

ALOKÁCIA UHLÍKA V LESNOM EKOSYSTÉME – PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE Z MLADÝCH BOROVÝCH PORASTOV

TIBOR PRIWITZER, JOZEF PAJTÍK,

BOHDAN KONÓPKA, JOZEF IŠTOŇA, PAVEL PAVLENDA

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22,

SK – 960 92 Zvolen, Meno.Priezvisko@nlcsk.org

PRIWITZER T., PAJTÍK J., KONÓPKA B., IŠTOŇA J., PAVLENDA P.: Carbon allocation in forest ecosystem – case studies from young pine stands. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, **55**(3): 239 – 250, 2009, 4 fig., tab. 6, ref. 21. Original paper. ISSN 0323 – 10468

The paper presents the results of carbon stock estimation in forest ecosystems on example of young Scotch pine stands. The tree biomass was measured on the sites and calculated by compartment (roots, stem, branches, and foliages) from the measured data using allometric functions. Amount of biomass for under storey vegetation and litter production were estimated using measured data. The amount of soil carbon was also estimated and total carbon fixed in the aforementioned compartments was expressed in tons per hectare.

Key words: *biomass, carbon, allocation, carbon stock, Scots pine, young stand*

V príspevku sú uvedené výsledky zo stanovenia uhlíkových zásob v lesných ekosystémoch na príklade mladých borových porastov. Stromová biomasa na experimentálnych plochách bola stanovená po jednotlivých komponentoch (korene, kmeň, vetvy a asimilačný aparát) s využitím meraných dát a alometrických rovníc. Na základe priamych meraní sa vypočítalo množstvo biomasy prízemnej vegetácie a opadu. Okrem toho bola stanovená aj zásoba pôdneho uhlíka. Celkové zásoby uhlíka boli vyjadrené v tonách na hektár.

Kľúčové slová: *biomasa, alokácia a zásoba uhlíka, borovica sosna, mladé porasty*

1. Úvod a problematika

Kvantifikácia biomasy lesných ekosystémov (t. j. stromová a bylinná zložka, prípadne aj ich odumreté časti nachádzajúce sa na pôde a v pôde) je podmienkou pre odvodenie uhlíkových zásob. Uhlíkové zásoby sú hlavným podkladom pre bilancie skleníkových plynov – predovšetkým emisie a záchyty oxidu uhličitého. K takýmto bilanciam je okrem čisto vedeckých príčin treba pristúpiť aj z dôvodu záväzkov Slovenskej republiky, plynúcich z podpísania Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy.

Ďalej sa informácie o celkovej stromovej biomase prakticky môžu použiť z dôvodu jej využitia pre energetické účely, keďže spoločenská objednávka v tejto oblasti postupne narastá (SMITH *et al.* 2008).

Na Slovensku sa pri uvedených bilanciách využívajú prevažne údaje zo súhrnných lesných hospodárskych plánov a permanentných inventarizácií lesov. Prítom ide najmä o informácie týkajúce sa zásob hrubiny, z ktorých sa celková biomasa stanovuje pomocou jednoduchých konverzných faktorov. Táto metóda sa používa v celosvetovom meradle, pričom sa implementuje dvomi základnými prístupmi. Buď sa konverzia vykonáva pomocou alometrických rovníc (tradičný prístup) alebo sa využívajú expanzné faktory (Biomass Expansion Factors, BEF). Alometrické rovnice využívajú ľahko merateľné parametre stromov ako nezávislé premenné (spravidla hrúbka alebo výška, prípadne ich kombinácia) na vyjadrenie ťažko zmerateľných komponentov (napr. hmotnosť sušiny vetiev). Na druhej strane BEFy konvertujú objem kmeňa priamo na suchú hmotnosť každej zložky biomasy (korene, kmeň, vetvy a asimilačné orgány).

Prezentovaný výskum sa sústredil na borovicu sosnu (*Pinus sylvestris*), ktorá je v podmienkach Slovenska druhou najrozšírenejšou ihličnatou drevinou. Je to druh so širokou ekologickou amplitúdou, plošne najrozšírenejšou drevinou na zemeguli (pozri aj <http://botany.cz/en/pinus-sylvestris/>). Taktiež je veľmi perspektívna v procese klimatickej zmeny a jej sprievodných javov (MINĎÁŠ, ŠKVARENINA *a kol.* 2003). Modelovaním procesu tvorby biomasy borovice sosny sa zaoberali najmä výskumníci v škandinávskych krajinách (nepr. HELMISAARI *et al.* 2002, LEHTONEN *et al.* 2004, JALKANEN *et al.* 2005). Zo súborných diel treba vyzdvihnúť monografiu „Struktura fitomassy sosnajok“ pochádzajúcu z bývalého Sovietskeho zväzu (SEMECHKINA 1978).

Z prehľadu literatúry vyplynulo, že sú zriedkavé údaje o biomase, resp. uhlíkových zásobách, v mladých borinách (výnimkou je napr. práca CLAESSON *et al.* 2001). Hoci zásoby biomasy a ňou viazaného uhlíka v mladých porastoch nie sú veľké, ich výmera z celoslovenského hľadiska nie je zanedbateľná. Dalším argumentom pre vykonanie takéhoto výskumu je fakt, že podiel mladých lesných porastov na Slovensku v poslednom období narastá najmä v dôsledku kalamít spôsobených spravidla víchricami.

V príspevku sa uvádzajú výsledky kvantifikácie biomasy a uhlíkových zásob v borových porastoch prvého vekového stupňa (do 10 rokov). V rámci výskumu sa kvantifikovala zásoba uhlíka v jednotlivých častiach nadzemnej a podzemnej biomasy porastov, v biomase prízemnej vegetácie, v opade a pôde.

