



## PAKRANČIŲ MĖLYNOSIOS ANGLIES MONITORINGAS

Eva Grigorjeva<sup>1</sup>, Jūratė Sužiedelytė Visockienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>magistrantė, <sup>2</sup>profesorė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. p.: <sup>1</sup>grigorjevaeva@gmail.com, <sup>2</sup>juratesuziedelyte-visockiene@vilniustech.lt

**Anotacija.** Tyrimo tikslas – apžvelgti vienos iš pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių – dujų anglies dioksido (CO<sub>2</sub>) – pasaulinį ciklą bei svarbą. CO<sub>2</sub> stipriai veikia klimatą, tačiau yra ir nepakeičiamas augalų fotosintezės proceso elementas. Sukurtos neigiamos išlakų technologijos (NIT), kurių viena yra susijusi su vandens pakrančių „mėlynosios anglies“ sinteze. Ši NIT išsiskiria iš kitų technologijų efektyvumu, nes suriša dvigubai daugiau anglies nei tokio pat ploto miškas. Tačiau šis natūralus anglies akumulatorius nyksta dėl klimato kaitos ir intensyvių žemės naudojimo pokyčių. Nykimo procesui kontroliuoti taikomi nuotolinių tyrimų metodai. Straipsnyje pateiktas mėlynosios anglies vertinimo nuotoliniu tyrimų metodu pavyzdys: naudojami duomenų tipai ir modeliavimo aprašymas „InVEST“ programa.

**Reikšminiai žodžiai:** klimato kaita, mėlynoji anglis, monitoringas, nuotoliniai tyrimai.

### Įvadas

Viena pagrindinių aplinkos išnaudojimo pasekmių yra klimato kaita. Pastariausias metais kova su klimato atšilimu ir žalojama aplinka – visuotinai pripažinta problema. Tai kelia grėsmę žmonių gyvenimo kokybei: prieigai prie vandens, maisto gamybai, sveikatai ir žemės bei aplinkos naudojimui (Stern et al., 2006). Klimato kaitos procesas daugiausia siejamas su šiltnamio efektą sukeliančių dujų (toliau – ŠESD) koncentracijos (emisijos) didėjimu atmosferoje. Išskiriama dešimt pagrindinių ŠESD elementų: natūralios dujos – vandens garai (H<sub>2</sub>O), anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>), metanas (CH<sub>4</sub>) bei diazoto monoksidas (N<sub>2</sub>O); susidarančios atmosferoje tik dėl pramonės veiklos procesų dujos – hidrofluorangliavandeniliai (HFC–CHF<sub>3</sub>, CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F, CH<sub>3</sub>CHF<sub>2</sub>), perfluorangliavandeniliai (PFC – CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) ir sieros heksafluoridas (SF<sub>6</sub>) (Houghton et al., 1990). Pagrindinės dėl žmonių veiklos išsiskiriančios ir ŠESD yra CO<sub>2</sub> dujos (Europos komisija, 2006). Tačiau pažymėtina ir tai, kad natūraliai gamtoje esantis CO<sub>2</sub> yra dujos, būtinos visų augalų ir gyvūnų gyvybinėms funkcijoms palaikyti. Fotosintezės proceso metu augalai iš CO<sub>2</sub> įsisavina anglį, taip kaupia maistinę energinę vertę ir išlaisviną deguonį (O<sub>2</sub>). Anglies apykaitos ciklą sudaro įvairūs procesai,

kuriuos anglis juda Žemės biosferoje, geosferoje, hidrosferoje ir atmosferoje (1 pav.).

JAV mokslininkai CO<sub>2</sub> ciklus žemėje vertinti kuria neigiamas išlakų technologijas (toliau – NIT) (angl. *Negative emissions technologies and reliable sequestration*) (2 pav.).

