

## OPAD V MLADÝCH BOROVÝCH POROSTECH

### LITTER-FALL IN YOUNG SCOTS PINE STANDS

JIŘÍ NOVÁK ✉ - DAVID DUŠEK - MARIAN SLODIČÁK - DUŠAN KACÁLEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, CZ - 517 73 Opočno

✉ e-mail: novak@vulhmop.cz

#### ABSTRACT

Litter-fall is an important part of nutrient cycle in forest ecosystems. Long-term effect of thinning and climatic factors on litter-fall was observed in young Scots pine stands, which were thinned at the age of 7 years for the first time. We found that mean annual litter-fall was 4 tons and varied from 2 to 8 tons per hectare. Mean concentration of nitrogen in the litter-fall was about 0.6%. It means that about 24 kg of nitrogen is supplied by litter-fall under young pine stands annually. Annual amount of litter-fall was affected by thinning (lower litter-fall several years after thinning) or by climatic factors (air temperatures positively, and sum of precipitation negatively). It was confirmed that further and long-term litter-fall studies on various sites are needed.

**Klíčová slova:** opad, dusík, klimatické faktory, výchova lesa, borovice lesní

**Key words:** litter-fall, nitrogen, climatic factors, thinning, Scots pine

#### ÚVOD

Opad odumřelých částí biomasy lesních dřevin je důležitou složkou koloběhu živin v lesních porostech. V České republice je druhou nejvíce zastoupenou dřevinou borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Pokud jde o zahraniční poznatky, jsou dostupné informace ze Španělska (SANTA-REGINA, TARAZONA 2000; BLANCO et al. 2005), Finska (UKONMA-ANAHO et al. 2008), Polska (SUKOVATA et al. 2010; JONCZAK, PARZYCH 2012), Velké Británie (COUSENS 1988) nebo Kanady (PRESCOTT et al. 2004). Z literatury jsou známy také některé syntézy (BERG et al. 1999; BERG 2000; BERG, MEENTEMEYER 2001; BERG et al. 2001; MATALA et al. 2008; BERG 2014). Nutnost objasnění uvedené problematiky zejména ve vztahu k pěstebním opatřením zmiňují např. JURGENSEN et al. (2012), RUIZ-PEINADO et al. (2013) a MACK et al. (2014).

Za faktory ovlivňující množství a strukturu opadu se považují např. stanoviště, klima, ale také již zmíněné pěstební zásahy. V borových porostech se touto problematikou zabývali např. AGREN, KNECHT (2001) nebo CSONTOS et al. (2007), kteří se pokusili sestavit modely produkce opadu. Efekty stanoviště a výchovných zásahů na opad borovice analyzoval také BLANCO et al. (2008, 2009, 2011).

Cílem předkládané práce bylo zjistit, jaké jsou opadové poměry v mladých porostech borovice lesní s ohledem na provedené pěstební zásahy a průběh klimatických charakteristik.

#### MATERIÁL A METODIKA

Výzkum probíhal na dlouhodobé experimentální sérii Týniště, která byla založena v roce 1991 v tehdy 6letém porostu borovice lesní, vzniklém řadovou výsadbou ca 10 000 sazenic na hektar. Série je loka-

lizována ve východních Čechách na chudých půdách (SLT 1M – borová doubrava) v nadmořské výšce 260 m. Experiment je složen ze dvou srovnávacích variant (Kontrola – bez zásahu, Zásah – s výchovnými zásahy) o výměře 2 × 0,09 ha (SLODIČÁK et al. 2011).

První redukce byla provedena v roce 1992 (věk 7 let) kombinovaným výběrem, tj. část stromů byla odebrána schematicky odstraněním každé páté řady a další část byla odstraněna negativním výběrem v podúrovni ve zbylých řadách. Takto bylo při zásahu odstraněno 47 % stromů reprezentujících 31 % výčetní základny. Druhý zásah byl proveden o devět let později (v roce 2001) ve věku 16 let a bylo při něm odstraněno 16 % stromů (17 % výčetní základny) pozitivním výběrem v úrovni.

Sledování opadových poměrů bylo zahájeno v roce 1993 po instalaci opadoměrů s jednotlivou zachytnou plochou 0,25 m<sup>2</sup> v počtu 5 kusů na variantu. Vzorok opadu byly odebírány týdně (první dva roky), později měsíčně (do roku 1996) a od roku 2004 čtvrtletně. Pro účely této práce byly vyhodnoceny údaje o roční sušině (stanovené sušením při 80 °C) opadované biomasy za období 1993 až 2013 a o obsahu dusíku v opadu. Obsah dusíku byl stanovován ze směšného vzorku pro každý rok sledování po mineralizaci kyselinou sírovou a peroxidem vodíku (TURNER, BROOKS 1992) a analýze metodou Kjeldahla (JONES et al. 1991).