2. Materiál a metodika

Merania sa uskutočnili vo vybratých borových porastoch prvého vekového stupňa. Základné stanoviskové charakteristiky na experimentálnych plochách sa uvádzajú v tabuľke 1 a porastové charakteristiky sú v tabuľke 2.

Na vytvorenie alometrických rovníc pre výpočet biomasy jednotlivých komponentov borovíc (korene, kmeň, vetvy, ihličie) sa použilo 175 vzorníkov zo siedmich lesných porastov nachádzajúcich sa na ŠLP-TU, ďalej na LHC Lutila, Spišská Teplica, Levoča a Holíč (obr. 1). Zastúpenie borovice vo všetkých porastoch bolo 100 %. V každom poraste sa vytýčila kruhová plocha s výmerou 0,04 ha, v rámci ktorej sa vybralo ďalších 5 podplôšok kruhového tvaru s polomerom 1,5 – 3,0 m podľa hustoty

Tabuľka 1. Základné stanovištné charakteristiky na experimentálnych plochách
 Table 1. Basic stands characteristics on experimental plots

| Charakteristika ¹⁾ | Kopčany 1 | Zolná | Kováčová | Kišovce | Žiar n/Hr. | Levoča | Kopčany 2 |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|------------------------|------------------------|--------|-----------------------|
| Nadmorská výška ²⁾ (m) | 165 | 430 | 380 | 640 | 380 | 620 | 165 |
| Expozícia ³⁾ | R | JV | V | J | V | SV | R |
| Sklon ⁴⁾ (%) | 0 | 5 | 15 | 20 | 15 | 10 | 0 |
| Pôdny typ ⁵⁾ | Regozem ⁶⁾ | Luvizem ⁷⁾ | | Rendzina ⁸⁾ | Kambizem ⁹⁾ | | Regozem ⁶⁾ |
| Skupina lesných typov ¹⁰⁾ | CQ | FQ | FQ | PPin | FQ | Pidev | CQ |

¹⁾Characteristic, ²⁾Altitude, ³⁾Exposure, ⁴⁾Slope, ⁵⁾Soil type, ⁶⁾Regosol, ⁷⁾Luvisol, ⁸⁾Rendzina, ⁹⁾Cambisol, ¹⁰⁾Group of forest types

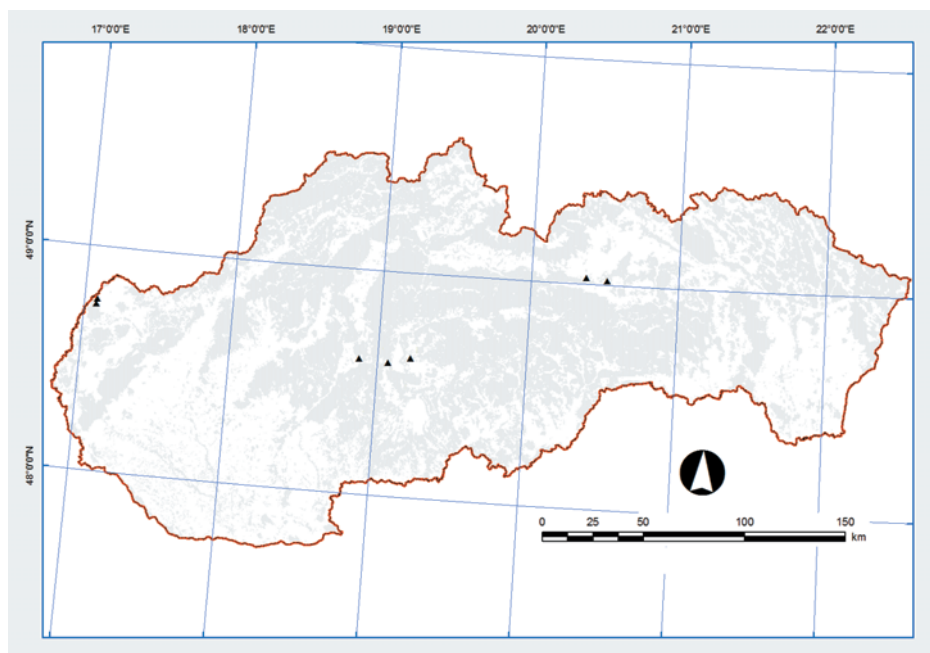
Tabuľka 2. Porastové charakteristiky na experimentálnych plochách
 Table 2. Characteristics of forest stand on experimental plots

| Charakteristika ¹⁾ | Kopčany 1 | Zolná | Kováčová | Kišovce | Žiar n/Hr. | Levoča | Kopčany 2 |
|--|-----------|--------|----------|---------|------------|--------|-----------|
| Priemerný vek (roky) ²⁾ | 3 | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| Priemerná hrúbka ³⁾ d_0 (mm) | 14,9 | 28,6 | 37,4 | 21,2 | 43,6 | 41,3 | 36,9 |
| Priemerná výška ⁴⁾ (m) | 0,68 | 1,33 | 1,50 | 1,31 | 2,20 | 2,63 | 3,02 |
| Zápoj ⁵⁾ (%) | 82 | 92 | 75 | 77 | 85 | 90 | 100 |
| Kruhová základňa ⁶⁾ ($m^2 \cdot ha^{-1}$) | 12,56 | 23,99 | 18,23 | 14,77 | 26,47 | 31,14 | 55,66 |
| Počet stromov pri plnom zápoji ⁷⁾ (tisíc. ha^{-1}) | 70 390 | 31 240 | 16 480 | 35 790 | 17 820 | 18 650 | 42 720 |

