

KVANTIFIKÁCIA UHLÍKOVÝCH ZÁSÓB A ICH BILANČNÝCH ZMIEN NA REGIONÁLNEJ ÚROVNI

JOZEF PAJTÍK, TIBOR PRIWITZER, RÓBERT CIBULA

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22,
SK – 960 92 Zvolen, e-mail: Priezvisko@nlcsk.org

PAJTÍK J., PRIWITZER T., CIBULA R.: Quantification of carbon stocks and their balance changes on regional level. *Lesn. Čas.* – *Forestry Journal*, **55**(4): 353 – 365, 2009, 3 fig., tab. 3, ref. 22. Original paper. ISSN 0323 – 10468

The paper presents the results of carbon stocks estimation at an example of data sets of Forest Management Plan (FMP). We calculated tree biomass for selected forest districts according to individual component (stem, branches, roots and foliage) from average stand characteristics using biomass functions. The carbon stocks were calculated for two different time periods. The balance of CO₂ was also estimated on the selected model territory – forest area.

Key words: *carbon stock, carbon stock maps, CO₂ balance, forest biomass*

Príspevok prezentuje výsledky stanovenia uhlíkových zásob s využitím databáz lesných hospodárskych plánov. Biomasa stromov vo vybraných lesných hospodárskych celkoch bola počítaná pre jednotlivé komponenty (kmeň, vetvy, korene a asimilačné orgány) pomocou funkcií na výpočet biomasy, v ktorých ako premenné boli použité priemerné stanovištné charakteristiky. Uhlíkové zásoby boli počítané pre dve časové periódy. Bilancia CO₂ bola stanovená na vybranom modelovom území.

Kľúčové slová: *uhlíkové zásoby, mapy uhlíkových zásob, bilancia CO₂, lesná biomasa*

1. Úvod a problematika

Uhlíkové zásoby predstavujú hlavný podklad pre bilancie emisií skleníkových plynov (GHG) – predovšetkým emisií a záchytov CO₂, ktoré sa zaviazala Slovenská republika, podpísaním Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy (UNFCCC) a Kjótskeho protokolu (KP) každoročne uskutočňovať. Európske spoločenstvo (EC) ako jedna zo zmluvných strán UNFCCC a signatár KP je taktiež povinné každoročne vykonávať samostatnú inventarizáciu GHG, ktorá zahŕňa inventarizácie jednotlivých členských krajín. Tieto sa vykonávajú v deviatich sektoroch, pričom lesy sú zahrnuté v sektore – Využívanie krajiny, zmeny vo využívaní krajiny a Lesníctvo (Land Use, Land Use change and Forestry – LULUCF).

Emisie alebo záchyty CO₂ v LULUCF sektore sú hodnotené na základe zmien v uhlíkových zásobách nasledovných bilančných kategórií: živá biomasa – nadzemná a podzemná biomasa, mŕtvy organický materiál – mŕtve drevo a opad, pôda – pôdna organická hmota). Bilančné kategórie vyplývajú z medzinárodne platného metodického usmernenia tzv. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (GPG IPCC 2003), ktorá je základným rámcom národnej metodiky. Uvedený metodický návod – GPG IPCC (2003) odporúča používať jednu z nasledovných základných metód pre hodnotenie zmien v zásobách uhlíka. Prvou metódou je tzv. „default“ metóda, ktorá vyžaduje znalosť uhlíkových prírastkov a úbytkov:

$$\Delta CLL\check{Z}B = (\Delta CLLP - \Delta CLLU)$$

- $\Delta CLL\check{Z}B$ – ročná zmena v zásobách uhlíka pre živú biomasu (nadzemná a podzemná biomasa) pre kategóriu les zostávajúci lesom (LL) (t C.rok⁻¹),
 $\Delta CLLP$ – ročný prírastok zásoby uhlíka spôsobený rastom biomasy (t C.rok⁻¹),
 $\Delta CLLU$ – ročný úbytok zásoby uhlíka spôsobený úbytkom biomasy (t C.rok⁻¹).

Túto metódu je možné použiť na základe údajov o ročných prírastkoch a ťažbách, ktoré je možné získať z PIL alebo súhrnných LHP, pričom je však potrebné prepočítať údaje z jednotiek objemových (m³) na jednotky „obsahové“ – množstvo uhlíka (t C.rok⁻¹).

Druhou z uvedených metód je tzv. „stock change“ metóda, ktorá vyžaduje inventarizáciu uhlíkových zásob pre bilancovanú plochu lesa v dvoch časových obdobiach:

$$\Delta CLL\check{Z}B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

$$C = (V * D * BEF_2) * (1 + R) * CF$$

- $\Delta CLL\check{Z}B$ – ročná zmena v zásobách uhlíka pre živú biomasu (nadzemná a podzemná biomasa) pre kategóriu les zostávajúci lesom (LL) (t C.rok⁻¹),
 C_{t_2} – celková zásoba uhlíka v biomase vypočítaná v čase t₂, (t C),
 C_{t_1} – celková zásoba uhlíka v biomase vypočítaná v čase t₁, (t C),
 V – objem dreva, (m³.ha⁻¹),
 D – objemová hmotnosť (hustota) dreva, (tony suchej hmotnosti m⁻³),
 BEF_2 – expanzný faktor pre biomasu, slúži na prepočet objemu dreva na nadzemnú stromovú biomasu (bezrozmerné číslo),
 R – pomer podzemná stromová biomasa/nadzemná stromová biomasa, (bezrozmerné číslo),
 CF – obsah uhlíka v suchej hmotnosti (default hodnota – 0,5), t C (tony s.hm.)⁻¹.

