

# KARTOGRAFICKÉ MODELOVANIE BILANCIE UHLÍKA PODĽA ZMIEN KRAJINNEJ POKRÝVKY NA SLOVENSKU V ROKOCH 2000 A 2018

Eva MIČIETOVÁ, Adriána RÁŠOVÁ

**Cartographic modeling of the carbon balance according to land cover changes in Slovakia in the years 2000 and 2018**

**Abstract:** The work deals with land cover changes in Slovakia and the impact of these changes on the balance of absorbed and released carbon according to the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for level 1. The evaluation results are presented in the form of cartographic models of spatial structures of land cover changes and spatial structures of absorbed and released carbon in the country as an impact of changes. The outputs of the work are a contribution to the assessment of the amount of greenhouse gas emissions produced by the country for complex spatial modelling of the risk of climate change in the environment. Current knowledge about the issue at home and abroad is presented, with an emphasis on the IPCC methodology. The input for the assessment of land cover changes were the data of the third hierarchical level of Corine Land Cover in accordance with the IPCC methodology and other environmental factors – soils, climate and ecological zones. On the territory of Slovakia, land cover changes were assessed according to the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) categories in 2000 and 2018. The choice of time interval best described the recommended 20-year interval by the IPCC methodology for assessing the balance of land changes in connection with greenhouse gas emissions for the level 1. The original output of the work is: Table Area of individual categories of land cover and changes between categories in the years 2000 and 2018 in Slovakia, Map of spatial structures of changes in land cover in the selected area and the territory of Slovakia for the period 2000 and 2018, Table Changes in stocks of absorbed carbon in tons according to all categories of AFOLU, Map of spatial structures of stocks of absorbed or released carbon in tons according to changes in all categories of land cover according to AFOLU in the selected territory and the territory of Slovakia for the period 2000 and 2018.

**Keywords:** Intergovernmental Panel on Climate Change, Agriculture, Forestry and Other Land Use, landscape change, carbon balance, greenhouse gas emissions, national inventory, Slovakia

## Úvod

Zmeny krajinej pokrývky generujú emisie skleníkových plynov a podmieňujú klimatické zmeny. Súčasná klimatická politika realizuje globálne opatrenia na sledovanie uhlíkového cyklu. Podľa Dohovoru Organizácie Spojených národov o zmene klímy (UNFCCC) štáty predkladajú správy o inventarizácii skleníkových plynov. Špecifická časť tohto programu sa zameriava na dopad odlesňovania a degradácie lesov a včasnú kvantifikáciu podielu odlesňovania na celkových antropogénnych emisiách. Lesy a sektor využívania pôdy sú podľa programu účinnou krátkodobou možnosťou zmiernenia zmeny klímy. Sektor Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), súčasť panelu Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), vypracoval metodiku na sledovanie uhlíkového cyklu podľa zmien krajinej pokrývky. Európska environmentálna agentúra (EEA), aj za príspevku Slovenska (SR), koordinuje inventarizáciu skleníkových plynov na národnej úrovni (EEA, 2021a).

---

doc. RNDr. Eva MIČIETOVÁ, PhD., Vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave, Ilkovičova 8, 841 04 Bratislava, e-mail: eva.micietova@uniba.sk, Mgr. Adriána RÁŠOVÁ, J. Dallosa 39, 925 21 Sládkovičovo, e-mail: rasova.adriana@gmail.com

Táto práca sa zameriava na identifikáciu množstva a kartografické modelovanie priestorovej štruktúry prijatého a uvoľneného uhlíka podľa zmien krajiny pokrývky v rokoch 2000 a 2018 na Slovensku podľa metodiky IPCC AFOLU. Reflektuje metodiku výpočtu emisií skleníkových plynov k téme AFOLU (IPCC, 2019), pričom identifikuje relevantné emisné faktory pre typy zmien krajiny pokrývky Slovenska. Vstupom pre riešenie sú mapy krajiny pokrývky realizované podľa klasifikačného systému Corine Land Cover (CLC) (EEA, 1995, 2017). Údaje tretej hierarchickej úrovne boli v súlade s metodikou AFOLU reklasifikované. Implementované boli údaje o environmentálnych faktoroch – pôdy, klíma a ekologické zóny. Na území Slovenska boli hodnotené zmeny krajiny pokrývky podľa kategórií AFOLU v rokoch 2000 a 2018. Výber časového intervalu najlepšie vystihoval 20 ročný interval odporučený metodikou IPCC na hodnotenie bilancie zmien krajiny v súvislosti s emisiami skleníkových plynov pre úroveň 1.

## 1. Stručný prehľad riešenej problematiky

Mapovanie krajiny pokrývky, ako aj hodnotenie jej zmien na globálnej, národnej aj lokálnej úrovni je predmetom pravidelných publikácií a vedeckých projektov, ktorých intenzita narastá s rozvojom satelitných technológií. Retrospektívny výber relevantných informačných zdrojov na národnej úrovni predstavujú nasledovné práce. Metódy výskumu krajiny pokrývky od Falťan et al. (2018) poskytujú definície a informácie o krajine a krajiny pokrývke, o zdrojoch údajov pre výskum krajiny pokrývky, o projektoch CLC, špecifikujú jednotlivé metódy mapovania, hodnotenia a analýz krajiny pokrývky spolu s ukázkami prípadových štúdií. Feranec et al. (2004) predstavujú krajinnú pokrývku ako zdroj informácií o dynamike krajiny spolu s terminológiou k danej problematike a vysvetlením rozdielov medzi vizuálnou a digitálnou interpretáciou krajiny pokrývky. Autori skúmali zmeny krajiny pokrývky podľa metodiky CLC v Maďarsku, Rumunsku, Českej a Slovenskej republike. Zmeny krajiny pokrývky sú prezentované pomocou kontingenčných tabuliek a grafov. V monografii Feranec a Oťahel (2001) autori uvádzajú komplexný prehľad postupov, prístupov a metód, pomocou ktorých sa dajú získať informácie o krajiny pokrývke a jej vlastnostiach a charakterizujú krajinnú pokrývku Slovenska. Oťahel et al. (2003) aplikujú databázu CLC na príklade okresu Skalica. Feranec et al. (2018) sa venujú metódam identifikácie, analýzy, hodnoteniu a zmenám krajiny pokrývky Slovenska a vybraných regiónov pre roky 1990, 2000, 2006 a 2012 pomocou máp, grafov a tabuliek. Monografia sa zaoberá aj možnosťami využívania údajov CLC pri riešení environmentálnych problémov, ktorým je napríklad pustnutie poľnohospodárskej krajiny, či jej fragmentácia. Boltížiar a Olah (2009) kladú dôraz na druhotnú krajinnú štruktúru a opisujú vhodné podklady pre analýzu krajiny pokrývky, metódy jej mapovania výskumu a hodnotenia. Zo slovenských autorov sa krajiny pokrývke a jej zmenám venovali aj Nováček et al. (2019), Kopecká (2006) a Grežo (2012). Zo zahraničných prác bola pre nás prínosom (EAA, 2017), ktorá prezentuje krajinnú pokrývku v Európe, spôsob jej monitorovania, negatívny vplyv človeka a spôsoby znižovania tohto negatívneho vplyvu, či predikcia vývoja krajiny pokrývky.

Najvýznamnejšou prácou z oblasti výpočtu emisií na základe kategórií krajiny pokrývky bola pre nás metodika IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. V roku 2019 bol zverejnený dokument (IPCC, 2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, ktorý dopĺňa metodiky z roku 2006 o najnovšie vedecké poznatky a spresňuje hodnoty niektorých emisných faktorov. Tubiello et al. (2014) poskytujú informácie o jednotlivých krokoch potrebných k získaniu a harmonizácii údajov a následnému výpočtu emisií zo sektora poľnohospodárstvo. Ngarize (2016) opisuje metodiku pre výpočet množstva emisií zo sektora AFOLU a uvádza praktické príklady jeho výpočtu. Správa (Eggleston et al., 2010) uvádza prehľad databáz Svetovej organizácie pre výživu, z ktorých je možné čerpať údaje potrebné pre výpočet emisií. Obsahuje aj klasifikačné schémy pre zosúladenie získaných dát s metodikou AFOLU a prehľad jednotlivých kategórií.

### 1.1 Krajinná pokrývka a jej mapovanie

Termín krajinná pokrývka má viacero definícií, podľa (Feranec a Oťahel, 2001) je materiálom prejavom prírodných a socioekonomických procesov týkajúcich sa hlavne využívania krajiny na zemskom povrchu. Krajinná pokrývka sa mení najmä ľudskou činnosťou a v menšej miere pôsobením prírodných procesov (Falťan, 2018). Feranec et al. (2018) rozlišuje sedem typov zmien krajiny pokrývky: Urbanizácia, Intenzifikácia poľnohospodárstva, Extenzifikácia poľnohospo-

dárstva, Zalesňovanie, Odlesňovanie, Výstavba vodných areálov, Iné zmeny, ktoré sú aj súčasťou projektu CLC. Ide o jeden z najvýznamnejších európskych projektov programu CORINE (Coordination of information on the environment), ktorý poskytuje jednotnú legendu kategórií krajinej pokrývky pre všetky participujúce štáty. Aplikovanie tohto projektu koordinuje Európska environmentálna agentúra (EEA, 1995). Do roku 2020 bolo vytvorených päť projektov CLC, ktoré mapovali krajinnú pokrývku v rokoch 1990, 2000, 2006, 2012 a 2018. V roku 2018 bolo súčasťou projektu 39 štátov. Mapovanie krajinej pokrývky je realizované v mierke 1 : 100 000. Minimálna veľkosť pre zaznamenanie areálu je 25 ha a pre líniu je to 100 m. Presnosť CLC v roku 1990 dosiahla hodnotu 50 m, v rokoch 2000, 2006 a 2012 hodnotu 25 m a v roku 2018 bola hodnota presnosti na úrovni 10 m. Legenda CLC je rozdelená do troch úrovní. Prvá úroveň obsahuje 5 tried krajinej pokrývky, ktoré sa ďalej členia na 15 tried druhej úrovne a 44 tried tretej úrovne. Z týchto 44 tried tretej úrovne sa na Slovensku v súčasnosti vyskytuje 31 tried (Slovenská agentúra životného prostredia, 2021).

## 1.2 Medzivládny panel o zmene klímy (IPCC)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bol zriadený v roku 1988 Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) a Programom Spojených národov pre životné prostredie (UNEP). Cieľom IPCC je poskytovať vládam členských krajín informácie, ktoré majú slúžiť pre zlepšovanie klimatických politík a tvorbu medzinárodných klimatických dohôd. IPCC má v súčasnosti 195 členov, medzi ktorými je aj Slovensko. Správy IPCC poskytujú vládam pravidelne aktualizované informácie o zmene klímy, dopadoch týchto zmien a prognózy budúceho vývoja zmien klímy a rizík z toho plynúcich. Tieto správy nie sú pre vlády právne záväzné, slúžia len ako podklad pre tvorbu zákonov a medzinárodných zmlúv. Správy IPCC boli napríklad podkladom pre vytvorenie Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC). Pri tvorbe správ vedci nevykonávajú vlastný výskum, ale zhromažďujú a hodnotia už publikovanú literatúru. Pre zabezpečenie objektivity sa na tvorbe správ IPCC podieľa množstvo svetovo uznávaných vedcov z rôznych krajín. Po vytvorení správy prechádzajú niekoľkými kolami kontrol, aby bola dôkladne posúdená ich komplexnosť, objektivnosť a transparentnosť. Vedci, ktorí sa podieľajú na tvorbe správ, sú rozdelení do troch hlavných a dvoch vedľajších pracovných skupín (EEA, 2021).

## 1.3 Národný program pre inventarizáciu skleníkových plynov

Národný program pre inventarizáciu skleníkových plynov zastrešuje pracovná skupina TFI (The Task Force on National Greenhouse Gas Inventories). Najnovšia metodika pre inventarizáciu skleníkových plynov pochádza z roku 2006, pričom v roku 2019 bolo publikované spresnenie niektorých častí metodiky. Metodika je vytvorená tak, aby emisie vypočítané jednotlivými krajinami boli kompletne, konzistentné, porovnateľné a presné. Metodické pokyny pre výpočet a inventarizáciu emisií pozostávajú z piatich častí: Všeobecné usmernenia a podávanie správ (GGR); Energetika; Priemyselné procesy a využitie produktov (IPPU); Poľnohospodárstvo, lesníctvo a iné využitie krajiny (AFOLU) a Odpady. Skleníkové plyny, ktoré sa podľa metodiky inventarizujú, majú podľa IPCC najväčší potenciál pre globálne otepľovanie (IPCC, 2006).

## 1.4 Úroveň prístupu k inventarizácii skleníkových plynov AFOLU

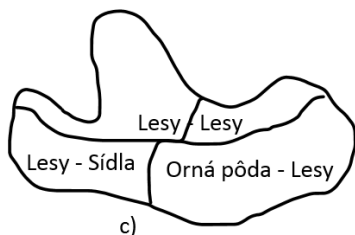
Metodika IPCC ponúka tri prístupy ku zmenám krajinej pokrývky (obr. 1). Pri prístupe 1 sú dostupné iba informácie o počiatkovej a aktuálnej rozlohe jednotlivých typov krajinej pokrývky. Podľa tohto prístupu sa nedá určiť medzi akými typmi krajinej pokrývky prebiehali zmeny. Prístup 2 obsahuje aj informácie o zmenách medzi typmi krajinej pokrývky, nedá sa však určiť priestorová lokalizácia týchto zmien. Prístup 3 obsahuje aj priestorovú lokalizáciu zmien v prostredí geografických informačných systémov.

Metodika pre časť AFOLU (poľnohospodárstvo, lesníctvo a iné využitie krajiny) poskytuje tri úrovne podrobnosti vstupných údajov a presností hodnôt emisných faktorov. Úroveň 1 je najjednoduchšia, rovnice a parametre emisných faktorov pre túto úroveň sú uvedené v metodike IPCC. Úroveň 2 využíva rovnaký prístup ako úroveň 1, ale hodnoty emisných faktorov sú založené na dátach danej krajiny. Najpodrobnejšia je úroveň 3, pri ktorej sa využívajú miestne merania na zistenie presných hodnôt emisných faktorov a detailné informácie o krajinej pokrývke. Táto úroveň je najpresnejšia.