¹⁾Characteristic, ²⁾Average age (years), ³⁾Average diameter, ⁴⁾Average height, ⁵⁾Canopy, ⁶⁾Basal area, ⁷⁾Number of trees in closed canopy ($ths \cdot ha^{-1}$)

porastu, reprezentujúcich celú plochu. Na týchto podplôškach sa zistil počet jedincov a na stromoch sa zmerala hrúbka v koreňovom krčku d_0 (dve na seba kolmé merania) a výška. Údaje sa využili pri výpočte počtu stromov na hektár a na vyjadrenie hektárovej zásoby. Na každej ploche sa vykopal asi 25 vzorníkov zastupujúcich hrúbkové a výškové rozpätie jedincov na celej ploche. Vzorníky sa rozdelili na korene, kmeň, vetvy a asimilačné orgány. Každá vzorka sa uložila v suchej, vetranej miestnosti počas jedného mesiaca. Potom sa vysušila v sušičke pri teplote 105 °C na konštantnú hmotnosť a odvážila sa presnosťou na desatinu gramu.

Množstvo biomasy v jednotlivých stromových komponentoch sa odvodilo pomocou regresných modelov. Pri ich tvorbe sa vychádzalo zo základnej alometrickej rovnice:



Obr. 1. Lokalizácia vybraných borových plôch (trojuholníky), sivá maska znázorňuje lesnú plochu

Fig. 1. Localization of selected Scots pine plots (triangles); grey colour represents forest area of Slovakia.

$$Y = a \cdot X^b \quad [1]$$

rozšírenej na viacnásobnú mocninovú funkciu tvaru:

$$Y = a_0 \cdot X_1^{b_1} \cdot X_2^{b_2} \cdot X_3^{b_3} \dots X_n^{b_n} \cdot \theta \quad [2]$$

kde Y – závislá premenná, $X_1 - X_n$ – nezávislé vysvetľujúce premenné, $a_0 - b_n$ – koeficienty modelu a θ – chyba (multiplicative error term).

Po logaritmickej transformácii a spätnej transformácii možno rovnicu napísať ako:

$$Y = e^{(b_0 + b_1 \cdot \ln X_1 + b_2 \cdot \ln X_2 + b_3 \cdot \ln X_3 + \dots + b_n \cdot \ln X_n)} \cdot \lambda \quad [3]$$

kde λ – korekčný faktor systematickej odchýlky (logaritmického biasu).

V našom prípade vzhľadom na malé rozmery stromčekov nebolo možné použiť ako nezávisle premennú hrúbku $d_{1,3}$. Namiesto nej sa použila hrúbka v koreňovom krčku, d_0 . Napriek tomu, že sa vo všeobecnosti málo používajú modely, kde je výška jedinou nezávislou premennou, použili sme aj tento model. Dôvodom bolo, že výška sa v najmladších vývojových štádiách ľahšie meria ako hrúbka d_0 a umožňujú spojiť modely dospelých porastov s modelmi iníciačných štádií.

Testovali sa tri funkcie:

$$B_i = e^{(b_0 + b_1 \cdot \ln d_0)} \cdot \lambda \quad [4]$$

$$B_i = e^{(b_0 + b_1 \cdot \ln h)} \cdot \lambda \quad [5]$$

$$B_i = e^{(b_0 + b_1 \cdot \ln d_0 + b_2 \cdot \ln h)} \cdot \lambda \quad [6]$$

kde

B_i – produkcia suchej biomasy komponentu i (kmeňa, vetiev, ihličia, koreňov) (g),

d_0 – hrúbka koreňového krčka (mm),

h – výška stromu (m),

b_0, b_1, b_2 – parametre.

Všetky uvedené modely sa vypočítali pomocou štatistického softvéru Statistica 7.0 (StatSoft, Oklahoma, USA). Podrobná metodika odvodenia použitých modelov sa uvádza práci PAJTIK *et al.* (2008) a parametre borovíc sú v práci KONÓPKA *et al.* (2009).

Uhlíkové zásoby sa vypočítali pre jednotlivé časti stromovej biomasy prenasobením príslušnej frakcie koeficientom 0,4991 (obsah uhlíka v sušine). Obsah uhlíka pre borovicu pochádza z práce MATTHEWS (1993). Táto sumarizuje výsledky 64 prác zaoberajúcich sa stanovovaním obsahu uhlíka v stromoch.

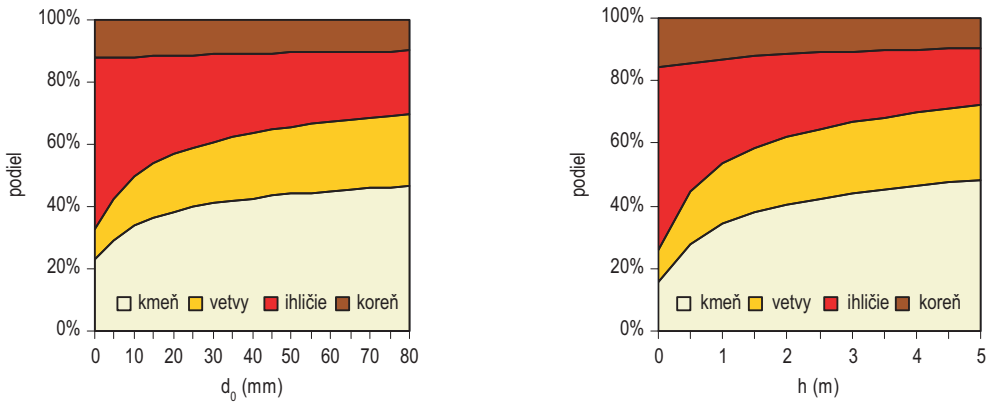
Na stanovenie nadzemnej biomasy bylinnej, machovej a krovinej vrstvy (spolu tvoria tzv. prízemnú vegetáciu) sa použila metóda priameho odberu. Po opise bylinnej zložky na celej kruhovej ploche aj na jednotlivých podplôškach sme v rámci každej z nich odobrali z plochy 1 m² živú vegetáciu, ktorú sme rozdelili na vzorky tráv, bylín, machov a krov. Odbery sme vykonali v letných mesiacoch, kedy biomasa dosahuje maximum. Vzorky sa v laboratóriu voľne predušili pri izbovej teplote a neskôr sušili do konštantnej hmotnosti pri teplote 105 °C. Po vysušení sa hneď vážili a z nameraných hodnôt bola vypočítaná priemerná hmotnosť suchej nadzemnej biomasy na každej lokalite. Koreňová časť tejto prízemnej vegetácie sa odvodila prostredníctvom pôdnych vývrtov s hrúbkou 6 cm. Na každej výskumnej ploche sa odobralo desať vývrtov priestorovo rovnomerne rozmiestnených, zahŕňajúc hĺbku do 40 cm. Korene sa z pôdnych vývrtov vyseparovali a vysušili na konštantnú hmotnosť. Do kvantifikácie boli zahrnuté nielen živé, ale aj odumreté korene. Vážením získaná suchá hmotnosť nadzemných a podzemných častí bola prepočítaná na hektárovú bázu. Výsledné hodnoty zásoby uhlíka sa zo sušiny stanovili pomocou koeficienta 0,45.