Všeobecne je možné povedať, že druhá metóda poskytuje dobré výsledky pri pomerne veľkých prírastkoch alebo úbytkoch v biomase, alebo v prípade že inventa-

rizácia lesa je veľmi precízne vykonávaná. Vzhľadom na skutočnosť, že na Slovensku neboli uskutočnené dva po sebe nasledujúce cykly národnej inventarizácie lesov nie je možné túto metódu pre potreby bilancií GHG aplikovať.

Všeobecne možno povedať, že prvá metóda „prírastok – úbytok“, ktorá pri hodnotení berie do úvahy všetky relevantné procesy počíta rozdiely medzi prírastkom uhlíka (spôsobeným prírastkom stromov) a úbytkom uhlíka (spôsobeným ťažbou, požiarimi a inými prirodzenými stratami). Druhá metóda zisťuje zmenu v uhlíkových zásobách pre danú časť lesa ako rozdiel v zásobách uhlíka na začiatku a konci určitého časového intervalu.

Pri oboch metódach je potrebné použiť určité základné vstupné údaje – napr. strednú hrúbku, výšku alebo objem drevín, ktoré môžu byť k dispozícii buď z platných LHP alebo z inventarizácie lesa a môžu byť konvertované na zásobu uhlíka buď pomocou rovníc na výpočet biomasy (ZIANIS *et al.* 2005) alebo rozličných konverzných faktorov (SOMOGYI *et al.* 2007). Existuje mnoho rovníc na výpočet biomasy pre rozličné dreviny, rôzne oblasti a rôzne časti stromu. Najrozsiahlejšiu databázu takýchto rovníc publikoval ZIANIS *et al.* 2005. Kým na Slovensku sa najčastejšie používajú rovnice, ktoré vypočítavajú objem príslušných častí stromu (ČERMÁK 1976, PETRÁŠ, PAJTIK 1991), v Európe sú to predovšetkým rovnice, ktorých výsledkom je suchá alebo čerstvá hmotnosť jednotlivých častí. Keď chceme z týchto rovníc vypočítať zásobu uhlíka musíme použiť konverziu. Najjednoduchšie prípady uvádzajú rovnice [1–3]:

$$C = B * PC \quad [1]$$

kde

C – zásoba uhlíka (t), B – suchá biomasa (t), PC – podiel uhlíka v biomase (t C t⁻¹).

$$C = \frac{(100 - OV)}{100} * CB * PC \quad [2]$$

kde

C – zásoba uhlíka (t), OV – obsah vody v biomase (hmotnostné %), CB – čerstvá biomasa (t), PC – podiel uhlíka v biomase (t C t⁻¹).

$$C = V * \rho * PC \quad [3]$$

kde

C – zásoba uhlíka (t), V – objem (m³), ρ – objemová hmotnosť (t m⁻³), pri jej určovaní sa často využíva databáza (CGIAR, 2008), PC – podiel uhlíka v biomase (t C t⁻¹).

Mnohokrát sa pri výpočtoch uhlíkových zásob a zásob sušiny biomasy jednotlivých komponentov stromu využíva postup, keď sa pomocou regresnej rovnice určí objem iba jedného komponentu (kmeňa, hrubiny, speňažiteľný (merchantable) objem, ...). Na výpočet sušiny ostatných komponentov sa potom použijú expanzné faktory bio-

masy (BEF – biomass expansion factors), ktoré konvertujú tento objem priamo na suchú hmotnosť zložky biomasy (SCHROEDER *et al.* 1997, LEHTONEN *et al.* 2004, 2007, WALLE *et al.* 2005), podľa vzťahu:

$$BEF_i = \frac{W_i}{V} \quad [4]$$

kde

W_i – suchá hmotnosť zložky stromu i , V – objem kmeňa a i – stromová zložka (listy, vetvy, kmeň, mŕtve vetvy, kôra, peň, hrubé korene, jemné koreničky, nadzemná biomasa alebo celý strom).

Na Slovensku sa pri bilanciách v sektore LULUCF využívajú prevažne údaje zo súhrnných lesných hospodárskych plánov a permanentných inventarizácií lesov. Pritom ide najmä o údaje týkajúce sa ročných prírastkov a ťažieb, ktoré sú uvádzané v m³ hrubiny, z ktorých sa celková stromová biomasa stanovuje pomocou jednoduchých konverzných faktorov.

V predloženom príspevku uvádzame výsledky kvantifikácie biomasy a uhlíkových zásob s použitím údajov dostupných z LHP na regionálnej úrovni. Množstvo biomasy a zásoby uhlíka boli kvantifikované pre porasty podľa jednotlivých stromových komponentov (kmeň, vetvy, asimilačné orgány, korene, nadzemná časť, celý strom). Modelová bilancia CO₂ bola kvantifikovaná na základe zmien medzi dvomi časovými obdobiami.