Dále byl vyšetřován vztah mezi množstvím sušiny opadu a vývojem každoročně měřených dendrometrických charakteristik (N – počet stromů, G – výčetní základna) a klimatických veličin – srážky a teploty z automatické klimatické stanice umístěné přímo na experimentu. Data byla zpracována v softwaru Unistat (verze 5.0) pomocí základních popisných charakteristik a k vyjádření vztahu mezi sledovanými veličinami byl použit Pearsonův korelační koeficient.

## VÝSLEDKY

### Sušina opadu a obsah dusíku

Ve sledovaných mladých borových porostech činil ve věku 8 až 28 let, tj. za 21 let sledování, průměrný roční opad na hektar 4,4 (kontrolní porost) a 3,9 (porost s výchovou) tun sušiny (obr. 1). Minimální roční opad ca 1,3 t.ha<sup>-1</sup> byl na obou variantách zjištěn v prvním roce sledování (1993) ve věku 8 let. Naopak nejvyšší hodnoty ročního opadu jsou zaznamenány na konci sledovaného období (věk 28 let), ca 7,7 tun na hektar. Z analýzy byl zřejmý postupný nárůst opadu s věkem porostu a souvisejícími změnami hustoty N a výčetní základny G. Počet stromů N koreloval s množstvím opadu negativně (korelační koeficient -0,77 až -0,78) a výčetní základna G pozitivně (korelační koeficient 0,74 až 0,84). Na obou variantách však byly zaznamenány meziroční výkyvy těchto hodnot.

Podíl jehličí v celkovém opadu se prvních deset let sledování 1993–2002 (věk 8–17 let) pohyboval mezi 85 % až 96 % na obou variantách pokusu. V následujících letech se podíl jehličí v celkovém opadu mírně snižoval, přičemž minima bylo dosaženo na kontrolní ploše v roce 2005 (64 %) a na ploše s výchovou v roce 2009 (68 %).

Průměrná koncentrace dusíku v opadu byla ve sledovaném období 0,61 % v porostu kontrolním a 0,56 % v porostu s výchovou. Ročně se tak v opadu dostalo pod sledované borové porosty v průměru 20 kg (porost s výchovou) až 26 kg (kontrolní porost) dusíku na hektar. Za celé sledované období (21 let) od prvního zásahu dosáhlo množství dusíku v opadu ve vychovávaném porostu 411 tun na hektar, což je 75 % množství zjištěného v porostu kontrolním (551 tun na hektar).

### Efekt výchovy

Na obou variantách pokusu se v průběhu sledování (věk 8 až 28 let) kontinuálně snižoval počet stromů N na hektar (z 8833 na 3600 jedinců na kontrole a z 5289 na 2944 jedinců na zásahové ploše). Současně se zvyšovala výčetní základna G z 9,2 na 36,8 m<sup>2</sup> na kontrole a z 6,8 na 37,6 m<sup>2</sup> na ploše se zásahy (obr. 2). V kontrolním porostu byl úbytek stromů způsoben nahodilou těžbou odumřelých jedinců. K nejvyššímu propadu výčetní základny došlo v lednu 2010 (hodnoty jsou vztaheny k roku ukončené vegetace 2009, tj. ve věku 24 let), kdy bylo v důsledku poškození sněhem odstraněno více jak 7 % G. Na variantě s výchovou bylo poškození sněhem v tomto roce zanedbatelné, a tak byl tento porost ovlivňován hlavně úmyslnými výchovnými zásahy

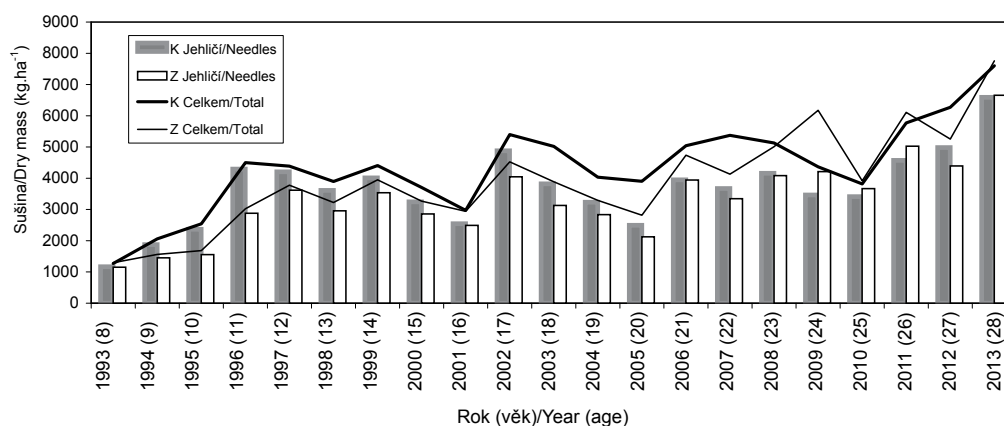
na počátku experimentu v roce 1992 (věk 7 let) a v roce 2001 ve věku 16 let (podrobnější popis zásahů viz metodika). Na kontrolní ploše docházelo v posledních letech k další nahodilé těžbě, což se projevilo ve vzájemném poměru výčetní základny obou sledovaných porostů. Zatímco od prvního zásahu ve věku 7 let do roku 2011 (věk 26 let) byla výčetní základna vždy vyšší v kontrolním porostu, od roku 2012 již porost s výchovou vykazuje výčetní základnu ca o 2 % vyšší ve srovnání s kontrolou.

