

# PRODUKČNÍ CHARAKTERISTIKY BOROVICE LESNÍ V ČESKÉ REPUBLICE NA ZÁKLADĚ INFORMACÍ Z DRUHÉHO CYKLU NÁRODNÍ INVENTARIZACE LESŮ (2011-2015)

## PRODUCTION CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE IN THE CZECH REPUBLIC BASED ON DATA OF THE 2<sup>ND</sup> CYCLE OF NATIONAL FOREST INVENTORY (2011-2015)

TOMÁŠ ČIHÁK ✉ - MONIKA VEJPUŠTKOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

✉ e-mail: [cihak@vulhm.cz](mailto:cihak@vulhm.cz)

### ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the Scots pine production and growth characteristics in different site conditions given by the affiliation of the inventory plots to ecological series and forest vegetation altitudinal zones (FVAZ). Tree measurements from the second cycle of National forest inventory (NFI) were used as input data. The evaluation was based on static growth models of diameter at breast height, tree height and volume of mean stem. Scots pine has the greatest production potential on variohumida series, the potential of acid sites is lower compared to the trophic sites. Based on the volume of mean stem at the age of 100 years, the highest production potential of pine stands is on humid sites and in the 4<sup>th</sup> FVAZ. The observed age of culmination of average volume increment indicates that the optimal age of quantitative felling maturity is in some cases lower than the age of felling maturity derived from the site index curves of valid yield tables. Acceleration in the volume growth was observed for the young stands up to 50 years of age.

For more information see Summary at the end of the article.

**Klíčová slova:** *Pinus sylvestris*; růst; přírůstek; produkce; růstové modely; Korfova růstová funkce

**Key words:** *Pinus sylvestris*; growth; increment; production; growth models; Korf's growth function

### ÚVOD

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je významnou hospodářskou dřevinou. Oblast jejího výskytu zahrnuje velkou část Eurasie vymezenou přibližně rovnoběžkami 37°N a 70°20'N. Zároveň je borovice dřevina se širokou ekologickou amplitudou. Je schopna prosperovat v oblastech s výskytem až 100 mrazových dní v roce a ročním úhrnem srážek minimálně 300 mm. Její výskyt v oblasti centrální Asie je limitován délkou period sucha. V jižní Evropě a Malé Asii se její výskyt omezuje na horské oblasti (výše než 2 200 m n. m. na Balkáně a 2 700 m n. m. v oblasti Kavkazu) (MÁTYÁS et al. 2004).

V Evropě se borovice lesní vyskytuje na ploše převyšující 28 mil. ha, tedy přibližně 20 % plochy hospodářského lesa. Jedná se o dřevinu s pionýrskou strategií růstu. Úspěšně obsazuje plochy po disturbancích jak antropogenního, tak přírodního původu. Jedná se o dřevinu tolerantní k suchu a nenáročnou na živiny (EILMANN et al. 2009; CAMARERO et al. 2015; PRETZSCH et al. 2015). KINT et al. (2012) upozorňuje na citlivost borovice k přísuškům na počátku vegetační sezony,

projevující se snížením tloušťkového přírůstu. Pozitivní efekt zvýšené depozice dusíku na přírůstek dokumentovaný některými autory (MELLERT et al. 2008) však nepotvrzuje. Zrychlení přírůstu borovice v Evropě, jež dokumentuje KAHLE (2008), autoři připisují spíše působení klimatických faktorů.

Borovice tvoří v mnoha případech stejnorodé porosty, ale výjimkou není ani její výskyt ve směsích s dalšími listnatými i jehličnatými dřevinami, jako je dub letní a dub zimní, buk lesní, bříza bělokora, smrk ztepilý nebo jedle bělokora (HOUSTON DURRANT et al. 2016).

Mnozí autoři upozorňují i na její toleranci k projevům klimatických změn (WALTHER et al. 2002; REYER et al. 2014), nicméně v budoucnu je nutné počítat s poklesem její produkce (HANEWINKEL et al. 2013). V souvislosti s nepříznivým vývojem zdravotního stavu borových porostů v období extrémního dlouhotrvajícího sucha (2015 – dosud) je zřejmé, že bude nutné některá z těchto zjištění přehodnotit.

Výskyt autochtonních populací borovice lesní je v České republice omezen na extrémní stanoviště, jako jsou sutě, skalnaté výchozy nebo

písečné přesypy. Často se jedná o suchá místa s mělkou vrstvou půdy, ale borovice je schopna přežít i na extrémně vlhkých a kyselých stanovištích, jako jsou např. lemy rašeliníšť (MUSIL, HAMERNÍK 2007).

ŠINDELÁŘ (1991) rozlišuje v České republice dva ekotypy borovice lesní. Pahorkatinný typ borovice, který roste v 1.–4. lesním vegetačním stupni (LVS), je náchylný k poškození ledovkou a mokřím sněhem a je tolerantní k suchu. Horský ekotyp prosperuje na stanovištích 5.–7. LVS. Dobře snáší horské klima a hůře epizody sucha. Ve srovnání s pahorkatinným ekotypem se vyznačuje vyšší morfologickou variabilitou.

V České republice je borovice lesní po smrku ztepilém druhou nejrozšířenější dřevinou. Dle „Zelené zprávy“ (MZe 2019) činí její podíl v lesních porostech 16,2 % (422 243 ha). Šetření druhého cyklu národní inventarizace lesů (NIL 2) uvádí pro zastoupení borovice v letech 2011–2015 hodnotu 9,8 % ( $\pm 0,5$  %), a řadí ji tak na třetí místo po smrku ztepilém a buku lesním. Její zastoupení se v českých lesích snižuje. Mezi šetřeními v rámci prvního (2001–2004) a druhého (2011–2014) cyklu NIL došlo k poklesu o  $0,9 \pm 0,2$  procentního bodu (p. b.). Největší pokles se udal v Libereckém kraji ( $-2,5 \pm 1$  p. b.). V rámci ČR se nejvíce snížilo zastoupení borovice ve věkové třídě 1–20 let ( $-6,4 \pm 2,6$  p. b.). Její zastoupení v rámci věkových tříd se v intervalu 1–100 let pohybuje v rozmezí  $12,5 \pm 2,6$  % –  $19,5 \pm 2,4$  %. Nejvyššího zastoupení dosahuje v Západočeském ( $17,9 \pm 2,1$  %), Jihočeském ( $15,8 \pm 1,6$  %), Libereckém ( $15,5 \pm 3$  %) a Středočeském kraji ( $15,1 \pm 1,9$  %). Celková zásoba dřeva činí  $120,2 \pm 5,4$  mil.  $m^3$  b. k. (KUČERA et al. 2019). Šetření CZECHTERRA (2015) uvádí zastoupení borovice lesní v ČR  $9,8 \pm 1,34$  % a celkovou zásobu  $129,52 \pm 14,8$  mil  $m^3$  b. k. Souhrnný lesní hospodářský plán 2018 (SIL 2018) uvádí zásobu cca 106 mil.  $m^3$  b. k. a zastoupení 15,95 %. Její roční podíl na celkových těžbách v roce 2018 činil 17,38 %. Podle šetření NIL činí tento podíl 11,7 %. Přes rozdíly ve výstupech jednotlivých šetření je význam borovice pro lesní hospodářství ČR zřejmý.

Analýzou výškového přírůstu borovice v ČR a jeho porovnáním s vybranými statickými růstovými modely se zabýval SEQUENS (1994). Aktuální růstové tabulky pro ČR sestavil ČERNÝ et al. 1996. Starší růstové modely pro borovici parametrizovali např. HALAJ, ŘEHÁK (1979)

a ŘEHÁK (1981). Statické růstové modely obvykle predikují vývoj růstových veličin v závislosti na věku. Pro modelování vývoje lesních porostů je v současnosti využívána celá řada simulátorů vývoje lesa (PRETZSCH et al. 2008), přesto zůstávají statické růstové modely cenným materiálem pro analýzy trendů růstu lesních dřevin v minulosti a pro jejich porovnání se současným stavem (FABRIKA 2005).

