jednotlivé dřeviny jsou uvedeny v Tabulce č. 1. Aplikace meliorační hmoty se projevila nejvýznamněji ihned po výsadbě, tedy již v roce 2013. U borovice měla pozitivní účinek jak menší, tak i větší dávka podpůrného prostředku. U všech listnatých dřevin byl vliv přidání alginitu také pozitivní, nejvýznamněji reagoval dub červený, a to na vyšší dávku alginitu. V roce 2014, tedy rok po výsadbě byl účinek aplikace alginitu jehličnanů i listnáčů spíše negativní. U všech dřevin se projevilo přidání alginitu negativně, a to jak u varianty 0,5 kg tak i při aplikaci 1,5 kg. V roce 2015 byla mortalita ve srovnání s předchozími lety výrazně menší.

Tab. 1 Vyhodnocení mortality jednotlivých druhů dřevin dle aplikace alginitu

dřevina	varianta	počet sazenic	mortalita 2013 (%)	mortalita 2014 (%)	mortalita 2015 (%)
borovice	A	972	21.6 a	11.8 a	1.0 a
	B	729	17.4 a	30.4 b	0.9 a
	C	972	21.4 a	38.7 c	0.8 a
dub letní	A	972	5.6 a	1.6 a	2.1 a
	B	972	2.4 b	13.3 b	4.0 a
	C	727	2.6 b	5.2 c	7.5 b
dub letní ve směsi	A	276	22.5 a	1.9 a	4.3 a
	B	303	6.9 b	9.6 b	1.2 a
	C	261	2.7 b	6.3 ab	4.2 a
javor	A	377	8.0 a	0.6 a	1.2 a
	B	342	2.1 b	1.2 a	0.3 a
	C	243	0.8 b	0.8 a	0.4 a
dub červený	A	320	35.0 a	36.5 a	2.3 a
	B	328	27.7 a	28.7 a	0.6 a
	C	227	6.6 b	61.3 b	7.3 b

Výška sazenic

V Tabulce č. 2 je uveden přehled zhodnocení výšky sazenic podle variant přidaného alginitu. U borovice se účinek alginitu statisticky významně projevil hned v prvním roce po výsadbě. V dalším roce byl zjištěn významný rozdíl pouze u zvýšené dávky alginitu, tedy u varianty C. V roce 2015 mělo přidání meliorační hmoty dokonce statisticky prokazatelně negativní vliv.

U listnatých dřevin se přihnojení nejvíce projevilo u dubu letního a u javoru mleče. Dub letní reagoval v prvním roce po výsadbě pozitivně pouze v monokultuře, ve směsi byla reakce růstu negativní. V dalších letech se rozdíly v typu výsadby neprojevily, vývoj přírůstu byl stejný jak v samostatné výsadbě, tak ve směsi. Nejvýraznější pozitivní efekt obou variant přidané meliorační hmoty (B, C) byl zjištěn u javoru mleče v roce 2014, dub červený reagoval výrazně pozitivně v roce 2015.

Tab. č. 2 Vývoj výšek sazenic po aplikaci alginitu v uvedených letech.

dřevina	varianta	počet sazenic	výška 2013	p. hodnota	přírůst 2013	p. hodnota	přírůst 2014	p. hodnota	přírůst 2015	p. hodnota
borovice	A	972	25.9 a		13.3 a		23.2 a		40.8 a	
	B	729	27.1 b	<0.001	13.2 a	<0.001	21.6 b	<0.001	35.4 b	<0.001
	C	972	28.6 c		15.2 b		24.3 c		37.7 c	
dub letní	A	972	25.0 a		7.9 a		14.2 a		10.7 a	
	B	972	25.5 a	<0.001	9.9 b	<0.001	14.3 a	=0.49	11.7 a	<0.001
	C	727	26.5 b		9.5 b		14.0 a		8.8 b	
dub letní ve směsi	A	276	25.0 a		9.1 a		14.4 a		11.0 a	
	B	303	25.2 a	=0.856	8.2 b	<0.001	15.6 a	=0.87	12.5 a	<0.001
	C	261	25.4 a		8.0 b		15.0 a		8.8 b	
javor	A	377	50.7 a		12.4 a		33.1 a		29.1 a	
	B	342	54.1 b	<0.001	13.2 a	<0.001	44.8 b	=0.03	25.4 a	=0.06
	C	243	54.4 b		11.0 b		42.1 ab		29.3 a	
dub červený	A	320	59.7 a		13.6 a		8.3 a		9.8 a	
	B	328	60.1 a	<0.001	12.9 a	=0.32	9.8 a	=0.37	13.8 b	=0.07
	C	227	67.2 b		11.8 a		6.7 a		13.0 b	

Pozn.: Různá písmena a zvýraznění hodnot označuje výšky, které se významně (na hladině významnosti 95%) odlišují od kontrolní varianty A. Výška 2013 byla měřena na jaře ihned po výsadbě, přírůst byl měřen po ukončení vegetační sezóny.

Koncentrace živin v asimilačním aparátu

V Tabulce č. 3 je uvedena koncentrace dusíku, fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku v sušině asimilačního aparátu u jednotlivých druhů dřevin podle jednotlivých variant aplikace alginitu. Rozdíly mezi variantami nejsou statisticky průkazné. Koncentrace dusíku byla vyšší u všech dřevin na variantě s vyšší dávkou alginitu, nižší dávka se projevila pozitivně u dubu letního jak v samostatné výsadbě, tak i ve směsi. U dubu červeného byla koncentrace stejná jako na kontrolní ploše, u javoru se alginin projevilo dokonce lehce negativně.

U fosforu byla zvýšená koncentrace v porovnání s dusíkem již méně prokazatelná. Zvýšení koncentrace na obou dávkách přihnojení se projevilo pouze u javoru. U dubu letního se projevila zvýšená koncentrace pouze u menší dávky alginitu a to jak ve směsi, tak v samostatné výsadbě. Dub červený reagoval na přihnojení negativně u větší i menší dávky alginitu. Borovice na změny přidaného přípravku nereagovala.

Množství draslíku v sušině bylo z hlediska koncentrace rozdělení v jednotlivých variantách podobné jako u dusíku. Pozitivně reagoval dub letní na střední i větší množství alginitu v porovnání s kontrolou. V listech javoru se pozitivně projevila pouze zvýšená dávka přihnojení, u dubu červeného byla koncentrace draslíku po aplikaci alginitu vždy menší. U borovice se projevilo pouze zvýšené množství alginitu lehce negativně.