☒

	Rok 1	Rok 2	Zmena
Lesy	105	99	-6
Orná pôda	50	54	2
Sídla	10	14	4

a)



c)

		Rok 2			Plocha	Zmena
		Lesy	Orná p.	Sídla		
Rok 1	Lesy	99	15	3	117	-16
	Orná pôda	2	45	4	51	10
	Sídla	0	1	8	21	6
	Plocha	101	61	15		

b)

Obr. 1 Prístupy ku zmenám krajinnej pokrývky a) prístup 1, b) prístup 2, c) prístup 3

Pre úroveň 1 sú emisie odhadované na základe krajinnej pokrývky za dve časové obdobia a na základe emisných faktorov – klíma, pôda, ekologická zóna a manažment krajiny (tab. 1). Rozstup medzi dvoma porovnávanými obdobiami by sa mal pohybovať na úrovni 20 rokov. Takýto rozstup sa pokladá za najvhodnejší, pretože pri zmene typu krajinnej pokrývky trvá priemerne 20 rokov, kým sa ustáli množstvo uhlíka v takto zmenenej krajine.

### Sektory AFOLU a kategórie krajinnej pokrývky

AFOLU sa delí na tri sektory, ktoré sa ďalej delia na kategórie. Sektory AFOLU sú:

#### 1. Hospodárske zvieratá

- a. Enterická fermentácia
- b. Spravovanie hnoja

#### 2. Krajina

- a. Lesy
- b. Orná pôda
- c. Trávnaté porasty
- d. Vodstvo
- e. Sídla
- f. Iné využitie krajiny

#### 3. Súhrnné zdroje a zdroje emisií iných ako CO<sub>2</sub> z krajiny

- a. Skleníkové plyny zo spaľovania biomasy
- b. Používanie močoviny
- c. Priame emisie N<sub>2</sub>O z obhospodarovanej pôdy
- d. Nepriame emisie N<sub>2</sub>O z obhospodarovanej pôdy
- e. Nepriame emisie N<sub>2</sub>O z hnojenia
- f. Pestovanie ryže
- g. Produkcia z vyťaženej dreva
- h. Iné

My sa zaoberáme sektorom 2. krajina, ktorého uhlíková bilancia sa odvíja najmä od krajinej pokrývky. Táto časť sektora AFOLU sa zvykne označovať ako FOLU.

Do kategórie Lesy patria všetky územia, na ktorých sa vyskytujú dreviny, pričom je počet a vek drevín v rozsahu prahových hodnôt definovaných v Národnom inventári skleníkových plynov. Zahŕňa všetky typy lesov – ihličnaté, listnaté a zmiešané.

Kategóriu Orná pôda tvoria územia, na ktorých sa pestujú jednoročné plodiny, trvalé plodiny vrátane ovocných sádov a viníc a dočasne nevyužívaná orná pôda.

Kategóriu trávnaté porasty tvoria pasienky, pastviny, trávnaté porasty, kroviny a územia s ne-trávnatou vegetáciou, ktoré nedosahujú prahovú hodnotu pre zaradenie do kategórie Lesy. Prevládajú tu trvalé trávy, ktoré môžu dopĺňať kríky a stromy.

Do kategórie Vodstvo patria všetky vodné plochy, rieky, jazerá, vodné nádrže, močiare a rašeliniská, ktoré sú po celý rok zaplavené alebo nasiaknuté vodou.

**Tab. 1 Emisné faktory a ich možné hodnoty**

Emisný faktor	Možné hodnoty	Anglický názov
klíma	boreálna	boreal
	mierne chladná suchá	cool temperate dry
	mierne chladná vlhká	cool temperate moist
	mierne teplá suchá	warm temperate dry
	mierne teplá vlhká	warm temperate moist
	tropická suchá	tropical dry
	tropická vlhká	tropical moist
pôda	tropická veľmi vlhká	tropical wet
	vysokoaktívna ílovitá	high activity clay
	nízkoaktívna ílovitá	low activity clay
	piesočnatá	sandy
	spodická	spodic
	vulkanická	volcanic
	mokraďová	wetland
ekologická zóna	organická	organic
	tropický daždivý prales	tropical rainforest
	tropický vlhký listnatý les	tropical moist deciduous forest
	tropický suchý les	tropical dry forest
	tropické kroviny	tropical shrubland
	tropická púšť	tropical desert
	tropický horský systém	tropical mountain systems
	subtropický vlhký les	subtropical humid forest
	subtropický suchý les	subtropical dry forest
	subtropická step	subtropical steppe
	subtropická púšť	subtropical desert
	subtropický horský systém	subtropical mountain systems
	oceánsky les mierneho pásma	temperate oceanic forest
	kontinentálny les mierneho pásma	temperate continental forest
	step mierneho pásma	temperate steppe
	púšť mierneho pásma	temperate desert
	horský systém mierneho pásma	temperate mountain systems
	boreálny ihličnatý les	boreal coniferous forest
	zalesnená oblasť boreálnej tundry	boreal tundra woodland
	horský systém tundry	boreal mountain systems
polárna	polar	
manažment krajiny	obrábanie pôdy intenzívne/mierne/bez kultivácie	intensive tillage/reduced till/no-till
	dlhodobo kultivovaná	long term cultivated
	trvalé stromy	perennial tree crop
	vápnenie	liming
	využívanie nelokálnych zdrojov vysoké/nízke/stredné	high/low/medium input cropping systems
	kultivovaný trávny porast	improved grassland
	nekultivovaný trávny porast	unimproved grassland

Zdroj: (IPCC, 2006)

Katégória Sídla zahŕňa všetky zastavené územia, vrátane dopravnej infraštruktúry. Patrí sem aj vegetácia v urbanizovanom prostredí – trávniky, parky alebo stromy. Katégória obsahuje aj športoviská ako napríklad golfové ihriská, hipodrómy a atletické štadióny.

Katégória Iné využitie krajiny zahŕňa skaly, permafrost, ľad a všetky ostatné využitia krajiny, ktoré nezahŕňajú predchádzajúce kategórie AFOLU. Vďaka tejto kategórii je možné obsiahnuť celú plochu skúmaného územia.

## 2. Použitá metodika výpočtu uhlíkovej bilancie využitím úrovne 1

Metodika AFOLU poskytuje vzorce pre každú kategóriu krajinej pokrývky, pričom ich rozdeľuje do dvoch skupín – krajinná pokrývka X zostávajúca krajinnou pokrývkou X a krajinná pokrývka X zmenená na krajinnú pokrývkou Y. Do prvej skupiny patrí územie, ktoré malo v oboch sledovaných obdobiach rovnakú krajinnú pokrývkou. Do druhej skupiny sa zaraďuje územie, ktoré malo v sledovaných obdobiach inú krajinnú pokrývkou. Rozlohy areálov sa uvádzajú v hektároch a množstvo uhlíka v tonách.

Zmeny v množstve zásob uhlíka sa počítajú pre tri zdroje uhlíka:

1. Živá biomasa:
  - a. Nadzemná biomasa – všetka biomasa nachádzajúca sa nad úrovňou pôdy, napríklad stromy (kmene, konáre, lístie), kriky,
  - b. Podzemná biomasa – korene rastlín hrubšie ako 2 mm.
2. Odumretá organická hmota:
  - a. Odumreté drevo – všetka odumretá biomasa, ktorá má jeden z rozmerov aspoň 10 cm, aj nadzemná aj podzemná biomasa, napríklad mŕtve korene, pne, konáre,
  - b. Odpad z biomasy – všetka odumretá biomasa, ktorá je menšia ako 10 cm.
3. Pôdny uhlík – uhlík nachádzajúci sa v pôdach do hĺbky 30 cm.
  - a. Uhlík z minerálnych pôd,
  - b. Uhlík z organických pôd.

Katégorie krajinej pokrývky a relevantné zdroje uhlíka k danej kategórii sú uvedené v tab. 2. Vzorce pre výpočet zmeny zásob uhlíka pre živú biomasu, odumretú organickú hmotu a pôdny uhlík definuje dokument IPCC (2019). Hodnoty väčšiny faktorov vstupujúcich do rovníc sú súčasťou metodiky AFOLU. Rovnice sú uvedené v tab. 3, pričom postup ich použitia je nasledovný:

### Živá biomasa

Pre výpočet ročnej zmeny uhlíkovej bilancie zo živej biomasy na základe metódy prírastkov a úbytkov uhlíka platí rovnica (1), ktorá sa vzťahuje len na územia majúce v oboch sledovaných obdobiach rovnakú kategóriu krajinej pokrývky. Na výpočet ročného prírastku zásob uhlíka pre územia zostávajúce v rovnakej kategórii krajinej pokrývky platí rovnica (2). Priemerný ročný nárast biomasy, ktorý vstupuje do rovnice (2), je možné vypočítať na základe rovnice (3). Pre výpočet ročného úbytku zásob uhlíka platí rovnica (4). Premenné vstupujúce do rovnice (4) je možné vypočítať na základe rovníc (5), (6) a (7). Pre areály, ktoré sa v sledovaných obdobiach nachádzajú v odlišnej kategórii krajinej pokrývky platí pre zmenu zásob uhlíka v živej biomase rovnica (8). Počiatočnú zásobu uhlíka v živej biomase z dôvodu zmeny krajinej pokrývky sa počíta na základe rovnice (9).

### Odumretá organická hmota

Pre úroveň 1 platí, že pri areáloch, ktoré majú v oboch sledovaných obdobiach rovnakú krajinnú pokrývkou, je zmena množstva uhlíka spôsobená odumretou organickou hmotou rovná nule. Pri areáloch, v ktorých prišlo ku konverzii krajinej pokrývky, platí rovnica (10).

### Pôdny uhlík

Pre výpočet zmeny zásob uhlíka v pôde sú pre areály zostávajúce v rovnakej kategórii krajinej pokrývky a pre zmenené areály rovnice zhodné. Základná rovnica pre zmenu zásob pôdneho uhlíka je rovnica (11). Zmenu zásob uhlíka v minerálnych pôdach sa vypočíta podľa rovníc (12) a (13). Využitím rovnice (14) zistíme množstvo uvoľneného uhlíka z organických pôd. Celkovú uhlíkovú bilanciu vypočítame podľa rovnice (15). Na výpočet zmien zásob uhlíka v minerálnych pôdach slúžia rovnice (12) a (13).

**Tab. 2 Kategórie krajinej pokrývky a relevantné zdroje uhlíka (IPCC, 2006)**

Kategória	Podkategória	Zdroj uhlíka
Lesy	zostávajúce Lesy	Biomasa
Lesy Orná pôda	zostávajúce Lesy zmenené na Lesy	Organická pôda
		Biomasa
	zmenené na Lesy zostávajúca Orná pôda	Odumretá organická hmota
		Minerálna pôda
		Organická pôda
Orná pôda Trávnaté porasty	zostávajúca Orná pôda zmenené na Orná pôda	Biomasa
		Minerálna pôda
	zmenené na Orná pôda zostávajúce Trávnaté porasty	Organická pôda
		Minerálna pôda
		Biomasa
Trávnaté porasty Vodstvo	zostávajúce Trávnaté porasty zmenené na Trávnaté porasty	Organická pôda
		Biomasa
	zmenené na Trávnaté porasty zostávajúce Vodstvo	Odumretá organická hmota
		Minerálna pôda
		Organická pôda
Vodstvo	zmenené na Vodstvo	biomasa
Sídla	zostávajúce Sídla	žiadny zdroj uhlíka
	zmenené na Sídla	Biomasa
Sídla Iné využitie krajiny	zmenené na Sídla zostávajúce Iné využitie krajiny	Odumretá organická hmota
		Minerálna pôda
		Organická pôda
		žiadny zdroj uhlíka
Iné využitie krajiny	zmenené na Iné využitie krajiny	Biomasa
		Minerálna pôda
	zmenené na Iné využitie krajiny	Organická pôda

**Tab. 3 Vzorce s vysvetlením premenných na výpočet zmeny zásob uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky (IPCC, 2019)**

Vzorce s vysvetlením premenných	
$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$ <p> <math>\Delta C_B</math> – ročná zmena zásob uhlíka v biomase (<math>T \cdot C \cdot \text{rok}^{-1}</math>)  <math>\Delta C_G</math> – ročné zvýšenie zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy (<math>T \cdot C \cdot \text{rok}^{-1}</math>)  <math>\Delta C_L</math> – ročné zníženie zásob uhlíka z dôvodu odumierania biomasy (<math>T \cdot C \cdot \text{rok}^{-1}</math>)                 </p>	(1)
$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} * G_{TOTAL_{i,j}} * CF_{i,j})$ <p> <math>\Delta C_G</math> – ročné zvýšenie zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy (<math>T \cdot C \cdot \text{rok}^{-1}</math>)  <math>A</math> – rozloha areálov, ktorý majú v oboch sledovaných obdobiach rovnakú kategóriu krajinej pokrývky (ha)  <math>G_{TOTAL}</math> – priemerný ročný rast biomasy (tona odumretej hmoty * <math>\text{ha}^{-1}</math> * <math>\text{rok}^{-1}</math>)  <math>i</math> – ekologická zóna  <math>j</math> – klimatická zóna  <math>CF</math> – uhlíková frakcia odumretej hmoty ((tona odumretej hmoty)<math>^{-1}</math>)                 </p>	(2)
$G_{TOTAL} = \sum [G_W * (1 + R)]$ <p> <math>G_{TOTAL}</math> – priemerný ročný rast biomasy (tona odumretej hmoty * <math>\text{ha}^{-1}</math> * <math>\text{rok}^{-1}</math>)                 </p>	(3)