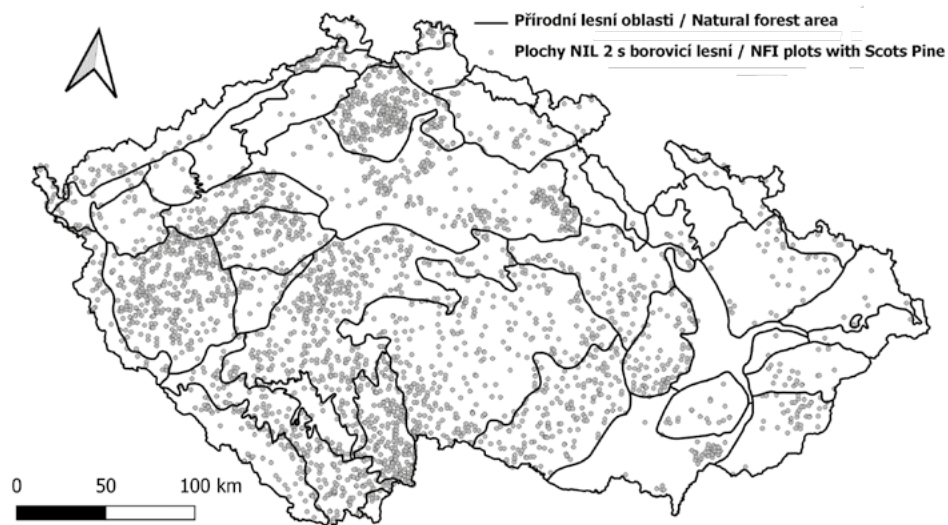
Předkládaná studie vychází z výsledků získaných v rámci šetření NIL 2. Zjišťování stavu lesa pomocí inventarizačních šetření je v současnosti standardem ve většině vyspělých zemí a výstupy nacházejí uplatnění v mnoha aplikacích (MUUKKONEN, HEISKANEN 2005; BRUS et al. 2012; VAUHKONEN et al. 2019). Pravidelná inventarizace lesů začala v ČR tzv. prvním cyklem NIL (NIL 1) v letech 2001–2004. Následoval druhý cyklus (NIL 2), který proběhl v letech 2011–2015 (KUČERA et al. 2019).

Cílem studie je vyhodnocení produkčních charakteristik borovice lesní v České republice v různých stanovištních podmínkách daných příslušností inventarizačních ploch k ekologickým řadám a lesním vegetačním stupňům. Vyhodnocení je provedeno na základě statických růstových modelů výčetní tloušťky, výšky a objemu středního kmene. Cílem nebylo vytvořit nové „růstové tabulky“, ale na základě ověřených statistických postupů prozkoumat produkční potenciál současných porostů borovice lesní v různých stanovištních podmínkách. Studie je zaměřena primárně na produkci. V současné době však vystupuje do popředí i otázka udržitelnosti produkce. Ze vstupních dat lze vytěžit např. informace vztahující se k mechanické stabilitě porostů borovice. Tato analýza jde nicméně nad rámec této studie a bude předmětem dalšího odborného sdělení.

## METODIKA

### Vstupní data

Do analýzy bylo zahrnuto celkem 3564 ploch (resp. podploch) NIL 2 s výskytem borovice lesní (obr. 1). Analýza byla provedena na stromových datech. V předkládané práci je termín „strom“ totožný s termí-



**Obr. 1.**  
Rozmístění ploch NIL 2 s výskytem borovice lesní v ČR

**Fig. 1.**  
National forest inventory (NFI) plots with Scots pine in the Czech Republic

nem kmen, vymezeným v metodice NIL. Základní soubor zahrnuje 55 743 měření výčetních tloušťek (v cm, měřených s přesností 0, 1 cm) a 8432 výšek (v m, měřených s přesností 0, 1 m). Vstupní databáze obsahuje na úrovni stromu informace o věku, lesním vegetačním stupni, ekologické řadě, edafické kategorii, expozici a o zastoupení borovice na ploše vypočítané z kruhové výčetní základny.

Mezi analyzovanými plochami NIL mírně převládají porosty se zastoupením borovice 70–100 % (1362 ploch). Stejnorodé porosty (zastoupení 100 %) se vyskytují na celkem 792 plochách. Počet borových ploch je nejvyšší ve 3. LVS (1264 ploch), poté jejich počet klesá až do 7. LVS, kde se borovice lesní vyskytuje již jen sporadicky (6 ploch) (tab. 1). Nejvyšší počet ploch byl zaznamenán na stanovištích kyselé ekologické řady (1761 ploch), významné zastoupení mají i stanoviště řady živné (1081 ploch) a oglejené (512 ploch). Přejídná edafická kategorie S byla zahrnuta do živné řady. Detailní informace o počtu ploch v edafických kategoriích a o počtu měřených stromů v ekologických řadách a LVS obsahuje tab. 2. Počty stromů s měřením výšek a tloušťek se liší, stejně tak se liší i jejich zastoupení ve věkových třídách. Z hlediska počtu vzorníků jsou ale všechny věkové kategorie pokryty dostatečným počtem měření (obr. 2). Většina vzorníků roste na stanovištích se sklonem svahu do 5° (53 %). Na stinných a chladných stanovištích charakterizovaných expozicí SZ – V se nachází 19 % vzorníků, 28 % vzorníků pak roste na plochách teplých a slunných (JV – Z). Nejvyšší počet ploch s borovicí se nachází v přírodní lesní oblasti (PLO) 10 a 6 (Středočeská a Západočeská pahorkatina). Významné zastoupení má rovněž v PLO 16 Českomoravská vrchovina. V jižní části republiky lze jako těžiště výskytu označit oblast Jihočeských pánví (PLO 15) v severní části pak Severočeskou pískovcovou plošinu a Český Raj (PLO 18).

### Analýzy

Analýza produkčních charakteristik byla provedena na základě vyhodnocení statických růstových modelů (růstových křivek). Hodnocení zahrnuje analýzy výčetních tloušťek, výšek, objemu středního kmene a jejich přírůstů v ekologických řadách, resp. v lesních vegetačních stupních. V předkládané práci jsou prezentovány výsledky získané na úrovni ekologických jednotek (PRŮŠA 2001) a je používána typologická klasifikace podle VĚWEGHA et al. (2003).

V první fázi byly parametrizovány statické růstové modely tloušťek a výšek pro LVS a ekologické řady. Pro parametrizaci růstového modelu byla použita Korfova růstová funkce (KORF 1961, vzorec 1). Hodnoty výškových bonit jsou uvedeny v m, tloušťkových bonit v cm. Pro každý model byla vypočtena hodnota střední kvadratické chyby (RMSE) a koeficientu determinace ( $R^2$ ). Výsledné parametry modelů byly vloženy do přírůstových funkcí a z nich byly zjištěny hodnoty doby kulminace tloušťkového a výškového přírůstu ( $t_1$ ,  $t_2$ ). Dále byla zjištěna absolutní tloušťková a výšková bonita v 50 a ve 100 letech věku ( $d_{50}$ ,  $d_{100}$ ,  $h_{50}$ ,  $h_{100}$ ). Výstupy modelů byly dále použity pro výpočet objemu hrubí b. k. středního kmene (PETRÁŠ, PAJTIK 1991) pro ekologické řady a lesní vegetační stupně. Z objemů středního kmene byly za použití Korfovy růstové funkce následně kalkulovány hodnoty běžného a průměrného objemového přírůstu.

$$y = A \times e^{\frac{k}{(1-n) \times t^{n-1}}}, \quad (1)$$

kde

$y$  = růstová veličina

$A$ ,  $k$ ,  $n$  = parametry funkce

$t$  = věk

Parametrizace růstových modelů, statistické analýzy a grafické výstupy byly zpracovány v prostředí programu Statistica v. 12, modul „Nelineární odhady“ (Statsoft 2013). Mapové výstupy byly vytvořeny

v programu QGIS v. 6.6.1. Doplňkové analýzy a grafy byly zpracovány v prostředí MS Excel.