Opačná situace byla zjištěna u vápníku. Dub letní reagoval v obou případech (ve směsi i v samostatné výsadbě) negativně, tedy sníženou koncentrací oproti kontrolní ploše. Lehce negativně reagovala také borovice. U javoru a dubu červeného se koncentrace zvýšila vždy pouze na variantě B, tedy s menší dávkou přihnojení.

Nejméně pozitivně se oproti ostatním prvkům projevila koncentrace u hořčíku. Zvýšené množství obsahu hořčíku v sušině listů se projevilo pouze u javoru. Dub letní vysazený ve směsi koncentrací ani v jednom případě nezměnil, u borovice byla situace stejná. V samostatné dubové výsadbě se přihnojení projevilo sníženou koncentrací hořčíku. U dubu červeného byla zaznamenána neprůkazně snížená koncentrace Mg na variantě s přidáním 0,5 kg alginitu.

Tab. 3 Koncentrace živin v asimilačním aparátu sazenic a hodnoty koncentrace dle Bergmanna

dřevina	varianta	N (%)	± SE	P (%)	± SE	K (%)	± SE	Ca (%)	± SE	Mg (%)	± SE
dub letní	A	1.84	0.19	0.19	0.02	0.62	0.03	1.93	0.24	0.21	0.01
	B	2.07	0.19	0.20	0.02	0.66	0.03	1.75	0.24	0.18	0.01
	C	2.20	0.19	0.18	0.02	0.63	0.03	1.42	0.24	0.18	0.01
dub ve směsi	A	2.00	0.19	0.20	0.02	0.63	0.04	1.76	0.17	0.19	0.01
	B	2.05	0.19	0.21	0.02	0.66	0.04	1.59	0.17	0.19	0.01
	C	2.01	0.19	0.19	0.02	0.66	0.04	1.71	0.17	0.19	0.01
dub červený	A	2.05	0.20	0.24	0.02	0.67	0.05	1.54	0.21	0.20	0.01
	B	2.05	0.20	0.18	0.02	0.65	0.05	1.63	0.21	0.19	0.01
	C	2.27	0.20	0.20	0.02	0.66	0.05	1.54	0.21	0.20	0.01
dub Bergmann	-	2 - 3	-	0.15 – 0.3	-	1 – 1.5	-	0.3 – 1.5	-	0.15 – 0.3	-
javor	A	2.13	0.18	0.18	0.03	0.67	0.03	1.56	0.18	0.17	0.01
	B	2.07	0.18	0.21	0.03	0.63	0.03	1.79	0.18	0.18	0.01
	C	2.31	0.18	0.20	0.03	0.69	0.03	1.35	0.18	0.19	0.01
javor Bergmann	-	1.7 – 2.2	-	0.15 – 0.25	-	1 – 1.5	-	0.3 – 1.5	-	0.15 – 0.3	-
borovice	A	1.87	0.03	0.15	0.04	0.63	0.01	0.29	0.01	0.09	0.01
	B	1.92	0.02	0.15	0.04	0.63	0.01	0.28	0.01	0.09	0.01
	C	1.89	0.04	0.15	0.04	0.62	0.01	0.28	0.01	0.09	0.01
bor. Bergmann	-	1.4 – 1.7	-	0.14 – 0.3	-	0.4 – 0.8	-	0.25 – 0.6	-	0.1 – 0.2	-

Pozn.: Výsledky větší koncentrace na variantách s alginitem v porovnání s kontrolní výsadbou bez přihnojení jsou zvýrazněny. Hodnoty dle Bergmanna popisují první hodnotu koncentrace jako hranici dostatku, druhou hodnotu jako hranici nadbytku.

4. DISKUSE

Jeden z dílčích cílů, se kterými je spojováno využití hnojiv v lesnictví, je snížení mortality sazenic v prvních letech růstu, tedy ihned po výsadbě. Příčinami mortality výsadeb na lesních půdách se zabývala řada prací (Barbeito et al. 2012; Erafur et al. 2008). Pozitivní vliv využití alginitu na mortalitu sazenic v prvním roce po výsadbě potvrdily již publikované výsledky z této lokality (Kupka et al. 2015) a z obdobného pokusu v lokalitě U Lomu, vzdálené přibližně 3 kilometry (Tužinský et al. 2015). V roce 2014 byly výsledky stanovení mortality u všech měřených dřevin na variantách B a C (tedy s aplikací alginitu) vyšší než na ploše bez aplikace. V roce 2015 byly výsledky aplikace alginitu nejednoznačné, lehce pozitivní vliv se projevil pouze u borovice lesní a u javoru mleče.

Dalším často sledovaným faktorem je vývoj výšky sazenic, tedy jejich růstová reakce na aplikaci hnojiva. V minulosti byl testován vliv hnojení na různé druhy dřevin pomocí dřevěného popela, případně popela získaného z rašeliny (Erafur et al. 2008; Kikamägi et al. 2014). Tyto práce se zabývaly vývojem výšky sazenic v průběhu prvních 2 až 4 let po výsadbě, pozitivní vliv hnojení pomocí popela byl však zkoumán pouze na lesní půdě. Vliv alginitu byl prozatím vyhodnocován pouze první rok po výsadbě, a to s pozitivními výsledky na vývoj výšky sazenic (Kupka et al. 2015; Tužinský et al. 2015). Vyhodnocení tříleté výsadby navázalo na pozitivní trend přírůstu.

Jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují růst lesních dřevin, je i obsah živin v asimilačních orgánech. Jejich koncentrace v sušině asimilačního aparátu u vysázených dřevin nebyla podle variant aplikace alginitu statisticky průkazná. Vyšší hodnoty po aplikaci byly zjištěny u koncentrace dusíku, na jehož doplnění reagují dřeviny často zvýšenou produkcí, mezi klíčové prvky jej řadí například Šrámek et al. (2009). Dále se zde projevil již zjištěný trend vyšší koncentrace prvků v sušině listnáčů (Hagen-Thorn et al. 2004; Šrámek et al. 2009) a to nejvýrazněji u vápníku. Samotné zásobení sušiny asimilačního aparátu na zalesněné zemědělské půdě jednotlivými prvky dle Bergmanna (1993) ukázalo hodnoty blízké se a často přesahující hranici nadbytku.

