

CHYŤ MA, AK TO DOKÁŽEŠ

KOLOBEH UHLÍKA A UHLÍKOVÉ KOMPENZÁCIE

Marec 2023

OBSAH

ABSTRAKT	3
ÚVOD	4
1. PRIRODZENÝ UHLÍKOVÝ CYKLUS	5
1.1 AKO FUNGUJE KOLOBEH UHLÍKA?	5
1.2 ZÁSOBNÍKY UHLÍKA	5
1.3 TOKY UHLÍKA	7
1.4 RÝCHLY UHLÍKOVÝ CYKLUS	7
1.5 POMALÝ UHLÍKOVÝ CYKLUS	8
2. UHLÍKOVÉ KOMPENZÁCIE	9
2.1 PROJEKTY ZAMERANÉ NA ZABRAŇOVANIE EMISIÁM	11
2.1.1 VÝROBA ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV	11
2.1.2 ZABRAŇOVANIE ODLESŇOVANIU A DEGRADÁCII LESOV	12
2.1.3 MODERNIZÁCIA SPORÁKOV	13
2.2 PROJEKTY ZAMERANÉ NA SEKVESTRÁCIU UHLÍKA VO VEGETÁCII A V PÔDE	14
2.2.1 SADENIE STROMOV	14
2.2.2 PODPORA UHLÍKOVÉHO POĽNOHOSPODÁRSTVA	15
2.3. ĎALŠIE MOŽNOSTI ZACHYTÁVANIA UHLÍKA Z ATMOSFÉRY	17
2.3.1 OCEÁNSKA INJEKTÁŽ A HNOJENIE	17
2.3.2 GEOLOGICKÁ SEKVESTRÁCIA	17
2.3.3 CHEMICKÁ SEKVESTRÁCIA	18
2.3.4 RIEŠENIA GENETICKÉHO INŽINIERSTVA	18
2.3.5 DIRECT AIR CAPTURE (DAC)	18
DISKUSIA	19

ABSTRAKT

Štúdia sa zaoberá významom uhlíka pri regulácii zemskej klímy a vplyvom ľudských činností na rovnováhu uhlíka. Kolobeh uhlíka, ktorý opisuje pohyb uhlíka medzi atmosférou, pevninou, oceánmi a živými organizmami, zohráva kľúčovú úlohu pri prirodzenej regulácii klímy našej planéty.

Sekvestrácia uhlíka sa vzťahuje na proces zachytávania a ukladania uhlíka do prírodných alebo umelých úložísk, ako sú lesy, pôda a geologické útvary. Existuje niekoľko typov sekvestrácie vrátane biologických, geologických a technologických metód. Na riešenie nárastu emisií oxidu uhličitého boli vyvinuté programy uhlíkových kompenzácií na stimuláciu a podporu činností sekvestrácie uhlíka, ako sú projekty zalesňovania a obnovy lesov, zachytávanie a ukladanie uhlíka a postupy hospodárenia s uhlíkom v pôde. Často využívaným spôsobom kompenzácie sú aj projekty zamerané na zabráňovanie vzniku emisií, kedy ide napr. o projekty týkajúce sa obnoviteľných zdrojov energie, modernizácie technológií a zabráňovania odlesňovaniu..

Hoci sekvestrácia uhlíka môže prispieť k zmierneniu zmeny klímy, nemala by sa považovať za náhradu znižovania emisií skleníkových plynov. Dôraz by sa mal naďalej klásť na znižovanie emisií prostredníctvom prechodu na nízkouhlíkové zdroje energie, zvyšovanie energetickej účinnosti a podporu udržateľných postupov využívania pôdy.

Možno konštatovať, že účinné riadenie emisií uhlíka si vyžaduje komplexný prístup, ktorý kombinuje znižovanie emisií so stratégiami sekvestrácie uhlíka. Programy uhlíkových kompenzácií môžu zohrávať dôležitú úlohu pri stimulovaní činností súvisiacich so sekvestráciou uhlíka, ale znižovanie emisií by malo zostať hlavným cieľom pri zmierňovaní zmeny klímy.