Išskiriamos šešios NIT technologijos: pakrančių mėlynosios anglies technologija (angl. *Coastal Blue Carbon*), CO<sub>2</sub> surišimas sausumoje ir palaidojimas (angl. *Terrestrial carbon removal and sequestration*), bioenergetika su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu (angl. *Bioenergy with carbon capture and sequestration*), tiesioginio anglies dioksido surinkimo iš oro technologija (angl. *Direct air capture*), anglies dioksido mineralizavimo technologija (angl. *Carbon mineralization of CO<sub>2</sub>*), suslėgtojo CO<sub>2</sub> laidojimas giliuose geologinių nuosėdų sluoksniuose (angl. *Sequestration of supercritical CO<sub>2</sub> in deep sedimentary geological formations*) (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019). Pakrančių mėlynosios anglies NIT technologija veikia klimato kaitą ir vandenyne vykstančius procesus. Pasauliniu mastu vandenynas lemia planetos evoliuciją (atmosferos dujinę sudėtį ir biosferos raidą), kaupia spindulinę energiją ir akumuluotą šilumą perskirsto tarp platumų, formuoja globalią vandens apytaką, kartu su atmosfera dalyvauja globaliuose cirkuliacijos procesuose (Balevičius et al., 2007). Procesai, susiję su vandenynais, yra plačiai tyrinėjami ir stebimi daugelio mokslininkų taikant nuotolinius tyrimų metodus (Ahmad, 2019). Nustatoma vandenyno paviršiaus

temperatūra, bendras kietųjų dalelių kiekis, chlorofilo koncentracija, potencialios žvejybai vietos ir kiti svarbūs procesai. Tačiau mažai stebėjimų atliekama nedideliuose vandens telkiniuose, kurie taip pat daro įtaką gamtoje vykstantiems procesams.

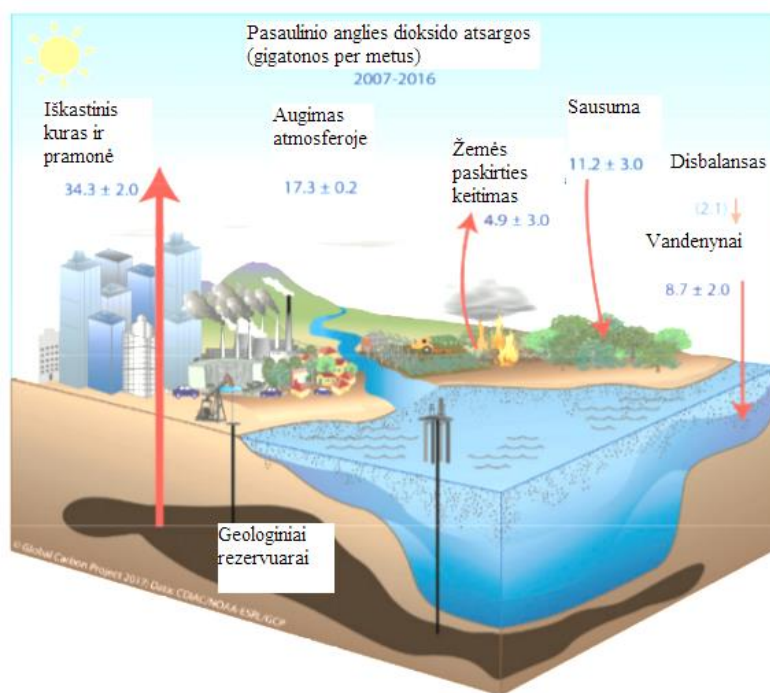
Šio straipsnio tikslas – apžvelgti mėlynosios anglies kiekio nustatymą nuotoliniais tyrimais metodais, pateikti naudojamus duomenų tipus ir modeliavimo galimybes.