<p><math>G_w</math> – priemerný ročný prírastok nadzemnej biomasy pre konkrétny typ drevinovej vegetácie v tonách na hektár za rok</p> <p><math>R</math> – podiel podzemnej a nadzemnej biomasy pre daný vegetačný typ ((tona odumretej hmoty nadzemnej biomasy)<sup>-1</sup>)</p> <p>Pri úrovni 1 platí, že množstvo podzemného uhlíka sa nemení (<math>R = 0</math>), preto môžeme rovnicu zjednodušiť na tvar: <math>G_{TOTAL} = G_w</math></p>	
$\Delta C_L = L_{wood-removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$ <p><math>\Delta C_L</math> – ročné zníženie zásob uhlíka z dôvodu odumierania biomasy (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>L_{wood-removals}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu ťažby dreva (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>L_{fuelwood}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu odobratia dreva na spaľovanie (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>L_{disturbance}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu lesných požiarov (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p>Premenné vstupujúce do rovnice (4) je možné vypočítať na základe rovnice (5), rovnice (6) a (7).</p>	(4)
$L_{wood-removals} = [H * BCEF_R * (1 + R) * CF]$ <p><math>L_{wood-removals}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu ťažby dreva (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>BCEF_R</math> – konverzný faktor biomasy ((m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R</math> – podiel podzemnej a nadzemnej biomasy pre daný vegetačný typ ((tona odumretej hmoty nadzemnej biomasy)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>CF</math> – uhlíková frakcia odumretej hmoty ((tona odumretej hmoty)<sup>-1</sup>)</p>	(5)
$L_{fuelwood} = \{ [FG_{trees} * BCEF_R * (1 + R)] + FG_{part} * D \} * CF$ <p><math>L_{fuelwood}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu odobratia dreva na spaľovanie (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>FG_{trees}</math> – objem odobratých celých stromov na spaľovanie (m<sup>3</sup>*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>BCEF_R</math> – konverzný faktor biomasy ((m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R</math> – podiel podzemnej a nadzemnej biomasy pre daný vegetačný typ ((tona odumretej hmoty nadzemnej biomasy)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>FG_{trees}</math> – objem odobratých konárov alebo častí stromov na spaľovanie (m<sup>3</sup>*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>D</math> – hustota dreva ((tona odumretej biomasy)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>CF</math> – uhlíková frakcia odumretej hmoty ((tona odumretej hmoty)<sup>-1</sup>)</p>	(6)
$L_{disturbance} = [A_{disturbance} * B_w * (1 + R) * CF * fd]$ <p><math>L_{disturbance}</math> – zníženie zásob uhlíka z dôvodu lesných požiarov (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>A_{disturbance}</math> – rozloha lesov zasiahnutá požiarom (ha*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>B_w</math> – priemerné množstvo nadzemnej biomasy v oblastiach postihnutých požiarom ((tona odumretej hmoty)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R</math> – podiel podzemnej a nadzemnej biomasy pre daný vegetačný typ (tona odumretej hmoty nadzemnej biomasy*ha<sup>-1</sup>)</p> <p><math>CF</math> – uhlíková frakcia odumretej hmoty ((tona odumretej hmoty)<sup>-1</sup>)</p> <p><math>fd</math> – podiel zničenej biomasy</p> <p>Pre areály, ktoré sa v sledovaných obdobiach nachádzajú v odlišnej kategórii krajiny pokrývky platí pre zmenu zásob uhlíka v živej biomase rovnica (8).</p>	(7)
$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L$ <p><math>\Delta C_B</math> – ročná zmena zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>\Delta C_G</math> – ročné zvýšenie zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy (T*C*rok<sup>-1</sup>)</p> <p><math>\Delta C_{CONVERSION}</math> – počiatková zmena zásob uhlíka z dôvodu zmeny kategórie krajiny</p>	(8)



<p>pokrývky (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>\Delta C_L</math> – ročné zníženie zásob uhlíka z dôvodu odumierania biomasy (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p>Počiatočnú zásobu uhlíka v živej biomase z dôvodu zmeny krajinej pokrývky vypočítame na základe rovnice (9).</p>	
$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i [(B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) * \Delta A_{TO\_OTHERS_i}] * CF$ <p><math>\Delta C_{CONVERSION}</math> – počiatočná zmena zásob uhlíka z dôvodu zmeny kategórie krajinej pokrývky (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>B_{AFTER}</math> – zásoby biomasy po konverzii krajinej pokrývky (tona odumretej hmoty <math>\cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>B_{BEFORE}</math> – zásoby biomasy pred konverziou krajinej pokrývky (tona odumretej hmoty <math>\cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>\Delta A_{TO\_OTHERS}</math> – rozloha areálov, ktoré prešli zmenou krajinej pokrývky (<math>ha \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>CF</math> – uhlíková frakcia odumretej hmoty ((tona odumretej hmoty)<math>^{-1}</math>)</p> <p><math>i</math> – ekologická zóna</p>	(9)
$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_0) * A_{on}}{T_{on}}$ <p><math>\Delta C_{DOM}</math> – ročná zmena zásob uhlíka v odumretej organickej hmote (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>C_n</math> – odumretá organická hmota v novej kategórii krajinej pokrývky (<math>T \cdot C \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>C_0</math> – odumretá organická hmota v starej kategórii krajinej pokrývky (<math>T \cdot C \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>A_{on}</math> – rozloha areálov, ktoré prešli zmenou krajinej pokrývky (ha)</p> <p><math>T_{on}</math> – časová perióda transformácie zo starej kategórie krajinej pokrývky do novej.</p> <p>Pre úroveň 1 platí, že pre zvýšenie zásob uhlíka je rovná 20 rokom a zníženie zásob uhlíka prebieha okamžite (1 rok).</p>	(10)
$\Delta C_{Soils} = \Delta C_{Mineral} - L_{Organic} + \Delta C_{Inorganic}$ <p><math>\Delta C_{Soils}</math> – ročná zmena zásob uhlíka v pôde (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>\Delta C_{Mineral}</math> – ročná zmena zásob uhlíka v minerálnej pôde (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>L_{Organic}</math> – ročné zníženie zásob uhlíka v organickej pôde (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>\Delta C_{Inorganic}</math> – ročná zmena zásob uhlíka v pôde (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>). Pre úroveň 1 je zmena rovná nule.</p> <p>Zmenu zásob uhlíka v minerálnych pôdach vypočítame podľa rovnice (12) a (13).</p>	(11)
$\Delta C_{Mineral} = \frac{SOC_0 - SOC_{0-T}}{D}$ <p><math>\Delta C_{Mineral}</math> – ročná zmena zásob uhlíka v minerálnej pôde (<math>T \cdot C \cdot rok^{-1}</math>)</p> <p><math>SOC_0</math> – zásoba uhlíka na konci sledovaného obdobia (<math>T \cdot C</math>)</p> <p><math>SOC_{0-T}</math> – zásoba uhlíka na začiatku sledovaného obdobia (<math>T \cdot C</math>)</p> <p><math>D</math> – časová závislosť prechodu SOC do rovnovážnych hodnôt. Predvolená hodnota je 20 rokov.</p>	(12)
$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} * F_{LU_{c,s,i}} * F_{MG_{c,s,i}} * F_{I_{c,s,i}} * A_{c,s,i})$ <p><math>SOC_{REF}</math> – referenčná zásoba uhlíka (<math>T \cdot C \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>F_{LU}</math> – faktor zmeny podľa systému využívania pôdy</p> <p><math>F_{MG}</math> – faktor zmeny na základe managementu krajiny</p> <p><math>F_I</math> – faktor zmeny na základe vstupov (hnojenia) krajiny</p> <p><math>A</math> – rozloha areálov (ha)</p> <p><math>i</math> – ekologická zóna</p>	(13)

$j$ – klimatická zóna $c$ – pôdny typ	
$L_{organic} = \sum_c (A * EF)_c$ <p><math>L_{organic}</math> – ročné zníženie zásob uhlíka v organickej pôde (<math>T * C * rok^{-1}</math>)  <math>A</math> – rozloha areálov (ha)  <math>EF</math> – emisný faktor (<math>T * C * ha^{-1} * rok^{-1}</math>)  <math>c</math> – pôdny typ</p>	(14)
$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$ <p><math>\Delta C</math> – ročná zmena zásob uhlíka (<math>T * C * rok^{-1}</math>)  <math>\Delta C_G</math> – ročné zvýšenie zásob uhlíka (<math>T * C * rok^{-1}</math>)  <math>\Delta C_L</math> – ročné zníženie zásob uhlíka (<math>T * C * rok^{-1}</math>)</p>	(15)

### 3. Údaje a postup výpočtu zásob uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky

Výpočet zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka vychádza z reklasifikácie kategórií krajinej pokrývky z CLC do AFOLU v dvoch sledovaných obdobiach a z porovnania ich zmien. Ďalším faktorom vo výpočte je pôda, pričom klasifikačný systém pôd na Slovensku je transformovaný do systému AFOLU. Pre jednotlivé kombinácie zmien krajinej pokrývky, aj podľa hodnôt environmentálnych faktorov na Slovensku sú stanovené emisné faktory, ktoré vstupujú do výpočtu uhlíkovej bilancie.

#### 3.1 Zdroje vstupných údajov a prvotné spracovanie

V práci boli využité vstupné vektorové dáta obsahujúce dáta o krajinej pokrývke, pôde, klimatických zónach, ekologických zónach a administratívnom členení Slovenska. Správcom údajov o krajinej pokrývke SR je Slovenská agentúra životného prostredia a údaje sú dostupné v dvoch verziách, revidované a nerevidované. Vzhľadom na to, že v čase spracovania tohto projektu neboli dostupné revidované údaje za rok 2018, boli na realizáciu prípadovej štúdie implementované údaje GEOS2000 (2021) a GEOS2018 (2021) vo formáte ESRI (ESRI, 2021a). Získané údaje o krajinej pokrývke sú klasifikované na základe metodiky CLC pre 1. až 3. hierarchickú úroveň. Vrstvy CLC boli implementované v súradnicovom systéme ETRS89.

Údaje o pôde SR vhodné pre 1. úroveň výpočtu zásob uhlíka podľa AFOLU predstavuje pôdna mapa (Ustredný portál verejných služieb, 2021). Pôdna mapa je vo formáte GeoJSON v súradnicovom systéme S-JTSK a mierke 1 : 400 000. Vrstva obsahuje informácie o druhu a type pôdy a veľkosti jednotlivých areálov.

Údaje poskytujúce informácie o klimatických zónach v súlade s metodikou IPCC sú dostupné na JRC (2021a). Údaje boli implementované vo vektorovej forme shapefile (SHP) v súradnicovom systéme WGS84.

Údaje o ekologických zónach v súlade s metodikou IPCC boli získané zo stránky FAO (2021). Poskytnuté údaje sú v súradnicovom systéme WGS84 a vo formáte SHP.

Administratívne hranice Slovenska sú dostupné na Geoportáli (2021). Implementovaná bola základná úroveň generalizácie v súradnicovom systéme S-JTSK obsahujúci štyri vektorové vrstvy (hranice štátu, krajov, okresov a obcí).

Všetky priestorové údaje boli harmonizované podľa súradnicových systémov a vektorových formátov pomocou konverznej a transformačnej služby dostupnej na Geoportáli (Geoportál, 2021) do ETRS89 a vektorového formátu SHP. Rozsah spracovaného územia bol pomocou administratívnej hranice SR nástrojom na vyrezanie územia v prostredí technologického systému ArcGIS upravený na územie Slovenska.

### 3.2 Reklasifikácia kategórií krajinej pokrývky CLC do AFOLU

Na základe práce (Kosztra a Büttner, 2019), ktorá bližšie špecifikuje šesť kategórií krajinej pokrývky AFOLU a legendy CLC, ktorá obsahuje 3 klasifikačné úrovne bola vytvorená nová konverzná tab. 4. Priradenie tried s výnimkou triedy Areály s riedkou vegetáciou bolo jednoznačné. Areály s riedkou vegetáciou tvorí textúra skál, holej pôdy a zreteľné zastúpenie pásov veľmi riedkej vegetácie, ktorá zaberá 15 – 50 % povrchu. Väčšinu povrchu teda tvoria skaly alebo holá pôda, preto boli zaradené do kategórie Iné využitie krajiny.

**Tab. 4 Konverzia tried krajinej pokrývky z metodiky CLC do kategórií krajinej pokrývky podľa metodiky IPCC**

Prvá úroveň CLC	Druhá úroveň CLC	Tretia úroveň CLC			
1. Urbanizované a technizované areály	1.1. Urbanizovaná (sídlná) zástavba	1.1.1 - Súvislá sídlná zástavba			
		1.1.2 - Nesúvislá sídlná zástavba			
	1.2. Priemyselné, obchodné a dopravné areály	1.2.1 - Priemyselné a obchodné areály			
		1.2.2 - Cestná a železničná sieť a príslušné areály			
		1.2.3 - Areály prístavov			
		1.2.4 - Areály letísk			
	1.3. Areály ťažby, skládok a výstavby	1.3.1 - Areály ťažby nerastných surovín			
		1.3.2 - Areály skládok			
		1.3.3 - Areály výstavby			
	1.4. Areály sídelnej (nepoľnohospodárskej) vegetácie	1.4.1 - Areály sídelnej vegetácie			
		1.4.2 - Areály športu a zariadení voľného času			
	2. Poľnohospodárske areály	2.1. Orná pôda	2.1.1 - Nezavlažovaná orná pôda		
2.2. Trvalé kultúry		2.2.1 - Vinice			
		2.2.2 - Ovocné stromy a plantáže ovocnín			
2.3. Areály tráv		2.3.1 - Trávne porasty, lúky a pasienky			
2.4. Heterogénne poľnohospodárske areály		2.4.1 - Jednoročné plodiny s trvalými kultúrami			
		2.4.2 - Mozaika poľí, lúk a trvalých kultúr			
		2.4.3 - Prevažne poľnohospodárske areály s výrazným podielom prirodzenej vegetácie			
3. Lesné a poloprirodné areály	3.1. Lesy	3.1.1 - Listnaté lesy			
		3.1.2 - Ihličnaté lesy			
		3.1.3 - Zmiešané lesy			
	3.2. Kroviny alebo trávne areály	3.2.1 - Prirodzené lúky			
		3.2.2 - Vresoviská, slatiny a kosodrevina			
		3.2.4 - Prechodné lesokroviny			
	3.3. Holiny s riedkou vegetáciou alebo bez vegetácie	3.3.2 - Skaly			
3.3.3 - Areály s riedkou vegetáciou					
3.3.4 - Spáleniská					
4. Zamokrené areály	4.1. Vnútrozemské mokrade	4.1.1 - Močiare			
		4.1.2 - Rašeliniská			
5. Vody	5.1. Vnútrozemské vody	5.1.1 - Vodné toky			
		5.1.2 - Vodné plochy			
Kategórie AFOLU (Farby odpovedajú kartografickej interpretácii výstupov)					
Sídla	Lesy	Orná pôda	Trávnaté porasty	Vodstvo	Iné využitie krajiny

### 3.3 Reklasifikácia pôd do AFOLU

Klasifikácia IPCC pre pôdy obsahuje sedem kategórií pôdy uvedených v tab. 1. Na základe klasifikačnej schémy pre pôdy uvedenej v metodike IPCC bola typom pôdy v pôdnej mape Slovenska priradená kategória podľa metodiky IPCC. Táto metodika však neobsahovala všetky pôdne typy vyskytujúce sa na území Slovenska, preto na základe práce (Batjes, 2010), ktorá podrobne opisuje konverziu medzi pôdnymi typmi uvedenými v Svetovej pôdnej databáze a kategóriami IPCC, bola vytvorená reklasifikácia (tab. 5). V pôdnej mape sú vodné toky a vodné plochy označené písmenom v, pre tieto plochy sa však podľa metodiky IPCC neurčuje kategória pôdy. Preto boli takéto areály označené ako neklasifikované. Pôdna mapa obsahuje niekoľko areálov, pri ktorých nebol pôdny typ určený (no data). Na základe menej presnej mapy na stránke Spoločného výskumného centra Európskej komisie (JRC, 2021b) bola týmto areálom priradená kategória vysokoaktívna ílovitá pôda.