ÚVOD

Zmena klímy je jednou z najväčších výziev, ktorým ľudstvo v súčasnosti čelí. Hlavnou príčinou klimatických zmien je zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére s najväčším zastúpením oxidu uhličitého (CO₂) a metánu obsahujúcich práve atómy uhlíka. Tieto plyny zachytávajú snečné teplo, čo vedie k oteplovaniu planéty, ktoré má rozsiahle environmentálne, hospodárske a spoločenské dôsledky.

Kolobeh uhlíka zohráva v tomto probléme kľúčovú úlohu, pretože sa vzťahuje na nepretržitú výmenu uhlíka medzi atmosférou, pevninou a oceánom. Ľudská činnosť, ako napríklad spaľovanie fosílnych palív a odlesňovanie, narušila túto krehkú rovnováhu, čím sa do atmosféry uvoľňuje obrovské množstvo CO₂ a iných skleníkových plynov, a prispieva k pretrvávajúcemu problému zmeny klímy.

Na zmiernenie týchto dôsledkov je nevyhnutné znížiť emisie skleníkových plynov a dosiahnuť uhlíkovú neutralitu. Uhlíková neutralita znamená rovnováhu medzi emisiami CO₂ a iných skleníkových plynov a ich množstvom odstráneným z atmosféry. Cieľom uhlíkovej neutrality je dosiahnuť nulovú uhlíkovú stopu, keď sa emisie buď znížia na minimum, alebo sa kompenzujú odstránením ekvivalentného množstva CO₂ z atmosféry prostredníctvom činností, ako je zalesňovanie, zachytávanie a ukladanie uhlíka alebo investície do obnoviteľných zdrojov energie.

Tu prichádzajú na rad kompenzačné programy, ktorých koncept je v súčasnosti citlivou témou. Existuje veľmi tenká hranica od jeho zneužitia v prípade klamlivej reklamy, tzv. greenwashingu. Programy kompenzácie emisií uhlíka umožňujú jednotlivcom, spoločnostiam a vládam kompenzovať svoje emisie investovaním do projektov, ktoré znižujú emisie inde alebo odstraňujú uhlík z atmosféry. Cieľom tejto štúdie je preskúmať možnosti využitia týchto programov slovenskými entitami.

Zároveň uvádzame základné pojmy, s ktorými sa čitateľ alebo čitateľka v spojitosti s uhlíkovou stopou stretne. Je potrebné si ujasniť rozdiel vo význame jednotlivých označení.

Uhlíková neutralita sa vzťahuje na rovnováhu medzi množstvom CO₂ a iných skleníkových plynov vypustených do atmosféry a množstvom z nej odstráneným. Cieľom uhlíkovej neutrality je dosiahnuť čisté nulové emisie, a to buď znížením emisií na minimum, alebo ich kompenzáciou prostredníctvom odstránenia ekvivalentného množstva CO₂ z atmosféry.

Net zero znamená rovnováhu medzi množstvom vyprodukovaných emisií skleníkových plynov a množstvom odstráneným z atmosféry, čím sa v skutočnosti dosiahnu nulové čisté emisie. Net zero je v princípe podobná uhlíkovej neutralite, ale je rozšírená. Dosiahnuť net zero znamená ísť nad rámec odstraňovania emisií uhlíka, teda vzťahuje sa na všetky skleníkové plyny emitované do atmosféry, ako je metán (CH₄), oxid dusný (N₂O) a iné fluórované uhľovodíky.

Dekarbonizácia sa vzťahuje na proces znižovania uhlíkovej stopy hospodárstva, spoločnosti alebo jednotlivca. Často zahŕňa prechod od fosílnych palív k obnoviteľným zdrojom energie a investície do technológií, ktoré môžu znížiť emisie a zlepšiť energetickú účinnosť.

Tieto pojmy zohrávajú kľúčovú úlohu pri chápaní a zmierňovaní dôsledkov zmeny klímy. Cieľom uhlíkovej neutrality a net zero je dosiahnuť rovnováhu medzi emisiami a absorpciou, zatiaľ čo dekarbonizácia sa zameriava na znižovanie emisií s cieľom dosiahnuť udržateľnejšiu a uhlíkovo neutrálnejšiu budúcnosť. Programy kompenzácie emisií uhlíka

ponúkajú jednotlivcom, spoločnostiam a vládam spôsob, ako sa podieľať na tomto procese kompenzáciou svojich emisií a podporou úsilia o zníženie emisií inde. Cieľom tejto štúdie je preskúmať možnosti využitia týchto kompenzácií slovenskými entitami.