5. ZÁVĚR

Cílem studie bylo vyhodnotit vliv rozdílných dávek fosilního materiálu – horniny alginitu na mortalitu, výšku a výživu asimilačního aparátu borovice lesní (*Pinus sylvestris*), dubu letního (*Quercus robur*), dubu červeného (*Quercus rubra*) a javoru mleče (*Acer platanoides*). Zhodnocení aplikace alginitu bylo provedeno pro časovou periodu tří let od výsadby, tedy v rozhodujícím období pro zajištění vysázené kultury. Výsledky ukázaly značný přínos alginitu z hlediska mortality sazenic hned v prvním roce po výsadbě, v druhém roce byl vliv přihnojení spíše negativní, ve třetím roce byly výsledky nejednoznačné. Pozitivní trend byl zaznamenán u výšky jednotlivých druhů listnatých dřevin na variantách s přihnojením. Borovice lesní reagovala na přidání alginitu vesměs spíše negativně.

6. LITERATURA

- ARMOLAITIS K., ALEINIKOVIENE J., BANIUNIENE A., LUBYTE J., ZEKAITE V. (2007): Carbon sequestration and nitrogen status in Arenosols following afforestation or following abandonment of arable land. *Baltic Forestry*, 2: 169-178.
- BARBEITO I., DAWES M., RIXEN CH., SENN J., BEBI P. (2012): Factors driving mortality and growth at tree line: a 30-year experiment of 92 000 conifers. *Ecology*, 93: 389-401.
- BERGMANN W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena, 835p.
- ČERNÝ Z., LOKVENC T., NERUDA J. (1995): Zalesňování nelesních půd. Praha, Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství, ČR: 55.
- ERAFUR CH., BERGSTEN U., CHANTAL M. (2008): Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 255: 1186-1195.
- GÖMÖRYOVÁ E., VASS D., PICHLER V., GÖMÖRY D. (2009): Effect of alginite amendment on microbial activity and soil water content in forest soils. *Biologia*, 64: 585-588.
- HAGEN-THORN A., ARMOLAITIS K., CALLESEN I., STJERNQUIST I. (2004): Macronutrients in trees stems and foliage: a comparative study of six temperate species planted at the same stands. *Annals of Forest Science*, 61: 489-498.
- HYTÖNEN J., JYLHÄ P., LITTLE K. (2017): Positive effects of wood ash fertilization and weed control on the growth of Scots pine on former peat-based agricultural land – a 21-year study. *Silva Fennica*, 51: 1734, 18 p.
- KACÁLEK D., BARTOŠ J. (2002): Problematika zalesňování neproduktivních zemědělských pozemků v České republice. *FLD ČZU – Katedra pěstování lesa*, 39-45.

- KAPLAN J., KRUMHARDT K., ZIMMERMANN N. (2009): The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 28: 3016-3034.
- KIKAMÄGI K., OTS K., KUZNETSOVA T., POTOTSKI A. (2014): The growth and nutrients status of conifers on ash-treated cutaway peatland. *Trees*, 28: 53-64.
- KUNEŠ I., BALCAR V., BENEŠOVÁ T., BALÁŠ M., ZADINA J., ZAHRADNÍK D., VÍTÁMVÁS J., KACÁLEK D., ŠPULÁK O., JAKL M., JAKLOVÁ DYTRTOVÁ J., PODRÁZSKÝ V. (2009): Influence of pulverized limestone and amphibolite mixture on the growth performance of (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on an acidified mountainsite. *Journal of Forest Science*, 55: 10: 469-476.
- KUNEŠ I., BALCAR V., ČÍŽEK M. (2004): Influence of amphibolite powder and Silvamix fertiliser on Norway spruce plantation in conditions of air polluted mountains. *Journal of Forest Science*, 50: 366-373.
- KUPKA I., PRKNOVÁ H., HOLUBÍK O., TUŽINSKÝ M. (2015): Účinek přípravků na bázi řas na ujímavost a odrůstání výsadeb lesních dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60: 24-28.
- PODRÁZSKÝ V., ŠTĚPÁNÍK R. (2002): Vývoj půd na zalesněných zemědělských plochách – oblast LS Český Rudolec. *Zprávy lesnického výzkumu*, 47: 53-56.
- SZABÓ L. P. (2004): Characterization of alginite humic acid content. *PERMEA 2003, Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries, Tatranské Matliare*, 7. – 11. 9. 2003, 85-91.
- ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J. (2006): Hlavní směry a cíle aktivit spojených se zalesňováním nelesních půd v České republice. *Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad Černými lesy*, 17. 1. 2006, Praha, ČZU a Jíloviště-Strnady, VŮLHM – VS Opočno: 33-38.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. (2009): Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*. 54: 307-315.
- ŠPULÁK O., KACÁLEK D. (2011): Historie zalesňování nelesních půd na území ČR. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56: 49-57.
- TUŽINSKÝ M., KUPKA I., PODRÁZSKÝ V., PRKNOVÁ H. (2015): Influence of the mineral rock alginite on survival rate and rate-growth of selected tree species on agricultural land. *Journal of Forest Science*, 61: 399-405.
- VACEK S., HEJCMANOVÁ P., HEJCMAN M. (2012): Vegetative reproduction of *Picea abies* by artificial layer in the ecotone of the alpine timberline in the Giant (Krkonoše) Mountains, Czech Republic. *Forest Ecology and Management*, 263: 199-207.
- VASS D., KONEČNÝ V., ELEČKO M., KOZÁČ J., MOLNÁR J., ZAKOVIČ, M. (1998): Ložisko diatomitu v bazaltovom mare při Jelšovci a možnosti jeho využitia. *Mineralia Slovaca*, 30: 333-356.

Kontakt

Ing. Jan Cukor

Katedra pěstování lesů

Fakulta lesnická a dřevařská

Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchbátka

tel.: +420 777 989 372

e-mail: cukor@fld.czu.cz

VLIV BRASSINOSTEROIDŮ NA KLÍČIVOST SEMEN BOROVICE LESNÍ V RŮZNÝCH STRESOVÝCH VARIANTÁCH

Ing. Jan Cukor, Ing. Nad'ea Michaela Rašáková, Ing. Rostislav Linda, Ing. Lukáš Linhart,
 doc. Ing. Ivan Kuneš, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesa

Abstrakt

Cílem předkládané práce je zjištění vlivu aplikace brassinosteroidů na klíčení semen borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a porovnání klíčovosti těchto semen ve standardních podmínkách oproti klíčovosti semen vystavených teplotnímu stresu. Brassinosteroidy jsou fytohormony, které plní klíčovou roli při růstu rostlin a ovlivňují podstatnou část jejich fyziologických procesů. Pozitivní efekt brassinosteroidů byl již dokumentován na celé řadě rostlinných druhů, v lesnické praxi byl však jejich vliv testován pouze velmi omezeně.