2. Materiál a metodika

Kvantifikáciu zásob uhlíka pre kategóriu les na regionálnej úrovni sme uskutočnili na dvoch modelových územiach: LHC Čadca a LHC Oravská Polhora. Okrem toho sme na LHC Oravská Polhora uskutočnili aj bilanciú CO₂ ako hlavného skleníkového plynu na základe zmien v zásobách uhlíka medzi rokmi 1995 a 2005. Základné vstupné údaje, ktoré boli prevzaté z databázy porastových charakteristík uvedených v LHP sú:

- stredná hrúbka v prsnej výške $d_{1,3}$ (cm),
- stredná výška h (m),
- zásoba hrubiny nad 7 cm bez kôry Z (m³.ha⁻¹),
- výmera S (ha),
- zakmenenie z (bezrozmerná jednotka v rozpätí 1 – 10),
- zastúpenie s (%),
- vek (roky), používaný pri výpočtoch zásob v mladých porastoch.

Všetky uvedené veličiny sa vzťahujú priamo ku dielcu, prípadne čiastkovej ploche, etáži alebo porastovej skupine. Tieto priestorové jednotky boli podľa spôsobu výpočtu uhlíkových zásob rozdelené do 2 skupín: porasty s $d_{1,3} = 0$ cm a porasty s $d_{1,3} > 0$ cm.

Pre porasty s $d_{1,3} = 0$ cm boli použité alometrické rovnice pre dreviny smrek, borovica, buk a dub prvého vekového stupňa (PAJTIK *et al.* 2008, KONÔPKA *et al.* 2010), ktoré počítajú sušinu jednotlivých častí (kmeň s kôrou, vetvy s kôrou, korene s kôrou, asimilačné orgány, nadzemná biomasa, celý strom) stredného stromu. Ako nezávislá premenná v týchto rovniciach môže byť použitá buď hrúbka v koreňovom krčku d_0 , výška h alebo ich vzájomná kombinácia. Do modelu sme vybrali tie rovnice, ktoré požadujú jedinú vstupnú nezávislú premennú a tou bola výška h . Suchá biomasa pre jednotlivé porasty bola vypočítaná podľa vzťahu:

$$B = BS * N * S \quad [5]$$

kde

B – suchá biomasa porastu (t), BS – suchá biomasa stredného stromu (t), N – počet stromov na 1 hektár, S – výmera porastu (ha).

Počet stromov na hektár bol odvodený extrapoláciou z platných rastových tabuliek (HALAJ, PETRÁŠ 1998). Pri najmladších porastoch, kde bola uvádzaná $d_{1,3} = 0$ a $h = 0$, bola výška odvodená pomocou rastových funkcií s jedinou nezávislou premennou, ktorou bol vek. Celková zásoba uhlíka pre mladé porasty bola vypočítaná podľa rovnice [1].

V dospelých porastoch boli objemy jednotlivých častí biomasy stredného kmeňa vypočítané pomocou sústavy česko-slovenských objemových tabuliek drevín (PETRÁŠ, PAJTIK 1991). Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín je skonštruovaná pre 11 drevín (smrek, jedľa, borovica, smrekovec, dub, buk, hrab, breza, jaseň, topoľ, jelša) a pre 8 objemových jednotiek (kmeň s kôrou, kmeň bez kôry, hrubina nad 7 cm s kôrou, hrubina nad 7 cm bez kôry, strom s kôrou, strom bez kôry, hrubina nad 3 cm s kôrou, hrubina nad 3 cm bez kôry). Nezávislými premennými v rovniciach sú hrúbka $d_{1,3}$ a výška h . Výpočty zásob biomasy na úrovni porastu v m^3 boli odvodené z hodnôt vypočítaných pre stredný kmeň prenášobných počtom stromov na hektár a výmerou porastu:

$$V = VS * N * S \quad [6]$$

kde

V – objem biomasy porastu (m^3), VS – objem biomasy stredného stromu (m^3), N – počet stromov na 1 hektár, S – výmera porastu (ha).

Počet stromov na hektár bol odvodený zo skutočnej zásoby hrubiny nad 7 cm bez kôry na 1 ha uvádzanej v LHP podľa rovnice:

$$N = \frac{Z}{V_{hbk}} \quad [7]$$

kde

N – počet stromov na 1 hektár ($ks \cdot ha^{-1}$), Z – zásoba hrubiny nad 7 cm bez kôry ($m^3 \cdot ha^{-1}$), V_{hbk} – objem hrubiny nad 7 cm bez kôry stredného kmeňa (m^3).

Zásoba uhlíka pre spomínaných 8 objemových jednotiek, z ktorých je pre celkovú bilanciu najdôležitejší objem stromu s kôrou bola vypočítaná podľa vzorca [3].

Suchá biomasa koreňov a pňa na úrovni stromu pre smrek, borovicu, buk a dub bola odvodená z práce (DREXHAGE, COLIN 1991), kde jedinou nezávislou premennou v rovniciach je hrúbka $d_{1,3}$. Suchá biomasa koreňov a pňa pre porast bola vypočítaná podľa rovnice [5] a obsah uhlíka podľa rovnice [1].

Čerstvá biomasa ihličia a listov pre dospelé porasty smreka, borovice a buka bola odvodená z práce (PETRÁŠ, KOŠŮT, OSZLÁNYI 1985, PETRÁŠ 1985), kde nezávislou premennou v rovniciach je hrúbka $d_{1,3}$ a výška h . Čerstvá biomasa bola prevedená na suchú biomasu a prepočítaná na obsah uhlíka podľa rovnice [2].