## VÝSLEDKY

Parametry růstových modelů tloušťek pro ekologické řady a LVS obsahují tab. 3 a 4. Všechny tři parametry jsou statisticky významné u růstových funkcí odvozených pro celou ČR, kyselou, živnou a oglejenou řadu a pro 2.–5. LVS. Hodnoty RMSE se nachází v rozmezí 5,7–8,3; hodnoty  $R^2$  v rozmezí 0,27–0,62. Nejvyšší hodnota tloušťkové bonity  $d_{100}$  byla zjištěna na stanovištích obohacených vodou (39,2) a v 6. LVS (34,7). Průměrná tloušťková bonita  $d_{100}$  odvozená na základě modelu pro celou ČR dosahuje hodnoty 31,6.

Průměrná výšková bonita borovice  $h_{100}$  v ČR je 25,1. Nejvyšších hodnot dosahuje na podmáčených a oglejených stanovištích (26,7 a 26,5), nejnižší hodnoty byly zjištěny na lokalitách extrémní a rašelinné řady (18,7 a 19,7). Hodnoty RMSE jsou v rozmezí 3,4–5,4. U růstových modelů výšek a tloušťek jsou statisticky významné všechny parametry modelu pro ČR, živnou, kyselou a oglejenou řadu a pro 2.–4. LVS (tab. 5 a 6). Grafické znázornění modelů tloušťek a výšek je na obr. 3.

Produkční potenciál byl hodnocen na základě věku kulminace průměrného objemového přírůstu a na základě objemu středního kmene ve 100 letech věku. Průměrný objemový přírůst středního kmene ( $iV_{100}$ ) pro celou ČR kulminuje ve 100 letech. V závislosti na ekologické řadě se věk kulminace průměrného přírůstu objemu středního kmene nachází v rozsahu od 57 let na extrémních do 223 let na rašelinných stanovištích. S výjimkou extrémních stanovišť je ale vždy vyšší než 100 let. Ze stanovišť živné, kyselé a oglejené řady, tedy v ČR nejvíce zastoupených, má borovice největší produkční potenciál na oglejené řadě, potenciál kyselých stanovišť je ve srovnání se živnou řadou nižší (tab. 7; obr. 4A).

Při hodnocení podle vegetační stupňovitosti vykazují nejvyšší produkční potenciál borové porosty ve 4. a 6. LVS. Z hlediska produkce se jeví jako perspektivní také porosty ve 3. LVS, kde dochází ke zpomalení průměrného přírůstu až ve věku 131 let (tab. 8; obr. 4B).

Průběh růstové křivky objemu středního kmene odvozené z dat NIL se nejvíce blíží křivkám objemu středního kmene, odvozeným pro bonity 24–26 platných růstových tabulek pro Českou republiku (obr. 5A). Porovnání věku kulminace průměrného objemového přírůstu podle bonit je znázorněno na obr. 5B.

## DISKUSE

Výsledky analýz prezentované v této studii byly porovnány se stávajícími růstovými tabulkami platnými pro ČR (ČERNÝ et al. 1996). Průměrná růstová křivka objemu středního kmene se svým průběhem nejvíce blíží bonitám 24, 26 a 28 růstových tabulek (obr. 5A). Odlišuje se rychlejším růstem porostů do 50 let a pomalejším růstem ve vyšším věku. Právě rychlejší růst mladých porostů je charakteristický pro všechny zkoumané skupiny ploch (LVS i ekologické řady). Rychlejší přírůst lesních dřevin je přičítán působení celé řady faktorů, jako jsou zvýšené depozice dusíku (DE VRIES et al. 2014), zvýšené koncentrace  $CO_2$  (SOULÉ, KNAPP 2006), působení klimatických změn (NEMANI et al. 2003) nebo vliv managementových opatření (LINDNER et al. 2010). Zrychlení růstu nelze ale hodnotit pouze pozitivně. V souvislosti s rychlejším růstem a přestíháním porostů může docházet ke zvýšení jejich zranitelnosti vůči poškození sněhem (NOVÁK et al. 2013). Problematický z hlediska stability porostů, ale i z hlediska množství akumulovaného uhlíku, může být i mírný, ale trvalý pokles hustoty dřeva borovice (-5,4 % od roku 1870), na který ve střední Evropě upozorňuje PRETZSCH et al. (2018).

**Tab. 1.**

Distribuce ploch borovice lesní v lesních vegetačních stupních dle kategorie zastoupení  
Distribution of plots with Scots pine in forest vegetation zones by the proportion categories

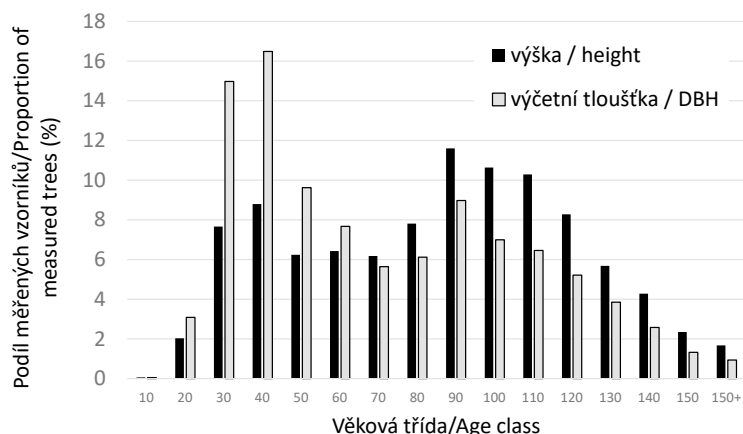
Zastoupení borovice lesní/ Scots pine share (%)	Lesní vegetační stupeň/Forest vegetation zone							Nezjištěn/ Not determined
	1	2	3	4	5	6	7	
10–30	24	151	317	198	146	64	5	68
30–70	42	236	433	232	174	46	1	65
70–100	138	344	514	197	84	27	0	58
Suma	204	731	1264	627	404	137	6	191

**Tab. 2.**

Distribuce ploch borovice lesní v lesních vegetačních stupních a ekologických řadách, resp. edafických kategoriích s uvedením počtu měřených stromů (výčetní tloušťka DBH a výška H)

Distribution of plots with Scots pine in forest vegetation zones by the ecological series and edaphic categories respectively with indication of the number of measured trees (diameter at breast height DBH and tree height H)

Ekologická řada/ Ecological series	Edafická kategorie/ Edaphic category	Lesní vegetační stupeň/Forest vegetation zone							Nezjištěno/ Not determined	Počet ploch/N plots	Počet stromů DBH/N trees DBH	Počet stromů H/N trees H
		1	2	3	4 N ploch N plots	5	6	7				
Extrémní/Extreme	X											
	Y		3	5	5	1	2	1	34	399	77	
	Z	1	5	8		2		1				
Kyselá/Acid	M	37	46	64	24	7	1	5	1764	32101	4482	
	K	39	243	497	216	238	71	3	42			
	N		13	29	16	34	9	1				
	I	1	43	66	8	5	2	4				
Živná/Trophic	S	74	148	280	120	67	6	55				
	F		5	1	2	3		2				
	S	5	33	21	4			12	1081	13953	2331	
	B	5	51	61	26			13				
	W		3	1								
	H	7	32	34	3	2		5				
Obohacená humusem/ Acerosa	D	4	8	7	4	2		4				
	A	1	5	5	1				46	378	83	
	J		3	1				1				
Obohacená vodou/ Fraxinosa	L	1		3	1	4	3	6				
	U		1					1	42	313	77	
	V		3	5	3	3	5	3				
Oglejená/Variohumida	O	10	18	52	18	10	8	9				
	P	14	48	87	114	19	22	1	18	511	7479	1221
	Q	5	18	17	18	3	2					
Podmáčená/Paludosa	T		1	3	1			3				
	G		1	14	27	4	6	5	65	800	118	
Rašelinná/Turfosa	R			3	16			2	21	320	43	
Počet ploch/N plots		204	731	1264	627	404	137	6	191			
Počet stromů DBH/ N trees DBH		4573	15183	20357	8255	4142	1323	28	1882			
Počet stromů H/ N trees H		516	1838	3052	1440	908	300	7	371			



**Obr. 2.** Relativní počty tloušťkových a výškových měření vzorníků ve věkových stupních

**Fig. 2.** Proportion of measured trees (tree height and diameter at breast height) in individual age classes

**Tab. 3.**

Parametry růstových funkcí pro tloušťky podle ekologických řad, n – počet vzorníků, RMSE – střední kvadratická chyba (v cm), A, k, n – parametry funkce,  $t_1$  – věk kulminace běžného přírůstu,  $t_2$  – věk kulminace průměrného přírůstu,  $d_{50}$  – tloušťka v 50 letech,  $d_{100}$  – tloušťka ve 100 letech