Pro experiment bylo použito celkem 6400 ks semen, která byla rozdělena na 8 skupin dle kombinace zvoleného režimu klíčení a aplikované koncentrace brassinosteroidu – kontrolní (0 mg/l), nízká (0,004 mg/l), střední (0,04 mg/l) a vysoká (0,4 mg/l) koncentrace, každá ve dvou variantách, pro standardní i stresový režim klíčení. Pro statistické analýzy byl zaznamenáván počet vyklíčených a nevyklíčených semen v každém ze 4 týdnů trvání pokusu. Semena byla klasifikována jako vyklíčená, pokud splňovala kritéria uvedená v ČSN 48 1211.

Výsledky ukazují pozitivní vliv brassinosteroidů na klíčení semen borovice lesní. Aplikace správné koncentrace těchto látek vyrovnala negativní vliv teplotního stresu a u teplotou nestresovaných semen významně zlepšila úspěšnost klíčení.

Klíčová slova

Pinus sylvestris, fytohormony, aplikace brassinosteroidů, klíčovost semen

1. ÚVOD

Podpora růstu sazenic je častým opatřením používaným v lesnické praxi. (Podrázský et al. 2003; Balcar et al. 2011; Kuneš et al. 2011). Méně pozornosti je však věnováno podpoře klíčení, které je ovlivňováno mnoha environmentálními i vnitřními faktory (Wang et al. 2011). Jedním z opatření, která mohou pozitivně ovlivnit klíčení semen, je aplikace brassinosteroidů – druhem fytohormonů (Bishop a Yokota 2001), které patří do třídy polyhydroxysteroidů. Jejich pozitivní vliv byl v minulosti prokázán zejména na klíčení semen u zemědělských plodin (Artecy 1996; Vardhini a Rao 2003; Anduradha a Rao 2003).

Brassinosteroidy náleží do skupiny více než čtyřiceti přirozeně se vyskytujících steroidních hormonů a nacházejí se u široké skupiny rostlinných druhů (Yokota 1997; Steber a McCount 2001). Plní zásadní roli ve vývoji rostlin působením na růstové a vývojové procesy (Sasse 1997; Fujioka et al., 1998; Anduradha a Rao 2003). Výzkumné práce účinků brassinosteroidů na rostliny ukázaly, že ovlivňují řadu různých fyziologických reakcí, například prodloužení stonku či listů, ohyb a rozvinutí listových orgánů (epinastii), růst pylové láčky, indukce biosyntézy ethylenu (Salchert et al. 1998; Dhaubhadel et al. 1999; Bajguz, 2007), vývoj květů a plodů, zahájení procesu kvetení, aktivace protonové pumpy, nebo aktivace fotosyntézy (Zhang et al. 2005; Bajguz a Hayat 2009).

Nízké koncentrace brassinosteroidů byly dokumentovány v celé rostlinné říši napříč různými rostlinnými orgány (Fujioka a Sakurai 1997). Poprvé se brassinosteroidy podařilo izolovat z pylu brukve řepky (*Brassica napus*) (Grove et al. 1979). O tři roky později se podařilo izolovat biosyntetický prekurzor brasinolidu z hmyzích hálek na kaštanovníku vroubkovaném (*Castanea crenata*) (Yokota et al. 1982). Rostlinná pletiva mladých rostlin obsahují vyšší hladinu brassinosteroidů v porovnání s dospělými, nejbohatším zdrojem je pyl a nezralá semena, u kterých se hodnoty pohybují v rozmezí 100 ng/g čerstvé hmotnosti (Rao et al. 2002).

Jedním z nejvýznamnějších abiotických stresových faktorů, které limitují růst rostlin a zhoršenou životaschopnost jsou příliš vysoké teploty (Allakhverdiev et al. 2008; Wu et al. 2011). Teplota je však také jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících klíčení semen a vzházení rostlin (Vardhini a Rao 2003). Teplotní stres, ale také řadu dalších stresových situací, dokáží pozitivně ovlivňovat právě brassinosteroidy (Bajguz a Hayat 2009; Vriet et al. 2012).

Účinek brassinosteroidů byl doposud testován na mortalitu, výškový přírůst a fluorescence chlorofylu u sazenic vybraných druhů dřevin v podmínkách lesní školky (Nováková et al. 2015). V předkládaném příspěvku je dokumentována aplikace brassinosteroidů na semena borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), a jejich vliv na různé varianty stresovaných variant teplotním stresem v porovnání s kontrolní variantou ve sterilních podmínkách růstové komory.

Cílem práce je (I) zjistit, zda mají brassinosteroidy v různých koncentracích vliv na klíčivost teplotou stresovaných a nestresovaných semen a (II) zdokumentovat vývoj klíčivosti během pokusu v týdenních intervalech.

2. METODIKA

Osivo použité v pokusu bylo před rozdělením skladováno v chladničce při teplotě 3–7°C v souladu s normou ČSN 48 1211. Podle průvodního listu pocházelo z lesní oblasti 18 (Severočeská pískovcová plošina a Český ráj) a lesního vegetačního stupně 2 (bukodubový).

Na pokus bylo použito celkem 6400 kusů semen (800 ks semen na jednu variantu, celkem 8 variant – 4 pro stresový a 4 pro normální režim). Pro vlastní přípravu experimentu (maceraci roztokem brassinosteroidů, resp. pro kontrolní variantu destilovanou vodou) bylo potřeba nejprve připravit 4 skupiny semen o velikosti 1600 kusů. Po rozdělení osiva do 4 skupin byly provedeny následující úkony:

1. Sterilizace osiva roztokem Sava (koncentrace „Savo:voda“ 1:5) po dobu 2 minut. Po uplynutí časového limitu bylo osivo zcezeno a řádně propláchnuto destilovanou vodou, aby nedošlo k následné kontaminaci.