### Pakrančių mėlynosios anglies sintezė

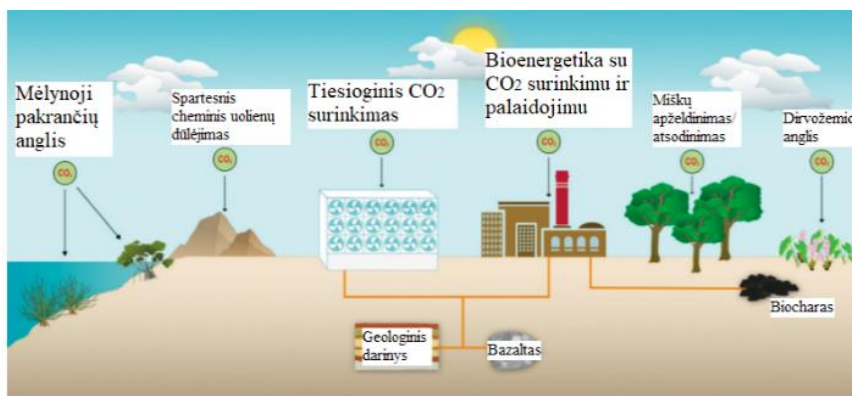
Anglis, sugerama vandenių pakrančių ekosistemoje, daugiausia mangrovėse, sūriose pakrančių pelkėse bei jūržolių sąžalynuose, vadinama mėlynąja anglimi (Škiudas et al., 2020).

Naujausi tyrimai rodo didelę pakrančių ekosistemų svarbą ir jų veiksmingumą surišant anglį. Nepaisant to, kad jos tesudaro pusę nuošimčio vandenynų dugno ploto ir tik

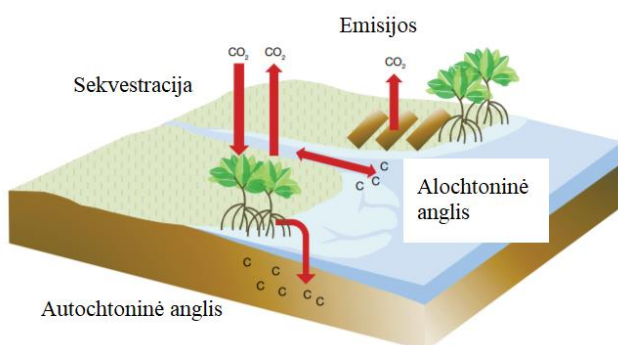
0,05 % visos augalijos biomasės, mėlynosios anglies ekosistemoms priskiriama net pusė visos vandenynų dugne sukauptos anglies. Dauguma jūržolių išaugina išsišakojusias šaknis ir stiprius šakniastiebius, kurie stabilizuoja nuogulus bei mažina pakrančių eroziją. Jos nemeta lapų, todėl nuolat vykdo fotosintezę ir suriša dvigubai daugiau anglies nei tokio pat ploto miškas. Per metus jūržolės suriša nemažus kiekius anglies dvideginio, jų daliai tenka apie dešimtadalį visos vandenynuose sukauptos anglies. Jūržolių ekosistemos nykimui turi įtakos ne tik klimato kaita, bet ir tiesioginė žmonių veikla, kaip pakrančių plėtra ir žemės naudojimo pokyčiai (Alongi, 2002; Gedan et al., 2009; Saintilan et al., 2009; Waycott et al., 2009). Dėl to kyla grėsmė ne tik prarasti dar vieną natūralią anglies surišimo priemonę, bet ir tokiu būdu į atmosferą grąžinama jau surišta anglis, kuri, reaguodama su deguonimi ( $O_2$ ), grįžta  $CO_2$  pavidalu (3 pav.).



**1 paveikslas.** Pasaulinis anglies dvideginio ciklas 2007–2016 m. (gigatonomis per metus, 1 gigatona = 1 mlrd. tonų) (Le Quéré et al., 2018)



2 paveikslas. NIT elementai (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019)



3 paveikslas. Anglies judėjimo schema (Fourqurean et al., 2014)

Kaip matoma iš 3 pav., vienas iš  $\text{CO}_2$  judėjimo būdų yra sekvestracija. Fotosintezės metu augalai naudoja  $\text{CO}_2$  ir jas paverčia angliavandeniais, kurie augalo šaknimis pasiekia dirvą. Mikrobai, kurie yra dirvoje, apdorojami angliavandenius vieną dalį organinės anglies išleidžią į atmosferą, o kitą dalį sukaupia. Taip pat  $\text{CO}_2$  gali grįžti į atmosferą, vykstant žemės naudojimo procesams (žemdirbystė), pavyzdžiui, šalinant, sausinant ar gilinant žemę. Pasaulio vandenys yra prisotinami alochtonine anglimi iš nuotėkio srauto, o dirvožemis kaupia autochtoninę anglį vietose, kuriose mineralai skaidomi lėčiau dėl  $\text{O}_2$  trūkumo.