Parameters of growth functions derived for diameter at breast height (DBH) according to ecological series, n – number of trees, RMSE – root mean square error,  $R^2$  – coefficient of determination, A, k, n – parameters,  $t_1$  – the age of culmination of current increment,  $t_2$  – the age of culmination of mean increment,  $d_{50}$  – DBH at the age of 50 years,  $d_{100}$  – DBH at the age of 100 years

Ekologická řada/ Ecological series	n	RMSE (cm)	A	k	n	$t_1$	$t_2$	$d_{50}$	$d_{100}$
Extrémní/Extremum	399	7,2	83,874	1,70634	1,3353	2	5	21,3	28,3
Kyselá/Acidophylum	31872	6,4	<b>156,8297</b>	<b>1,5331</b>	<b>1,2696</b>	2	5	21,7	30,3
Živná/Trophicum	13953	6,9	<b>146,6137</b>	<b>1,9665</b>	<b>1,3136</b>	4	9	23,3	33,4
O. humusem/Acerosa	376	8,1	<b>73,9252</b>	6,77908	<b>1,5857</b>	12	26	22,9	33,9
O. Vodou/Fraxinosa	313	7,6	175,6906	2,38487	1,3370	6	13	26,4	39,2
Oglejená/Variohumida	7420	6,7	<b>132,0783</b>	<b>1,8825</b>	<b>1,3177</b>	3	7	23,9	33,5
Podmáčená/Paludosa	798	7,1	590,2480	<b>1,0511</b>	<b>1,1684</b>	1	1	23,3	33,3
Rašelinná/Turfosa	319	5,9	1021,254	1,010	1,148	1	1	22,4	32,5
ČR/Czech Republic	55300	6,7	<b>133,3994</b>	<b>1,8010</b>	<b>1,3057</b>	3	7	22,5	31,6

**Tab. 4.**

Parametry růstových funkcí pro tloušťky podle lesních vegetačních stupňů, n – počet vzorníků, RMSE – střední kvadratická chyba, A, k, n – parametry funkce,  $t_1$  – věk kulminace celkového běžného přírůstu,  $t_2$  – věk kulminace průměrného přírůstu,  $d_{50}$  – tloušťka v 50 letech,  $d_{100}$  – tloušťka ve 100 letech

Parameters of growth functions derived for diameter at breast height (DBH) according to forest vegetation zones; n – number of trees, RMSE – root mean square error, A, k, n – parameters,  $t_1$  – the age of culmination of current increment,  $t_2$  – the age of culmination of mean increment,  $d_{50}$  – DBH at the age of 50 years,  $d_{100}$  – DBH at the age of 100 years

Lesní vegetační stupeň/ Forest vegetation zone	n	RMSE (cm)	A	k	n	$t_1$	$t_2$	$d_{50}$	$d_{100}$
1	4513	5,7	287,9163	<b>1,1608</b>	<b>1,2031</b>	1	2	21,7	30,5
2	15084	6,0	<b>172,3854</b>	<b>1,3503</b>	<b>1,2466</b>	2	4	21,4	29,7
3	20243	6,5	<b>264,1403</b>	<b>1,2630</b>	<b>1,2182</b>	1	3	22,5	31,8
4	8191	7,0	<b>93,16583</b>	<b>2,82017</b>	<b>1,40748</b>	6	13	22,8	32,3
5	4108	8,3	<b>44,39679</b>	<b>19,4869</b>	<b>1,91445</b>	13	26	24,5	32,4
6	1311	7,8	<b>62,39074</b>	8,93802	<b>1,67617</b>	12	26	24,4	34,7

Věk kulminace běžného a průměrného přírůstu u tlouštěk a výšek je nutné chápat jako teoretickou hodnotu. Zejména v případě tlouštěk je nutné vzít v úvahu skutečnost, že soubor měřených vzorků nezahrnuje jedince s výčetní tloušťkou nižší než 7 cm. Velmi nízký věk kulminace přírůstu proto souvisí s vlastnostmi růstového modelu, resp. jeho proložení dat, a věk kulminace přírůstu se tak nachází mimo interval skutečně měřených hodnot.

ŘEHÁK (1975) při rozdělení empirických porostních údajů borovice do tří ekologicky odlišných skupin (oglejená, kyselá a živná) nezaznamenal u středních veličin výrazně odlišný vývoj v závislosti na růstových podmínkách. Autor na základě tohoto zjištění dospěl k závěru, že pro borovici lze vytvořit růstové tabulky na základě jednotného výškového bonitního vějíře. Naše zjištění těmto závěrům neodpovídají. Zejména stanoviště oglejené řady vykazují oproti kyselým a živným stanovištím vyšší produkční potenciál. SEQUENS (1994) upozorňuje, že postup při konstrukci prvních bonitních křivek pro borovici (ŘEHÁK 1975) se později ukázal jako chybný. Autor zmiňuje, že zatímco pokusné plochy byly obvykle zakládány v porostech lepších bonit, starší porosty naopak obvykle reprezentovaly porosty s nižší

bonitou. Rychlejší růst mladých porostů a „zploštění“ růstových křivek u porostů vyššího věku byly zaznamenány i v předkládané studii. Vzhledem k náhodnému výběru ploch NIL 2 a jejich kategorizaci podle stanovištních charakteristik nelze předpokládat, že toto zrychlení má stejné důvody jako je uvedeno výše. V předkládané práci byla pro konstrukci růstových křivek použita metoda nelineární regrese na nepravých časových řadách a jako vstupní data byla použita měření na úrovni jednotlivých stromů, nikoliv ploch. Metodicky se od výše zmíněných postupů odlišuje, domníváme se ale, že stanovištní variabilitu růstových charakteristik lze díky tomuto postupu zachytit přesněji. Pro predikci vývoje růstových charakteristik jsou v současnosti stále častěji používány růstové simulátory různých typů (PRETZSCH et al. 2008). Růstové statické modely prezentované v předkládané studii mohou posloužit např. pro kalibraci stanovištně citlivých modelů pro podmínky České republiky.

S otázkou udržitelnosti produkce úzce souvisí doba stanovení obmýtlí. Kvantitativní zralosti definované PULKRABEM et al. (2014) dosahují současné borové porosty v ČR na základě našich poznatků v průměru ve 100 letech. To je o 10 let dříve než by odpovídalo průměrné

Tab. 5.

Parametry růstových funkcí pro výšky podle ekologických řad, n – počet vzorků, RMSE – střední kvadratická chyba, A, k, n – parametry funkce,  $t_1$  – věk kulminace celkového běžného přírůstu,  $t_2$  – věk kulminace průměrného přírůstu,  $h_{50}$  – výška v 50 letech,  $h_{100}$  – výška ve 100 letech  
Parameters of growth functions derived for tree height (H) according to ecological series, n – number of trees, RMSE – root mean square error, A, k, n – parameters,  $t_1$  – the age of culmination of current increment,  $t_2$  – the age of culmination of mean increment,  $h_{50}$  – H at the age of 50 years,  $h_{100}$  – H at the age of 100 years