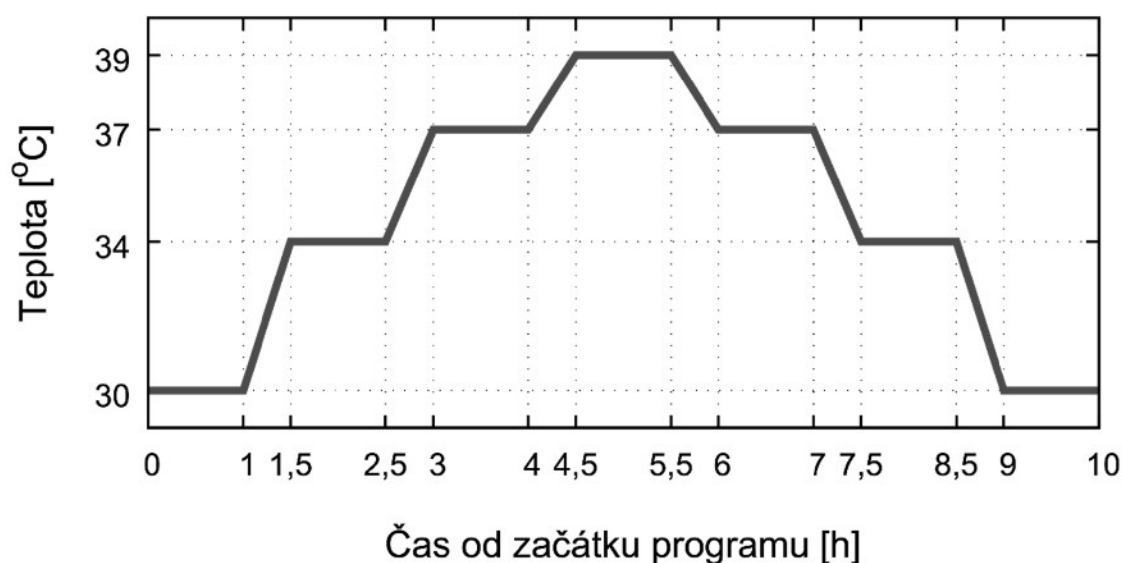
2. Sterilizované a propláchnuté osivo bylo ponořeno do roztoku o příslušné koncentraci brassinosteroidu, respektive do destilované vody pro kontrolní variantu. Koncentrace brassinosteroidů pro jednotlivé kombinace jsou uvedeny v Tabulce č. 1. Máčení (macerace) trvalo 48 hodin. Po ukončení máčení byla každá skupina semen rozdělena na polovinu (po 800 kusech – jedna polovina pro stresovanou a druhá pro nestresovanou variantu).

Tab. 1 Popis použitých kombinací ošetření brassinosteroidy a teplotního stresu

Označení kombinace	Popis	Koncentrace roztoku	Způsob klíčení	Počet semen
C	Kontrolní varianta bez teplotního stresu	Bez brassinosteroidů	Standard	800
L	Nízká koncentrace BS bez tepl. stresu	0,004 mg/l	Standard	800
M	Střední koncentrace BS bez tepl. stresu	0,04 mg/l	Standard	800
H	Vysoká koncentrace BS bez tepl. stresu	0,4 mg/l	Standard	800
CS	Kontrolní varianta s tepl. stresem	Bez brassinosteroidů	Tepl. s tres	800
LS	Nízká koncentrace BS s tepl. stresem	0,004 mg/l	Tepl. s tres	800
MS	Střední koncentrace BS s tepl. stresem	0,04 mg/l	Tepl. s tres	800
HS	Vysoká koncentrace BS s tepl. stresem	0,4 mg/l	Tepl. s tres	800

Každá kombinace byla testována na počtu 800 ks semen, které byly rozděleny do 8 klíčících boxů po 100 semenech. Před umístěním semen se na dno sterilních klíčících boxů vkládal vysterilizovaný filtrační papír (suchá sterilizace po dobu alespoň 60 minut při teplotě 130 °C, hmotnost papíru 80 g/m²), který slouží jako klíčící médium. Klíčící boxy byly označeny datem založení a kódem příslušné kombinace (ošetření BS spolu s variantou teplotního stresu). Při zakládání semen do klíčících boxů byly použity sterilizované pinzety. Osivo bylo ukládáno na klíčící médium tak, aby se jednotlivá semena vzájemně nedotýkala (dle normy ČSN 48 1211). Po založení všech macerovaných semen do klíčících boxů s připraveným médiem bylo médium lehce navlhčeno destilovanou vodou pro zajištění vlhkosti, resp. podpory klíčení. Klíčící boxy byly neprodyšně uzavřeny a vkládány do růstové komory tak, aby v každém patře komory byl stejný počet boxů pro každou testovanou kombinaci.

Růstová komora byla nastavena na teplotu 30 °C po dobu 8 hodin (simulace dne) a 20°C po dobu 16 hodin (simulace noci). V průběhu klíčící zkoušky byly šestý den odděleny teplotně stresované varianty (klíčící boxy těchto variant), které byly na dobu 10 hodin přemístěny do jiné růstové komory s nastaveným režimem teplotního stresu. Schéma teplotního stresu viz Obr. č. 1



Obr. 1 Diagram teplotního režimu použitého pro stresový režim semen

Seventh den od založení bylo provedeno první přepočítání a měření naklíčených semen. Za naklíčená semena jsou brána taková, která splňují stanovenou délku podle ČSN 48 1211 – jedná se tedy o semena, jejichž klíček je čtyřikrát delší než samotná délka klíčícího semene. Semena, která splnila tuto podmínku, byla započítána jako vyklíčená a byla vyřazena z klíčícího boxu. Klíčky byly měřeny pravítkem s přesností na 1 mm. Délky klíčků byly zaznamenávány pro další zhodnocení, tedy pro porovnání průměrné délky klíčků u variant ošetřených brassinosteroidy oproti kontrolním variantám. Naměřené hodnoty byly zaznamenány pro následné statistické zpracování. Délka klíčící zkoušky byla stanovena na dobu 28 dní.