1. PRIRODZENÝ UHLÍKOVÝ CYKLUS

V tejto kapitole sa zaoberáme kľúčovou úlohou uhlíka v prírode a jeho ústrednou úlohou v kolobehu uhlíka. Preskúmame procesy, ktoré riadia pohyb a distribúciu uhlíka v rámci zemského systému, a ako tento cyklus vyvažuje ekosystém planéty.

Zmena klímy sa stala naliehavým problémom našej doby, pričom práve emisie uhlíka prispievajú do veľkej miery k otepľovaniu planéty. Uhlík je chemický prvok, ktorý sa v prírode vyskytuje v mnohých formách, od atómov uhlíka v ľudskom tele až po zlúčeniny uhlíka vo vzduchu, ktorý dýchame. Patrí medzi najviac rozšírené prvky na Zemi. Uhlík je taktiež základným prvkom zemskej atmosféry a zohráva hlavnú úlohu v cykle uhlíka, čo je prirodzený proces, v rámci ktorého sa uhlík premiestňuje v atmosfére, oceánoch a suchozemských ekosystémoch. Nájdem ho v každom odvetví ako napríklad fosilný zdroj pre energetické využite, alebo vo forme rôznych zlúčenín vo výrobe chemikálií či kozmetických prípravkov a iné.

Uhlík je súčasťou života na Zemi, bez neho by tento svet neexistoval. Ale ako sa hovorí, všetkého veľa škodí.

1.1 AKO FUNGUJE KOLOBEH UHLÍKA?

Uhlík sa nachádza v atmosfére, pôde, oceánoch a zemskej kôre. Ak sa na Zem pozeráme ako na celok – systém, môžeme tieto zložky označiť ako **zásobníky uhlíka**, pretože slúžia ako úložiská veľkého množstva uhlíka. Každý pohyb a presun uhlíka medzi týmito zásobníkmi sa nazýva **tok**. Spoločne všetky tieto hlavné zásobníky a toky uhlíka na Zemi tvoria to, čo označujeme ako **globálny kolobeh uhlíka**.

Keď sa však na tento kolobeh pozrieme bližšie, je oveľa zložitejší, než sme si mysleli. Tvoria ho rôzne zložky od malých mikroorganizmov, ktoré nevieme zachytiť voľným okom, cez listy rastlín a živočíchy až po oceán, jazero či rybník, každú pôdu a sediment a mnoho ďalších vecí. Aby sme si však zjednodušili cestu k pochopeniu dejov, ktoré sa odohrávajú medzi spomínanými zložkami, **združujeme ich do komplexnejších častí životného prostredia (lesy, trávne porasty, atmosféra, oceány), ktoré sú z globálneho hľadiska významnejšie.**

Uhlík sa v atmosfére vyskytuje vo forme oxidu uhličitého, ktorý sa radí medzi skleníkové plyny. V dôsledku ľudskej činnosti jeho koncentrácia stále narastá, čo spôsobuje výraznejší skleníkový efekt, a tým aj dochádza k zvýšeniu globálnych teplôt. Práve toto zvýšenie vedie k environmentálnym problémom, ako sú napríklad dlhšie a teplejšie vlny horúčav, častejšie suchá, silnejšie zrážky, čo môžeme v konečnom dôsledku pozorovať nielen vo svete, ale aj u nás. A práve kolobeh uhlíka zohráva dôležitú úlohu pri regulácii zemskej klímy a cez svoje prirodzené toky uhlíka medzi zásobníkmi reguluje aj množstvo oxidu uhličitého v atmosfére.