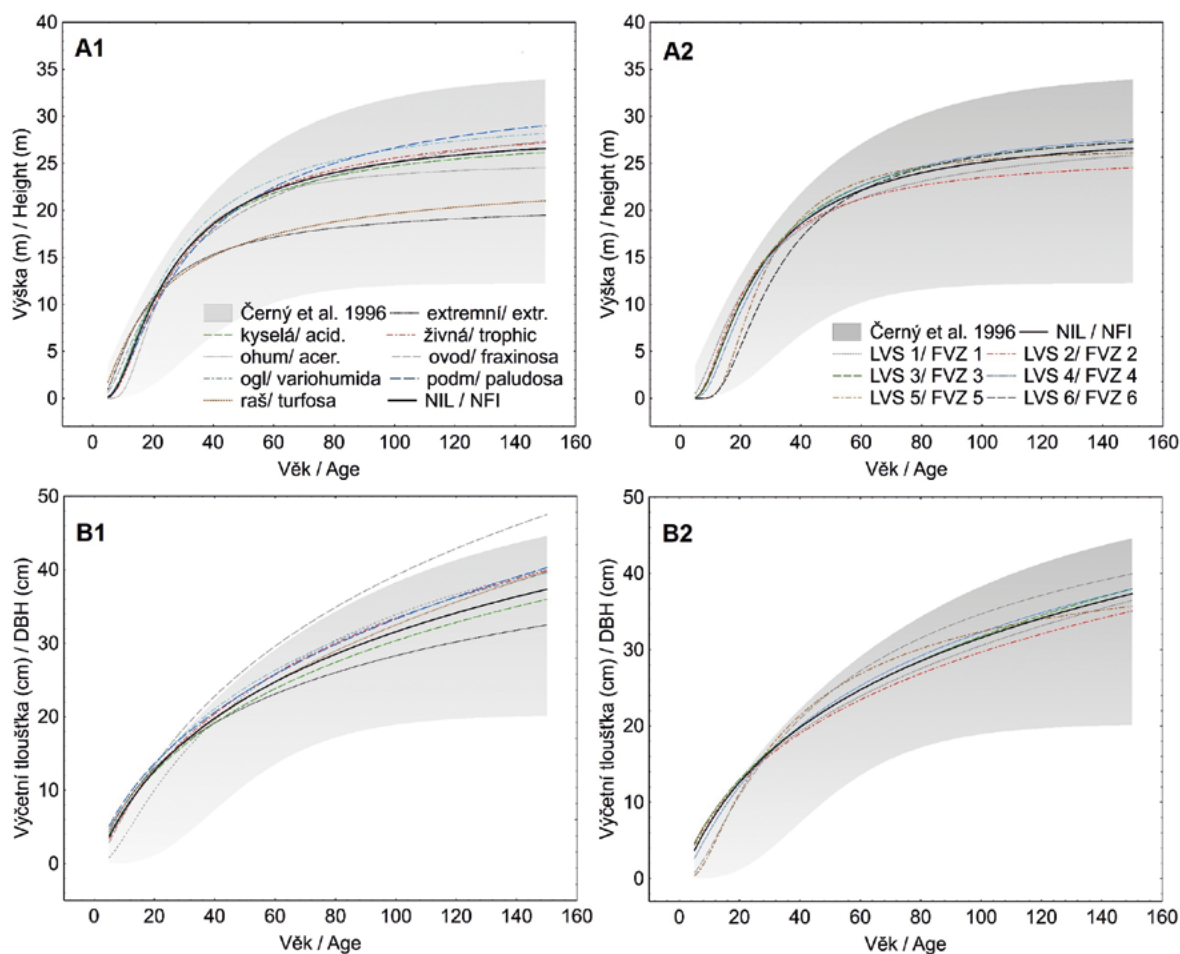
Ekologická řada/ Ecological series	n	RMSE (m)	A	k	n	$t_1$	$t_2$	$h_{50}$	$h_{100}$
Extrémní/Extremum	77	5,28	<b>20,98027</b>	19,89934	2,09813	8	15	16,4	18,7
Kyselá/Acidophylum	4482	3,93	<b>28,67764</b>	<b>43,08888</b>	<b>2,19274</b>	12	24	20,4	24,7
Živná/Trophicum	2331	4,50	<b>29,97733</b>	<b>52,86537</b>	<b>2,21710</b>	14	26	20,7	25,5
Ob. živinami/Acerosa	83	5,42	<b>25,2205</b>	393,0464	<b>2,7924</b>	16	28	20,7	23,8
Ob. vodou/Fraxinosa	77	3,44	<b>33,04935</b>	15,13149	<b>1,89596</b>	10	21	19,9	25,2
Oglejená/Variohumida	1221	3,64	<b>31,1985</b>	<b>40,06418</b>	<b>2,16327</b>	12	24	21,7	26,5
Podmáčená/Paludosa	118	4,36	<b>34,26838</b>	27,91367	<b>2,01883</b>	13	26	20,6	26,7
Rašelinná/Turfosa	43	3,56	<b>24,87618</b>	8,13887	<b>1,81451</b>	6	13	16,5	19,7
ČR/Czech Republic	8432	4,19	<b>29,03438</b>	<b>51,08184</b>	<b>2,22868</b>	13	25	20,7	25,1

Tab. 6.

Parametry růstových funkcí pro výšky podle lesních vegetačních stupňů, n – počet vzorků, RMSE – střední kvadratická chyba, A, k, n – parametry funkce,  $t_1$  – věk kulminace celkového běžného přírůstu,  $t_2$  – věk kulminace průměrného přírůstu,  $h_{50}$  – výška v 50 letech,  $h_{100}$  – výška ve 100 letech

Parameters of growth functions derived for tree height (H) according to forest vegetation zones, n – number of trees, RMSE – root mean square error,  $R^2$  – coefficient of determination, A, k, n – parameters,  $t_1$  – the age of culmination of current increment,  $t_2$  – the age of culmination of mean increment,  $h_{50}$  – H at the age of 50 years,  $h_{100}$  – H at the age of 100 years

Lesní vegetační stupeň/ Forest vegetation zone	n	RMSE	A	k	n	$t_1$	$t_2$	$h_{50}$	$h_{100}$
1	516	3,62	<b>29,32163</b>	21,49663	<b>2,02127</b>	10	20	19,9	24,2
2	1838	3,95	<b>26,07895</b>	<b>61,97366</b>	<b>2,32431</b>	12	23	20,0	23,5
3	3052	4,07	<b>29,91749</b>	<b>49,38865</b>	<b>2,21516</b>	13	25	21,1	25,7
4	1440	4,18	<b>30,05836</b>	<b>73,24627</b>	<b>2,29221</b>	15	28	20,9	25,9
5	908	4,45	<b>26,735</b>	1167,496	<b>3,021</b>	19	33	21,6	25,4
6	300	3,59	<b>28,9181</b>	390,6477	<b>2,6547</b>	21	37	20,1	25,8



**Obr. 3.**

Průběh výškových a tloušťkových růstových křivek na pozadí bonitního vějíře pro borovici podle ČERNÉHO et al. (1996): A1 – výškové růstové funkce podle ekologických řad, A2 – výškové růstové funkce podle LVS, B1 – tloušťkové růstové funkce podle ekologických řad, B2 – tloušťkové růstové funkce podle LVS, NIL – růstová funkce pro celou ČR

**Fig. 3.**

Height and DBH growth functions on the background of site index range (ČERNÝ et al. 1996). A1 – height growth functions by ecological series, A2 – height growth functions by forest vegetation zone, B1 – DBH growth functions by ecological series, B2 – DBH growth functions by forest vegetation zone, NFI – growth function for entire territory of the Czech Republic

**Tab. 7.**

Kulminace běžného a průměrného hmotového přírůstu středního kmene, maximální průměrný přírůst a objem středního kmene ve věku 100 let v závislosti na ekologické řadě

Culmination of current and average volume increment of mean stem, maximal average increment and volume of mean stem at the age of 100 years according to ecological series

Ekologická řada/ Ecological series	Kulminace běžného přírůstu (věk)/Current increment culmination (age)	Kulminace průměrného přírůstu (věk)/Average increment culmination (age)	Max. průměrný přírůst/Max. average increment (m <sup>3</sup> )	Objem středního kmene ve 100 letech (m <sup>3</sup> b.k.)/Volume of mean stem-timber wood (m <sup>3</sup> i.b.)
Extrémní/Extremum	25	57	0,006	0,523
Kyselá/Acidophylum	45	113	0,008	0,786
Živná/Trophicum	51	126	0,010	0,983
Ob. živinami/Acerosa	45	101	0,010	0,946
Ob. vodou/Fraxinosa	70	166	0,014	1,333
Oglejená/Variohumid	46	111	0,010	1,025
Podmáčená/Paludosa	68	186	0,011	1,017
Rašelinná/Turfosa	81	223	0,007	0,723
ČR/Czech Republic	41	100	0,008	0,798



bonitě 26 platných růstových tabulek. Věk kulminace průměrného objemového přírůstu středního kmene v nejvíce zastoupených LVS (2-4) se pohybuje v rozmezí 101-131 let věku. V případě ekologických řad kyselé, živné a oglejené pak v rozmezí 111-126 let. Stanovení optimální kvantitativní zralosti na úrovni cílových hospodářských souborů by nicméně vyžadovalo detailní analýzu na úrovni edafických kategorií.