Kadangi ši natūrali  $\text{CO}_2$  dujų mažinimo technologija yra ganėtinai veiksminga, svarbu prižiūrėti šią ekosistemą, o tam pasitelkti galima nuotolinius tyrimus.

### Pakrančių mėlynosios anglies įvertinimas nuotolinių tyrimų metodais

Nuotolinio stebėjimo metodai yra tinkami mėlynosios anglies ekosistemoms stebėti ir atvaizduoti (Hossain et al., 2015). Tokiems tyrimams atlikti sunaudojamos mažesnės darbo sąnaudos, išgaunamas didesnis tikslumas, tyrimas gali būti lengviau pakartojamas ir apima platesnes sritis nei tradiciniai lauko matavimų metodai (Pham et al., 2019b).

Remiantis T. D. Pham ir kt. straipsniu „A Review of Remote Sensing Approaches for Monitoring Blue Carbon Ecosystems: Mangroves, Seagrasses and Salt Marshes during 2010–2018“ įvairiose pasaulio šalyse vykdomos nuotolinio stebėjimo programos mėlynosios anglies ekosistemoms atvaizduoti ir stebėti (4 pav.) (Pham et al., 2019a).



4 paveikslas. Mėlynosios anglies studijų žemėlapis (Pham et al., 2019a)

Matoma, kad Baltijos jūros regione daugiausia yra tyrinėjama mėlynosios anglies technologija, susijusi su jūržolėmis. Duomenys, reikalingi mangrovių, jūržolių ir druskingų pelkių monitoringui, gali būti iš skirtingų palydovinių sistemų ir vykdomų programų (1 lentelė).

**1 lentelė.** Palydovinės sistemos tinkamos mėlynosios anglies tyrimams (Pham et al., 2019a) (SAR – sintezuotosios apertūros radarų sistemos (angl. *Synthetic-aperture radar*), LiDAR – šviesos aptikimo ir nuotolio nustatymo sistema (angl. *Light detection and ranging*))

Tipas	Programa	Skiriamoji geba (m)	Fotografavimo dažnis (dienomis)
Optinės (aukšta skiriamoji geba)	QuickBird	Panchromatinis: 0.6	1.5-3
		Daugiaspektris: 2.4	
	IKONOS	Panchromatinis: 1	1.5-3
		Daugiaspektris: 4	
	SPOT-5	Panchromatinis: 5	2-3
		Daugiaspektris: 10	
Optinės (žema skiriamoji geba)	Landstat8	Panchromatinis: 15	16
		Daugiaspektris: 30	
	Sentinel-2	Daugiaspektris: 10, 20, 60	5-10
SAR	Sentinel-1	Interferometrinis plataus ruožo : 5	12
		Juostinio tipo: 5	
LiDAR	Aeroplane, UAV	0,1	Pagal užsakymą

Tyrimams duomenis reikia paruošti, t. y. apdoroti, įvertinti atmosferos, reljefo įtaką, koordinuoti. Paruoštus „Sentinel“ duomenis teikia ir Lietuvos žemės ūkio ministerija kaip atvirus duomenis vartotojams. Juos galima užsisakyti ir parsisiųsti per Lietuvos erdvinių duomenų portalą (Lietuvos erdvinių duomenų portalas, 2021).

### Mėlynosios anglies modeliavimas „InVEST“ programa

„InVEST“ yra nekomercinė, atvirojo kodo programinių modelių rinkinys, skirtas gamtos ekosistemoms susieti ir įvertinti. Vienas iš programos modelių yra „Coastal Blue Carbon“, kurio paskirtis – išskaičiuoti ir prognozavimui naudoti pakrantėse sukauptos, sekvestruotos anglies kiekį tam tikrais laiko momentais priklausomai nuo pakrančių žemės dangos pokyčių.