Čo sa týka opadu, tento sa na každej ploche odoberal zo 16 plôšok s rozmermi 25×25 cm. Tieto sa rozmiestnili tak, aby reprezentovali rozloženie opadu v rámci celej plochy. Po odobratí a vysušení opadu sa údaje prepočítali na hektár. Prenásobeným koeficientom 0,45 sa stanovili zásoby uhlíka viazané v tejto bilančnej kategórii.

Pre kvantifikáciu zásob uhlíka v pôde sa neodoberali vzorky priamo z plôch, ale využili sa jednoduché modely. Modely vychádzajú zo vzťahov medzi nadmorskou výškou (ako veličinou tesne korelujúcou s teplotou a zrážkami) a zásobou uhlíka v pôde. Tieto sa odvodili z dátových súborov o zásobách uhlíka v pôde z plôch národnej inventarizácie lesov Slovenska 4×4 km, ďalej z národnej monitorovacej siete 16×16 km a databáz rôznych výskumných projektov (PAVLENDÁ 2008).

3. Výsledky a diskusia

Hrúbka d_0 je najdôležitejšou nezávislou premennou pri výpočte všetkých zložiek biomasy, ktorá vysvetľuje 92 – 97 % z celkovej variability. Použitie výšky ako druhej nezávislej premennej (rovnica 6) zlepšuje odhad iba minimálne (do 2,7 %), nakoľko vplyv tejto premennej nebol pre niektoré komponenty biomasy (ihličie, korene) významný na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Je to z dôvodu multikolinearity medzi premennými hrúbka d_0 a výška h . Jedným z diagnostických kritérií prítomnosti mul-



Obr. 2. Podiely hmotnosti sušiny jednotlivých zložiek biomasy z celkovej stromovej biomasy v závislosti od hrúbky (d_0) a výšky (h) pre drevinu borovica

Fig. 2. Proportions of different parts of dry biomass of total tree biomass in dependence on tree diameter and tree height for Scots pine.

tikolinearity je podmienka, že $|r_{ij}| > 0,8$, kde r_{ij} je výberový korelačný koeficient medzi hrúbkou a výškou – v našom prípade $r_{ij} = 0,85$. Pre praktické použitie je vhodná aj rovnica 5, kde jedinou nezávisle premennou je výška. Tento parameter sa v teréne jednoduchšie meria. Okrem toho je aj presnosť odhadov vysoká, pretože vysvetľuje 75 – 91 % z celkovej variability hmotnosti sušiny jednotlivých komponentov biomasy borovice. Krivky zostrojené podľa vzťahov [4 a 5] pre jednotlivé zložky biomasy sú uvedené na obrázku 2.

Podiel kmeňa borovice na celkovej biomase v závislosti od hrúbky d_0 sa nachádzal v intervale od 23 do 46 % a narastal s vekom porastu (obr. 2). Podiel vetiev sa nachádzal v rozpätí od 10 do 23 % a taktiež narastal s vekom. Podiel ihličia s vekom prudko klesal (z 55 na 20 %). Naproti tomu, podiel koreňov na celkovej biomase klesal s vekom iba veľmi mierne od 12 do 10 %. To znamená, že v mladých borovicových porastoch s vekom narastá podiel kmeňa a vetiev na úkor podielu ihličia a koreňov. V prípade dreviny smrek uvádzajú PRIWITZER *a kol.* (2008) nižší podiel kmeňa, ale len v starších porastoch a rovnaký podiel vetiev na celkovej biomase. Pri smreku bol však podiel ihličia pomerne vyrovnaný, a to vo všetkých vekových stupňoch.

Zaujímavým sa ukazuje nami zistený nízky podiel koreňov z celkovej biomasy borovic. Údaje z iných prác pochádzajúcich zo starších borín spravidla ukazujú vyšší podiel koreňov na celkovej stromovej biomase. Ako príklad je možné uviesť práce CURIEL YUSTE *a kol.* (2005) ktorí uvádzajú 18 % podiel a práce OVERTON (1957) a KONŔPKU *a kol.* (2000) uvádzajúce 20 % podiel. KING *a kol.* (2007) zdôraznili zmeny podielu koreňov na celkovej biomase borovice s vekom, pričom najnižšie boli pre 2-, 3- a 5-ročné stromy. Za nimi nasledoval výrazný nárast podielu vo veku 8 – 10 rokov.