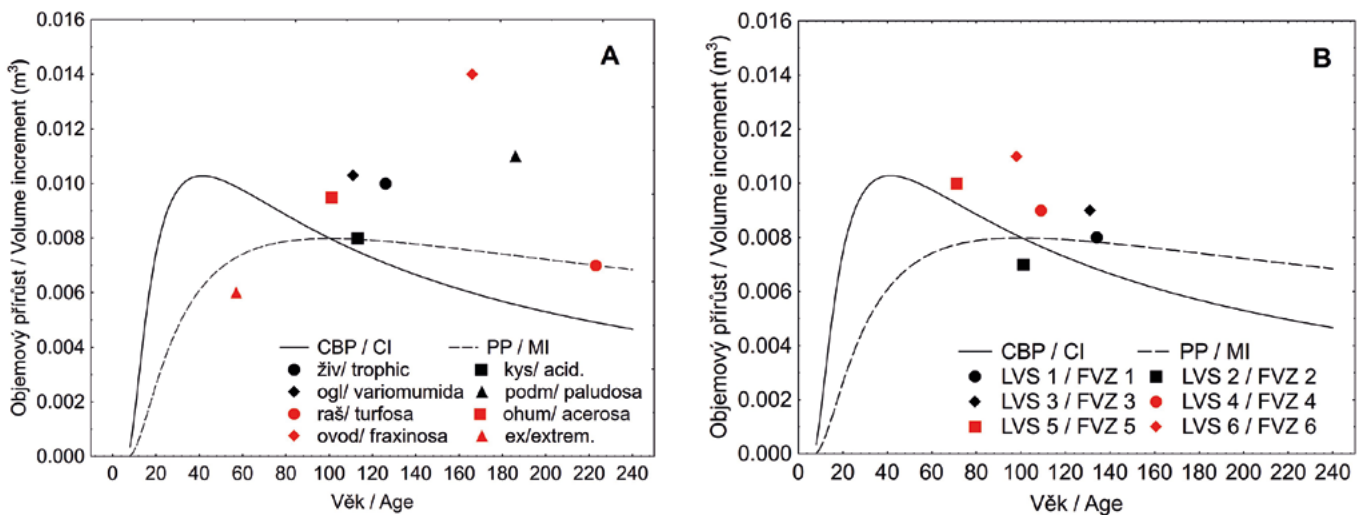
Do analýz byly zahrnuty všechny vzorníky a nebyla aplikována žádná metoda pro odstranění „odlehých hodnot“. Pro objektivní zhodnocení růstových modelů je třeba vzít v úvahu, že statisticky významné parametry mají jen funkce pro kyselou, živnou a oglejenou řadu a 2.-4. LVS. Nicméně růstové modely pro tyto ekologické řady zahrnují údaje z 94 % všech ploch. V případě LVS pak pro 74 % ploch.

Při porovnání růstových modelů pro výšky a tloušťky podle ekologických řad je patrná vyšší variabilita v porovnání s modely pro LVS. Tato

skutečnost naznačuje, že borovice je z hlediska vegetační stupňovitosti skutečně dřevinou azonální a její růstové schopnosti závisí spíše na stanovišti než na nadmořské výšce.

Od ostatních modelů se výrazně odlišují modely pro rašelinnou a extrémní řadu. Přestože jsou tato stanoviště méně zastoupená, je nutné vzít v úvahu skutečnost, že se na nich často nachází cenné autochtonní populace borovice a jejich zachování je významnější než produkční funkce. U obou ekologických řad je nejnižší věk kulminace běžného i průměrného objemového přírůstu a  $h_{100}$ .

Nejvyšší hodnoty  $h_{100}$  byly zaznamenány na stanovištích ovlivněných vodou a stanovištích živné řady. Věk kulminace tloušťkového přírůstu a hodnoty  $d_{100}$  se od výškových charakteristik mírně odlišují, nejvyšších hodnot  $d_{100}$  nicméně dosahují rovněž stanoviště živné řady a stanoviště ovlivněná vodou. Rozdílná relativní rychlost přírůstu



**Obr. 4.** Dynamika běžného a průměrného hmotového přírůstu středního kmene borovice v ČR; body označují věk kulminace a maximální hodnotu průměrného přírůstu v závislosti na ekologické řadě (graf A) a LVS (graf B)

**Fig. 4.** Dynamics of current and average volume increment of mean stem of pine in the Czech Republic; the points indicate the age of culmination and the maximum of average increment according to ecological series (graph A) and forest vegetation zones (graph B)

**Tab. 8.** Kulminace běžného a průměrného hmotového přírůstu středního kmene, maximální průměrný přírůst a objem středního kmene ve věku 100 let v závislosti na LVS  
Culmination of current and average volume increment of mean stem, maximal average increment and volume of mean stem at the age of 100 years according to forest vegetation zones

Lesní vegetační stupeň/ Forest vegetation zone	Kulminace běžného přírůstu (věk)/Current increment culmination (age)	Kulminace prům. přírůstu (věk)/Average increment culmination (age)	Max. průměrný přírůst/Max. average increment (m³)	Objem středního kmene ve 100 letech (m³ b.k.)/Volume of mean stem-timber wood (m³ i.b.)
1	49	134	0,008	0,780
2	38	101	0,007	0,716
3	48	131	0,009	0,894
4	46	109	0,009	0,932
5	36	71	0,010	0,917
6	47	98	0,011	1,067



a rozdílný věk kulminace tlouštěk a výšek může ukazovat na rozdíly ve stabilitě porostů. Hodnota štíhlostního koeficientu  $h/d \cdot 100 > 95$ , která charakterizuje nestabilní kmeny, nebyla překročena (PELTOLA et al. 2000). Těsně se k ní ale blíží hodnoty  $h_{100}/d_{100}$  pro kyselou řadu.

Hodnoty výškových bonit  $h_{100}$  v 1. a 2. LVS jsou nižší než v 3.–6. LVS, kde jsou zároveň hodnoty  $h_{100}$  relativně vyrovnané. Věk kulminace výškového přírůstu je vyšší v 5.–6. LVS.

Je otázkou, do jaké míry je tato skutečnost způsobena lepšími vláhovými poměry ve vyšších LVS, nebo jestli jsou vyšší hodnoty bonit dány častějším výskytem horského ekotypu borovice (ŠINDELÁŘ 1991). Vzestupný trend v závislosti na nadmořské výšce byl zaznamenán i u tlouštěk.

## ZÁVĚR

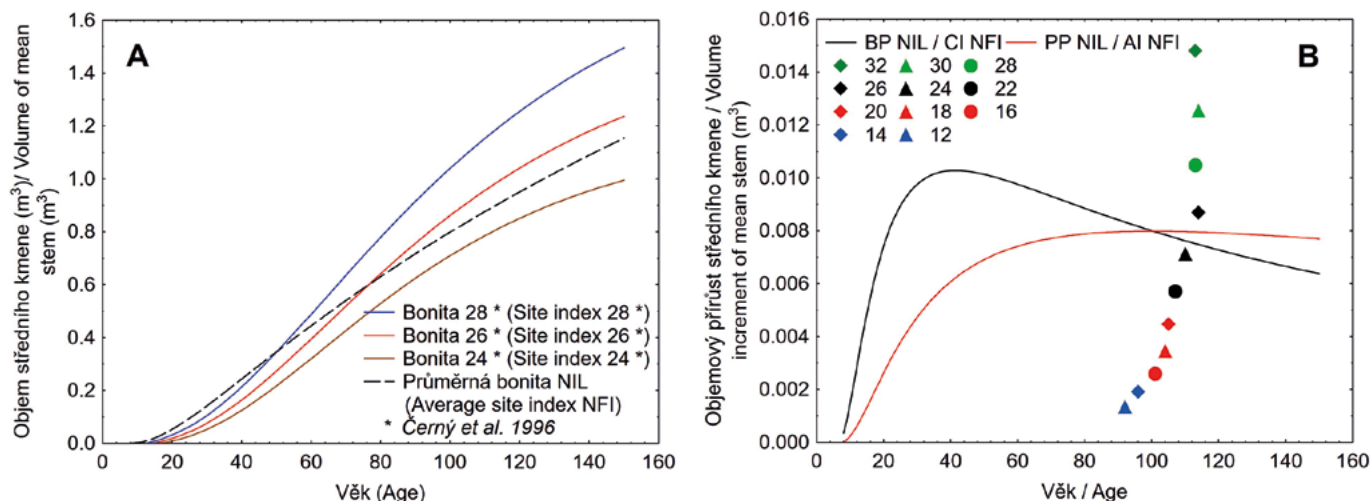
Předkládaná studie shrnuje poznatky o produkčních charakteristikách borovice lesní v České republice. Jako vstupní soubor dat byly použity informace o výčetních tloušťkách a výškách stromů shromážděných v rámci šetření NIL 2. Byly parametrizovány statické růstové modely tlouštěk a výšek pro LVS a ekologické řady. Dále byl analyzován průměrný objemový přírůst středního kmene a doba jeho kulminace, na jejichž základě byla pro jednotlivé skupiny (LVS a ekologické řady) stanovena doba kvantitativní zralosti.