Mėlynajai angliai modeliuoti reikalingi šie duomenys:

1. Žemės naudojimo / žemės dangos (angl. *The land use / land cover (LULC) maps*) žemėlapis, sudarytas klasifikuojant teritoriją palydovinėje nuotraukoje (pvz.,

„Sentinel“, „Landsat“) į pasirinktas klases specialia programine įranga, kurioje integruotas nuotraukų klasifikacijos algoritmas, pavyzdžiui, QGIS ar ArcGIS. Nuotraukų vaizdo taškai priklausomai nuo spalvos intensyvumo priskiriami unikaliems sveikiesiems skaičiams, kurie atitinka LULC nustatytą klasę. 5 paveiksle pateiktas duomenų lentelės formatas. Nuoroda (raster\_path) į rastrus gali būti duomenų vieta kompiuteryje arba klasifikuotos nuotraukos vieta (path).

snapshot_year	raster_path
<int year>	<path>

**5 paveikslas.** CVS lentelės pavyzdys (InVEST documentation, 2021)

2. LULC paieškos lentelė: CSV (.csv, kableliais atskirtos vertės, naudojama LULC klasėms susieti su jų vertėmis rastre (nuotraukoje), taip pat nurodoma, ar LULC klasė yra pakrantės mėlynojo anglies buveinė. Lentelės formatas pateiktas 6 paveiksle.

lulc-class	code	is_coastal_blue_carbon_habitat
<string>	<int>	<TRUE or FALSE>
...	...	...

**6 paveikslas.** CSV lentelės pavyzdys (InVEST documentation, 2021)

Paveiksle pateikti žymenys: lulc-class – kiekvienos žemės naudojimo / žemės dangos klasės teksto eilutės aprašymas; code – kiekvienos LULC klasės unikali sveikieji skaičiaus reikšmė. Šios sveikieji skaičiaus vertės turi sutapti su naudotojo pateiktų žemės naudojimo / žemės dangos rastrų reikšmėmis, o visos žemės naudojimo / žemės dangos rastrų LULC klasės turi būti įtrauktos į šią LULC paieškos lentelę; is\_coastal\_blue\_carbon\_habitat – įvedama TRUE vertė, jei LULC tipas yra pakrantės mėlynojo anglies buveinė (pvz., mangrovės, jūros žolė), o jei LULC tipas nėra mėlynosios anglies buveinė (pvz., mieste, žemės ūkyje), įvedama FALSE vertė.

Modeliavimas vykdomas dviem skirtingiems laikotarpiais, taip pat ir ateities pokyčiams prognozuoti. Suklasifikavus skirtingų laikotarpių palydovines nuotraukas, galima atlikti žemių dangos pokyčių analizę. Toliau skaičiuojamas anglies kiekis biomasėje ir nuosėdose yra įvertinamas atsižvelgus į pasaulinį mangrovių biomasės anglies 84 912 TCO<sub>2e</sub> / ha ir nuosėdų – 2610 312 TCO<sub>2e</sub> / ha vertes (Donato et al., 2011). Anglies dioksido vertė yra susijusi su anglies kainomis, pagrįstomis socialinių sąnaudų anglies (angl. *Social Cost Carbon*, SCC), regioninės ŠESD iniciatyvos (RGGI) ir tarptautinės savanoriškos rinkos (IVMP) kainomis (Jerath et al., 2016). „InVEST“ programos dokumentacijoje pateiktos formulės, pagal kurias apskaičiuojamas anglies kiekis (InVEST documentation, 2021):

1. Sukaupta anglis:

$$S_{total} = S_{biomass} + S_{soil} + S_{litter} \quad (1.1)$$

2. Anglies emisija:

$$E_p = D_p \cdot \left( 0,5 \frac{t-(r+1)}{H_p} - 0,5 \frac{t-r}{H_p} \right) \quad (1.2)$$

3. Sekvestravimas:

$$V_x = \sum_{t=0}^T \frac{Pt(Ct,x - Ct-1,x)}{(1+d)^t} \quad (1.3)$$

čia  $S_{biomass}$  – anglies kiekis mangrovių biomasėje;  $S_{soil}$  – anglies kiekis mangrovių dirvožemyje;  $S_{litter}$  – anglies kiekis mangrovių pakrantėse;  $D_p$  – pažeistų anglies atsargų vietų skaičius;  $H_p$  – trikdymo pusperiodis;  $r$  – perėjimo metai;  $T$  – metų skaičius nuo dabartinės datos iki žemės keitimo pabaigos;  $P_t$  – anglies tonos kaina laike;  $C_{t,x}$  – anglies atsargos vaizdo taškais laikui einant;  $d$  – nuolaidos dydis;  $t$  – laiko etapas.