**Tab. 5 Konverzia typov pôd do klasifikácie pôd podľa IPCC**

označenie v pôdnej mape	pôdny typ	klasifikácia pôdy podľa IPCC
a	kultizeme	vysokoaktívna ílovitá
Č1, Č2, Č3, Č4, Č5, Č6, Č7	černozeme	vysokoaktívna ílovitá
D1, D2, D3	regozeme	piesočnatá
G1, G2, G3, G3t	pseudogleje	vysokoaktívna ílovitá
H1, H2, H3, H5, H6, H7, H8, H10, H11	kambizeme	vysokoaktívna ílovitá
H4, H9	andezeme	vulkanická
I1, I2, I3, I4	luzizeme	vysokoaktívna ílovitá
L1, L2, L3, L4, L5	černice	vysokoaktívna ílovitá
M1, M2, M3, M4, M5	hnedozeme	vysokoaktívna ílovitá
N1, N2, N3, N4, N5, N6	fluvizeme	vysokoaktívna ílovitá
N5G	gleje	mokraďová
P1, P2, P3	podzol	spodická
r	litzeme	vysokoaktívna ílovitá
R1, R2, R3, R4	rendzina	vysokoaktívna ílovitá
R5, R6	pararendzina a regozem	vysokoaktívna ílovitá
s	solončaky a slance	vysokoaktívna ílovitá
T1, T2	organozeme	organická
v	voda	neklasifikovaná
no data	neznámy	vysokoaktívna ílovitá

### 3.4 Emisné faktory a postup výpočtu zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky

Pri realizácii výpočtu zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky boli implementované hodnoty emisných faktorov – premenných vo vzorcoch v tab. 3 podľa (IPCC, 2006, 2019). Výpočet zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka zohľadňoval zmeny krajinej pokrývky, pričom sa porovnávali dve obdobia – 2000 a 2018. Výber uvedeného časového intervalu vychádzal z odporúčenia IPCC na 20 ročný interval. Pre úroveň 1 platí, že pre zvýšenie zásob uhlíka sa uvažuje časová perióda 20 rokov a zníženie zásob uhlíka prebieha okamžite (1 rok). Pre vybrané typy zmien priraduje IPCC špecifické hodnoty emisných faktorov.

#### Lesy zostávajúce Lesami

Relevantné zdroje uhlíka pre túto kategóriu sú živá biomasa a organická pôda (tab. 2). Pre výpočet zvýšenia zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy  $\Delta C_G$  bola aplikovaná rovnica (2). Hodnota  $G_W$  je uvedená v tab. 6 a hodnota  $CF$  v tab. 7.

**Tab. 6 Hodnota  $G_W$** 

Ekologická zóna	Hodnota $G_W$
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	3
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	4

**Tab. 7 Hodnota  $CF$** 

Typ lesa	Hodnota $CF$
listnatý	0,48
ihličnatý	0,51
zmiešaný	0,5

Ročné zníženie zásob uhlíka z dôvodu odumierania biomasy  $\Delta C_L$ , vzhľadom na nedostupnosť údajov o územných celkoch a množstve vyťaženého dreva za tieto celky, boli generované globálne za celé územie SR. Pre výpočet straty uhlíka z organickej pôdy bola použitá rovnica (5), pričom hodnota  $EF$  je 0,749.

#### Iná kategória zmenená na Lesy

Zdroje uhlíka pre túto kategóriu sú živá biomasa, odumretá biomasa, minerálna pôda a organická pôda. Pre výpočet zvýšenia zásob uhlíka z dôvodu rastu biomasy a straty uhlíka z organickej pôdy sa používajú rovnaké hodnoty parametrov a rovnice ako v kategórii Lesy zostávajúce Lesami. Na výpočet ročnej zmeny zásob uhlíka v odumretej organickej hmote  $\Delta C_{DOM}$  bola použitá rovnica (10), pričom hodnota  $C_n$  je uvedená v tab. 8 a hodnota  $T$  je 20.

**Tab. 8 Hodnota  $C_n$** 

Ekologická zóna	Typ lesa	$C_n$
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	ihličnatý	3,9
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	listnatý	3,4
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	zmiešaný	3,7
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	ihličnatý	66,3
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	listnatý	23,9
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	zmiešaný	47,8

Ak vychádzame z predpokladu, že klimatická zóna, ekologická zóna a pôdny typ sú v oboch sledovaných obdobiach rovnaké a spôsob manažmentu krajiny sa nemení (údaje o manažmente nie sú k dispozícii), tak  $SOC_0 = SOC_{0-T}$ . V rovnici (12) je potom hodnota čitateľa 0, čiže množstvo zásob uhlíka v minerálnych pôdach je v oboch sledovaných obdobiach rovnaké:  $\Delta C_{Mineral} = 0$ . Toto platí pre všetky kategórie krajiny pokrývky.

#### Orná pôda zostávajúca Ornou pôdou

Zdroje uhlíka pre túto kategóriu sú živá biomasa, minerálna pôda a organická pôda. Zmena zásob uhlíka v živej biomase nastáva iba v prípade areálov, v ktorých sa pestujú viacročné plodiny, pričom tieto plodiny neprinášajú úrodu každoročne. Na Slovensku sa takéto rastliny nepestujú, preto je množstvo uhlíka v biomase konštantné:  $\Delta C_B = 0$ . Strata uhlíka z organickej pôdy sa vypočíta podľa rovnice (14), pričom hodnota  $EF$  je uvedená v tab. 9.

**Tab. 9 Hodnota  $EF$** 

Klimatická zóna	$EF$
cool temperate moist (mierne chladná vlhká)	5
cool temperate dry (mierne chladná suchá)	5
warm temperate dry (mierne teplá suchá)	10

#### Iná kategória zmenená na Ornú pôdu

Relevantné zdroje uhlíka pre túto kategóriu sú živá biomasa, odumretá organická hmota, minerálna pôda a organická pôda. Zmenu zásob uhlíka v živej biomase sa vypočíta na základe rovníc (8) a (9), pričom hodnota  $CF$  je 0,5 a hodnota  $B_{BEFORE}$  pre predchádzajúcu kategóriu krajiny po-

krývky Lesy je uvedená v tab.10 a pre predchádzajúcu kategóriu Trávnaté porasty v tab. 11. Hodnota  $G_w$  pre jednoročné plodiny je 4,7 a pre viacročné plodiny 0,28, pre viacročné plodiny sa určuje aj hodnota  $C_L$  rovná 13,1.

**Tab. 10 Hodnota  $B_{BEFORE}$  pre Lesy**

Ekologická zóna	$B_{BEFORE}$
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	214,7
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	162

**Tab. 11 Hodnota  $B_{BEFORE}$  pre Trávnaté porasty**

Klimatická zóna	$B_{BEFORE}$
cool temperate moist (mierne chladná vlhká)	13,6
cool temperate dry (mierne chladná suchá)	6,5
warm temperate dry (mierne teplá suchá)	6,1

Zmena zásob uhlíka v odumretej organickej hmote sa vypočíta podľa rovnice (10), pričom hodnota  $C_n$  je 0,  $T$  je 1 a hodnota  $C_0$  je uvedená v tab. 12. Množstvo uvoľneného uhlíka z organickej pôdy sa vypočíta na základe rovnice (14), pričom hodnota  $EF$  je v tab. 9.

**Tab. 12 Hodnota  $C_0$**

Ekologická zóna	Typ lesa	$C_0$
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	ihličnatý	3,9
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	listnatý	3,4
temperate mountain system (horský systém mierneho pásma)	zmiešaný	3,7
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	ihličnatý	66,3
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	listnatý	23,9
temperate continental forest (kontinentálny les mierneho pásma)	zmiešaný	47,8

#### Trávnaté porasty zostávajúce Trávnatými porastmi

V tejto kategórii sú zdroje uhlíka minerálna a organická pôda. Množstvo uvoľneného uhlíka organickou pôdou sa vypočíta na základe rovnice (14), pričom hodnota  $EF$  je uvedená v tab. 13.

**Tab. 13 Hodnota  $EF$  pre Trávnaté porasty**

Klimatická zóna	$EF$
cool temperate moist (mierne chladná vlhká)	0,25
cool temperate dry (mierne chladná suchá)	0,25
warm temperate dry (mierne teplá suchá)	2,5

#### Iná kategória zmenená na Trávnaté porasty

Pri tejto kategórii sú zdrojmi uhlíka živá biomasa, odumretá organická hmota, minerálna pôda a organická pôda. Pre výpočet zmien uhlíka v živej biomase sú potrebné národné odhady koeficientov, preto sa zmena zásob uhlíka v živej biomase nepočítala.

Zmena zásob uhlíka v odumretej organickej hmote sa počíta v prípade predchádzajúcej kategórie krajinej pokrývky Lesy podľa rovnice (10), pričom hodnota  $C_0$  je uvedená v tab. 12. Množstvo uhlíka uvoľneného z organickej pôdy sa vypočíta na základe rovnice (14) a hodnoty  $EF$  uvedenej v tab. 13.

#### Vodstvo zostávajúce vodstvom

K zmene zásob uhlíka dochádza iba pri ťažbe rašeliny.

#### Iná kategória zmenená na Vodstvo

Pri zmene kategórie krajinej pokrývky na Vodstvo sa množstvo emisií počíta podľa rovnice (9) aplikuje sa len na areály, kde bola predchádzajúca kategória krajinej pokrývky Lesy. Hodnota  $B_{AFTER}$  je rovná nule, hodnota  $B_{BEFORE}$  je uvedená v tab. 10 a hodnota  $CF$  v tab. 7.

### Sídla zostávajúce Sídlami

V tejto kategórii zostáva množstvo uhlíka bez zmeny, okrem prípadu, keď sa Sídla nachádzajú na organickej pôde. Táto pôda však nie je vhodná pre výstavbu, a preto sa na nej Sídla nezvyknú nachádzať. To platí aj pre Slovensko, kde sa na organickej pôde Sídla nevyskytujú.

### Iná kategória zmenená na Sídla

Zdroje uhlíka pre túto kategóriu sú živá biomasa, odumretá organická hmota, minerálna pôda a organická pôda. Zmena zásob uhlíka v živej biomase sa nepočítala, nakoľko sú pri tomto výpočte potrebné národné koeficienty. Zmena zásob uhlíka v odumretej organickej biomase sa počíta na základe rovnice (10), pričom hodnota  $C_0$  je uvedená v tab. 12, hodnota  $C_n$  je 0 a hodnota  $T$  je 1. Strata uhlíka z organickej pôdy sa počíta podľa rovnice (14), kde  $EF$  má hodnotu 5.

### Iné využitie krajiny zostávajúce Iným využitím krajiny

Pre túto kategóriu platí, že uhlíková bilancia sa v nej nezisťuje.

### Iná kategória zmenená na Iné využitie krajiny

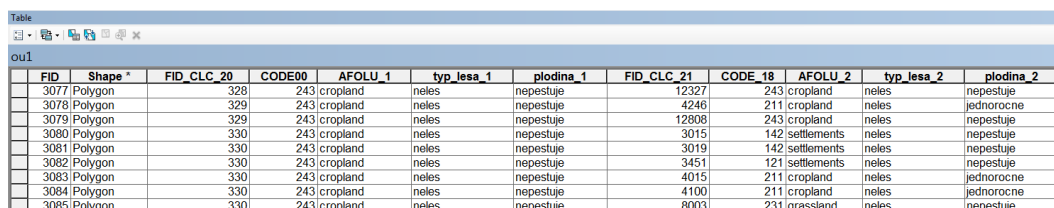
Relevantné zdroje uhlíka pre danú kategóriu sú živá biomasa, minerálna pôda a organická pôda. Pre výpočet zmien zásob uhlíka sú potrebné národné koeficienty. Množstvo uvoľneného uhlíka z organickej pôdy zistíme na základe rovnice (14), pričom hodnota  $EF$  je uvedená v tab. 9.

## 4. Geoinformatické riešenie úlohy – metodika

Pestrosť údajových súborov vstupných faktorov (CLC2000, CLC2018, pôdy, klíma, ekologické zóny), ich územný rozsah a s tým spojený objem údajov, ako aj netriviálna metodika výpočtu uhlíkovej bilancie podľa zmien krajinnej pokrývky podmienili geoinformatické riešenie tejto úlohy. Bolo realizované na platforme OS Windows, 64 bit, hardvér 8 GB RAM, procesor I7: 2.2 GHz s technológiou ArcGIS v. 10.6.1. Riešenie nadviazalo na výstup diplomovej práce (Pastierovičová, 2021) – nástroj na výpočet uhlíkovej bilancie podľa zmien krajinnej pokrývky podľa IPCC AFOLU pre úroveň 1 realizovaný v jazyku Python, rozšírenom o knižnicu ArcGIS, v ktorom je implementovaná metodika IPCC AFOLU podľa špecifikácii uvedených v tomto príspevku.

### 4.1 Postup tvorby integrovanej geografickej bázy údajov

Prvým krokom v postupe spracovania bolo vytvorenie súboru s identifikáciou zmien krajinnej pokrývky za vybrané dve obdobia, kde novšie obdobie identifikuje v súbore atribút *AFOLU2* a staršie *AFOLU1*. Atribútovú doménu premenných predstavujú CLC kódy tretej hierarchickej úrovne. Atribútová doména premennej *typ\_lesa\** (\* obidve obdobia) obsahuje hodnoty ihličnaté, listnaté, neles, zmiešané. Premenná *plodina\** obsahuje hodnoty jednorocné, viacročné, nepestuje (obr. 2).