Z průběhu hodnot ročního opadu (obr. 1) je zřejmé, že první výchovný zásah, provedený na počátku experimentu, se projevil v následujících letech ve sníženém množství opadu ve srovnání s kontrolním porostem. Maxima bylo dosaženo ve třetím (1995) a čtvrtém (1996) roce po zásahu, kdy v porostu s výchovou opadávalo o 33–34 % méně sušiny než v porostu kontrolním. V dalších letech se tento rozdíl mezi variantami pohyboval v rozmezí 10–17 %. V roce 2001 pak již opadlo téměř stejné množství sušiny (rozdíl pouze 1 %) na obou variantách. V tomto roce (věk 16 let) byl také proveden druhý zásah na variantě s výchovou. Rozdíly v opadu mezi oběma sledovanými variantami se opět zvýšily až na 28 % v roce 2005 (věk 20 let). Efekt zásahu zřejmě doznival až do roku 2008, kdy bylo množství opadu znovu téměř shodné (rozdíl 2 %) na obou variantách. V posledních třech letech sledování (2009–2011) již opadávalo více sušiny v porostu s výchovou, přičemž maximální rozdíl (o více jak 40 % více sušiny opadu v porostu s výchovou ve srovnání s kontrolou) bylo zaznamenáno v roce 2009. Výjimku tvořil rok 2012, kdy na kontrole došlo k propadu výčetní základny kvůli nahodilé těžbě a roční opad byl na této ploše vyšší o 16 % ve srovnání s vychovávaným porostem.

### Efekt klimatických charakteristik

Klima v oblasti Týniště nad Orlicí je pro sledované období charakterizováno průměrnou teplotou a úhrnem srážek za rok a za vegetační období (duben až září) v jednotlivých letech (obr. 3). Průměrná roční teplota byla v uvedeném období 8,3 °C (maximum 9,5 °C v letech 2007 a 2008, minimum 5,7 °C v roce 1996). Průměrná teplota byla ve vegetačním období 14,8 °C (maximum 15,9 °C v roce 2011, minimum 12,6 °C v roce 1996).

Průměrné roční srážky v letech 1993–2013 činily 632 mm. Minimum bylo zaznamenáno v roce 2004 (423 mm). Maximální roční úhrn srážek byl zjištěn v roce 2010 (892 mm). Průměrné srážky za vegetační období činily 395 mm s minimem 209 mm v roce 2004 a maximem 576 mm v roce 1995.

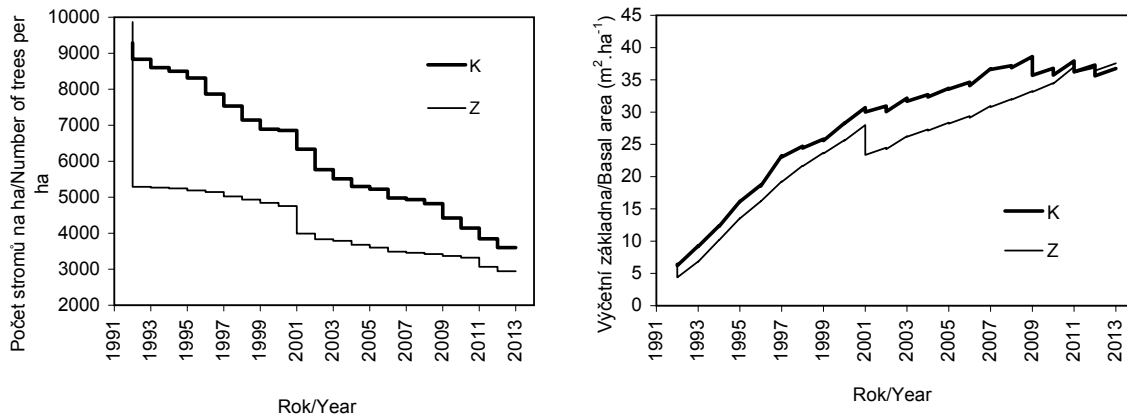


**Obr. 1.**

Roční opad (jehličí a celkově) v mladých borových porostech experimentální série Týniště (věk 8–28 let) v období 1993–2013; K – kontrolní porost bez zásahu, Z – porost s výchovou

**Fig. 1.**

Annual litter-fall (needles and total) in young pine stands of experimental series Týniště (age of 8–28 years) in the period of 1993–2013; K – control stand without thinning, Z – thinned stand