Pagrindinis anglies atsargų ekosistemą veikiantis veiksnys yra žemės naudojimo pokyčiai pagal kuriuos galima modeliuoti anglies ciklus. Sudirman ir kt. moksliniame darbe „Geospatial Modeling of Blue Carbon Ecosystem Coastal Degradation in Jakarta Bay“ įvertino mėlynosios anglies pokyčius Džakartos įlankoje. Tyrimo pokyčiams įvertinti pagal „LandSat“ palydovinių vaizdų segmentavimo duomenis sudaryta žemės naudojimo duomenų suvestinė (2 lentelė) 2004 ir 2018 m. laikotarpiui. Straipsnyje pažymėta, kad plantacijų, žolės, ryžių laukai ir

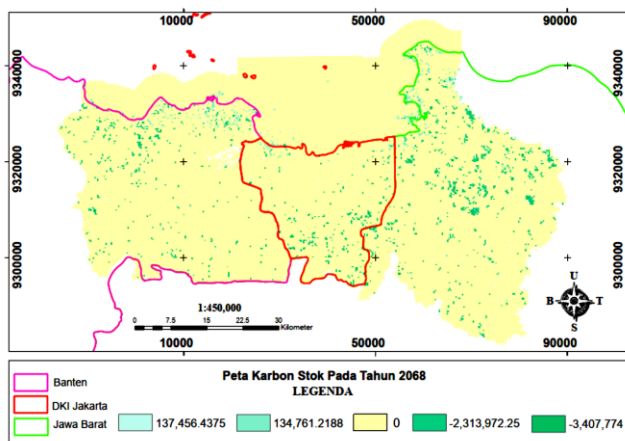
kita augmenija turi įtakos anglies vertei, tačiau modeliuojant vandens pakrantės mėlynosios anglies plotus vertinamos tik mangrovių ekosistemos, kurios vadinamos anglies vertėmis.

Remiantis mangrovių plotų pokyčiais, sumodeliuotos anglies atsargų ir emisijų vertės (7 ir 8 pav.).

**2 lentelė.** Žemės naudojimo pokyčiai 2004–2018 m. (Sudirman et al., 2019)

Žemės naudojimo tipas	Plotas (Ha)	
	2004 m.	2018 m.
Vanduo	89,324	87,648
Atviras laukas	44,462	9,018
Mangrovės	12,903	4,002
Plantacijos	4,913	29,328
Gyvenvietės	139,764	172,204
Vejos	12,451	20,018
Ryžių laukai	55,696	20,58
Žuvų tvenkiniai	13,771	24,181
Augmenija	65,552	72,404

Iš 2 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad nuo 2004 m. iki 2018 m. mangrovių plotas sumažėjo net 3 kartus, tai blogos tendencijos. Autoriai atliko anglies atsargų modeliavimą „InVEST“ programa (Sudirman et al., 2019). Vidutinės metinės anglies srauto atsargos 2004 m. siekė 2 698 224,121 t C/ha, o 2018 m. skirtingai: tam tikruose regionuose padidėjo, kituose regionuose sumažėjo. Anglies atsargų vertė 2018 m. kito nuo 3 407 566,25 t C/ha iki 4 042 836,328 t C/ha (Sudirman et al., 2019). Remiantis šiais rezultatais atliktas prognozavimas 2068 metams (7 pav.). Apskaičiuotos anglies atsargos 2068 m. pateiktos 7 paveiksle. Jei 2068 m. mangrovių ekosistemos plotas nepakis, tai anglies atsargų vertės sieks nuo 137 456,44 t C / ha iki –3 407 774,0 t C / ha.