FID	Shape *	FID_CLC_20	CODE00	AFOLU_1	typ_lesa_1	plodina_1	FID_CLC_21	CODE_18	AFOLU_2	typ_lesa_2	plodina_2
3077	Polygon	328	243	cropland	neles	nepestuje	12327	243	cropland	neles	nepestuje
3078	Polygon	329	243	cropland	neles	nepestuje	4246	211	cropland	neles	jednorocne
3079	Polygon	329	243	cropland	neles	nepestuje	12808	243	cropland	neles	nepestuje
3080	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	3015	142	settlements	neles	nepestuje
3081	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	3019	142	settlements	neles	nepestuje
3082	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	3451	121	settlements	neles	nepestuje
3083	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	4015	211	cropland	neles	jednorocne
3084	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	4100	211	cropland	neles	jednorocne
3085	Polygon	330	243	cropland	neles	nepestuje	8003	231	grassland	neles	nepestuje

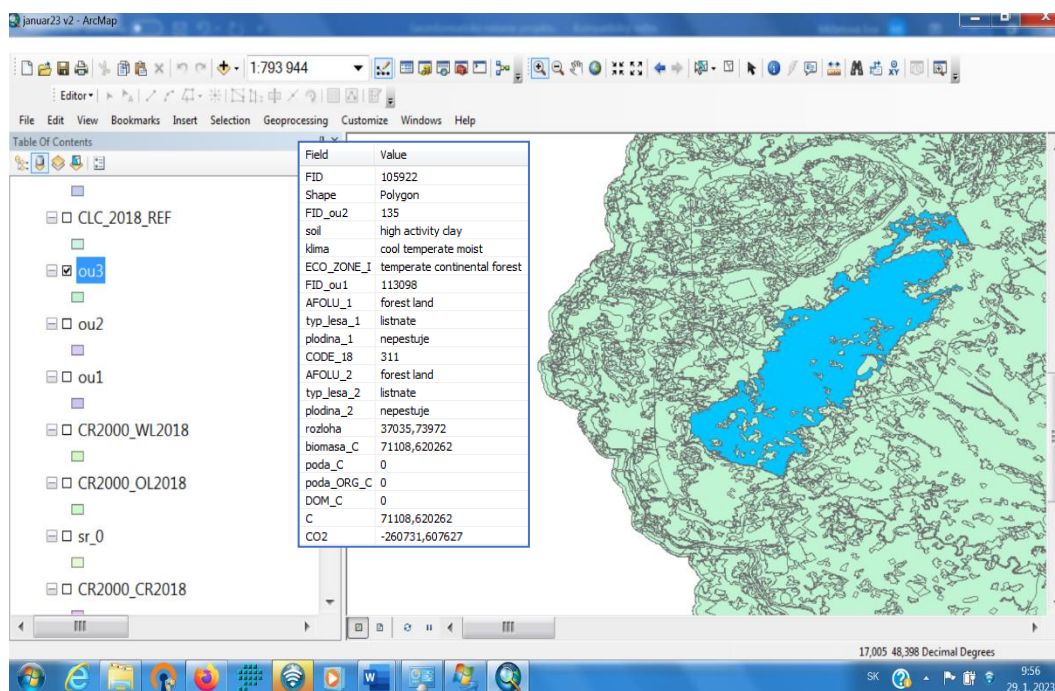
Obr. 2 Údajový model súboru s identifikáciou zmien krajinnej pokrývky za vybrané dve obdobia

Druhým krokom v postupe spracovania bolo vytvorenie súboru environmentálnych faktorov, ktorý definujú tri významové premenné s atribútovou doménou: soil (*High\_activity\_clay*, *organic*, *sandy*, *spodic*, *vulcanic*, *no*), klíma (*cool\_temperate\_dry*, *cool\_temperate\_moist*, *warm\_temperate\_dry*), ECO\_ZONE\_I (*temperate\_continental\_forest*, *temperate\_mountain\_system*) (obr. 3).

Ďalším krokom je zjednotenie súborov zmien krajinej pokrývky a environmentálnych faktorov metódou *UNION* (ESRI, 2021b). Do zjednoteného súboru boli pridané atribúty *rozloha*, *biomasa\_C*, *poda\_C*, *poda\_ORG\_C*, *DOM\_C*, *C*, *CO2* obsahujúce vypočítané hodnoty *C* v pôdach, organickej hmote, odumretej hmote, celkovo a celkovo s prepočtom na *CO2*. Na základe implementovaných vzorcov a hodnôt emisných faktorov boli pre všetky polygóny zjednoteného súboru vypočítané hodnoty doplnených premenných. Tak vznikla súborová databáza integrovaného údajového modelu zmien krajinej pokrývky, environmentálnych faktorov a charakteristík uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU. Obr. 4 dokumentuje štruktúry priestorových jednotiek integrovaného údajového modelu aj s vypočítanými hodnotami uhlíkovej bilancie pre vybraný polygón a údajový model.

FID	Shape *	OBJECTID	soil	klima	ECO_ZONE_I
0	Polygon	1	high activity clay	warm temperate dry	temperate continental forest
1	Polygon	2	sandy	warm temperate dry	temperate continental forest
2	Polygon	3	high activity clay	warm temperate dry	temperate continental forest
3	Polygon	4	sandy	warm temperate dry	temperate continental forest
4	Polygon	5	high activity clay	warm temperate dry	temperate continental forest
5	Polygon	6	high activity clay	warm temperate dry	temperate continental forest
6	Polygon	7	high activity clay	warm temperate dry	temperate continental forest

Obr. 3 Údajový model súboru environmentálnych faktorov

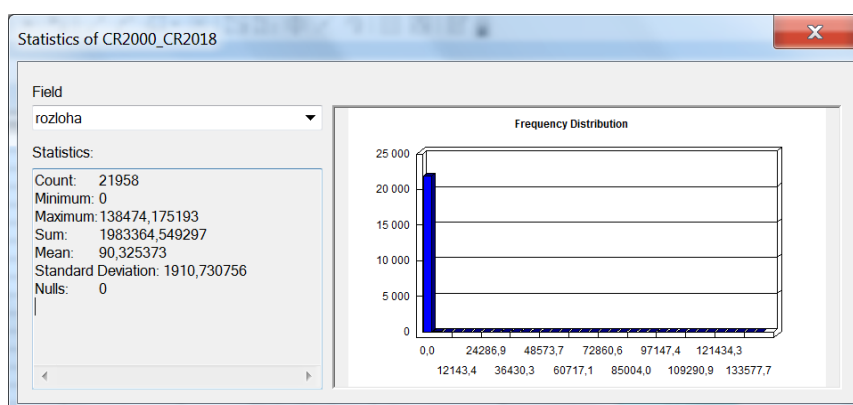


Obr. 4 Ukážka štruktúry priestorových jednotiek integrovaného údajového modelu aj s vypočítanými hodnotami uhlíkovej bilancie pre vybraný polygón



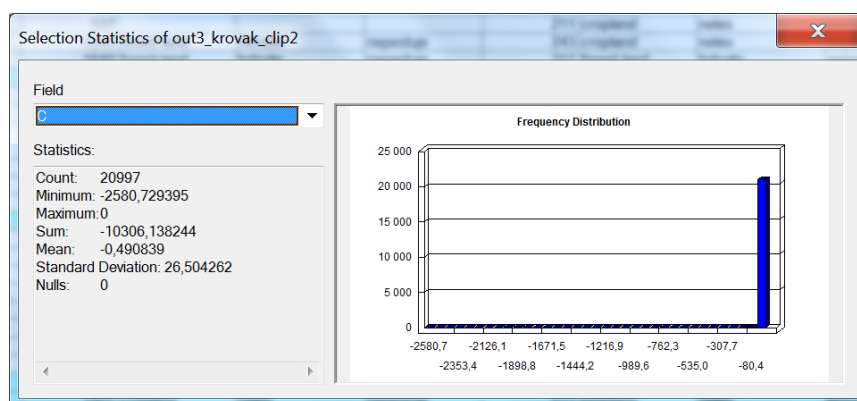
## 4.2 Vyhodnotenie prírastkov a úbytkov zmien krajinnej pokrývky a uhlíkovej bilancie

Uskutočňuje sa z údajovej štruktúry tematických údajov integrovaného údajového modelu metódou *SELECT* (ESRI, 2021c). Príklad SQL sekvencie dopytu je ("AFOLU\_1" = 'cropland') AND ("AFOLU\_2" = 'cropland') a výsledná štatistika pre atribút *Rozloha* je prezentovaná na obr. 5. V zátvorke je uvedená syntax atribútových domén premenných *AFOLU1* a *AFOLU2*. Požadovaná štatistická veličina *SUM* predstavuje celkovú rozlohu v hektároch, na ktorej bola zmenená krajinná pokrývka, v našom prípade – pôda z roku 2000 zostala pôdou aj v roku 2018. Takto boli vyhodnotené všetky kombinácie kategórií krajinnej pokrývky IPCC AFOLU – pôda (cropland), les (forest\_land), trávnatá plocha (grassland), mokriny (wetlands), sídla (settlements), ostatné plochy (other land).



Obr. 5 Štatistika hodnôt atribútu rozloha pre kategóriu zmeny krajinnej pokrývky: pôdy z roku 2000, ktoré zostali pôdami v roku 2018. Priestorová štruktúra týchto areálov na celom území SR je v projekte označovaná CR2000 to CR2018

Vyhodnotenie prírastkov a úbytkov uhlíka podľa zmien krajinnej pokrývky bolo realizované z údajovej štruktúry tematických údajov integrovaného údajového modelu metódou *SELECT* aplikovanou nad premennou *C*. Príklad SQL sekvencie dopytu: ("AFOLU\_1" = 'cropland') AND ("AFOLU\_2" = 'cropland'), výsledná štatistika pre atribút *C* je na obr. 6.



Obr. 6 Štatistika hodnôt atribútu C pre všetky kategórie zmien krajinnej pokrývky z roku 2000 a 2018 v súborovej databáze integrovaného údajového modelu.

Uvedeným postupom boli určené úhrny hodnôt atribútu *C* pre všetky kombinácie zmien krajinnej pokrývky IPCC AFOLU – pôda (cropland), les (forest land), trávnatá plocha (grassland), mokriny (wetlands), sídla (settlements), ostatné plochy (other land).

### 4.3 Kartografické modelovanie zmien krajinnej pokrývky a prírastkov a úbytkov uhlíka

Kartografické modelovanie zmien krajinnej pokrývky a uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU (Uroveň 1) na Slovensku v rokoch 2000 a 2018 sa uskutočnilo zo súborovej databázy integrovaného údajového modelu zmien krajinnej pokrývky, environmentálnych faktorov a charakteristík uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU. Aplikovali sa nástroje SQL jazyka, modelovanie priestorových štruktúr na báze 2D topológie pomocou priestorových operátorov a geoprocených nástrojov – *CLIP* a *DISSOLVE*.

Kartografický model zmien krajinnej pokrývky bol generovaný z integrovanej geografickej bázy údajov metódou *SELECT*, pričom boli modelované dva typy areálov pre každú kategóriu krajinnej pokrývky:

– Kategória z roku 2000 zostáva rovnakou kategóriou v roku 2018. Príklad SQL sekvencie na výber areálov prvého typu: ("AFOLU\_1" = 'cropland') AND ("AFOLU\_2" = 'cropland').

– Všetky kategórie z roku 2000 sú zmenené na jednu kategóriu v roku 2018. Príklad SQL sekvencie na výber areálov druhého typu:

```
(("AFOLU_1" = 'forest land') AND ("AFOLU_2" = 'cropland')) OR
(("AFOLU_1" = 'grassland') AND ("AFOLU_2" = 'cropland')) OR
(("AFOLU_1" = 'settlements') AND ("AFOLU_2" = 'cropland')) OR
(("AFOLU_1" = 'wetlands') AND ("AFOLU_2" = 'cropland')) OR
(("AFOLU_1" = 'other land') AND ("AFOLU_2" = 'cropland'))
```

Generovanie všetkých prvkov legendy kartografického modelu zmien krajinnej pokrývky dokumentuje obr. 7 s vysvetlením označení všetkých relevantných kategórií krajinnej pokrývky podľa AFOLU: CR – cropland/pôdy, FL – forest land/lesy, GL – grassland/trávnaté porasty, SL – settlements/sídla, WL – wetlands/mokriny, OL – other land/iné. Označenie ALL 2000 to cropland/forest land/grassland/settlements/wetlands/other land reprezentuje zmenu všetkých kategórií z roku 2000 na typ krajinnej pokrývky v roku 2018, uvedený v názve stĺpca CR 2018, FL 2018 ... OL 2018.

	CR 2018	FL 2018	GL 2018	SL 2018	WL 2018	OL 2018
CR 2000	CR to CR			All 2000 to settlements 2018	All 2000 to wetlands 2018	ALL 2000 to other land 2018
FL 2000		FL to FL				
GL 2000	ALL 2000 to cropland 2018	ALL 2000 to forest land 2018	GL to GL			
SL 2000			ALL 2000 to grassland 2018	SL to SL		
WL 2000					WL to WL	
OL 2000						OL to OL

Obr. 7 Generovanie všetkých prvkov legendy kartografického modelu zmien krajinnej pokrývky

Po vygenerovaní areálov uvedených kombinácií typov krajinnej pokrývky z integrovaného údajového modelu súborovej databázy bolo potrebné geometricky zjednotiť jednotlivé kategórie zmien krajinnej pokrývky. Aplikovaná bola metóda *DISSOLVE* (ESRI, 2021d). Na obr. 8 je dokumentovaný kartografický model s použitím metódy *DISSOLVE*.

Generovanie kartografického modelu prírastov a úbytkov zásob uhlíka podľa zmien krajinnej pokrývky sa uskutočnilo rovnakým postupom z údajov premennej *C* metódou *SELECT* a *DISSOLVE*.

Aggregovaným priestorovým témam bola vytvorená symbolika tak, aby interpretovala vývojové súvislosti zmien krajinnej pokrývky. Výsledný kartografický model bol doplnený o tému Administratívne členenie SR pre tri hierarchické úrovne – hranica štátu, okresu a obce. Kartografický model reprezentuje územie SR súvisle a komplexne. Legenda a mapa tematických kategórií kartografického modelu je na obr. 9. Mapa zmien krajinnej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 v pôvodnej mierke 1 : 1 600 000 je na obr. 10.



Obr. 8 Kartografický model s použitím metódy *DISSOLVE* (vpravo)

Kartografické modelovanie prijatého a uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 bolo realizované taktiež zo súborovej databázy integrovaného údajového modelu zmien krajinej pokrývky, environmentálnych faktorov a charakteristík uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU. Uvedeným postupom (SQL) boli najskôr vygenerované súbory čiastkových areálov zvolených klasifikačných úrovni úhrnných hodnôt uhlíka v tonách. Na základe početnosti výskytov hodnôt a ich priestorovej štruktúry boli nastavené intervaly s integrálnymi hranicami hodnôt:

<0, = 0, (0, 50), <50, 500), <500, 1000), >1000.

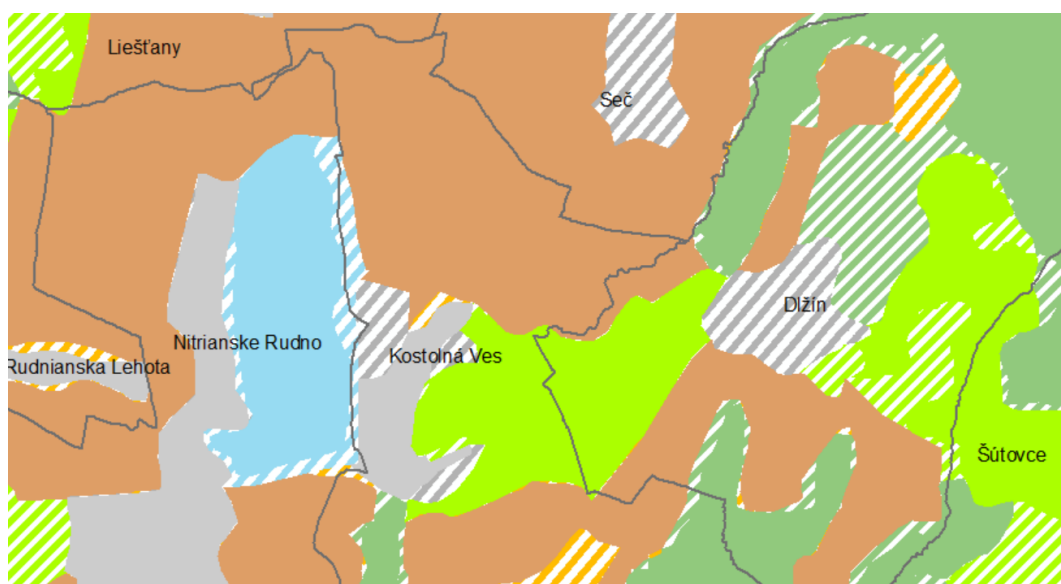
Pre účely tvorby mapy boli súbory čiastkových areálov zjednotené (*DISSOLVE*) a agregované. Taktiež bola vytvorená symbolika tak, aby interpretovala bilanciu prijatého/uvoľneného uhlíka. Výsledný kartografický model súvisle a komplexne reprezentujúci územie SR bol doplnený o tému Administratívne členenie Slovenska pre tri hierarchické úrovne – hranica štátu, okresu a obce.