**Obr. 2.**

Počet stromů (vlevo) a výčetní základna (vpravo) v mladých borových porostech experimentální série Týniště v období 1993–2013 (věk 8–28 let); K – kontrolní porost bez zásahu, Z – porost s výchovou

**Fig. 2.**

Number of trees (left) and basal area (right) in young pine stands of experimental series Týniště in the period of 1993–2013 (age of 8–28 years); K – control stand without thinning, Z – thinned stand



**Obr. 3.**

Průměrná teplota vzduchu (°C) a úhrn srážek (mm) za rok (nahore) a za vegetační období duben až září (dole) pro lokalitu Týniště nad Orlicí v období 1993–2013

**Fig. 3.**

Mean air temperature (°C) and sum of precipitation (mm) – annual (above) and in vegetation period (below) from April to September on the Týniště nad Orlicí locality in the period of 1993–2013

Z hodnocení vlivu klimatických charakteristik na množství ročního opadu jsou zřejmé téměř shodné trendy jak pro porost kontrolní, tak pro porost s výchovou (obr. 4). Průměrné teploty v jednotlivých měsících i za roční nebo vegetační období ovlivňovaly množství opadu téměř vždy pozitivně. Nejvyšší korelační koeficient (0,52 až 0,55) byl zjištěn pro vztah ročního množství opadu a průměrných teplot v listopadu. Naopak jediný případ negativní korelace (avšak s velmi nízkou hodnotou korelačního koeficientu) byl detekován pro roční opad a průměrné teploty v říjnu.

Průměrný úhrn srážek v jednotlivých měsících, roce i vegetačním období se ve většině případů projevil negativně na ročním množství opadu. Suché periody jsou zřejmě příčinou většího opadu. Největší korelační koeficient (-0,48 až 0,49) byl zjištěn pro vztah ročního množství opadu a úhrnu srážek v dubnu. U čtyřech měsíců (únor, květen, červen, říjen) byla naopak zjištěna pozitivní korelace mezi měsíčním úhrnem srážek a ročním množstvím opadu.

Nízký úhrn srážek bude pravděpodobně i příčinou velkého nárůstu množství ročního opadu v roce 2009 na variantě s výchovou. V roce 2008 a 2009 byly ročně i za vegetační období zaznamenány silně podprůměrné úhrny srážek. Efekt se projevil silněji na ploše s výchovou, kde je vzhledem k volnějším korunám dlouhodobě i větší biomasa jehličí, která v důsledku suššího období opadla. Dalším, vůbec nejušším rokem ve sledovaném období byl rok 2004. Efekt na množství opadu byl však zřejmě částečně zastíněn dozníváním efektu výchovného zásahu provedeného v roce 2001.

## DISKUSE A ZÁVĚR

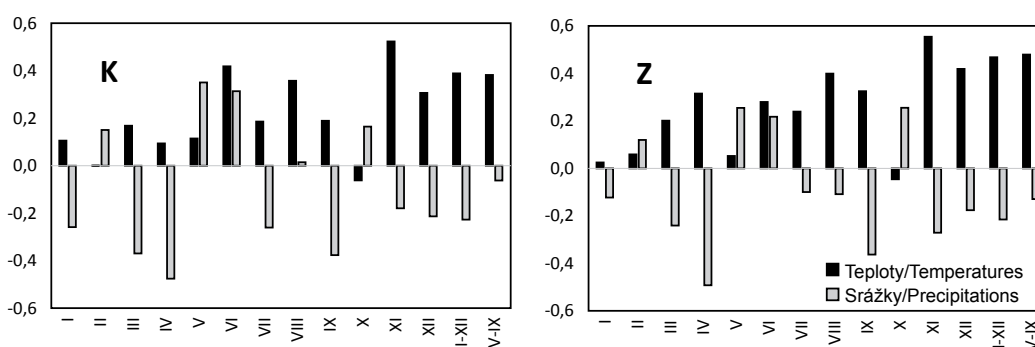
Námi zjištěné množství ročního opadu v mladých borových porostech (ca 4 tuny na hektar) koresponduje s již dříve publikovanými výsledky (ca 0,5 až 6,5 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) z různě starých borových porostů (VIRO 1955; PEŘINA, VINTROVÁ 1958; ALBREKTSON 1988; HOFFMANN, KRAUSS 1988; KUOKI, HOKKANEN 1992; FINER 1996; PAUSAS 1997; BERG et al. 1999; AUGUSTO et al. 2002; BLANCO et al. 2006). Výsledky z experimentální série Týniště potvrdily poměrně značnou meziroční variabilitu opadu. K podobným závěrům došel v porostech *Pinus pinaster* ve Španělsku ROIG et al. (2005). Je tedy zřejmé, že opadové poměry v lesních porostech je třeba sledovat dlouhodobě, aby nedocházelo k chybným interpretacím výsledků získaných pouze několikaletými měřeními.