Statistické zhodnocení klíčivosti a délky klíčků bylo provedeno pomocí mnohonásobných porovnání veličin s binomickým rozdělením (dle Agresti et al. 2008). Vyhodnocení bylo vypracováno ve statistickém programu R, verze 3.1.2 (R Core Team 2014). Veškeré hypotézy byly testovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

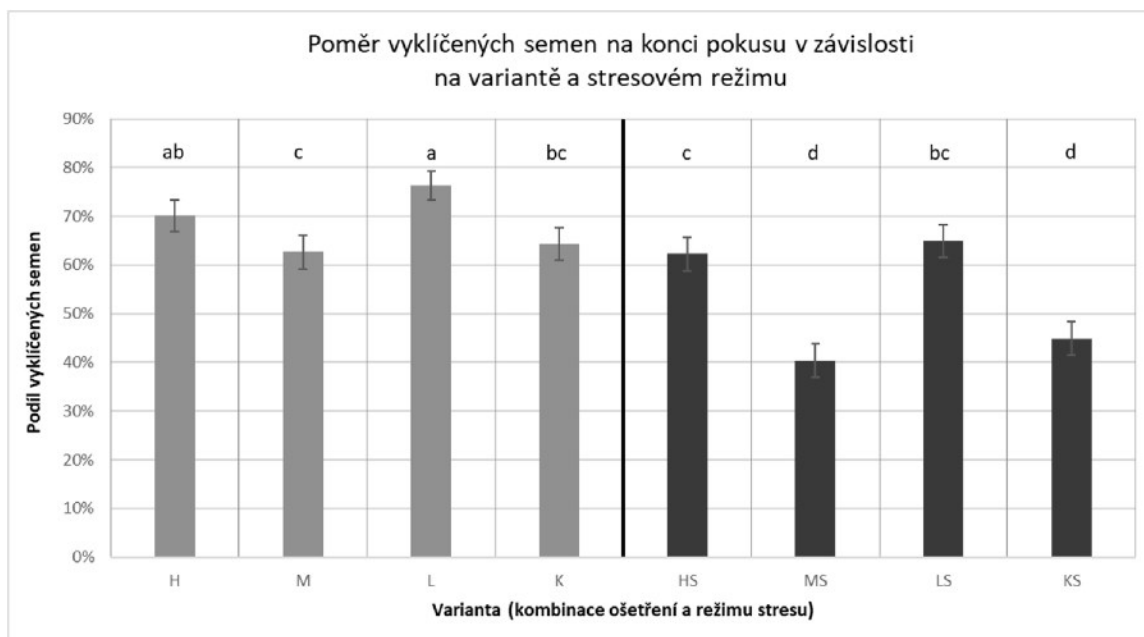
3. VÝSLEDKY

Výsledky klíčení semen borovice lesní po ukončení pokusu jsou uvedeny na Obrázku č. 2., který ukazuje poměr vyklíčených semen po 28 dnech, tedy po ukončení pokusu. V levé části grafu jsou zobrazeny skupiny, které nebyly vystaveny teplotnímu stresu, stresované varianty jsou zobrazeny v pravé části grafu.

Nejnižší hodnota klíčivosti byla v rámci semen vystavených standardnímu režimu zjištěna pro skupinu označenou písmenem „M“, tedy pro semena, která byla ošetřena střední dávkou brassinosteroidů. Oproti kontrolní variantě u semen vystavených standardnímu režimu klíčila lépe pouze semena ošetřená nízkou dávkou brassinosteroidů (L), která vykazovala nejvyšší klíčivost ze všech variant.

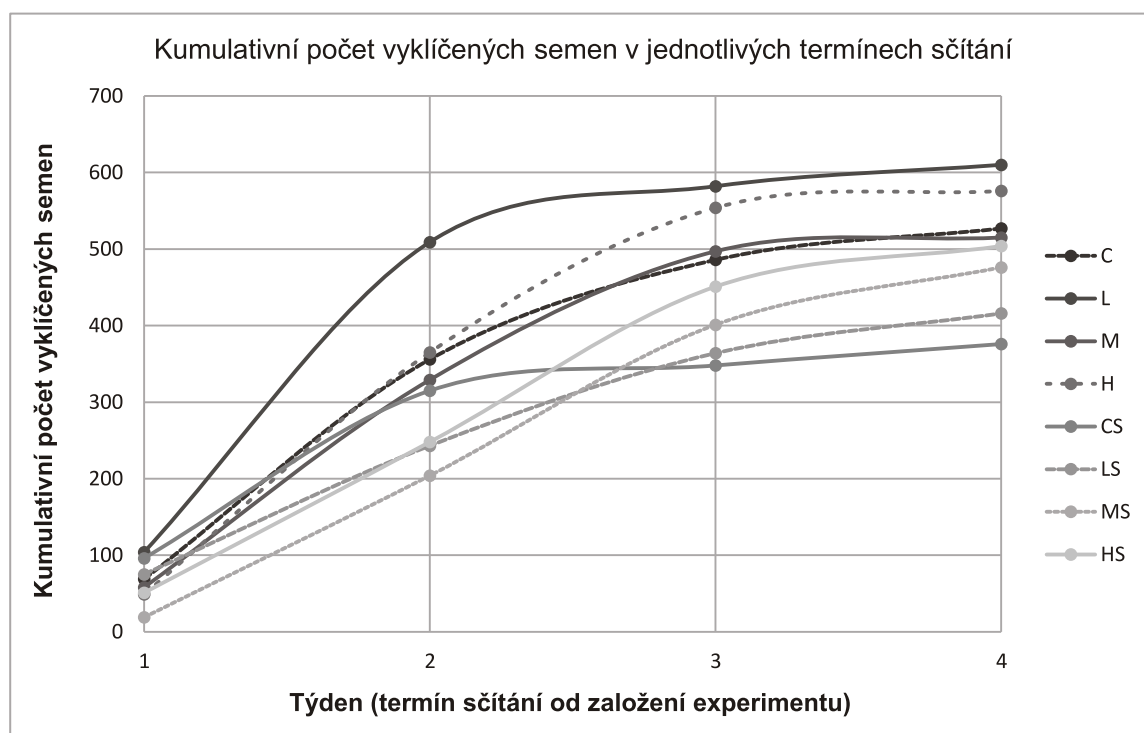
Výsledky klíčení pro stresované varianty jsou velmi podobné výsledkům pro semena vystavených standardnímu režimu. Nejnižší klíčivost vykazovala opět semena ošetřená střední koncentrací brassinosteroidů za současného

vystavení teplotnímu stresu, spolu s kontrolní variantou, jejichž rozdíl není statisticky průkazný. Nejvyšší hodnoty klíčivost dosahovala varianta s nízkou a vysokou koncentrací brassinosteroidů, která nebyla statisticky významně odlišná od kontrolní varianty teplotně nestresovaných semen.



Obr. 2 Vyhodnocení poměru vyklíčených semen po ukončení experimentu. Teplotou stresované varianty jsou označeny červeně, nestresované zeleně. Indexy nad sloupci znázorňují příslušnost do skupin dle statistické významnosti rozdílu příslušných hodnot. Chybové úsečky představují 95% intervaly spolehlivosti

Následující obrázek (Obr. č. 3) dokumentuje vliv teplotního režimu (standard, teplotní stres) na klíčivost borovice lesní v týdenních intervalech během celého pokusu.