Na základě objemu středního kmene ve 100 letech věku vykazují nejvyšší produkční potenciál porosty na oglejené ekologické řadě a ve 4. LVS. Analýzy průměrného objemového přírůstu ukazují, že optimální věk kvantitativní zralosti borovice (obmýtlí) v ČR je v některých případech nižší než doba obmýtlí odvozená z bonitních křivek aktuálních růstových tabulek. Při analýze růstových modelů bylo zaznamenáno zrychlení objemového přírůstu mladých porostů do 50 let.

Nepříznivý vývoj klimatu v posledních několika letech se negativně projevuje i na porostech borovice lesní. Kombinace vlivu sucha, podkorního hmyzu a houbových patogenů nepříznivě ovlivňuje jejich zdravotní stav a v mnoha oblastech ČR dochází k alarmujícímu nárůstu mortality. Při následné obnově porostů nelze ale rezignovat na jejich produkční funkci. Informace o produkčních možnostech borovice lesní obsažené v předkládaném článku mohou napomoci při rozhodovacích procesech zaměřených na účelnou a ekonomickou obnovu lesních porostů.

## Poděkování:

Príspevek vznikl v rámci řešení výzkumného projektu Grantové služby LČR č. 94/2019 „Diferenciace stanovišť a hospodaření v porostech borovice, dubu a buku pro zmírnění nepříznivých dopadů environmentální změny“ a byl podpořen Ministerstvem zemědělství v rámci institucionální podpory MZE – RO0118. Výstup vychází též z výsledků projektu NAZV QK1820091. Data NIL 2 byla poskytnuta ÚHÚL Brandýs nad Labem.



Obr. 5.

Graf A: Porovnání průběhu růstové křivky objemu středního kmene borovice lesní pro ČR s růstovými křivkami bonit 24, 26 a 28 (ČERNÝ et al. 1996)

Graf B: Dynamika běžného (BP) a průměrného (PP) hmotového přírůstu středního kmene borovice v ČR; body označují věk kulminace a maximální hodnotu průměrného přírůstu podle bonit (ČERNÝ et al. 1996)

Fig. 5.

Graph A: Comparison of the mean stem volume growth curve for Scots pine in the Czech Republic with the growth curves for site indices 24, 26 and 28 according to valid yield tables (ČERNÝ et al. 1996)

Graph B: Dynamics of current (CI) and average (AI) volume increment of mean stem of pine in the Czech Republic; the points indicate the age of culmination and the maximum of average increment by site indices (ČERNÝ et al. 1996)

## LITERATURA

- BRUS D.J., HENGEVELD G.M., WALVOORT D.J.J., GOEDHART P.W., HEIDEMA A.H., NABUURS G.J., GUNIA K. 2012. Statistical mapping of tree species over Europe. *European Journal of Forest Research*, 131 (1): 145–157. DOI: 10.1007/s10342-011-0513-5
- CAMARERO J.J., GAZOL A., SANGÜESA-BARRERA G., OLIVA J., VICENTE-SERRANO S.M. 2015. To die or not to die: Early warnings of tree dieback in response to a severe drought *Journal of Ecology*, 103 (1): 44–57. DOI: 10.1111/1365-2745.12295
- CZECHTERRA. 2015. CzechTerra 2. cyklus (2014/2015) [on-line]. Jílové, Ifer. Dostupné na/Available on: www: <http://www.czechterra.cz/>
- ČERNÝ M., PAŘEZ J., MALÍK Z. 1996. Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky. Smrk, borovice, buk, dub. Jílové u Prahy, IFER: 245 s.
- DE VRIES W., DOBBERTIN M.H., SOLBERG S., VAN DOBBEN, H.F., SCHAUB M. 2014. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview. *Plant and Soil*, 380 (1–2): 1–45. DOI: 10.1007/s11104-014-2056-2
- EILMANN B., ZWEIFEL R., BUCHMANN N., FONTI P., RIGLING A. 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology*, 29 (8): 1011–1020. DOI: 10.1093/treephys/tpp035
- FABRIKA M. 2005. Simulátor biodynamiky lesa Sibyla. Konceptcia, konštrukcia a programové riešenie. Zvolen, Technická Univerzita vo Zvolene. 238 s.
- HALAJ J., ŘEHÁK J. 1979. Růstové tabulky hlavních dřevin ČSSR. Bratislava, Příroda: 352 s. HANEWINKEL M., CULLMANN D.A., SCHELHAAS M.J., NABUURS G.J., ZIMMERMANN N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3 (3): 203–207.
- HOUSTON DURRANT T., DE RIGO D., CAUDULLO G. 2016. *Pinus sylvestris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J. et al. (eds.): *European atlas of forest tree species*. Luxembourg, Publication Office of the EU: 132–133.
- KAHLE H-P. (ed.) 2008. Causes and consequences of forest growth trends in Europe: Results of the recognition project. Leiden, Brill: 261 s. European Forest Institute research report, 21.
- KINT V., AERTSEN W., CAMPIOLI M., VANSTEENKISTE D., DELCLOO A., MUYS B. 2012. Radial growth change of temperate tree species in response to altered regional climate and air quality in the period 1901–2008 *Climatic Change*, 115 (2): 343–363. DOI: 10.1007/s10584-012-0465-x
- KORF V. 1961. Vzrůstový proces lesních porostů a obecná přírůstová rovnice. *Lesnictví*, 3 (10): 231–256.
- KUČERA M., ADOLT R., KOHN I. et al. (eds.) 2019. Národní inventarizace lesů v České republice – výsledky druhého cyklu 2011–2015. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem: 439 s.
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M. J., MARCHETTI M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 698–709. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- MÁTYÁS C., LENNART A., SAMUEL SAM C. J.A. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Scots pine (*Pinus sylvestris*). Rome, International Plant Genetic Resources Institute: [6 s.] Dostupné na/Available on: [http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical\\_guidelines/Technical\\_guidelines\\_Pinus\\_sylvestris.pdf](http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical_guidelines/Technical_guidelines_Pinus_sylvestris.pdf)
- MELLERT K.H., PRIETZEL J., STRAUSSBERGER R., REHFUESS K.E., KAHLE H.P., PEREZ P., SPIECKER H. 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in central Europe and Finland. *European Journal of Forest Research*, 127: 507–524. DOI: 10.1007/s10342-008-0233-7
- MUSIL I., HAMERNÍK J. 2007. Jehličnaté dřeviny. Přehled naho-semenných i výtrusných dřevin – Lesnická dendrologie 1. Praha, Academia: 352 s.
- MUUKKONEN P., HEISKANEN J. 2005. Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data *Remote Sensing of Environment*, 99 (4): 434–447. DOI: /10.1016/j.rse.2005.09.011
- MZE. 2019. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018. 132 s. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 132 s.
- NEMANI R.R., KEELING C.D., HASHIMOTO H., JOLLY W.M., PIPER S.C., TUCKER C.J., MYNENI R.B., RUNNING S.W. 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300 (5625): 1560–1563. DOI: 10.1126/science.1082750.
- NOVÁK J., DUŠEK D., SLODIČÁK M. 2013. Výchova porostů borovice lesní a poškození sněhem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 147–157.
- PELTOLA H., KELLOMÄKI S., HASSINEN A., GRANANDER M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135 (1-3): 143–153. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00306-6
- PETRÁŠ R., PAJTÍK J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek dřevin. *Lesnícky časopis*, 37 (1): 49–56.
- PRETZSCH H., GROTE R., REINEKING B., RÖTZER T.H. 2008. Models for forest ecosystem management: a European perspective. *Annals of Botany*, 101 (8): 1065–1087. DOI: 10.1093/aob/mcm246
- PRETZSCH H., DEL RÍO M., AMMER C., AVDAGIC A., BARBEITO I., BIELAK K., BRAZAITIS G., COLL L., DIRNBERGER G., DRÖSSLER L., FABRIKA M., FORRESTER D. I., GODVOD K., HEYM M., HURT V., KURYLYAK V., LÖF M., LOMBARDI F., MATOVIĆ B., MOHREN F., MOTTA R., DEN OUDEN J., PACH M., PONETTE Q., SCHÜTZE G., SCHWEIG J., SKRZYSZEWSKI J., SRAMEK V., STERBA H., STOJANOVIĆ D., SVOBODA M., VANHELLEMONT M., VERHEYEN K., WELLHAUSEN K., ZLATANOV T., BRAVO-OVIEDO A. 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 (5): 927–947. DOI: 10.1007/s10342-015-0900-4
- PRETZSCH H., BIBER P., SCHÜTZE G., KEMMERER J., UHL E. 2018. Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*, 429: 589–616. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.07.045
- PRŮŠA E. 2001. Pěstování lesa na typologických základech. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 593 s.
- PULKRAB K., SLOUP M., SLOUP R. 2014. Ekonomická doba obmýtní. *Central European Forestry Journal*, 60: 223–230.