Na základe uvedeného možno predpokladať, že aj v borinách na Slovensku rastie podiel koreňov v porastoch od 10 rokov (resp. s hrúbkou nad 80 mm). Takýto nárast podielu koreňov by mohol byť na úkor vetiev a ihlič. Jav pravdepodobne súvisí so zmenami konkurenčných vzťahov (boj o svetlo a zdroje z pôdy) v porastoch rôzneho vývojového štádia. Pokles podielu vetví a ihlič s vekom borovíc (v štádiách žrdovín a kmeňovín) zaznamenali napr. CIENCIALA *a kol.* (2006), ale aj SEMECHKINA (1978). Podiel týchto dvoch komponentov na nadzemnej biomase sa podľa CIENCIALU *a kol.* (2006) pohyboval medzi 11 – 23 % a podľa SEMECHKINY (1978) od 14 do 22 %.

Zásoby uhlíka v jednotlivých komponentoch stromovej biomasy na hektár v sledovaných porastoch uvádza tabuľka 3. Celková zásoba uhlíka rástla s vekom porastu a pohybovala sa v intervale od 3,5 t.ha⁻¹ do 27,2 t.ha⁻¹. V prípade smrekových porastov sa zistili (PRIWITZER *a kol.* 2008) nižšie zásoby uhlíka viazaného v stromovej biomase v porovnaní s borovicou.

Tabuľka 3. Zásoby uhlíka v jednotlivých stromových komponentoch v borových porastoch (zoradené vzostupne podľa veku)

Table 3. Carbon stocks of different tree components in young Scots pine forest stands (in ascending order by the age)

| Lokalita ¹⁾ | Zásoba uhlíka ²⁾ (t.ha ⁻¹) | | | | |
|------------------------|---|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| | Kmeň ³⁾ | Vetvy ⁴⁾ | Ihličie ⁵⁾ | Korene ⁶⁾ | Spolu ⁷⁾ |
| Kopčany 1 | 1,088 | 0,681 | 1,269 | 0,502 | 3,540 |
| Zolná | 3,137 | 1,926 | 2,452 | 1,119 | 8,634 |
| Kováčová | 2,608 | 1,672 | 1,869 | 0,921 | 7,070 |
| Kišovce | 2,236 | 1,160 | 1,514 | 0,628 | 5,539 |
| Žiar n/Hronom | 4,592 | 2,645 | 2,728 | 1,318 | 11,283 |
| Levoča | 6,964 | 3,457 | 3,230 | 1,502 | 15,154 |
| Kopčany 2 | 13,298 | 5,732 | 5,780 | 2,431 | 27,240 |

¹⁾Locality, ²⁾Carbon stocks, ³⁾Stem, ⁴⁾Branches, ⁵⁾Needles, ⁶⁾Roots, ⁷⁾Together

Biomasu fytozložky borín prvého vekového stupňa (tab. 4) tvorili hlavne trávy a v menšej miere byliny a machy. Ich celková priemerná hodnota bola 2,63 t.ha⁻¹, čo odpovedá hodnote zásoby uhlíka 1,18 t.ha⁻¹ viazanej vo fytozložke sledovaných borových mladín. Veľkosť hodnôt biomasy súvisí najmä so stavom nárastu, a to predovšetkým od jeho veku, resp. zápoja mladiny. Vo všeobecnosti vykazujú nárasty i redšie mladiny borín 2. až 4. vegetačného stupňa stabilne vysoké množstvá fytozložky, bez ohľadu na podložie (vápence, flyš, sprašové hliny). Celkovo v nich prevažujú trávy nad bylinami a machmi. Ich druhové zloženie je nielen bohaté na lúčne druhy, ale zároveň odráža aj rozdielnosť stanovištných pomerov na jednotlivých lokalitách. Z dominujúcich tráv treba spomenúť kostravu červenú (*Festuca rubra*), kostravu lúčnu (*Festuca pratensis*),

Tabuľka 4. Zásoba podzemnej a nadzemnej biomasy prízemnej vegetácie a v nej viazaného uhlíka na experimentálnych borových plochách ($t \cdot ha^{-1}$; porasty zoradené vzostupne podľa veku)
 Table 4. Carbon stocks of aboveground and underground biomass of under storey vegetation ($t \cdot ha^{-1}$; in ascending order by the age)

| Zložka ¹⁾ | Kopčany 1 | Zolná | Kováčová | Kišovce | Žiar n/Hronom | Levoča | Kopčany 2 |
|-------------------------------|-----------|-------|----------|---------|---------------|--------|-----------|
| Podzemná ²⁾ | 0,78 | 2,78 | 1,10 | 2,85 | 1,72 | 1,68 | 0,26 |
| Uhlík v podzem. ³⁾ | 0,35 | 1,26 | 0,50 | 1,29 | 0,78 | 0,76 | 0,12 |
| Nadzemná ⁴⁾ | 0,28 | 1,10 | 1,51 | 1,75 | 1,29 | 1,71 | 0,01 |
| Uhlík v nadzem. ⁵⁾ | 0,13 | 0,49 | 0,68 | 0,79 | 0,58 | 0,77 | 0,01 |

¹⁾Component, ²⁾Underground, ³⁾Carbon in underground biomass, ⁴⁾Ground biomass, ⁵⁾Carbon in aboveground biomass

ovsík obyčajný (*Arrhenantherum elatius*), smlz kroviskový (*Calamagrostis epigejos*), metlicu trsnatú (*Deschampsia caespitosa*) a ojedinele stoklas bezostový (*Bromus inermis*). Na lokalite Kopčany – Záhorie sa borovica prirodzene obnovila na minerálnej pôde po odsune pôdneho zvršku. Po takomto radikálnom zásahu bola pokrývnosť bylinného podrastu nízka ešte aj v treťom roku. V ďalších rokoch však, podľa posúdenia okolia, rýchlo stúpa. Na tejto lokalite sa hojne vyskytuje najmä smlz kroviskový (*Calamagrostis epigejos*) a riedko až hojne pichliač roňný (*Cirsium arvense*), štiavička obyčajná (*Acetosella vulgaris*), turanec kanadský (*Conysa canadensis*) a na nahrnutých valoch aj líčidlo americké (*Phytolacca americana*). V neskoršom veku, pri prehustenom zápoji korún, hojnosť druhov opäť rýchlo klesá, pričom v 10-ročnej mladine bola suchá hmotnosť nadzemnej biomasy len $0,01 t \cdot ha^{-1}$.