1.2 ZÁSObNÍKY UHLÍKA

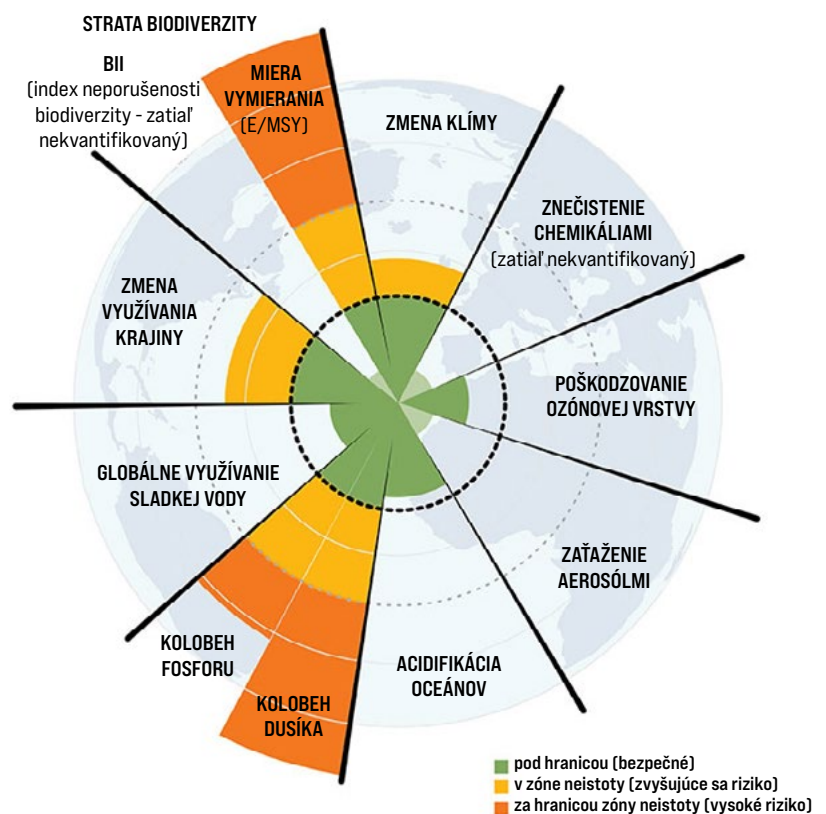
Zásobníky uhlíka na Zemi fungujú ako zdroje, ktoré prostredníctvom biologických a fyzikálnych procesov vypúšťajú uhlík do atmosféry, a zároveň ako pohlcovače, ktoré uhlík z atmosféry zachytávajú. Uhlíkový cyklus bol dlhé stáročia v rovnováhe, kým sme ho ako ľudia svojou činnosťou nenarušili. O rovnováhe hovoríme vtedy, keď je množstvo uhlíka

vypusteného a zachyteného zásobníkmi rovnaké. No ľudská činnosť túto rovnováhu narušila a spôsobila hromadenie sa uhlíka v zemskej atmosfére, t. j. zásobníky nestíhajú takéto enormné množstvo pohlcovať. Dá sa to predstaviť ako dve misky váh, čím vyššie je jedna, tým nižšie je druhá.

NA ZÁKLADE VPLYVU ČLOVEKA NA PLANÉTU BOL V ROKU 2009 VYTVORENÝ KONCEPT PLANETÁRNYCH HRANÍC (ANGL. *PLANETARY BOUNDARIES*)¹, KTORÝ HOVORÍ O BEZPEČNOM PRIESTORE PRE ĽUDSKÉ AKTIVITY. ZVÝŠENÉ MNOŽSTVO UHLÍKA PRIAMO SÚVISÍ S NIEKOLKÝMI PLANETÁRNYMI HRANICAMI. KONKRÉTNE, NÁRAST EMISÍ CO₂ V DÔSLEDKU ĽUDSKEJ ČINNOSTI MÁ VÝZNAMNÝ VPLYV NA ZMENU KLÍMY A OKYSĽOVANIE OCEÁNOV. ZVÝŠENÉ MNOŽSTVO CO₂ V ATMOSFÉRE VEDIE KU GLOBÁLNEMU OTEPLOVANIU, KTORÉ NÁSLEDNE VEDIE K ZMENÁM V KLIMATICKOM SYSTÉME ZEME, AKO NAPR. TOPENIE POLÁRNYCH ĽADOVCOV, ZVYŠOVANIE HLADINY MORÍ A ČASTEJŠIE EXTRÉMNE VÝKYVY POČASIA.