Legenda tematických kategórií kartografického modelu je na obr. 11. Mapa priestorovej štruktúry uhlíkovej bilancie vypočítanej podľa zmien krajinej pokrývky v pôvodnej mierke 1 : 1 750 000 je na obr. 12.

## 5. Výsledky

Na základe prezentovaných postupov boli získané tieto hlavné výsledky a výstupy:

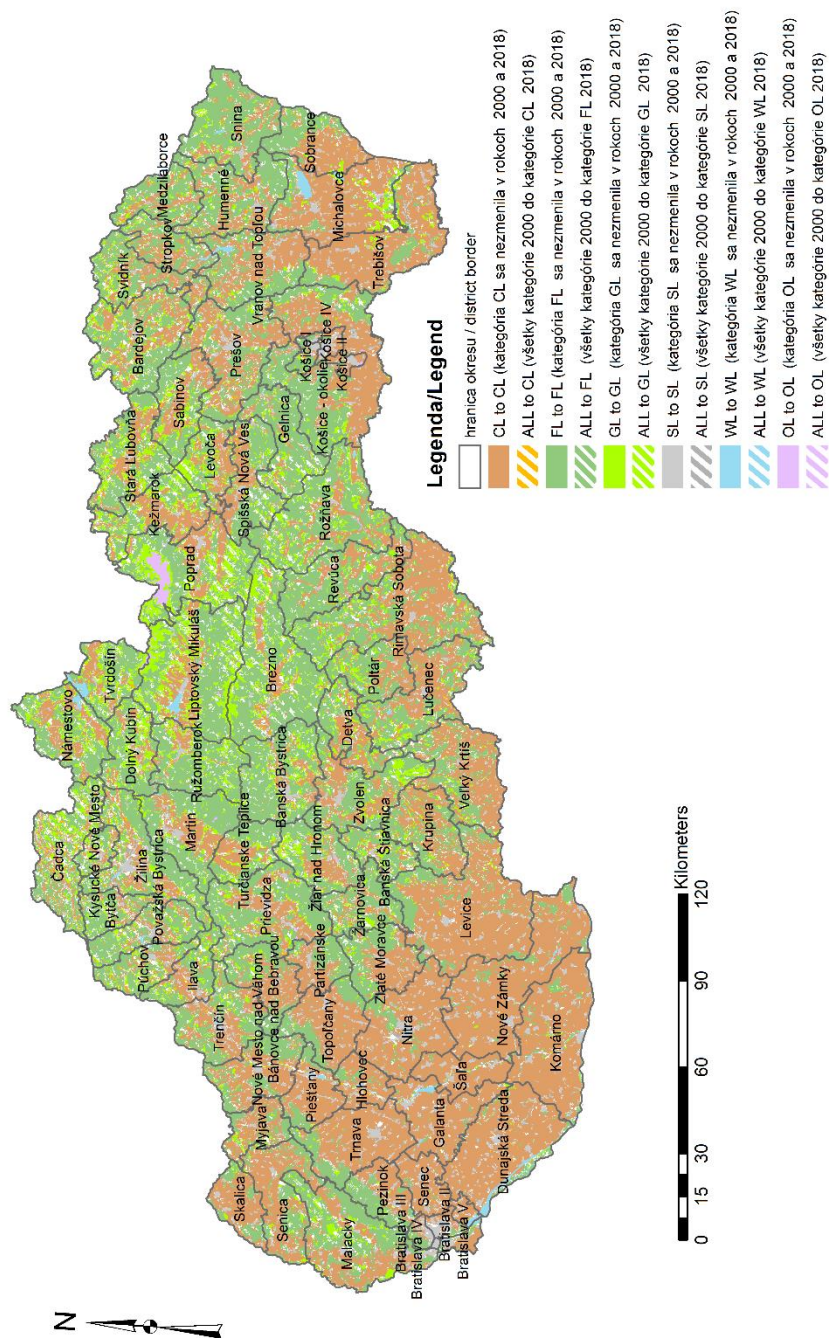
- štatistické ukazovatele zmien krajinej pokrývky na Slovensku podľa kategórií AFOLU v rokoch 2000 – 2018 podľa výmery v hektároch,
- štatistické ukazovatele prijatého a uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky na Slovensku v tonách,
- návrh a implementácia kartografického modelu priestorových štruktúr zmien krajinej pokrývky,
- mapa priestorových štruktúr zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 na Slovensku,
- návrh a implementácia kartografického modelu uhlíkovej bilancie podľa zmien krajinej pokrývky,
- mapa priestorovej štruktúry prijatého/uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky na Slovensku v rokoch 2000 a 2018.



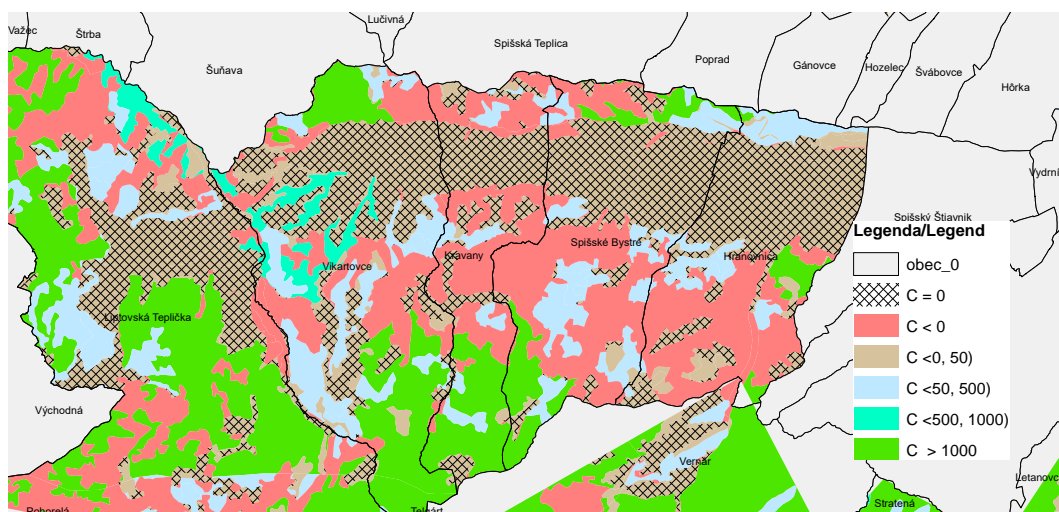
- CL to CL (kategória CL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to CL (všetky kategórie 2000 do kategórie CL 2018)
- FL to FL (kategória FL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to FL (všetky kategórie 2000 do kategórie FL 2018)
- GL to GL (kategória GL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to GL (všetky kategórie 2000 do kategórie GL 2018)
- SL to SL (kategória SL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to SL (všetky kategórie 2000 do kategórie SL 2018)
- WL to WL (kategória WL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to WL (všetky kategórie 2000 do kategórie WL 2018)
- OL to OL (kategória OL sa nezmenila v rokoch 2000 a 2018)
- ALL to OL (všetky kategórie 2000 do kategórie OL 2018)

Obr. 9 Tematické kategórie kartografického modelu zmien krajinej pokrývky a uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU na vybranom území v rokoch 2000 a 2018. Význam označení kategórií v obrázku je nasledovný: CL – cropland/pôdy, FL – forest land/lesy, GL – grassland/trávnaté porasty, SL – settlements/sídla, WL – wetlands/mokřiny, OL – other land/iné. Označenie ALL 2000 to \* reprezentuje zmenu všetkých kategórií z roku 2000 na typ krajinej pokrývky v roku 2018, uvedený v názve stĺpca CR 2018, FL 2018 ... OL 2018

Mapa zmien krajinej pokrývky na Slovensku v rokoch 2000 a 2018 podľa IPCC AFOLU  
 Map of land cover changes in Slovakia in 2000 and 2018 according IPCC AFOLU  
 Autori/Authors: Eva Mičietová, Adriána Rášová



Obr. 10 Mapa zmien krajinej pokrývky na Slovensku v rokoch 2000 a 2018 podľa IPCC AFOLU



Obr.11 Legenda tematických kategórií kartografického modelu uhlíkovej bilancie podľa zmien krajinej pokrývky v tonách

Poznámka k obr. 11:

Veľké plošné zastúpenie kategórie  $C=0$ , ktorá na obrázku prekrýva čiastočne kategóriu  $C < 0,50$  podmieňuje klimatická zóna, ekologická zóna a pôdny typ, ktoré sú v oboch sledovaných obdobiach rovnaké. Spôsob manažmentu krajiny sa nemení (údaje o manažmente nie sú k dispozícii), tak  $SOC_0 = SOC_{0-T}$ . V rovnici (12) (tab. 3) je potom hodnota čitateľa 0, čiže množstvo zásob uhlíka v minerálnych pôdach je v oboch sledovaných obdobiach rovnaké:  $\Delta C_{Mineral} = 0$ . Toto platí pre všetky kategórie krajinej pokrývky.

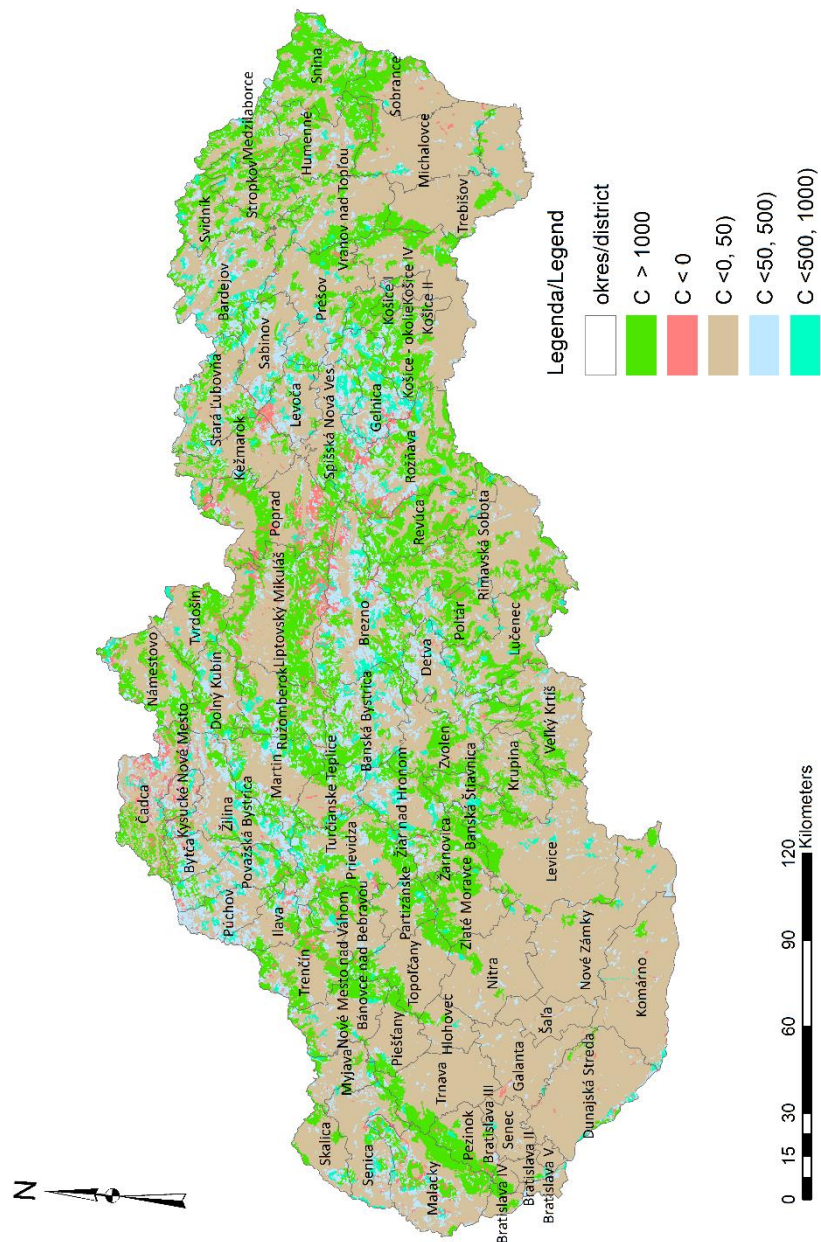
### Zmeny krajinej pokrývky a uhlíkovej bilancie v SR v rokoch 2000 a 2018 podľa výmery

V zmysle metodiky prezentovanej na obr. 7 bola určená celková plocha jednotlivých kategórií krajinej pokrývky a zmeny medzi kategóriami v rokoch 2000 a 2018. Vypočítané hodnoty sú v tab. 14 V smere riadkov sú uvedené plochy príslušnej kategórie z roku 2000 zmenené v prospech kategórií v roku 2018. V smere stĺpcov sú uvedené plochy príslušnej kategórie roku 2018, generované kategóriami z roku 2010. V stĺpci Zmena je uvedený rozdiel celkovej výmery rozlohy každej kategórie krajinej pokrývky v roku 2018 oproti výmere v roku 2000.