Výpočty pre dreviny pre ktoré doteraz neboli skonštruované príslušné rovnice boli prevedené pomocou rovníc príbuzných drevín.

Hodnoty objemových hmotností ρ , ktoré sú uvedené v tabuľke 1 sme prevzali z publikácie POŽGAJ *et al.* (1993).

Hodnoty celkového obsahu uhlíka v suchej biomase dreva pre jednotlivé dreviny podľa MATTHEWSA (1993) uvedené v tabuľke 2 sú sumarizáciou výsledkov 64 prác zaoberajúcich sa stanovovaním obsahu uhlíka v stromoch.

Použitá databáza porastov nachádzajúcich sa na modelovom území LHC Čadca slúžila na demonštráciu výsledkov vo forme tematických máp (mapy biomasy), na overenie riešenia, testovanie a odladovanie programu, ktorý je použiteľný na ľubovoľný súbor porastov, LHC alebo aj na úroveň celého Slovenska. Model vypočítava uhlíkové zásoby na úrovni stredného stromu a na úrovni celého porastu.

Tabuľka 1. Objemové hmotnosti absolútne suchého dreva
 Table 1. Volume weight of absolutely dry wood

Drevina ¹⁾	Objemová hmotnosť absolútne suchého dreva ²⁾ (kg.m ⁻³)
Smrek, jedľa ³⁾	350
Topoľ, vĺba, lipa ⁴⁾	400
Borovica, smrekovec, duglaska, tis, jelša, osika ⁵⁾	500
Brest, breza, brekyňa, čerešňa, hruška, jarabina, javor, jabloň, mukyňa, slivka, gaštan, pagaštan, orech ⁶⁾	630
Cer ⁷⁾	650
Agát, buk, dub, hrab ⁸⁾	680

¹⁾Tree species, ²⁾Volume weight of absolutely dry wood, ³⁾Spruce, fir, ⁴⁾Poplar, willow, linden, ⁵⁾Pine, larch, Douglas fir, common yew, alder, aspen, ⁶⁾Elm, birch, wild service tree, cherry tree, pear tree, rowan, maple, apple tree, white beam tree, plum tree, chestnut, horse chestnut, walnut, ⁷⁾Turkey oak, ⁸⁾Robinia, beech, oak, hornbeam

Tabuľka 2. Celkový obsah uhlíka v suchej biomase dreva podľa jednotlivých drevín
 Table 2. Total carbon content in dry wood biomass of some tree species

Drevina ¹⁾	Obsah uhlíka ²⁾ (%)	
	Priemer ³⁾	Rozsah ⁴⁾
Jaseň ⁵⁾	49,29	49,18 – 49,4
Osika ⁶⁾	49,85	49,39 – 50,3
Buk ⁷⁾	49,14	48,5 – 50,9
Breza ⁸⁾	48,76	
Brest ⁹⁾	50,2	
Hrab ¹⁰⁾	48,99	46 – 50,6
Javor ¹¹⁾	50,0	49,8 – 50,2
Dub ¹²⁾	48,95	46 – 50,6
Topoľ ¹³⁾	49,8	49,57 – 50,1
Jedľa ¹⁴⁾	50,59	50 – 51,4
Smrekovec ¹⁵⁾	49,78	49,57 – 50,1
Borovica ¹⁶⁾	49,91	45,8 – 50,9
Smrek ¹⁷⁾	49,34	47 – 50,31

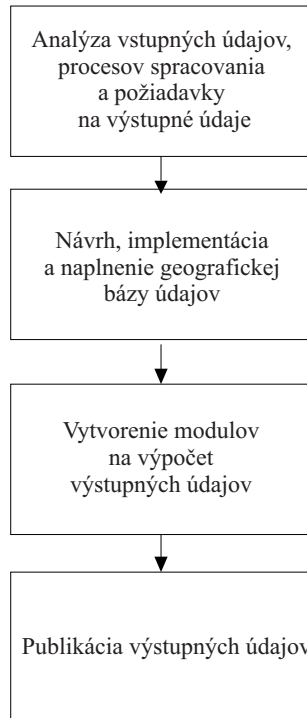
¹⁾Tree species, ²⁾Carbon content, ³⁾Average, ⁴⁾Range, ⁵⁾Ash, ⁶⁾Aspen, ⁷⁾Beech, ⁸⁾Birch, ⁹⁾Elm, ¹⁰⁾Hornbeam, ¹¹⁾Maple, ¹²⁾Oak, ¹³⁾Poplar, ¹⁴⁾Fir, ¹⁵⁾Larch, ¹⁶⁾Pine, ¹⁷⁾Spruce

Vytvorenie prototypu údajového modelu podľa (Mičietová 2008) pozostávalo z troch úrovní implementácie: konceptuálneho, logického a fyzického modelovania, počas ktorých sa navrhli entity a typy entít a definovali parametre kvality (súradnicový systém, mierka, topológia geografických objektov). Po návrhu sa model implementoval v databázovom prostredí, vybranom počas návrhu systému. V návrhu

systému bola vybraná aj technologická platforma zabezpečujúca vstup, spracovanie, analýzu a publikáciu údajov. Na riešenie problému boli použité softvérové programové prostriedky: MS Access, MS SQL Server, Visual Studio 2008 a ArcGIS Desktop.