Struktura opadu se v průběhu sledování měnila, přičemž podíl jehličí v celkovém opadu se s věkem snížil. Důvodem je zřejmě postupné odumírání spodních větví na kmíncích. Podíl jehličí v opadu 60 až 70 % zjistili v porostech borovice lesní ASTEL et al. (2009) a FINER (1996) a v porostech *Pinus massoniana* ZHI et al. (2005).

Průměrný obsah dusíku v opadu se v námi sledovaných mladých borových porostech pohyboval kolem 0,6 %, přičemž rozdíly mezi kontrolním a vychovávaným porostem byly minimální. Oscilaci blízko této hodnoty potvrzují na základě desetiletého sledování opadu borovice lesní také PORTILLO-ESTRADA et al. (2013). Hodnotu 0,42 % dusíku v opadu jehlic uvádí pro borovici lesní BERG 2014. Nesignifikantní vliv výchovy na koncentraci dusíku v opadu zjistil ROIG et al. (2005) v porostech *Pinus pinaster*, kde detekoval 0,4 % dusíku. Nicméně zvýšení koncentrace dusíku v opadu borovice lesní souvisí se ztrátou hmoty opadu dekompozicí, jak dokládá BERG 2014, kde po ztrátě více než 60 % původní hmoty narůstá koncentrace dusíku přibližně dva až třikrát. Ročně se na našem experimentu formou opadu dostalo pod sledované borové porosty v průměru 20–26 kg dusíku na hektar. Menší množství (ca 7 kg) zjistil KAVVADIAS et al. (2001) v porostech *Pinus taeda*. Naopak k hodnotám ročního opadu kolem 20 kg dusíku na hektar dospěl MACK et al. (2014) v porostech *Pinus taeda*.

Naše poznatky o trendu nárůstu opadu spolu s klesající hustotou a rostoucí výčetní základnou jsou v souladu se zjištěním Navarra a kol. (NAVARRO et al. 2013), kteří popisují v mladých porostech *Pinus halepensis* průkaznou lineární závislost množství opadu na hustotě porostů, zápoji, kruhové základně a roční produkci biomasy. Také MATALA et al. (2008) zjistil korelaci mezi opadem a růstem stromů.

Zaznamenaný trend nižšího celkového opadu na variantě s výchovou několik let po provedení zásahu je v souladu s poznatkami autorů NAVARRO et al. (2013) a BLANCO et al. (2008), kteří konstatují vyšší hodnoty opadu v hustších borových porostech kvůli vyšší konkurenci. Podobně KIM et al. (2009) zjistil ve 40letých porostech *Pinus densiflora* nižší vstupy uhlíku z opadu ve vychovávaných porostech ve srovnání s kontrolou. Naopak ve starších, ca 60letých porostech *Pinus pinaster* uvádí RUIZ-PEINADO et al. (2013), že výchova střednědobě nemění celkový obsah uhlíku v půdě. V jiné studii (TIAN et al. 2010) provedené v porostech *Pinus resinosa* autoři konstatují pozitivní vliv výchovy na celkový obsah organického uhlíku v půdě.



Obr. 4.

Korelační koeficienty vztahu mezi ročním množstvím opadu a klimatickými charakteristikami (průměrné teploty vzduchu a úhrny srážek) pro jednotlivé měsíce, rok a vegetační období (duben až září) v kontrolním (K – vlevo) a vychovávaném (Z – vpravo) porostu experimentální série Týniště

Fig. 4.

Correlation coefficients of relationship between annual litter-fall and climate characteristics (mean air temperature and sum of precipitation) for individual months, year and for vegetation period (from April to September) in control (K – left) and thinned (Z – right) stands of experimental series Týniště

V našem experimentu přetrvával efekt prvního zásahu (nižší opad na variantě s výchovou) až osm let. Podobný efekt, avšak kratší (do pěti let po zásahu) zaznamenal v porostech *Pinus resinosa* KIM et al. (1996) a v porostech *Pinus pinaster* ROIG et al. (2005). V obou případech však šlo o zahájení výchovy v pozdějším věku (kolem 30 let) ve srovnání s naším experimentem.

Z naší analýzy je zřejmý trend vyššího opadu v letech s nižšími srážkami a současně s nadprůměrnými teplotami. Podobně BLANCO et al. (2006) prokázal pozitivní korelaci množství opadu se suchem a deficitem vlhkosti. Také FINER (1996) uvádí, že meziroční variace v množství opadu borovice těsně souvisí se sumou efektivních teplot. Ve starších borových porostech byla též zjištěna průkazná závislost množství opadu na průměrných teplotách (MARTINEZ-ALONSO et al. 2007). Ve více než 110letých porostech zaznamenali KUOKI a HOKKANEN (1992) při vyšších průměrných teplotách v červenci vyšší opad v příslušném i v následujícím roce. Také po vyšších teplotách v březnu až dubnu se v témže roce zvýšilo množství opadu v těchto porostech. Dále například signifikantní vliv mrazu na kvantitu a kvalitu opadu v porostech *Pinus taeda* popsal v centrální Číně YANG et al. (2014).