Obr. 3 Kumulativní podíl vyklíčených semen pro zvolené kombinace ošetření a teplotního režimu. Pro každou z kombinací bylo testováno celkem 800 ks semen

Z grafu je patrné, že vyšší energii klíčení dle předpokladů vykazovala semena, která nebyla vystavena teplotnímu stresu. V prvním týdnu sčítání tento rozdíl činil průměrně 1,2 procentního bodu, ve čtvrtém byl průměrný rozdíl mezi úspěšností klíčení teplotou stresovanými a nestresovanými semeny cca 14 procentních bodů.

4. DISKUSE A ZÁVĚR

Cílem této studie bylo ověřit vliv tří různých koncentrací brassinosteroidu ($2\alpha,3\alpha,17\beta$ -trihydroxy- 5α -andro-stan-6-one) na klíčivost semen borovice lesní. Efekt brassinosteroidu byl zjišťován jak ve standardních podmínkách klíčení, tak i v podmínkách, kdy bylo osivo vystaveno přechodnému teplotnímu stresu.

Positivní vliv brassinosteroidů na klíčivost semen byl již dříve dokumentován u široké škály rostlin. Nejdůležitější byl vliv brassinosteroidů popsán na zemědělských plodinách. Doležalová (2016) uvádí pozitivní efekt brassinosteroidů na velikost bulev a celkový výnos cibule (*Allium cepa*). Vliv na zvýšený výnos byl zjišťován také u dalších důležitých zemědělských plodin, jako je rýže setá (*Oryza sativa*), brambor obecný (*Solanum tuberosum*), kukuřice setá (*Zea mays*) nebo hořčice setá (*Sinapis alba*) (Khrípach et al., 2000; Zullo a Adam 2002; Holá et al. 2010; Janeczko et al., 2010). U zemědělských plodin byl zjištěn nejen zvýšený výnos, ale také zvýšená kvalita výtěžku (Vardhini a Rao, 1998; Holá et al. 2010).

Popsán byl také pozitivní vliv brassinosteroidů na klíčivost semen. Zrychlené klíčení a rychlejší růst primárního kořínku byl zjištěn u ječmene setého (*Hordeum vulgare*) (Kartal et al., 2009). Vliv různých koncentrací těchto fytohormonů na délku primárního kořínku byl také dokumentován pro rod *Arabidopsis* (Steber a McCount 2001). Aplikace brassinosteroidů dokáže taktéž ovlivnit toleranci k různým druhům stresu, v primární fázi růstu byl zjištěn pozitivní vliv na zmírnění stresu způsobeného solí u rýže seté (*Oryza sativa*) (Anuradha and Rao 2003), i u jiných rostlin intenzivně využívaných v zemědělství (Shahbaz et al., 2008).

Positivní vliv brassinosteroidů byl popsán také v reakcích na teplotní stres, stejně tak, jako v případě naší studie. Dokumentován byl například u cizrny beraní (*Cicer arietinum*), kdy tyto fytohormony dokázaly zmírnit vliv stresu na klíčivost semen, která byla vystavena nízké teplotě 0 °C (Hayat et al. 2014). Dále byl účinek brassinosteroidů popsán u rajčete jedlého (*Lycopersicon esculentum*), rostliny ošetřené brassinosteroidy měly po stresování nízkými teplotami výrazně lepší produkci plodů v porovnání s neošetřenými (Khan et al. 2015).

V námi provedeném experimentu byla pozitivní odezva na aplikaci fytohormonu zjištěna u kombinace standardního teplotního režimu a nízké koncentrace brassinosteroidu, střední dávka působila spíše negativně. Podobný trend byl zaznamenán také pro varianty vystavené teplotnímu stresu, kdy se efekt brassinosteroidu projevil mnohem výrazněji v porovnání s nestresovanými semeny. Podobné výsledky zaznamenal u klíčících semen borovice lesní také Kuneš et al. (2016), kdy se ošetření brassinosteroidy (koncentrace 0,1 mg/l) projevilo výrazněji na semenech stresovaných sníženou vlhkostí v porovnání se standardními podmínkami růstové komory.

Nedořešenou otázkou zůstává absence pozitivního účinku brassinosteroidu aplikovaného ve střední koncentraci. Obzvláště za situace, kdy nižší i vyšší koncentrace pozitivní efekt vyvolala, a to v nestresovaném i stresovaném režimu klíčení. Rozmístění boxů se semeny v růstové komoře přitom bylo provedeno tak, aby boxy srovnávaných koncentrací a kontroly byly rozmístěny v jednotlivých sekcích rovnoměrně. Podobný jev byl pozorován také ve studii Moralese (2015) pro délku klíčku lociky seté (*Lactuca sativa*) ošetřené výluhem rostliny *Beilschmiedia tawa*. Uvedený poznatek ponechává otevřenou otázku vhodné koncentrace. Důležitost zvolení správné koncentrace roztoku brassinosteroidu ve své práci zmiňuje např. Gomes (2011).

Výsledky ukázaly pozitivní vliv nízké a vysoké koncentrace testovaného brassinosteroidu na klíčení semen borovice lesní v podmínkách zvýšeného teplotního stresu. Střední koncentrace fytohormonu se pozitivně neprojevila a parametry klíčivosti semen ošetřených roztokem brassinosteroidu s touto koncentrací se ve standardním i stresovém režimu pohybovaly na hodnotách srovnatelných s kontrolní variantou.

5. LITERATURA

- Allakhverdiev SI, Kreslavski VD, Klimov VV, Los DA, Carpentier R, Mohanty PL (2008) Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research* 98: 541–550.
- Agresti A, Bini M, Bertaccini B, Ryu E (2008) Simultaneous confidence intervals for comparing binomial parameters. *Biometrics*, 64: 1270–1275.
- Anuradha S, Rao SSR (2003) Application of brassinosteroids to rice seeds (*Oryza sativa* L.) reduced the impact of salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity. *Plant Growth Regulation* 40: 29–32.
- Artocy NR (1996) *Plant growth substances, principles and applications*. New York, Chapman & Hall: 332 p.