3. Výsledky a diskusia

Základným podkladom pre vytvorenie prototypu modelu bola analýza stavu existujúcich údajov a požiadaviek na navrhovaný systém, pričom riešenie pozostávalo z postupných krokov uvedených na nasledujúcom diagrame.



3.1. Analýza vstupných údajov, procesov spracovania a požiadavky na výstupné údaje

Počas tohto kroku sa vykonala analýza vstupných údajov, kde sa zistilo, že údaje vstupujúce do modelu nie sú v požadovanom tvare a je potrebná ich konverzia. Proces spracovania používa tematické atribúty nasledovných entít: kmeň, vetvy, hrubina, lístie, korene s pňom, nadzemná biomasa a strom. Výsledné údaje (zásoba sušiny, zásoba uhlíka, bilancia zmien v zásobách uhlíka) je možné vizualizovať vo forme tabuľkových prehľadov. Vstupné a aj výstupné údaje sú relačne naviazané k triedam prvkov s geometriou (napr. vrstve JPRL) a tak je možné vytvoriť aj kartografické výstupy.

3.2. Návrh, implementácia a naplnenie geografickej bázy údajov

Na základe vykonaných analýz sa v procese vytvárania konceptuálneho modelu nadefinovali prvky geografickej bázy údajov (GBÚ). Procesom logického modelovania sa nadefinovali vzťahy medzi prvkami GBÚ. Pri záverečnej etape modelovania došlo k implementácii modelu do vybraného systému riadenia bázy údajov. Na naplnenie údajov sa vytvoril pomocný program, s využitím ktorého sa skonvertovali údaje a naplnila sa GBÚ.

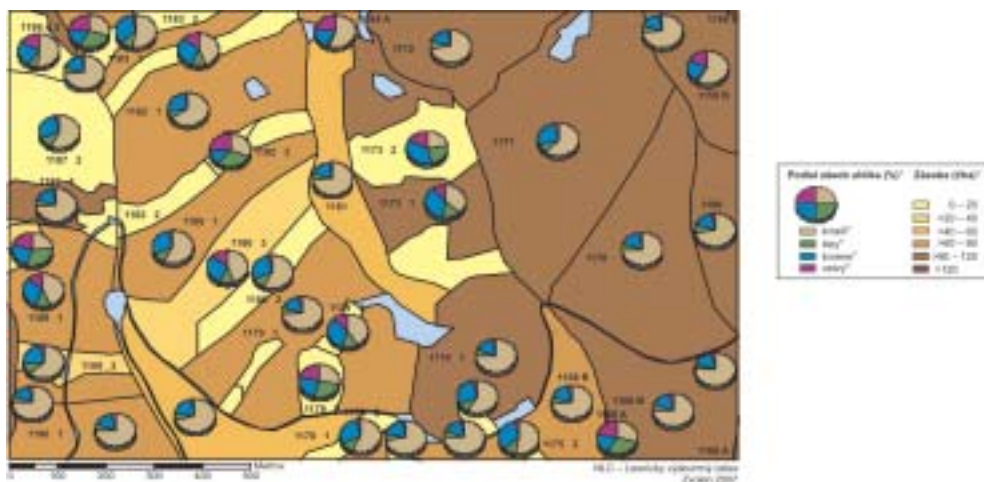
3.3. Vytvorenie modulov na výpočet výstupných údajov.

Moduly počítali uhlíkové zásoby, zásoby sušiny a bilanciu zmien v zásobách uhlíka. Pre urýchlenie výpočtu a možnosti nasadenia aj pre rutinné spracovanie sa stali súčasťou GBÚ a výpočet sa realizoval vo forme uložených procedúr a funkcií napísaných v jazyku T-SQL a C#.

3.4. Publikácia výstupných údajov

Na publikáciu údajov sa použil softvér ArcGIS Desktop, ktorý sa pripojil na vytvorenú GBÚ a pomocou neho sa vytvorili mapové výstupy. Príklady mapových a tabuľkových výstupov sú prezentované na obrázku 1, 2 a v tabuľke 3.

Uvedená realizácia prototypu modelu bola vytvorená na otestovanie možnosti a umožňuje počítať zásoby uhlíka aj podľa konkrétnych požiadaviek užívateľa (pre vybrané porasty, podľa drevín, podľa vekových stupňov, atď.). Uvedené riešenie je



Obr. 1. Mapa zásob uhlíka v jednotlivých častiach živej biomasy v porastoch na časti LHC Čadca

Fig. 1. Map of carbon stocks for different biomass components in the part of Čadca working-plan area.

¹⁾Proportion of carbon supplies, ²⁾Stock, ³⁾Stem, ⁴⁾Leaves, ⁵⁾Roots, ⁶⁾Branches



Obr. 2. Tematická mapa uhlíkových zásob v lesných porastoch na časti LHC Čadca

Fig. 2. Thematic map of carbon stocks in forest stands in the part of Čadca working-plan area.