Na rozdíl od listnáčů, kde hmota listův narůstá a opadá každoročně, u borovice se do opadu dostávají starší ročníky jehlic. Naše analýzy klimatických efektů na množství opadu tak mají vzhledem k tomu omezený rozsah. Pro další analýzy by bylo vhodné šetření zaměřit i na vztahy mezi množstvím ročního opadu a klimatickými charakteristikami z předešlých let. Například ve Finsku (LEHTONEN et al. 2008) bylo zjištěno, že opad v borových porostech je ovlivněn produkcí jehličí před 4 až 6 lety.

Na základě provedeného sledování opadu v mladých borových porostech lze konstatovat:

- V porostech borovice do 30 let věku každoročně opadá 2 až 8 tun (průměr 4 tuny) sušiny na hektar.
- Podíl dusíku v opadu tvoří ca 0,6%, což znamená, že pod mladé borové porosty se každoročně spolu s opadem dostává v průměru 24 kg dusíku na hektar.
- Množství opadu se významně mění (trend nárůstu) se zvyšující se výčetní základnou porostů a s ubýváním ustupujících podúrovňových jedinců.
- Výchovný zásah provedený v mladém porostu se může projevit snížením ročního opadu až v osmi následujících letech. Na koncentraci dusíku (v %) v opadu se výchovný zásah neprojevil. Snížení jeho množství v opadu (v kg na hektar) ve vychovaném porostu (na ca 75 % vůči kontrole) je dáno průměrně nižším celkovým objemem opadu v porostu s výchovou. V posledních letech, kdy je zaznamenán větší objem nahodilé těžby na kontrolní ploše bez výchovy, se množství opadu v obou sledovaných porostech vyrovnává, nebo je i vyšší v porostu vychovaném.
- Množství ročního opadu může být ovlivněno klimatickými faktory, přičemž průměrné teploty korelují s ročním množstvím opadu pozitivně a úhrny srážek negativně.

Popsané trendy je třeba potvrdit dalším výzkumem, s přiměřenou dobou sledování a zároveň na větším spektru stanovišť. Problematika živinových cyklů dřevin a jejich ovlivnění lesním hospodářstvím se dostává do popředí zájmu výzkumu i lesnické praxe také vzhledem k nárůstu objemů spalované biomasy těžebních zbytků (viz např. SMO-LANDER et al 2012).

#### Poděkování:

Článek byl zpracován v rámci poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0115 (č. j. 5774/2015- MZE-17011).

## LITERATURA

- AGREN G.I., KNECHT R.E. 2001. Simulation of soil carbon and nutrient development under *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta*. *Forest Ecology and Management*, 141: 117–129.
- ALBREKTSON A. 1988. Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* L. in Sweden, in relation to site quality, stand age and latitude. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3: 333–342.
- ASTEL A., PARZYCH A., TROJANOWSKI J. 2009. Comparison of litterfall and nutrient return in a *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* and an *Empetro nigri-Pinetum* forest ecosystem in northern Poland. *Forest Ecology and Management*, 257: 2331–2341.
- AUGUSTO L., RANGER J., BINKLEY D., ROTHE A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59: 233–253.
- BERG B., ALBREKTSON A., BERG M.P., CORTINA J., JOHANSSON M.-J., GALLARDO A., MGADEIRA M., PAUSAS J., KIRATZ W., VALLEJO R., MCCLAUGHERTY C. 1999. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Annals of Forest Science*, 56 (8): 625–639.
- BERG B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133: 13–22.
- BERG B., MCCLAUGHERTY C., SANTO A.V. DE, JOHNSON D. 2001. Humus buildup in boreal forests: effects of litter fall and its N concentration. *Canadian Journal of Forest Research*, 31 (6): 988–998.
- BERG B., MEENTEMEYER V. 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 31 (2): 292–301.
- BERG B. 2014. Foliar litter decomposition: a conceptual model with focus on pine (*Pinus*) litter - a genus with global distribution. *ISRN Forestry*, 2014: Article ID 838169. Dostupné na: <http://www.hindawi.com/journals/isrn/2014/838169/>
- BLANCO J.A., ZAVALA M.A., IMBERT J.B. et al. 2005. Sustainability of forest management practices: evaluation through a simulation model of nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, 213: 209–228.
- BLANCO J.A., IMBERT J.B., CASTILLO F.J. 2006. Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 237: 342–352.
- BLANCO J.A., IMBERT J.B., CASTILLO F.J. 2008. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. *Forest Ecology and Management*, 256: 1840–1852.
- BLANCO J.A., IMBERT J.B., CASTILLO F.J. 2009. Thinning affects nutrient resorption and nutrient-use efficiency in two *Pinus sylvestris* stands in the Pyrenees. *Ecological Applications*, 19: 682–698.
- BLANCO J.A., BOSCO I.J., CASTILLO F.J. 2011. Thinning affects *Pinus sylvestris* needle decomposition rates and chemistry differently depending on site conditions. *Biochemistry*, 106: 397–414.
- COUSENS J.E. 1988. Report of a twelve-year study of litter fall and productivity in a stand of mature scots pine. *Forestry*, 61: 255–266.
- CSONTOS P., ROCCHINI D., BACARO G. 2007. Modelling factors affecting litter mass components of pine stands. *Community Ecology*, 8: 247–255.
- FINER L. 1996. Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L stand growing on a bog. *Forest Ecology and Management*, 80: 1–11.
- HOFFMANN H., KRAUSS H.H. 1988. Streufallmessungen in gedüngten und ungedüngten mittelalten Kiefernbeständen auf Tieflandstandorten der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 22: 97–100.