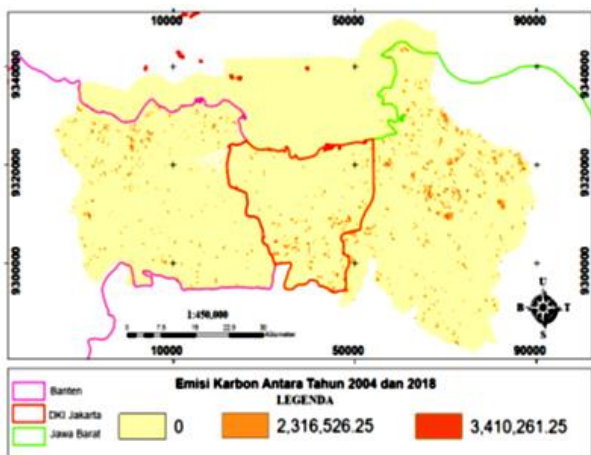


**7 paveikslas.** Anglies atsargų vertės 2068 m. (Sudirman et al., 2019)

Autoriai apskaičiavo, kad anglies dioksido įsisavinimas nuo 2004 iki 2018 m. yra nuo 37 733 140,3 t C / ha iki -3 410 261,25 t C / ha 2004 m. žemės naudojimo duomenimis, o 2018–2068 m. pasieks nuo 97 028 085,94 t C / ha iki 208 158 523,6 t C / ha, kai skaičiuojant naudojami baziniai 2018 metai.

Apskaičiuota anglies dioksido emisija 2004–2018 m. siekė nuo 2 316 526,25 t C / ha iki 3 410 261,25 t C / ha. Emisijos padidėjimas rodo anglies išsiskyrimą iš mangrovių ekosistemos dėl vykstančio žemės pertvarkymo (8 pav.).

Apskaičiuota, kad anglies dvideginio išmetalai 2068 m. sieks nuo 141 388 162,8 t C / ha iki 208 158 523,6 t C / ha.



**8 paveikslas.** Anglies emisijos 2004–2018 m. (Sudirman et al., 2019)

Remiantis tyrimu galima teigti, kad žemės naudojimo pokyčiai nuo mangrovių ekosistemų iki vandens, atviros žemės, plantacijų, gyvenviečių, žolių, ryžių laukų, žuvų tvenkinių ir augmenijos veikia pakrantės mėlynosios anglies vertės pokyčius. Anglies atsargų, absorbcijos, kaupimosi ir anglies vertės pokyčiai, remiantis rinkos kainomis, ir toliau mažės, o išmetamųjų teršalų vertė didės tol, kol nebus stengiamasi atkurti mangrovių ekosistemą.

„InVEST“ programa ateityje planuojama atlikti mėlynosios anglies vandenių pakrantėse modeliavimą Lietuvos teritorijoje.

### Išvados

1. Nepaisant to, kad CO<sub>2</sub> yra gyvybiškai svarbios dujos augmenijai, per didelis jų kiekis kelia grėsmę žmonių gyvenimo kokybei ir veikia klimato atšilimą.
2. Mangrovių ekosistemų, vandens telkinių, atviros žemės, užstatytų teritorijų, žolių ir kitos augmenijos plotų pokyčiai dėl žmonių vykdomos veiklos daro poveikį vandenių pakrančių mėlynosios anglies vertėms, todėl jas būtina stebėti.
3. Rekomenduojama vandenių pakrančių mėlynosios anglies kiekius stebėti palydovinėse nuotraukose modeliuojant ir prognozuojant jų kitimą geografinėmis informacinėmis sistemomis.
4. Dėl žemės naudojimo paskirties keitimo klimato kaitos nyksta efektyvi ir natūrali priemonė, valdanti anglies kiekį atmosferoje. Norint suvaldyti šios technologijos nykimą, būtina atlikti daugiau tyrimų ir Lietuvos teritorijoje.