Tabuľka 3. Zásoby uhlíka v jednotlivých častiach živej biomasy porastov na časti LHC Čadca
Table 3. The carbon stocks for different parts of living stand biomass on selected part of Čadca area

Dielec ¹⁾	Čiastková plocha ²⁾	Porastová skupina ³⁾	Etáž ⁴⁾	Vek ⁵⁾	Zásoba uhlíka ⁶⁾ (t)				Zásoba ¹¹⁾ (t C.ha ⁻¹)
					Kmeň ⁷⁾	Asim. org. ⁸⁾	Korene ⁹⁾	Vetvy ¹⁰⁾	
1159	b		1	85	957,44	67,91	233,51	60,63	102,04
1159	b		2	10	2,25	2,78	1,73	1,91	0,67
1170				85	749,29	53,96	169,60	37,81	97,16
1171			1	80	1071,95	80,79	257,08	55,35	93,75
1171			2	30	57,22	7,56	23,49	3,87	5,90
1172			1	100	945,64	56,39	262,50	129,12	105,29
1172			2	10	2,15	2,29	1,65	1,62	0,58
1173		1	1	115	374,90	22,43	100,29	44,50	95,62
1173		1	2	10	0,88	0,81	0,73	0,57	0,53
1173		2		15	8,62	7,22	4,48	6,21	5,31
1174		1	1	95	515,96	37,49	122,29	30,00	101,28
1174		1	2	10	1,07	1,00	0,90	0,70	0,53
1174		2		25	3,22	0,53	1,49	0,23	16,71

¹⁾Plot, ²⁾Partial plot, ³⁾Stand group, ⁴⁾Storey, ⁵⁾Age, ⁶⁾Carbon stock, ⁷⁾Stem, ⁸⁾Assimilatory organs, ⁹⁾Roots, ¹⁰⁾Branches, ¹¹⁾Stock

možné nasadiť aj do rutinného spracovania. V reálnom systéme by sa samozrejme museli zohľadniť požiadavky iných subsystémov k uloženým údajom.

Výsledky kvantifikácie uhlíkových zásob v modelovom území LHC Čadca sú prezentované na obrázku 1 a 2 vo forme tematických máp (máp biomasy) a v tabuľke 3. Výsledky boli získané použitím modelu, ktorý kalkuluje zásoby uhlíka v jednotlivých komponentoch (kmeň, vetvy, hrubina, lístie, korene s pňom, strom, nadzemná biomasa, spolu) pre jednotlivé jednotky priestorového rozdelenia lesa. Po nastavení filtrov je však možné počítať zásoby uhlíka podľa presne špecifikovaných požiadaviek užívateľa (pre vybrané porasty, podľa drevín, podľa vekových stupňov, atď.). Výstupom z modelu môžu byť tabuľkové prehľady alebo grafické výstupy vo forme máp. Z výsledkov vyplývajú značné rozdiely v zásobe uhlíka v jednotlivých porastoch a komponentoch biomasy stromov.

Výsledky bilancie emisií skleníkových plynov v lesných ekosystémoch na regionálnej úrovni uvádzame na príklade bilancovania CO₂ v modelovom území LHC Oravská Polhora (obr. 3). Pomocou modelu je možné robiť bilancie emisií GHG medzi zvolenými časovými obdobiami a to na základe vypočítaných rozdielov na úrovni JPRL, LHC alebo celého Slovenska. Model je vhodný pre bilancie na väčších plochách (LHC) s rovnakou rozlohou, pretože na úrovni JPRL často dochádza k zmenám výmery JPRL, k rozdeleniu na viac častí alebo zlúčeniu JPRL, čo komplikuje výpočet.

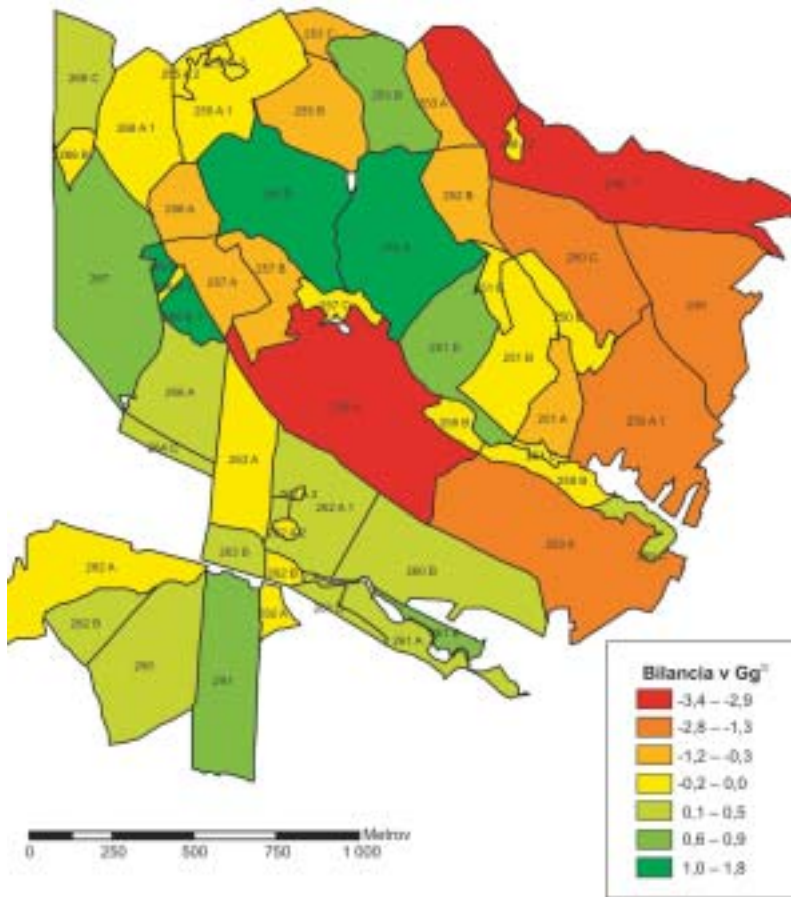
Z obrázku 3 sú evidentné výrazné rozdiely v bilancii CO₂ v modelovom území. Na základe zvolenej farebnej škály a znamienka pred numerickou hodnotou je možné rozlíšiť porasty, v ktorých došlo za skúmané obdobie k emitovaniu oxidu uhličitého (farby od žltej ku zelenej, kladné hodnoty) a naopak v ktorých došlo k zachyteniu tohto skleníkového plynu (farby od žltej ku červenej, záporné hodnoty).