Tab. 14 Plocha jednotlivých kategórií zmien krajinej pokrývky a zmeny medzi kategóriami v rokoch 2000 a 2018

		2018 plocha v ha						Plocha spolu 2000	Zmena 2018-2000
		CR	FL	GL	SL	WL	OL		
2000 plocha v ha	CR	1954657,2	75698,8	63547,4	38213,6	3641,9	1635,7	2137394,5	-94688,3
	FL	17183,8	1790257,5	119432,7	2786,3	1364,9	1387,1	1932412,4	120900,3
	GL	51393,4	181202,8	274705,3	2675,2	1221,6	521,3	511719,7	-51736,1
	SL	17487,1	4098,5	1585,5	246621,4	591,4	256,8	270640,7	20560,8
	WL	1383,7	941,9	151,2	239,0	29765,8	8,7	32490,3	4236,0
	OL	601,0	1113,1	561,5	665,9	140,8	14314,2	17396,4	727,3
	Plocha spolu 2018	2042706,2	2053312,7	459983,6	291201,5	36726,3	18123,7	4902054,0	

Priestorová štruktúra prijatého/uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000-2018 na Slovensku  
 Spatial structure of absorbed/released carbon according to changes in land cover in the years 2000-2018 in Slovakia  
 Autori/Autors: Eva Mičietová, Adriána Rašová



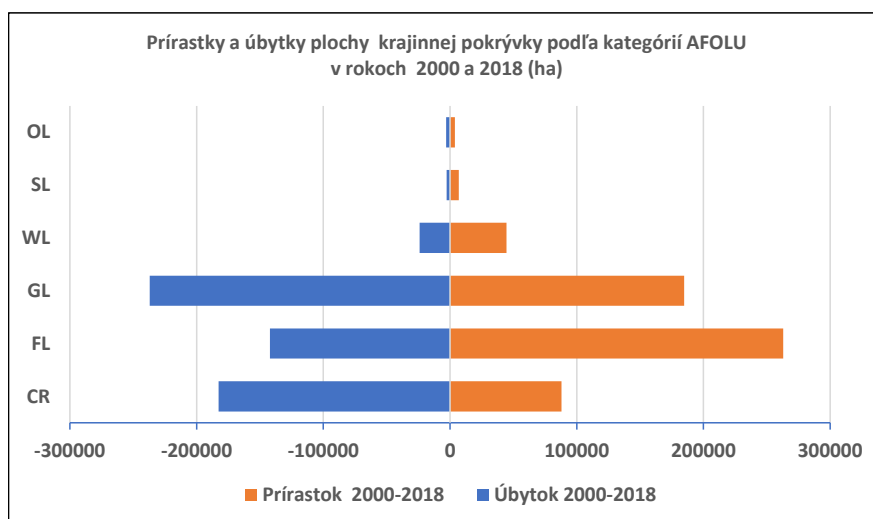
Obr. 12 Priestorová štruktúra prijatého/uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 na Slovensku v tonách

Tab. 15 obsahuje údaje o prírastkoch a úbytkoch jednotlivých kategórií krajinej pokrývky v sledovanom období. Úbytky kategórie z roku 2000 predstavujú súčet všetkých čiastkových plôch v smere riadka tab. 14, na ktoré bola zmenená kategória v roku 2018. Hodnota bola vynásobená číslom -1 za účelom tvorby grafu prírastkov a úbytkov.

Prírastky kategórie v roku 2018 predstavujú súčet všetkých čiastkových plôch v smere stĺpca, z ktorých vznikla kategória v roku 2018, na ktoré bola zmenená kategória v roku 2018. Grafická interpretácia prírastkov a úbytkov kategórií krajinej pokrývky v sledovanom období je na obr. 13.

**Tab. 15 Prírastky a úbytky rozlohy zmenených kategórií krajinej pokrývky v sledovanom období v hektároch**

	Úbytok 2000 a 2018	Prírastok 2000 a 2018
CR	-182737,4	88049,1
FL	-142154,8	263055,1
GL	-237014,3	184716,7
SL	-24019,3	44580,0
WL	-2724,5	6960,5
OL	-3082,3	3809,6



Obr. 13 Grafická interpretácia prírastkov a úbytkov kategórií krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 v ha

### Prijatý a uvoľnený uhlík podľa zmien krajinej pokrývky v SR v rokoch 2000 a 2018

Pre všetky kombinácie zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018 boli vypočítané úhrny prijatého a uvoľneného uhlíka v tonách pre celkovú ich výmeru na území SR. Záporné čísla predstavujú hodnoty uvoľneného uhlíka, teda reprezentujú riziko zvyšovania skleníkových plynov, kladné predstavujú hodnoty prijatého uhlíka. Výsledky sú uvedené v tab. 16.

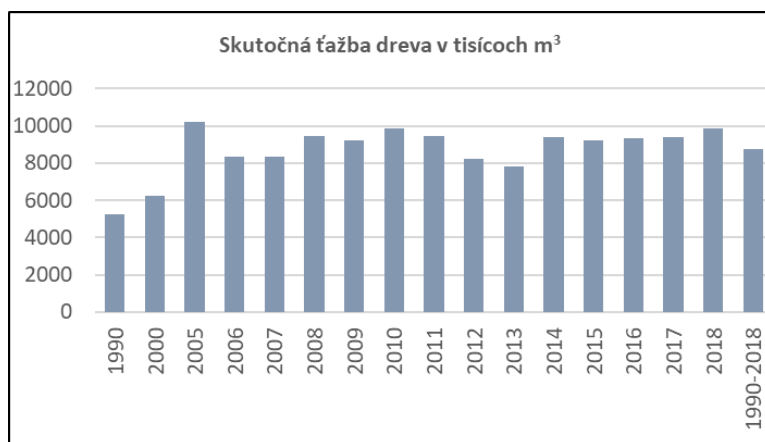
Pri výpočte uhlíkovej bilancie nie je zahrnutá charakteristika straty uhlíka v dôsledku odstraňovania biomasy  $L_{wood-removals}$  (rovnica 5, tab. 3), nakoľko neboli dostupné údaje o objeme a druhovej skladbe ťažby dreva podľa priestorových, napr. porastových celkov. Ako podklad pre určenie straty uhlíka v dôsledku odstraňovania biomasy sme použili údaje Národného lesníckeho centra, interpretované na obr. 14.



Z uvedeného bol vypočítaný priemer za roky 2000 a 2018, čo predstavuje hodnotu 8 966 000 m<sup>3</sup>. Na výpočet straty uhlíka podľa rovnice 5 (tab. 3) boli aplikované nasledovné hodnoty premenných:  $H = 8\,966\,000$ , konveržno-expanzný faktor  $BCEFR$  bol aplikovaný podľa (UNFCCC, 2021) s hodnotou 0,749 (priemer najčastejšie ťažených listnatých stromov). Podľa metodiky IPCC AFOLU  $R$  má hodnotu 0 a  $CF$  0,5. Globálna charakteristika straty uhlíka v dôsledku odstraňovania biomasy za celé územie SR je podľa tohto postupu  $L = 3\,757\,767$  ton ( $L = 8\,966\,000 * 0,749 * (1+0) * 0,5$ ).

**Tab. 16 Úhrny prijatého/uvoľneného uhlíka podľa zmien krajinej pokrývky v rokoch 2000 a 2018**

Krajinná pokrývka v roku 2018/zmena zásob prijatého uhlíka v tonách							
		CR	FL	GL	SL	WL	OL
Krajinná pokrývka v roku 2000	CR	-10306,1	222339,1	-36,8	0,0	0,0	0,0
	FL	-806963,1	3098335,6	-1535624,9	-61359,0	-109051,5	0,0
	GL	-19673,2	437179,5	-27,1	0,0	0,0	0,0
	SL	-21,5	10829,1	-0,1	-658,4	0,0	0,0
	WL	-251,4	2580,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	OL	0,0	3326,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	celková zmena v tonách	-837215,4	3774589,6	-1535688,9	-62017,4	-109051,5	0,0



Obr. 14 Ťažba dreva v SR – podklad pre určenie straty uhlíka v dôsledku odstraňovania biomasy (Slovenská agentúra životného prostredia, 2021b)

### Mapy ako podklad k hodnoteniu vzťahu zmien krajinej pokrývky a uhlíkovej bilancie

Prezentované mapové výstupy interpretujú kartografický model priestorovej štruktúry zmien krajinej pokrývky a priestorovej štruktúry zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka. Na základe vybraných zmien krajinej pokrývky a vybraných hodnôt uhlíkovej bilancie v krajine (štruktúrne aj kvantitatívne vyjadrených v tab. 14 a tab. 16) vieme identifikovať oblasti, kde je potrebná hlbšia analýza príčinných súvislostí. Táto sa nedá vykonať vizuálne z máp, realizuje sa interaktívne v prostredí GIS pomocou databázových nástrojov z údajového modelu integrovanej geografickej bázy údajov.

V tejto práci sme sa ilustratívne zamerali na dva kritické prípady zmien uhlíkovej bilancie v SR:

1. Keď je uhlíková bilancia negatívna, a teda z dôvodov zmeny krajinej pokrývky dochádza k uvoľňovaniu viazaného uhlíka a k možnosti nepriaznivých dopadov na klimatické zmeny.
2. Keď je uhlíková bilancia pozitívna, a teda z dôvodov zmeny krajinej pokrývky dochádza k ukladaní – viazaniu uhlíka v krajine, a teda k znižovaniu rizika klimatických zmien.

Vzhľadom na zložitosť priestorovej štruktúry a ilustratívnu interpretačnú hodnotu mapových výstupov v tomto článku bolo vykonané kartografické modelovanie tém aj vo väčšej mierke. V digitálnych prílohách ([obr. 10](#) a [obr. 12](#)) sú mapy zmien krajinej pokrývky a uhlíkovej bilancie podľa IPCC AFOLU na Slovensku v rokoch 2000 a 2018 dostupné v mierke 1 : 200 000.

### **Identifikácia kritických oblastí, kde je uhlíková bilancia negatívna**

Na obr. 12 v legende mapy priestorovej štruktúry prijatého/uvoľneného uhlíka sú tieto oblasti reprezentované kategóriou legendy  $C < 0$ . Uvažujeme plochy s rozlohou väčšou ako 10 ha. Celková výmera týchto areálov je 133 071 ha, popisná štatistika pre tento výber udáva hodnoty – minimálna hodnota 10 ha, stredná hodnota rozlohy je 56 ha. V mape sú tieto areály prevažne v okresoch Čadca, Kysucké Nové Mesto, Liptovský Mikuláš, Poprad, Brezno, Malacky.

Po identifikácii zmien krajinej pokrývky v sledovanom časovom intervale 20 rokov pre vybrané areály s negatívnou uhlíkovou bilanciou, ktorá bola vykonaná dopytovaním integrovanej geografickej bázy údajov, konštatujeme nasledovné: pôvodná krajinná pokrývka vyskytujúca sa v týchto areáloch v staršom hodnotenom období obsahovala kategórie CL – cropland, FL – forest land, GL – grassland, SL – settlements, WL – wetland. V novšom sledovanom období sa na vybraných areáloch vyskytujú kategórie CL – cropland, GL – grassland, SL – settlements, WL – wetland. Zmenená krajinná pokrývka z pôvodnej FL – forest land na inú, kde platí  $C < 0$  a rozloha je  $> 10$  ha má celkovú výmeru 121 624 ha, to je 91 % z celkovej výmery areálov s negatívnou hodnotou uhlíkovej bilancie a plochou  $>$  viac ako 10 ha. Teda, odlesňovanie v SR v sledovanom období na areáloch s výmerou 10 ha a hodnotou  $C < 0$  generuje negatívnu uhlíkovú bilanciu v 91 %.

### **Identifikácia kritických oblastí, kde je uhlíková bilancia pozitívna**

Analýza je ilustratívne vykonaná pre oblasti reprezentované kategóriou legendy  $C > 1000$ . Celková štatistika výmer pre tieto areály je: Count: 429 ha, Minimum: 195,2 ha, Maximum: 40 187,4 ha, Sum: 1 131 164,1 ha, Mean: 2636,7 ha, Standard Deviation: 4586,0 ha. Vzťah zmeny krajinej pokrývky a uhlíkovej bilancie je hodnotený v areáloch s výmerou  $> 2000$  ha. Celková výmera vybraných areálov je 827 192,4 ha. Pôvodná krajinná pokrývka vyskytujúca sa v týchto areáloch v staršom hodnotenom období obsahovala kategórie FL – forest land. V novšom sledovanom období je taktiež výlučne FL – forest land. Teda trvalá udržateľnosť lesných porastov v oboch sledovaných obdobiach na 100 % potvrdzuje pozitívnu uhlíkovú bilanciu. V mape krajinej pokrývky sú tieto areály interpretované kategóriou legendy FL to FL.

Rozmanitosť priestorovej štruktúry zmien krajinej pokrývky podmieňuje priestorovú štruktúru hodnôt uhlíkovej bilancie. Mapové výstupy v tejto práci dokumentujú jednotlivé témy samostatne. Ich hlavný význam je v identifikácii kritických lokalít, kde treba hodnotiť vzťahy a dopady. Vykonanie komplexnej kvantitatívnej analýzy priestorových vzťahov oboch tém na území SR presahuje rámec tejto práce a bude spracované samostatne. Prezentované ilustratívne prípady dopadu zmien krajinej pokrývky na stav uhlíkovej bilancie dokumentujú nielen správnu implementáciu metodiky výpočtu uhlíkovej bilancie podľa AFOLU, ale aj správnosť údajov v integrovanej geografickej báze údajov, ktorá predstavuje samostatný produkt prezentovaný v práci.

### **Záver**

Práca sa zaoberá zmenami krajinej pokrývky na Slovensku a vplyvom týchto zmien na bilanciu prijatého a uvoľneného uhlíka podľa metodiky IPCC pre úroveň 1. Výsledky hodnotenia sú prezentované formou kartografických modelov priestorových štruktúr zmien krajinej pokrývky a priestorových štruktúr prijatého a uvoľneného uhlíka v krajine ako dopadu zmien. Výstupy práce

sú príspevkom na hodnotenie množstva emisií skleníkových plynov vyprodukovaných krajinou pre komplexné priestorové modelovanie rizika klimatických zmien v životnom prostredí.

Vstupom pre hodnotenie zmien krajinej pokrývky boli dáta tretej hierarchickej úrovne CLC v súlade s metodikou IPCC a ďalšie environmentálne faktory – pôdy, klíma a ekologické zóny. Na území Slovenska boli hodnotené zmeny krajinej pokrývky podľa kategórií Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) v rokoch 2000 a 2018. Výber časového intervalu najlepšie vystihoval odporučený 20 ročný interval metodikou IPCC na hodnotenie bilancie zmien krajiny v súvislosti s emisiami skleníkových plynov pre úroveň 1.

Výstupom práce sú: Plocha jednotlivých kategórií krajinej pokrývky a zmeny medzi kategóriami v rokoch 2000 a 2018 na Slovensku, Mapa priestorových štruktúr zmien krajinej pokrývky na vybranom území a území SR za obdobie 2000 a 2018, Zmeny zásob prijatého uhlíka v tonách podľa všetkých kategórií AFOLU, Mapa priestorových štruktúr zásob prijatého alebo uvoľneného uhlíka v tonách podľa zmien všetkých kategórií krajinej pokrývky podľa AFOLU na vybranom území a území SR za obdobie 2000 a 2018.

Výsledky práce súčasne poukazujú na kvalitu informačného obsahu mapových výstupov, ktorá spoľahlivo odpovedá väčším mierkam.