### Literatūra

- Ahmad, H. (2019). Applications of remote sensing in oceanographic research. *International Journal of Oceanography & Aquaculture*, 3(1), 000159. <https://doi.org/10.23880/ijoac-16000159>
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29, 331–349. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Balevičius, A., Bukantis, A., Bukelskis, E., Ignatavičius, G., Kutorga, E., Mierauskas, P., Rimkus E., Rukšėnienė, J., Sinkevičius, S., Stankūnavičius, G.,

- Valiuškevičius, G., Zemlys, P. ir Žaromskis, R. P. (2007). *Globali aplinkos kaita*. Vilniaus universitetas.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Europos komisija. (2006). *Klimato kaita, kas tai?: pažintinis leidinys jaunimui*. Europos Bendrijų oficialiųjų leidinių biuras.
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, J. P., Rahman, A. F., Saintilan, N., & Simard, M. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. [https://www.iucn.org/sites/dev/files/english\\_blue\\_carbon\\_lr.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/english_blue_carbon_lr.pdf)
- Gedan, K. B., Silliman, B., & Bertness, M. (2009). Centuries of human-driven change in salt marsh ecosystems. *Marine Science*, 1, 117–141. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163930>
- Hossain, M., Bujang, J., Zakaria, M., & Hashim, M. (2015). The application of remote sensing to seagrass ecosystems: An overview and future research prospects. *International Journal of Remote Sensing*, 36, 61–114. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.990649>
- Houghton, J. T., Callander, B. A., & Varney, S. K. (1990). *Climate change 1990: the intergovernmental panel on climate change scientific assessment*. University Press.
- InVEST documentation. (2021). *Coastal blue carbon*. <https://invest-userguide.readthedocs.io/en/latest/>
- Jerath, M., Bhat, M., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Simard, M., & Twilley, R. R. (2016). The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA. *Environmental Science & Policy*, 66, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.005>
- Lietuvos erdvinių duomenų portalas. (2021). [www.geoportal.lt](http://www.geoportal.lt)
- Le Quéré et al. (2018). Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data*, 10, 405–488. <https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). *Negative emissions technologies and reliable sequestration: a research agenda*. The National Academies Press.
- Pham, T. D., Xia, J., Ha, N. T., Bui, D. T., Le, N. N., & Takeuchi, W. (2019a). A review of remote sensing approaches for monitoring blue carbon ecosystems: mangroves, seagrasses and salt marshes during 2010–2018. *Sensors*, 19(8), 1933. <https://doi.org/10.3390/s19081933>
- Pham, T. D., Yokoya, N., Bui, D. T., Yoshino, K., & Friess, D. A. (2019b). Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 11(3), 230. <https://doi.org/10.3390/rs11030230>
- Saintilan, N., Rogers, K., & Howe, A. (2009). *Geomorphology and habitat dynamics* (pp. 58–60). CSIRO Publishing.
- Stern, N. H., Peters, S., Bakhshi, V., Bowen, A., Cameron, C., Catovsky, S., Crane, D., Cruickshank, S., Dietz, S., Edmonson, N., Garbett, S.-L., Hamid, L., Hoffman, G., Ingram, D., Jones, B., Patmore, N., Radcliffe, H., Sathiyarajah, R., Stock, M., Taylor, C., Vernon, T., Wanjie, H., & Zenghelis, D. (2006). *Stern review: the economics of climate change* (Vol. 30). Cambridge University Press.
- Sudirman, N., Helmi, M., & Salim, H. L. (2019). Geospatial modeling of blue carbon ecosystem coastal degradation in Jakarta Bay. *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1), 80–92.
- Škiudas, K., Kubilius, A. ir Urbanavičius, J. (2020). *Žmonių veiklos sukelta klimato kaita: priežastys, pasekmės, galimybės*. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3557728](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3557728)
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck Jr., K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T., & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

## MONITORING OF COASTAL BLUE CARBON

E. Grigorjeva, J. Sužiedelytė Visockienė

### Summary

The aim of the study is to provide an overview of the global cycle and importance of one of the main greenhouse gases, carbon dioxide. CO<sub>2</sub> has a strong effect on the climate, but is also an indispensable element in the process of plant photosynthesis. Negative Emission Technologies (NIT) have been developed, one of which is related to the synthesis of coastal blue carbon. This NIT stands out from the efficiency of other technologies in that it binds twice as much carbon as a forest of the same area. However, this natural carbon battery is disappearing due to climate change, land use change. Remote sensing methods are used to control the extinction process. The paper presents a method for remote sensing of “blue carbon” estimation: Types of partial data and description of modeling “InVEST” program.

**Keywords:** climate change, blue carbon, monitoring, remote sensing.