- Bajguz A (2007) Metabolism of brassinosteroids in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 45: 95–107.
- Bajguz A, Hayat S (2009) Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 1–8.
- Balcar V, Kacálek D, Kuneš I, Dušek D (2011) Effect of soil liming on European beech (*Fagus sylvatica* L.) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) plantations. *Folia Forestalia Polonica, series A – Forestry* 53: 85–92.
- Bishop GJ, Yokota T (2001) Plants steroid hormones, brassinosteroids: Current highlights of molecular aspects on their synthesis/metabolism, transport, perception and response. *Plant and Cell Physiology* 42: 114–120.
- Dhaubhadel S, Chaudhary S, Dobinson KF, Krishna P (1999) Treatment with 24-epibrassinolide, a brassinosteroid, increases the basic thermotolerance of *Brassica napus* and tomato seedlings. *Plant Molecular Biology* 40: 333–342.
- Dolezalova J, Koudelka M, Sus J, Ptáček V (2016) Effects of synthetic brassinolide on the yield of onion grown at two irrigation levels. *Scientia Horticulturae* 202: 125–132.
- Fujioka S, Noguchi T, Yokota T, Takatsuto S, Yoshida S (1998) Brassinosteroids in *Arabidopsis thaliana*. *Phytochemistry* 48: 595–599.
- Fujioka S, Sakurai A (1997) Biosynthesis and metabolism of brassinosteroids. *Physiologia Plantarum* 100: 710–715.
- Gomes MMA (2011) Physiological effects related to brassinosteroid application in plants: In: Hayat S. and Ahmad A. (eds): *Brassinosteroids: a class of plant hormone*. Dordrecht, Springer: 193–242.
- Grove MD, Spencer GF, Rohwedder WK, Mandava N, Worley JF, Warthen JD, Stecens GL, Flippen-Anderson JL, Cook JC (1979) Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature* 281: 216–217.
- Hayat S, Alyemeni MN, Yadav S (2014) Do brassinosteroids ameliorate freezing stress in *cicer arietinum*. *Legume Research* 37: 68–71.
- Holá D, Rothová O, Kočová M, Kohout L, Kvasnica M (2010) The effect of brassinosteroids on the morphology, development and yield of field-grown maize. *Plant Growth Regulation* 61: 29–43.
- Janeczko A, Biesaga-Koscielniak J, Oklest'kova J, Filek M, Dziurka M, Szarek-Lukasewska G, Koscielniak J (2010) Role of 24-Epibrassinolide in Wheat Production: Physiological Effects and Uptake. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 311–321.
- Kartal G, Temel A, Arican E, Gozukirmizi N (2009) Effects of brassinosteroids on barley root growth, antioxidant system and cell division. *Plant Growth Regulation* 58: 261–267.
- Khan T, Fariduddin Q, Yusuf M (2015) *Lycopersicon esculentum* under low temperature stress: an approach toward enhanced antioxidants and yield. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 14178–14188.
- Khripach V, Zhabinskii V, De Groot A (2000) Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany* 86: 441–447.
- Kuneš I, Baláš M, Špulák O, Kacálek D, Balcar V, Šesták J, Millerová K (2011) Stav výživy smrku ztepilého jako podklad pro zvážení potřeby přihnojení listnáčů a jedle vnášených do jehličnatých porostů. *Zprávy lesnického výzkumu* 56: 36–43.
- Morales NS (2015) Factors affecting recruitment of *Beilschmiedia tawa* in northern New Zealand, New Zealand *Journal of Botany* 53: 231–240.
- Nováková O, Gallo J, Baláš M, Špulák O, Kuneš I (2015) Influence of brassinosteroids on height increment, chlorophyll fluorescence and mortality of seedlings of Norway spruce and Scots pine in forest nursery conditions. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60 122–129.
- Podrázský V, Remeš J, Ulbrichová I (2003) Biological and chemical amelioration effects on the localities degraded by bulldozer site preparation in the Ore Mts. – Czech Republic. *Journal of Forest Science* 49: 141–147.
- Rao SR, Vardhini VB, Sujatha E, Anuradha S (2002) Brassinosteroids – a new class of phytohormones. *Current Science* 82: 1239–1245.
- R Core Team (2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sasse JM (1997) Recent progress in brassinosteroid research. *Physiologia Plantarum* 100: 697–701.
- Salchert K, Bhalerao R, Koncz-Kalman Z, Koncz C (1998) Control of cell elongation and stress responses by steroid hormones and carbon catabolic repression in plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 353: 1517–1520.

- Shahbaz M, Ashraf M, Athar HUR (2008) Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Growth Regulation* 55: 51–64.
- Steber CM, McCourt P (2001) A role for brassinosteroids in germination in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 125: 763–769.
- Vardhini BV, RAO SSR (1998) Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry* 48: 927–930.
- Vardhini BV, RAO SSR (2003) Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regul* 41: 25–31.
- Vriet C, Russinova E, Reuzeau C (2012) Boosting Crop Yields with Plant Steroids. *Plant Cell* 24: 842–857.
- Yokota T (1997) The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. *Trends in Plant Science* 2: 137–143.
- Yokota T, Arima M, Takahashi N (1982) Castasterone, a new phytosterol with plant-hormone potency, from chestnut insect gall. *Tetrahedron Letters* 12: 1275–1278.
- Wang H, Yang C, Zhang C, Wang N, Lu D, Wang J, Zhang S, Wang ZX, Ma H, Wang X (2011) Dual role of BKI1 and 14-3-3 s in brassinosteroid signaling to link receptor with transcription factors. *Dev. Cell*, 21: 825–834
- Wu XX, Yao XF, Chen JL, Zhu ZW, Zhang H, ZHA DS (2011) Brassinosteroids protects photosynthesis and antioxidant system of eggplant seedlings from high-temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 251–261.
- Zhang ZS, Ramirez J, Rebutier D, Brault M, Trouverie J, Pennarun AM, Amiar Z, Biligui B, Galagovsky L, Rona JP (2005) Brassinosteroids regulate plasma membrane anion channels in addition to proton pumps during expansion of *Arabidopsis* thalian cells. *Plant and Cell Physiology* 46: 1494–1504.
- Zullo MAT, Adam G (2002) Brassinosteroid phytohormones - structure, bioactivity and applications. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 14: 83–121.

Kontakt

Ing. Rostislav Linda

Česká zemědělská univerzita Praha

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesa

Kamýcká 129, 165 21 Praha

Tel.: +420 224 383 792

e-mail: lindar@fld.czu.cz

Tato konference byla uspořádána v rámci řešení projektu QJ1520037
Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky.

1. vydání
© 2017, Česká lesnická společnost, z. s.
ISBN 978-80-02-02769-0