Najvyššie zásoby uhlíka v nadzemnej a podzemnej biomase bylín a podrastu ($0,79 t \cdot ha^{-1}$, resp. $1,29 t \cdot ha^{-1}$) boli zistené z lokality Kišovce na vápencovej báze svahu s dominujúcou mrvicou peristou (*Brachypodium pinnatum*). Naopak, najnižšie zásoby vykazovali stanovištia borín 1. vegetačného stupňa (lokalita Kopčany – Záhorie) a to $0,01$ a $0,12 t \cdot ha^{-1}$ v nadzemnej biomase a $0,12$ a $0,35 t \cdot ha^{-1}$ v podzemnej biomase.

Nakoľko väčšina sledovaných porastov, okrem lokalít na Záhorí, vznikla z prirodzeného zmladenia ako prirodzené nárusty na lúkach, mŕtve drevo sa na nich nevykytovalo. Na lokalitách na Záhorí (Kopčany 1 a Kopčany 2) boli pne a poťažbové zvyšky z materského porastu mechanicky odstránené a nahrnuté do hald, čo taktiež neumožnilo priamo kvantifikovať zásoby uhlíka pre kategóriu mŕtve drevo.

Výsledky kvantifikácie opadu a zásoby uhlíka v tejto bilančnej kategórii pre borovicové porasty prvého vekového stupňa sú uvedené v tabuľke 5.

Množstvo opadu v borových mladinách sa na jednotlivých plochách pohybovalo od $0,39$ do $2,14 t \cdot ha^{-1}$. Variabilita množstva opadu na jednotlivých plochách súvisela najmä so stupňom zapojenia porastov. Zásoby uhlíka, naakumulované v opade, boli v mladých borových porastoch niekoľkonásobne nižšie v porovnaní so smrekovými (PRIWITZER a kol. 2008).

Tabuľka 5. Zásoba opadu a v ňom viazaného uhlíka na experimentálnych borovicových plochách ($t \cdot ha^{-1}$; porasty zoradené vzostupne podľa veku)

Table 5. Carbon stocks of litter on young Scotch pine forest stands ($t \cdot ha^{-1}$; in ascending order by the age)

| Zložka ¹⁾ | Kopčany 1 | Zolná | Kováčová | Kišovce | Žiar n/Hronom | Levoča | Kopčany 2 |
|-----------------------------|-----------|-------|----------|---------|---------------|--------|-----------|
| Biomasa opadu ²⁾ | 0,39 | 0,64 | 0,57 | 1,20 | 0,96 | 0,70 | 2,14 |
| Uhlík v opade ³⁾ | 0,18 | 0,29 | 0,26 | 0,54 | 0,43 | 0,32 | 0,96 |

¹⁾Component, ²⁾Biomass of litter, ³⁾Carbon in litter

Tabuľka 6. Zásoba uhlíka v pôde do hĺbky 1 m na experimentálnych borových plochách ($t \cdot ha^{-1}$; porasty zoradené vzostupne podľa veku)

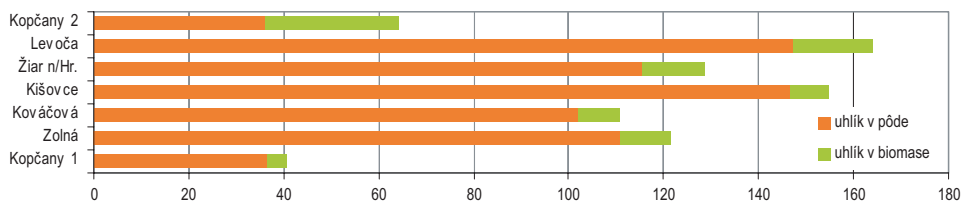
Table 6. Soil carbon stocks to depth 1 m in young Scots pine forest stands ($t \cdot ha^{-1}$; in ascending order by the age)

| Zložka ¹⁾ | Kopčany 1 | Zolná | Kováčová | Kišovce | Žiar n/Hronom | Levoča | Kopčany 2 |
|---------------------------------------|-----------|-------|----------|---------|---------------|--------|-----------|
| Zásoba ²⁾ C _{org} | 36,5 | 110,8 | 102,2 | 146,7 | 115,4 | 147,3 | 36,1 |

¹⁾Component, ²⁾Carbon stocks

Zásoby uhlíka v pôde (tab. 6) boli vypočítané z modelov, ktoré vychádzajú z databáz monitoringu stavu lesa, databáz národnej inventarizácie lesa a údajov iných výskumných projektov. Modely priradujú príslušnú hodnotu podľa pôdnej jednotky a nadmorskej výšky.