- JONCZAK J., PARZYCH A. 2012. Impact of Scots pine admixture in European beech stand on dissolved organic carbon and nitrogen leaching from organic and humic horizons of dystric arenosols in northern Poland. *Journal of Forest Science*, 58, (6): 278–286.
- JONES J.B., WOLF B., MILLS H.A. 1991. *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens, Georgia, Micro-Macro Publishing: 213 s.
- JURGENSEN M., TARPEY R., PICKENS J. et al. 2012. Long-term effect of silvicultural thinnings on soil carbon and nitrogen pools. *Soil Science Society of America Journal*, 76: 1418–1425.
- KAVVADIAS V.A., ALIFRAGIS D., TSIONTSIS A., BROFAS G., STAMATELOS G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecology and Management*, 144: 113–127.
- KIM C., SHARIK T.L., JURGENSEN M.F. 1996. Litterfall, nitrogen and phosphorus inputs at various levels of canopy removal in oak and pine stands in northern Lower Michigan. *American Midland Naturalist*, 135: 195–204.
- KIM C.S., SON Y., LEE W.K., JEONG J.Y., NOH N.J. 2009. Influences of forest tending works on carbon distribution and cycling in a *Pinus densiflora* S. et Z. stand in Korea. *Forest Ecology and Management*, 257: 1420–1426.
- KUOKI J., HOKKANEN T. 1992. Long-term needle litterfall of a Scots pine *Pinus sylvestris* stand - relation to temperature factors. *Oecologia*, 89: 176–181.
- LEHTONEN A., LINDHOLM M., HOKKANEN T., SALMINEN H., JALKANEN R. 2008. Testing dependence between growth and needle litterfall in Scots pine – a case study in northern Finland. *Tree Physiology*, 28: 1741–1749.
- MACK J., HATTEN J., SUCRE E., ROBERTS S., LEGGETT Z., DEWEY J. 2014. The effect of organic matter manipulations on site productivity, soil nutrients, and soil carbon on a southern loblolly pine plantation. *Forest Ecology and Management*, 326: 25–35.
- MARTINEZ-ALONSO C., VALLADARES F., CAMARERO J.J. 2007. The uncoupling of secondary growth, cone and litter production by intradecadal climatic variability in a Mediterranean Scots pine forest. *Forest Ecology and Management*, 253: 19–29.
- MATALA J., KELLOMAKI S., NUUTINEN T. 2008. Litterfall in relation to volume growth of trees: analysis based on literature. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23: 194–202.
- NAVARRO F.B., ROMERO-FREIRE A., DEL CASTILLO T., FORONDA A., JIMENEZ M.N., RIPOLL M.A., SANCHEZ-MIRANDA A., HUNTSINGER L., FERNANDEZ-ONDONO E. 2013. Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels. *Forest Ecology and Management* 289: 354–362.
- PAUSAS J.G. 1997. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *Journal of Vegetation Science*, 8: 643–650.
- PEŘINA V., VINTROVÁ E. 1958. Vliv opadu na humusové poměry borových porostů na pleistocenních píscích. *Lesnictví*, 4: 673–688.
- PORTILLO-ESTRADA M., KORHONEN J.F.J., PIHLATIE M., PUMPANEN J., FRUMAU A.K.F., MORILLAS L., TOSENS T., NIINEMETS Ü. 2013. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests. *Annals of Forest Science*, 70: 367–379.
- PRESCOTT C.E., VESTERDAL L., PRESTON C.M., SIMARD S.W. 2004. Influence of initial chemistry on decomposition of foliar litter in contrasting forest types in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (8): 1714–1729.
- ROIG S., RIO M. DEL, CANELLAS I., MONTERO G. 2005. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 206: 179–190.
- RUIZ-PEINADO R., BRAVO-OVIEDO A., LOPEZ-SENEPLEDA E., MONTERO G., RÍO M. 2013. Do thinnings influence biomass and soil carbon stocks in Mediterranean maritime pinewoods? *European Journal of Forest Research*, 132: 253–262.
- SANTA-REGINA I., TARAZONA T. 2000. Nutrient return to the soil through litterfall and throughfall under beech and pine stands of Sierra de la Demanda, Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14: 239–252.
- SLODIČÁK M., NOVÁK J., DUŠEK D. 2011. Canopy reduction as a possible measure for adaptation of young Scots pine stand to insufficient precipitation in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 262: 1913–1918.
- SMOLANDER A., KANERVA S., ADAMCZYK B., KITUNEN V. 2012. Nitrogen transformations in boreal forest soils - does composition of plant secondary compounds give any explanations? *Plant and Soil*, 350: 1–26.
- SUKOVATA L., KOLK A., KAROLEWSKI P., SMOLEWSKA M., ISIDOROV V. 2010. Effect of the Scots pine defoliation by herbivorous insects on chemical composition of needles, litter and soil. *Sylwan*, 154: 639–648.
- TIAN D-L., PENG Y-Y., YAN W-D., FANG X., KANG W-X., WANG G-J., CHEN X-Y. 2010. Effects of thinning and litter fall removal on fine root production and soil organic carbon content in Masson pine plantations. *Pedosphere*, 20: 486–493.
- TURNER M.D., BROOKS P.D. 1992. Evaluation of the use of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digestions for the elemental analysis of plant-tissue by ICP spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23: 559–568.
- UKONMAANAHO L., MERILÄ P., NÖJD P., NIEMINEN T.M. 2008. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research*, 13: 67–91.
- VIRO P.J. 1955. Investigation on forest litter. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 45: 65 s.
- YANG Q., XU M., CHI Y., ZHENG Y., SHEN R., WANG S. 2014. Effects of freeze damage on litter production, quality and decomposition in a loblolly pine forest in central China. *Plant Soil*, 374: 449–458.
- ZHI A.L., ZOU B., XIA H.-P., REN H., MO J.-M., WENG H. 2005. Litterfall dynamics of an evergreen broadleaf forest and a pine forest in the subtropical region of China. *Forest Science*, 51: 608–615.