Prezentovaný model bol vytvorený iba na základe regresných rovníc, pri žiadnom z výpočtov neboli použité konveržno-expanzné faktory (BEF). Najväčší prínos ich prípadnej implementácie do modelu vidíme v tom, že jednoduchou konverziou dokážu prepočítať objem známej veličiny (v prípade LHP objem hrubiny bez kôry nad 7 cm) na sušinu biomasy jednotlivých komponentov.

Nevýhodou je nemožnosť použitia tohto typu výpočtu v mladých porastoch pre ktoré nie je uvádzaná v LHP žiadna zásoba hrubiny. Hodnoty koeficientov BEF v dospelých porastoch sú pomerne konštantné, a preto sa často používa jediná hodnota pre celé vekové rozpätie, čo je ich veľkou výhodou. Naproti tomu v priebehu prvých rokov rastu (do 10 rokov) dochádza k výrazným zmenám v hodnotách koeficientov BEF (PAJTIK *et al.* 2008), čo súvisí so zmenou podielov jednotlivých stromových komponentov. Skutočnosť, že pri výpočte koeficientov BEF potrebujeme poznať určitý vstupný objem, ktorý sa dá sa získať iba výpočtom pomocou regresnej rovnice a nie priamo z LHP, znevýhodňuje tento postup kvantifikácie uhlíkových zásob v mladých porastoch oproti starším a preto ho neodporúčame.

Pri výpočte chyby stanovenia uhlíkových zásob na úrovni porastu bolo potrebné určiť s akou chybou boli vypočítané jednotlivé vstupné veličiny:

$$SE_c = \sqrt{SE_1^2 + SE_2^2 + SE_3^2 + \dots + SE_n^2} \quad [8]$$



Obr. 3. Bilancia GHG – CO₂ v modelovom území LHC Oravská Polhora medzi rokmi 1995 a 2005

Fig. 3. The GHGs – CO₂ balance on modelled area of Oravská Polhora between the years 1995 – 2005.

kde

SE_C – chyba stanovenia uhlíkových zásob (%), SE_i – chyba stanovenia i -tej vstupnej veličiny, kde $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Najväčšia chyba pri stanovení uhlíkových zásob na úrovni porastu vzniká pri výpočte podľa vzorca [3]. Vtedy sa ku chybe stanovenia objemu na úrovni porastu pripája aj významná chyba z presnosti stanovenia objemovej hmotnosti dreveniny a chyba z presnosti stanovenia podielu uhlíka:

$$SE_C = \sqrt{SE_V^2 + SE_\rho^2 + SE_{c\%}^2} \quad [9]$$

kde

SE_C – chyba stanovenia uhlíkových zásob (%), SE_V – chyba stanovenia objemu, SE – chyba stanovenia objemovej hmotnosti dreveniny, $SE_{C\%}$ – chyba stanovenia podielu uhlíka.

SE_V závisí nielen od presnosti použitých objemových tabuliek, ale predovšetkým od presnosti stanovenia zásoby hrubiny nad 7 cm bez kôry ($m^3 \cdot ha^{-1}$) v LHP. Podľa údajov (LESOPROJEKT, 1995) je pri zisťovaní zásob pomocou rastových tabuliek dosiahnuteľná presnosť $\pm 20\%$ pri spoľahlivosti 95 %. Chyba stanovenia objemovej hmotnosti je $\pm 15\%$ (WIRTH, SCHUMACHER 2002) a podľa tých istých autorov je chyba stanovenia podielu uhlíka $\pm 1\%$. Po dosadení týchto hodnôt do vzorca [9] je výsledná chyba stanovenia podielu uhlíka $\pm 25\%$ pri spoľahlivosti 95 %.

Spresnenie vstupných veličín znižuje chybu modelu. Kým napr. pri stanovení zásob hrubiny na úrovni porastu počítame s chybou stanovenia $\pm 20\%$, pri stanovení zásob hrubiny v rámci národnej inventarizácie lesov na celoštátnej úrovni môžeme počítať s chybou $\pm 2\%$ (ŠMELKO a kol. 2008).

Protikladom sú zdroje, ktoré veľkosť chyby zväčšujú:

- neexistencia rovníc pre všetky druhy drevín (čo spôsobuje združovanie drevín do skupín, v ktorých sa používa spoločná rovnica. Je predpoklad, že počet drevín pre ktoré budú skonštruované rovnice sa v budúcnosti rozšíri, ale nie je pravdepodobné, že by sa konštruovali rovnice aj pre málo zastúpené dreveniny),
- veľmi vysoká variabilita počtu stromov na hektár v najmladších porastoch, ktorá závažne ovplyvňuje presnosť výsledného stanovenia zásoby uhlíka v poraste,
- používanie rovníc, ktoré vznikli v iných regiónoch a nemusia s rovnakou presnosťou platiť pre našu oblasť (v modeli sme sa im snažili vyhnúť, použili sme ich iba pri výpočtoch biomasy koreňov a pňa).