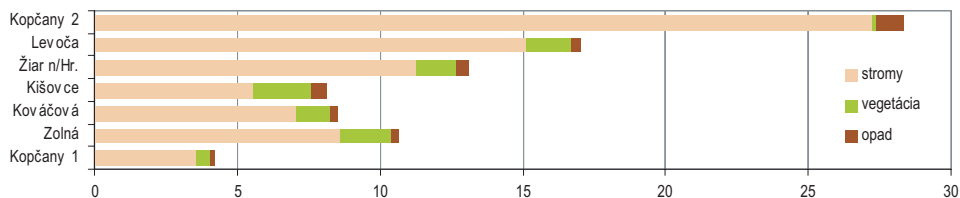
Zásoby uhlíka viazaného v pôdach sa na jednotlivých lokalitách pohybovali v rozpätí od 36 do 147 $t \cdot ha^{-1}$, pričom najnižšie boli na lokalitách zo Záhoria, kde pôdy trvale vykazujú nízke zásoby pôdnej organickej hmoty.



Obr. 3. Zásoby uhlíka v pôde a biomase (uvádzajú sa v $t \cdot ha^{-1}$; porasty zoradené vzostupne podľa veku)

Fig. 3. Soil and biomass carbon stocks ($t \cdot ha^{-1}$; in ascending order by the age).

¹⁾Carbon in soil, ²⁾Carbon in biomass



Obr. 4. Zásoby uhlíka v zložkách mladých borových porastov (uvádzajú sa v t.ha⁻¹; zoradené vzostupne podľa veku

Fig. 4. Carbon stocks of different parts of young pine stands (t.ha⁻¹; in ascending order by the age).

¹⁾Trees, ²⁾Vegetation, ³⁾Litter

Z prezentovaných výsledkov je zrejmé, že celkovo bolo v mladých borovicových lesných porastoch viazaných od 40,30 do 157,97 ton uhlíka na hektár. Zásoba uhlíka v pôde niekoľkonásobne prevyšovala zásobu uhlíka viazanú biomasou (obr. 3). Okrem toho z výsledkov vyplýva, že vo väčšine skúmaných porastov bola najvyššia zásoba uhlíka viazaná v stromoch, nasledovala prízemná vegetácia a opad (obr. 4). Celkový uhlík viazaný vo všetkých zložkách biomasy spolu predstavoval kvantitu od 4,20 do 28,33 ton na hektár.

V rozpore s prezentovanou skutočnosťou sú výsledky BRUNNERA a GODBOLDA (2007), ktoré kvalifikovali zásady uhlíka pre priemerné podmienky lesov strednej Európy. Autori odhadli viac uhlíka viazaného v stromovej biomase v porovnaní s pôdou. Dôvodom je fakt, že v tejto práci boli použité údaje zo starších lesných porastov v porovnaní s našimi modelovými borinami. Pomer medzi uhlíkom v lesnej biomase a v pôde logicky rastie s vekom. Dôvodom je fakt, že nárast uhlíka v biomase rastie s dimenziami stromov prudšie ako akumulácia uhlíka v pôde (pozri napr. YANAI a kol. 2003).

S vekom lesných porastov sa mení nielen vzájomný pomer medzi uhlíkom viazaným v pôde a v biomase, ale aj v rámci stromovej biomasy medzi jednotlivými komponentmi. V borinách sme v porovnaní so smrečinami (PRIWITZER a kol. 2008) nezaznamenali také výrazné zmeny v pomere podzemnej a nadzemnej biomasy stromovej zložky. Kvantita biomasy prízemnej vegetácie úzko súvisela so stavom borových porastov, hlavne s jeho zápojom. Preukázateľne najmenšia, bola táto zložka v najstaršom – plne zapojenom poraste

4. Záver

Kvantifikácia uhlíkových zásob v borových porastoch vybraných v určitom vekovom gradiente (do 10 rokov) bola vykonaná pre jednotlivé bilančné kategórie lesných porastov. Tieto bilančné kategórie sú stanovené podľa medzinárodne platnej metodiky – IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (IPCC 2003). Zásoby uhlíka v jednotlivých zložkách sa odvodili kombináciou viacerých metód, ktoré umožňovali následný prepočet celkového uhlíka na plošnú jednotku porastov.

Záverom možno konštatovať, že z hodnotených zložiek borových porastov boli najvyššie zásoby uhlíka v nadzemnej biomase drevín, ďalej to boli (v zostupnom poradí): podzemná biomasa dreviny, prízemná vegetácia a opad. Niekoľkonásobne vyššie boli však zásoby organického uhlíka v pôde. Iba na ploche Kopčany 2 boli zásoby uhlíka v biomase porovnateľné so zásobami v pôde, čo súvisí s tým, že prirodzene nízke zásoby organickej pôdnej hmoty regozeme arenickej znížila deštrukcia vrchnej, humóznejšej časti pôdy pri mechanizovanom odstraňovaní poťažbových zvyškov z materského porastu do valov.

Podakovanie

Podakovanie patrí pánom J. Merganičovi a P. Kaštierovi za pomoc pri vypracovaní metodiky a prácu v laboratóriu. Pri terénnych prácach v značnej miere pomohli páni M. Konôpka, M. Lipnický a M. Meňuš. Autori ďakujú Agentúre na podporu výskumu a vývoja za finančnú podporu v rámci projektov „Kvantifikácia biomasy lesných porastov I. vekového stupňa“ (APVT-27-023504), „Výskum bukových lesných ekosystémov z hľadiska pôdnych pomerov a biodiverzity“ (APVT-27-006404) a „Výskum bilancie zásob uhlíka v horskej krajine“ (APVT-27-037702).