Výsledky dosiahnuté v práci prinášajú ďalšie výzvy. Sprístupnenie údajov o areáloch a ťažbe dreva podľa druhového zastúpenia, spresnenie konverzného faktora biomasy v pôdach ako aj údaje o priestorovej štruktúre manažmentu krajiny, umožní spresnenie výpočtu straty uhlíka v dôsledku odstraňovania biomasy pre jednotlivé elementárne priestorové štruktúry vzniknuté prienikom areálov krajinej pokrývky v sledovaných dvoch obdobiach a na území Slovenska. Kartografické modely priestorových štruktúr zmien krajinej pokrývky, a s tým súvisiacej bilancie prijatého a uvoľneného uhlíka v krajine, vytvára podmienky pre priestorové modelovanie rizika klimatických zmien s ich súvislosťou. Tomu môžu slúžiť digitálne mapové prílohy vo väčších mierkach.

#### PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov ITMS2014: 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### Literatúra

- BATJES, N. H. (2010). A global framework of soil organic carbon stocks under native vegetation for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. *Report 2010/10, Carbon Benefits Project (CBP) and ISRIC – World Soil Information, Wageningen*. [online] [cit. 2020-11-19]. Dostupné na: <[https://www.researchgate.net/publication/50925656\\_A\\_global\\_framework\\_of\\_soil\\_organic\\_carbon\\_stocks\\_under\\_native\\_vegetation\\_for\\_use\\_with\\_the\\_simple\\_assessment\\_option\\_of\\_the\\_Carbon\\_Benefits\\_Project\\_system](https://www.researchgate.net/publication/50925656_A_global_framework_of_soil_organic_carbon_stocks_under_native_vegetation_for_use_with_the_simple_assessment_option_of_the_Carbon_Benefits_Project_system)>
- BOLTIŽIAR, M., OLAH, B. (2009). *Krajina a jej štruktúra (mapovanie, zmeny a hodnotenie)*. Nitra (Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre).
- EEA (1995). *European Environment Agency, CORINE Land Cover*. [online] [cit. 2021-02-19]. Dostupné na: <<https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/#additional-files>>
- EEA (2017). *European Environment Agency, Landscapes in transition – An account of 25 years of land cover change in Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [online] [cit. 2021-03-05]. Dostupné na: <<https://www.eea.europa.eu/publications/landscapes-in-transition>>
- EEA (2021). *European Environment Agency, Annual European Union greenhouse gas inventory 1990 – 2019 and inventory report 2021*. [online] [cit. 2023-02-03]. Dostupné na: <<https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021>>
- EGGLESTON, H. S., SRIVASTAVA, N., TANABE, K., BAASANSUREN, J. (eds.) (2010). *Datasets for use in the IPCC Guidelines*. Meeting Report of the IPCC – FAO – IFAD Expert Meeting on FAO Data for LULUCF/AFOLU Rome, Italy, 20-22 October, 2009, Pub. IGES, Hayama, Japan. [online] [cit. 2021-02-01]. Dostupné na: <<https://www.scribd.com/document/92795883/0910-FAO-IFAD-IPCC-Meeting-Report>>

- ESRI (2021a). *About ArcGIS*. [online] [cit. 2021-03-10]. Dostupné na: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>>
- ESRI (2021b). *UNION*. [online] [cit. 2021-02-12]. Dostupné na: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/union.htm>>
- ESRI (2021c). *Select*. [online] [cit. 2021-02-12]. Dostupné na: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/select.htm>>
- ESRI (2021d). *Dissolve*. [online] [cit. 2021-02-12]. Dostupné na: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/dissolve.htm>>
- FALŤAN, V., OŤAHEL, J., GÁBOR, M., RUŽEK, I. (2018). *Metódy výskumu krajiny pokrývky*. Vysokoškolská učebnica. Bratislava (Univerzita Komenského). [online] [cit. 2021-02-12]. Dostupné na: <[https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/geog/kfg/O\\_katedre/Publik\\_fulltexty/FaltanEtAl2018\\_MetodyVyskumuKrajinyPokryvky.pdf](https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/geog/kfg/O_katedre/Publik_fulltexty/FaltanEtAl2018_MetodyVyskumuKrajinyPokryvky.pdf)>
- FAO (2021). *Global Ecological Zones*. [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné na: <<https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search?id=1255#/metadata/2fb209d0-fd34-4e5e-a3d8-a13c241eb61b>>
- FERANEC, J., OŤAHEL, J. (2001). *Krajinná pokrývky Slovenska*. Bratislava (VEDA).
- FERENEC, J., OŤAHEL, J., CEBECAUER, T. (2004). Zmeny krajiny pokrývky – zdroj informácií o dynamike krajiny. *Geografický časopis*, 56, 1, 33-47. [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné na: <<https://www.sav.sk/journals/uploads/05131208Feranec,%20Otahel.pdf>>
- FERANEC, J., OŤAHEL, J., KOPECKÁ, M., NOVÁČEK, J., PAZÚR, R. (2018). *Krajinná pokrývky Slovenska a jej zmeny v období 1990 – 2012*. Bratislava (VEDA).
- Geos2000 (2021). *Údaje CORINE CLC 2000*. [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné na: <[https://geos.sazp.sk/geoserver/corine\\_clc2000/ows?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=corine\\_clc2000:clc2000&outputFormat=SHAPE-ZIP](https://geos.sazp.sk/geoserver/corine_clc2000/ows?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=corine_clc2000:clc2000&outputFormat=SHAPE-ZIP)>
- Geos2018 (2021). *Údaje CORINE CLC 2018*. [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné na: <[https://geos.sazp.sk/geoserver/corine\\_clc2018/ows?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=corine\\_clc2018:clc2018&outputFormat=SHAPE-ZIP](https://geos.sazp.sk/geoserver/corine_clc2018/ows?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=corine_clc2018:clc2018&outputFormat=SHAPE-ZIP)>
- Geoportál (2021). *Základná úroveň/ ZBGIS Administratívne hranice*. [online] [cit. 2021-03-04]. Dostupné na: <<https://www.geoportal.sk/sk/zbgis/na-stiahnutie/>>
- GREŽO, H. (2012). Analýza zmien krajiny štruktúry v rôznych časových obdobiach. In *Zborník GIS Ostrava 2012 – Současné výzvy geoinformatiky*. [online] [cit. 2021-03-04]. Dostupné na: <[http://gisak.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2012/sbornik/papers/grezo.pdf](http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2012/sbornik/papers/grezo.pdf)>
- IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. [online] [cit. 2021-01-09]. Dostupné na: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>
- IPCC (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Dostupné online: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>> [cit. 10. 1. 2021]
- JRC (2021a). *Support to Renewable Energy Directive*. [online] [cit. 2021-01-10]. Dostupné na: <<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/RenewableEnergy>>
- JRC (2021b). *Slovakia soil types*. [online] [cit. 2021-01-10]. Dostupné na: <[https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/filer\\_public/88/06/8806bd9e-d08d-4067-a155-eaf257572cdd/svk\\_soil.pdf](https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/filer_public/88/06/8806bd9e-d08d-4067-a155-eaf257572cdd/svk_soil.pdf)>
- KOPECKÁ, M. (2006). Identifikácia a hodnotenie zmien krajiny vo veľkej mierke (na príklade okolia Trnavy). *Geografický časopis*, 58, 2, 125-148. [online] [cit. 2021-03-04]. Dostupné na: <<https://www.sav.sk/journals/uploads/05311245Kopeck%C3%A11.pdf>>
- KOSZTRA, B., BÜTTNER, G. (2019). Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. [online] [cit. 2020-11-24]. Dostupné na: <[https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018\\_Nomenclature\\_illustrated\\_guide\\_20190510.pdf](https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf)>
- NGARIZE, S. (2016). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Africa Regional Workshop – National Greenhouse Gas Inventory Training. [online] [cit. 2021-02-04]. Dostupné na: <[https://unfccc.int/files/national\\_reports/non-annex\\_i\\_natcom/cge/application/pdf/afolu\\_march\\_fy2016\\_lesotho\\_rev\\_\(2\)sn.pdf](https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/cge/application/pdf/afolu_march_fy2016_lesotho_rev_(2)sn.pdf)>
- NOVÁČEK, J., KOPECKÁ, M., OŤAHEL, J., FERANEC, J. (2019). Hodnotenie zmien krajiny na Slovensku s využitím údajov CORINE Land Cover. *Životné prostredie*, 53, 2, 88-90. [online] [cit. 2021-03-30]. Dostupné na: <[http://147.213.211.222/sites/default/files/2019\\_2\\_088\\_090\\_Novacek\\_a\\_kol.pdf](http://147.213.211.222/sites/default/files/2019_2_088_090_Novacek_a_kol.pdf)>
- OŤAHEL, J., FERANEC, J., CEBECAUER, T., HUSÁR, K. (2003). Mapovanie zmien krajiny pokrývky aplikáciou databázy Corine Land Cover (na príklade okresu Skalica). *Kartografické listy*, 11, 61-67. [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné na: <<http://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL11/8.pdf>>

- PASTIEROVIČOVÁ, A. (2021). Mapovanie zmien krajinej pokrývky pre odhad emisií a skleníkových plynov podľa IPCC. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave. Prírodovedecká fakulta; Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ.
- Slovenská agentúra životného prostredia (2021). COPERNICUS na Slovensku. [online] [cit. 2021-01-28]. Dostupné na: <<https://copernicus.sazp.sk/>>
- Slovenská agentúra životného prostredia (2021b). Vývoj skutočnej a únosnej ťažby dreva. [online] [cit. 2022-03-04]. Dostupné na: <<https://www.enviroportal.sk/indicator/api/graph?id=3707&type=table&iframe=yes&lang=>>>
- TUBIELLO, F. N., CÓNDROR-GOLEC, R. D., SALVATORE, M., PIERSANTE, A., FEDERICI, S., FERRARA, A., ROSSI, S., FLAMMINI, A., CARDENAS, P., BIANCALANI, R., JACOBS, H., PRASULA, P., PROSPERI, P. (2014). *Estimating Greenhouse Gas Emissions In Agriculture. A Manual to Address Data Requirements for Developing Countries*. [online] [cit. 2021-03-04]. Dostupné na: <<http://www.fao.org/climatechange/41521-0373071b6020a176718f15891d3387559.pdf>>
- UNFCCC (2021). *Slovakia. 2021 National Inventory Report (NIR)*. [online] [cit. 2021-03-14]. Dostupné na: <<https://unfccc.int/documents/273441>>
- Ústredný portál verejných služieb (2021). *Pôdna mapa Slovenska 1 : 400 000*. [online] [cit. 2021-03-14]. Dostupné na: <<https://data.gov.sk/no/dataset/podna-mapa-slovenska-1-400000>>

## S u m m a r y

### **Cartographic modeling of the carbon balance according to land cover changes in Slovakia in the years 2000 and 2018**

The work deals with land cover changes in Slovakia and the impact of these changes on the balance of absorbed and released carbon according to the methodology of the IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change for level 1. The evaluation results are presented in the form of cartographic models of spatial structures of land cover changes and spatial structures of absorbed and released carbon in the country as an impact of changes. The outputs of the work are a contribution to the assessment of the amount of greenhouse gas emissions produced by the country for complex spatial modelling of the risk of climate change in the environment.

The input for the assessment of land cover changes were the data of the third hierarchical level of CLC in accordance with the IPCC methodology and other environmental factors – soils, climate and ecological zones. On the territory of Slovakia, land cover changes were assessed according to the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) categories in 2000 and 2018. The choice of time interval best described the recommended 20-year interval by the IPCC methodology for assessing the balance of land changes in connection with greenhouse gas emissions for the level 1.

The original output of the work is: Area of individual categories of land cover and changes between categories in the years 2000-2018 in Slovakia (Tab. 14), Map of spatial structures of changes in land cover in the selected area and the territory of the Slovak Republic for the period 2000 and 2018 (Fig. 10), Changes in stocks of absorbed carbon in tons (Tab. 16), Map of stocks of absorbed or released carbon in tons according to changes in all categories of land cover according to AFOLU in the territory of the Slovak Republic for the period 2000 and 2018 (Fig 12).

Fig. 1 Approaches to land cover changes a) Approach 1, b) Approach 2, c) Approach 3

Fig. 2 Data model of the file with identification of land cover changes for two selected periods

Fig. 3 Data model of a file of environmental factors

Fig. 4 An example of the structure of the spatial units of the integrated data model, including the calculated values of the carbon balance for the selected polygon

Fig. 5 Statistics of the values of the area attribute for the category of land cover change: land from 2000 that remained land in 2018. The spatial structure of those areas in the entire territory of the Slovak Republic is designated CR2000 to CR2018 in the project

Fig. 6 Statistics of attribute C values for all land cover change categories from 2000 and 2018 in the integrated data model file database

Fig. 7 Generation of all elements of the legend of the cartographic model of landscape changes

Fig. 8 Cartographic model using the DISSOLVE method (right)

Fig. 9 Thematic categories of the cartographic model of changes in land cover and carbon balance According to IPCC AFOLU in selected area in the years 2000 and 2018. The meaning of the category designations in the picture is as follows: CL – cropland, FL – forest land, GL – grassland, SL –

settlements, WL – wetlands, OL – other land/other. The designation ALL 2000 to \* represents the change of all categories from 2000 to the land cover type in 2018, indicated in the column name CR 2018, FL 2018 ... OL 2018.

- Fig. 10 Map of land cover changes in Slovakia in 2000 and 2018 according IPCC AFOLU
- Fig. 11 Legend of thematic categories of the carbon balance cartographic model according to land cover changes in a ton
- Fig. 12 Spatial structure of absorbed/released carbon according to changes in land cover in a ton
- Fig. 13 Graphical interpretation of increases and decreases of land cover categories in the years 2000 and 2018 in ha
- Fig. 14 Logging in Slovakia – basis for determining carbon loss due to biomass removal (Slovenská agentúra životného prostredia, 2021b)
- Tab. 1 Emission factors and their possible values
- Tab. 2 Land cover categories and relevant carbon sources (IPCC, 2006)
- Tab. 3 Formulas with explanatory variables for calculating the change in carbon stocks according to land cover changes (IPCC, 2019)
- Tab. 4 Conversion of land cover classes from the CLC methodology to land cover categories according to the IPCC methodology
- Tab. 5 Conversion of soil types to IPCC soil classification
- Tab. 6  $G_W$  value
- Tab. 7  $CF$  value
- Tab. 8  $C_n$  value
- Tab. 9  $EF$  Value
- Tab. 10  $B_{BEFORE}$  value for forests
- Tab. 11  $B_{BEFORE}$  value for grassland
- Tab. 12  $C_0$  value
- Tab. 13  $EF$  value for grassland
- Tab. 14 Area of individual categories of land cover changes and changes between categories in 2000 and 2018
- Tab. 15 Increases and decreases in the area of changed land cover categories in the monitored period in hectares
- Tab. 16 Totals of absorbed/released carbon according to land cover changes in 2000 and 2018

Prijaté do redakcie: 6. február 2022

Zaradené do tlače: jún 2023