4. Záver

Výsledky uvedené v príspevku poukazujú na možnosť využitia údajov dostupných z platných LHP pre účely kvantifikácie biomasy a uhlíkových zásob tak na regionálnej úrovni ako aj na úrovni porastov prípadne menších JPRL. Výsledky boli získané použitím modelu, ktorý počíta zásoby uhlíka v jednotlivých komponentoch (kmeň, vetvy, hrubina, lístie, korene s pňom, strom, nadzemná biomasa, spolu) pre jednotlivé jednotky priestorového rozdelenia lesa. Po nastavení filtrov je však možné počítať zásoby uhlíka podľa presne špecifikovaných požiadaviek užívateľa (pre vybrané porasty, podľa drevín, podľa vekových stupňov, atď.). Výstupom z modelu môžu byť tabuľkové prehľady alebo grafické výstupy vo forme máp.

Podakovanie

Autori ďakujú Agentúre na podporu výskumu a vývoja za finančnú podporu v rámci projektov „Kvantifikácia biomasy lesných porastov I. vekového stupňa“ (APVT-27-023504), a „Výskum bilancie zásob uhlíka v horskej krajine“ (APVT-27-037702).

Literatúra

1. DREXHAGE M., COLIN F., 2001: Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry*, **74**(5): 491–497. – 2. CGIAR, 2008: Wood density database. [online] URL: <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/Products/AFDbases/WD/>. – 3. ČERMÁK V., 1976: Hmotové tabuľky pre dub. Bratislava, Príroda, 183 s. – 4. HALAJ J., PETRÁŠ R., 1998: Rastové tabuľky hlavných drevín. Bratislava, SAP – Slovak Academic Press, 325 s., ISBN 80-88908-22-1. – 5. IPCC, 2000: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC Technical Support Unit, Hayama. [online] URL: <http://www.ipcc.ch/>. – 6. IPCC, 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Kanagawa, ISBN 4-88788-003-0. [on-line] URL: <http://www.ipcc.ch/>. – 7. KONÓPKA B., PAJTÍK J., LUKAC M., 2010: Biomass partitioning and growth efficiency in four naturally regenerated forest tree species. *Basic and Applied Ecology* (v tlači). – 8. LEHTONEN A., MÄKIPÄÄ R., HEIKKINEN J., SIEVÄNEN R., LISKI J., 2004: Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188: 211–224. – 9. LEHTONEN A., CIENCIALA E., TATARINOV F., MÄKIPÄÄ R., 2007: Uncertainty estimation of biomass expansion factors for Norway spruce in the Czech Republic. *Ann. For. Sci.*, 64: 133–140. – 10. Lesoprojekt, 1995: Pracovné postupy hospodárskej úpravy lesov. Zvolen, Lesoprojekt, 123 s. – 11. MATTHEWS G., 1993: The carbon content of trees. Forestry Commission Technical Paper No. 4. Edinburgh, U.K. – 12. MIČIETOVÁ E., 2008: Geomatika krajiny. Bratislava, Univerzita Komenského v Bratislave. – 13. PAJTÍK J., KONÓPKA B., LUKAC M., 2008: Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 256, p. 1 096–1 103. – 14. PETRÁŠ R., KOŠÚT M., OSZLÁNYI J., 1985: Listová biomasa stromov smreka, borovice a buka. *Lesnícky časopis*, **31**(2): 121–136. – 15. PETRÁŠ R., 1985: Listová biomasa porastov smreka, borovice a buka. *Lesnícky časopis*, **31**(5): 323–333. – 16. PETRÁŠ R., PAJTÍK P., 1991: Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, **37**(1): 49–56. – 17. POŽGAJ A., CHOVANEC D., KURJATKO S., BABIAK M., 1993: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, Príroda, 463 s. – 18. SCHROEDER P., BROWN S., MO J., BIRDSEY R., CIESZEWSKI C., 1997: Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science*, 43: 424–434. – 19. SOMOGYI Z., CIENCIALA E., MÄKIPÄÄ R., MUUKONEN P., LEHTONEN A., WEISS P., 2007: Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, **126**(2): 197–207. – 20. WALLE V., I., VAN CAMP N., PERRIN D., LEMEUR R., VERHEYEN K., VAN WESEMAEL B., LAITAT E., 2005: Growing stock-based assessment of the carbon stock in the Belgian forest biomass. *Ann. For. Sci.*, **62**: 853–864. – 21. WIRTH C., SCHUMACHER J., 2002: Biomass functions for Norway spruce in Central Europe. Presentation at the COST E21 Meeting, Besalu. – 22. ZIANIS D., MUUKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCCINI M., 2005: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica*, Monographs 4, 63 pp.

Summary

The paper presents possibility of exploitation of data sets from Forest Management Plans for quantification of carbon stocks and GHG balance. For these purpose was developed a model calculated the carbon stocks for different biomass components (stem, branches, foliage, roots and stump) and selected forest units, eventually. This model is able to calculated carbon stocks by accurate specified demands of the users (select forest stands, tree species and age classes). The outputs from the model can be the tabular overview or the maps one.

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