Literatúra

1. BRUNNER I., GODBOLD D. L., 2007: Tree roots in a changing world. *J. For. Res.*, 12, p. 78 – 82. – 2. CIENCIALA E., ČERNÝ M., TATARINOV F. A., APLTAUER J., EXNEROVÁ Z., 2006: Biomass functions applicable to Scots pine. *Trees* 20, p. 483 – 495. – 3. CLAESSON S., SAHLÉN K., LUNDMARK T., 2001: Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in northern Sweden with high stand densities. *Scand. J. For. Res.*, 16, p. 138 – 146. – 4. CURIEL YUSTE J., KONÔPKA B., JANSSENS I.A., COENEN K., XIAO C.W., CEULEMANS R., 2005: Contrasting net primary productivity and carbon distribution between neighbouring stands of *Quercus robur* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiol.*, 25, p. 701 – 712. – 5. HARMON M.E., SEXTON J., 1996: Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. Publication No. 20. US Long-term Ecological Research Network Office, University of Washington. – 6. HELMISAARI H. S., MAKONEN K., KELLOMÄKI S., VALTONEN E., MÄLKONEN S., 2002: Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *For. Ecol. Manage.*, 165, p. 317 – 326. – 7. IPCC, 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. – 8. JALKANEN A., MÄKIPÄÄ R., STAHL G., PETERSON H., 2005: Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependant biomass expansion factors. *Ann. For. Sci.*, 62, p. 845 – 851. – 9. KING J.S., GIARDINA C.P., PREGITZER K.S., FRIEND A.L., 2007: Biomass partitioning in red pine (*Pinus resinosa*) along a chronosequence in the Upper Peninsula of Michigan. *Canad. J. For. Res.*, 37, p. 93 – 102. – 10. KONÔPKA B., TSUKAHARA H., NETSU A., 2000: Biomass distribution in 40-year-old trees of Japanese black pine. *J. For. Res.*, 5, p. 163 – 168. – 11. KONÔPKA B., PAJTÍK J., LUKAC M., 2009: Biomass partitioning and growth efficiency in four naturally regenerated forest tree species. *Basic and Applied Ecology* (v tlači). – 12. LEHTONEN A., MÄKIPÄÄ R., HEIKKINEN J., SIEVÄNEN R., LISKI J., 2004: Biomass expansion factors (BEF) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For. Ecol. Manage.*, 188, p. 211 – 224. – 13. MATTHEWS G., 1993: The carbon content of trees. Forestry Commission Technical Paper No. 4. Edinburgh, U.K. – 14. MINĐÁŠ J., ŠKVARENINA J. a kol., 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Zvolen, EFRA, LVÚ Zvolen, 129 s. – 15. OVINGTON J.D., 1957: Dry matter production in *Pinus sylvestris* L. *Ann. Bot. (London)* 21, p. 287 – 314. – 16. PAJTÍK J., KONÔPKA B., LUKAC M., 2008: Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) trees. *For. Ecol. Manage.*, 256, p. 1 096 – 1 103. – 17. PAVLENDÁ P., 2008: Kvantifikácia zásob uhlíka v lesných pôdach. In KOBZA J. (ed.): Piate pôdoznalecké dni. Pôda – národné bohatstvo. Zborník z medzinárodnej konferencie, ktorá sa konala 15. – 16. 10. 2008 v Sielnici, Bratislava, VÚPOP, s. 243 – 250. – 18. PRIWITZER T., PAJTÍK J., KONÔPKA B., PAVLENDÁ P.,

IŠTOŇA J., 2008: Kvantifikácia uhlíkových zásob v smrekových porastoch prvého vekového stupňa. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 54, Supplement 1: 69 – 79. – **19.** SEMECHKINA M.G. 1978: Struktura fitomassy sosnykov. *Nauka, Novosibirsk*, 126 s. – **20.** SMITH P., NABUURS G.-J., JANSSENS I., REIS S., MARLAND G., SOUSSANA J.-F., CHRISTENSEN T.R., HEATH L., APPS M., ALEXEYEV V., FANG J.Y., GATTUSO J.-P., GUERSCHMAN J.P., HUANG Y., JOBBAGY E., MURDIYARSO D., NI J., NOBRE A., PENG C.H., WALCROFT A., WANG S.Q., PAN Y., ZHOU G.S., 2008: Sectoral approaches to improve regional carbon budgets. *Climatic Change* 88, p. 209 – 249. – **21.** YANAI R.D., CURRIE W.S., GOODALE C.L., 2003: Soil carbon dynamics after forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered. *Ecosystems*, 56, p. 197 – 212.

Summary

The paper presents the results of carbon stock estimation on example of young Scots pine forest ecosystems. Tree biomass on the sites was measured and calculated by different compartment (stem, branches, roots and foliage) from the measured data using allometric functions. The proportion of stem in total tree biomass ranged from 23% to 46% and it increased with growing age of stand. The proportion of branches was in the interval 10% – 23% and it increased with age of stand as well. The proportion of foliage decreased with the age of stand steeply (from 55% to 20%). Despite that, the proportion of roots in total tree biomass decreased with the age moderately, from 12% to 10%. It means that the proportion of stem and branches increased with the age at the expense of foliage and roots proportion in the young pine stands. The total tree carbon stocks were increasing with age of stand and they were in the interval 3.5 t.ha^{-1} – 27.2 t.ha^{-1} .

The amount of biomass for under storey vegetation and litter production was estimated using the measured data. The highest carbon stocks in aboveground and underground biomass of under storey vegetation (0.79 t.ha^{-1} and 1.29 t.ha^{-1}) were estimated in locality Kišovce. The lowest one was estimated in locality Kopčany (0.01 – 0.12 t.ha^{-1} in aboveground biomass and 0.12 – 0.35 t.ha^{-1} in underground biomass). The carbon stocks fixed in litter were in interval from 0.18 to 0.96 t.ha^{-1} . The amount of soil carbon was estimated in the interval from 36 to 147 t.ha^{-1} . The lowest soil carbon stocks were recorded in the localities of Záhorie region. Total carbon stocks of young pine stands were found in the interval 40.30 – 157.97 t.ha^{-1} . The soil carbon stocks exceeded the biomass carbon stocks considerably.

Translated by: authors
Revised by: Z. AL-ATTASOVÁ