## LITTER-FALL IN YOUNG SCOTS PINE STANDS

### SUMMARY

Litter-fall consisting of dead biomass is an important component of nutrient cycling in forest ecosystems. In the Czech Republic, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is the second important commercial conifer species. Since the nutrient cycling in pine stands has not been fully understood, the objective of our study focuses on how litter-fall is affected by silvicultural operations (thinning) and climatic conditions.

Research started in 6-year-old pine stand in 1991. The stand was planted at initial density 10,000 plants per hectare on nutrient-poor *Pineto-Quercetum oligotrophicum (arenosum)* ecosite. The experiment is at the altitude of 260 m and consists of two treatments (thinning and control). In 1992, the stand was thinned both systematically (every 5<sup>th</sup> line was removed) and selectively (negative selection from below in remaining pines); 47% of trees representing 31% of basal area were removed. Nine years later, 16% of trees (17% of basal area) were removed using a positive selection from above. Litter-fall investigation started when 0.25 m<sup>2</sup> collectors were installed within the treatments (5 collectors per treatment). Annual litter-fall dry mass and nitrogen content data were used from the period of 1993–2013. Relationship between litter-fall amount, development of the stand (number of trees, basal area) and climatic characteristics (precipitation and air temperatures) were also investigated.

Lower amounts of litter-fall were attributable to thinning compared to control (Fig. 1). Maximum difference was observed in 1995 and 1996. Dry mass from thinned plot amounted 66–67% of the control litter-fall. The difference diminished and became nearly equal in 2001. In that year, the stand was thinned again; litter-fall then equaled again in 2008.

Both treatments showed continual reduction of trees number with increasing basal area (Fig. 2). As for control treatment, the trees' density was reduced via salvage cut. The greatest basal area reduction (7%) was attributable to snow disaster in 2010. As for thinned treatment, the breakage by snow was found negligible in that year, so the thinned stand was affected mainly by deliberate thinning in 1992 and 2001.

Dry years increased amount of litter-fall; this effect was found greater in thinned treatments. This is attributable to greater crowns of remaining pines with greater amounts of foliage (Fig. 3).

On the basis of our results it can be concluded that:

- 7–30-year-old pine stand produced 2–8 tons (mean 4 tons) of dry mass litter-fall per hectare.
- The pine litter-fall was 0.6% nitrogen, i.e. 25 kg of nitrogen per hectare enters soil surface annually.
- Amount of litter-fall increased with increasing basal area and with reduction of suppressed trees.
- Thinning of young stand can influence annual litter-fall over following 8 years. Nitrogen concentration (%) was not affected by thinning. Decreased nitrogen amount per hectare (75% compared to control) is related to lower litter-fall amount in thinned treatment. In the last years, salvage cut occurred in control treatment. This equaled the amount of litter-fall in both treatments; higher amounts in thinned plot were also found.
- Amount of annual litter-fall can be affected by climate in particular periods; mean temperatures were correlated positively and sums of precipitation were correlated negatively with the amount of annual litter-fall (Fig. 4).

Described trends should be confirmed in other long-term experiments; further research on various sites is needed.