- REYER C., LASCH-BORN P., SUCKOW F., GUTSCH M., MURAWSKI A., PILZ T. 2014. Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Annals of Forest Science*, 71 (2): 211–225. DOI: 10.1007/s13595-013-0306-8
- ŘEHÁK J. 1975. Návrh růstových tabulek pro borovici. Závěrečná zpráva. Jíloviště Strnady, VÚLHM: 73 s.
- ŘEHÁK J. 1981. Metodické zásady konstrukce růstových tabulek borovice druhého vydání. *Lesnictví*, 27 (10): 879–893.
- SEQUENS J. 1994. Bonitní vějíř a trendy výškového růstu borovice. *Lesnictví – Forestry*, 40 (12): 550–556.
- SIL 2018. Informace o stavu lesa a myslivosti v ČR [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství [cit. 2020-01-12]. Dostupné na/Available on: <http://eagri.cz/public/app/uhul/SIL>
- SOULÉ P.T., KNAPP P.A. 2006. Radial growth rate increases in naturally occurring ponderosa pine trees: A late-20th Century CO<sub>2</sub> Fertilization Effect? *New Phytologist*, 171 (2): 379–390. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01746.x
- STATSOFT INC. 2013. STATISTICA (data analysis software system), version 12. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- ŠINDELÁŘ J. 1991. Koncepce dalšího šlechtění borovice lesní *Pinus sylvestris* L. pro potřeby ČR. *Práce VÚLHM*, 76: 7–46.
- VAUHKONEN J., BERGER, A., GSCHWANTNER T., SCHADAUER K., LEJEUNE P., PERIN J., PITCHUGIN M., ADOLT R., ZEMAN M., JOHANNSEN V. K., KEPFER-ROJAS S., SIMS A., BASTICK C., MORNEAU F., COLIN A., BENDER S., KOVÁČSEVICS P., SOLT G., KOLOZS L., NAGY D., NAGY K., TWOMEY M., REDMOND J., GASPARINI P., NOTARANGELO M., RIZZO M., MAKOVSKIS K., LAZDINS A., LUPIKIS A., KULBOKAS G., ANTÓN-FERNÁNDEZ C., REGO F.C., NUNES L., MARIN G., CALOTA C., PANTIĆ D., BOROTA D., ROESSIGER J., BOSELA M., ŠEBEŇ V., SKUDNIK M., ADAME P., ALBERDI I., CAÑELLAS I., LIND T., TRUBINS R., THÜRIG E., STADELMANN G., DITCHBURN B., ROSS D., GILBERT J., HALSALL L., LIER M., PACKALEN T. 2019. Harmonised projections of future forest resources in Europe. *Annals of Forest Science*, 76 (3): art. no 79. DOI: 10.1007/s13595-019-0863-6
- VIEWEGH A., KUSBACH J., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 85–93.
- WALTHER G-R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T.J.C., FROMENTIN J-M., HOEGH-GULDBERG O., BAIRLEIN F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416 (6879): 389–395.

## PRODUCTION CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE IN THE CZECH REPUBLIC BASED ON DATA OF THE 2<sup>ND</sup> CYCLE OF NATIONAL FOREST INVENTORY (2011-2015)

### SUMMARY

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is an important economic tree species. At the same time, it is a tree species with a wide ecological amplitude. Many authors also draw attention to its tolerance to climate change (WALTHER et al. 2002; REYER et al. 2014), however, it is necessary to take into account the decline in its production (HANEWINKEL et al. 2013). In the Czech Republic, Scots pine is the second most widespread tree species after spruce. According to the National Forest Inventory, its share in forest stands is  $9.8 \pm 0.5\%$ .

The aim of the study was to evaluate the production characteristics of Scots pine in the Czech Republic in different site conditions given by the affiliation of the inventory plots to ecological series and forest vegetation altitudinal zones (FVAZ). Tree measurements obtained during the second National forest inventory (NFI) cycle were used as input data. The evaluation was based on static growth models for diameter at breast height (DBH), tree height (H) and volume of mean stem (V).

A total of 3564 NFI plots with the Scots pine (Fig. 1; Tab. 1) were included in the analysis. Detailed information on the number of plots in edaphic categories and the number of trees measured in ecological series and FVAZ is presented in Table 2. The number of trees with measured heights and DBH varies according to site categories and also in the individual age classes. However, in terms of the number of sample trees, all age classes are covered by a sufficient number of measurements (Fig. 2).

The work presents results obtained at the level of ecological units (PRŮŠA 2001) and uses a typological classification according to VIEWEGH et al. (2003). Korf's growth function (KORF 1961, formula 1) was used to parameterize the growth models. The parameters of the DBH growth models for ecological series and FVAZ are listed in Tables 3 and 4, and parameters of tree height models are summarized in Tables 5 and 6. In graphical form, the growth models are shown in Fig. 3.

Scots pine has the greatest production potential on the variohumida ecological series, the potential of acid sites is lower compared to the trophic sites (Tab. 7). The growth curve for the volume of mean stem is closest to the growth curves for site index 24–26 of valid yield tables for the Czech Republic (Fig. 5A). A comparison of the age of culmination of the average volume increment according to site index is shown in Fig. 5B.

According to the volume of mean stem at the age of 100 years, the stands on variohumida ecological series and in the 4<sup>th</sup> FVAZ show the highest production potential.

The production of pine stands in the 3<sup>rd</sup> FVAZ also appears to be promising as the average volume increment slows down only at the age of 131 years (Tab. 8; Fig. 4).

Analyses of average volume increment show that the optimal age of quantitative felling maturity (rotation period) for pine in the Czech Republic is in some cases lower than the age of felling maturity derived from site index curves of valid yield tables. Acceleration of the volume growth was observed for young stands up to 50 years of age.

The combination of drought, bark beetles and other pathogens adversely affects the health of pine stands in many areas of the Czech Republic where an alarming increase in mortality is observed. However, it is not possible to resign from their production function during the subsequent restoration of stands. The information on the production of pine stands presented in this study may assist in decision-making processes aimed at the efficient and economic restoration of forest stands.

Zasláno/Received: 29. 06. 2020

Přijato do tisku/Accepted: 31. 08. 2020