ZVÝŠENÁ HLADINA CO₂ V ATMOSFÉRE OVPLYVŇUJE AJ HRANICU OKYSĽOVANIA OCEÁNOV, PRETOŽE OCEÁN ABSORBUJE ZNAČNÚ ČASŤ CO₂. TO SPÔSOBUJE ZNÍŽENIE PH OCEÁNU, ČIM SA STÁVA KYSLEJŠIM, ČO MÔŽE MAŤ NEGATÍVNY VPLYV NA MORSKÉ ŽIVOČÍCHY A NARUŠIŤ POTRAVINOVÝ REŤAZEC.

PREKROČENIE HRANÍC NIE JE OKAMŽITÁ ZÁLEŽITOSŤ, ALE DLHOTRVAJÚCI A POSTUPNÝ PROCES. VO CHVÍLI, KEĎ SA DOSIAHNE BOD ZVRATU, VŠAK DOCHÁDZA K RÝCHLYM ZMENÁM.



Obrázok 1.2: Ilustračné zobrazenie planetárnych hraníc²

¹ Planetárne hranice sú konceptom, ktorý opisuje hranice fyzikálnych a biofyzikálnych systémov Zeme, ktoré sú nevyhnutné na udržanie stability a odolnosti planéty a na podporu blahobytu ľudí. Existuje deväť planetárnych hraníc, ktorými sú: 1. Klimatické zmeny, 2. Strata biodiverzity, 3. Cykly dusíka a fosforu, 4. Úbytok stratosférického ozónu, 5. Zmena pôdneho systému, 6. Využívanie sladkej vody, 7. Okysľovanie oceánov, 8. Chemické znečistenie, 9. Zťaženie atmosféry aerosólmi.

² https://globalnevezdelavanie.sk/wp-content/uploads/2019/09/Svet_medzi_riadkami_9_ZIVOTNE_PROSTREDIE_FINAL.pdf

Viac ako 99,9 % všetkého zemského uhlíka je uložených a fixovaných v *litosfére*, teda v zemskej kôre, čo je najvrchnejšia vrstva planéty zložená z pevných hornín nachádzajúca sa na pevnine aj v oceáne³. Veľká časť je uložená v podobe hornín, ktoré sa formovali milióny rokov. Ďalšia časť uhlíka je uložená ako uhľovodíky, ktoré vznikali z odumretých organizmov a ktoré sú dnes známe ako fosílné palivá.

Svoju úlohu v uhlíkovom cykle zohrávajú aj *oceány*, ktoré absorbujú viac uhlíka, ako ho odovzdávajú. Väčšia časť je uložená vo väčších hĺbkach a menšia sa nachádza pri povrchu oceánov, kde dochádza k rýchlej výmene s atmosférou prostredníctvom prirodzených procesov, ale zároveň sa časť môže ponoriť do oceánskych hĺbok. Ak sa niektoré atómy uhlíka nakoniec dostanú na oceánske dno, môžu tam ostať uložené až milióny rokov.

Oproti zemskej kôre a oceánom je podstatne menším zásobníkom *atmosféra*, pričom uhlík sa tu môže nachádzať ako oxid uhličitý, metán alebo rôzne iné zlúčeniny s menším zastúpením. Z hľadiska relatívne malej veľkosti je tento zásobník citlivejší na zvýšené množstvá uhlíka v dnešnej dobe, ktoré boli spôsobené najmä spaľovaním fosílnych palív a odlesňovaním.

Posledným spomínaným zásobníkom uhlíka je *biosféra* (suhozemské ekosystémy), ktorá je tvorená rastlinami, živočíchmi a mikroorganizmami. Prevažná časť uhlíka je organická, čo znamená, že je produkovaný živými organizmami alebo pochádza z odumretých častí rastlín a živočíchov.

1.3 TOKY UHLÍKA

Vyššie opísané zásobníky sú prepojené tokmi uhlíka, ktoré prúdia z jedného do druhého. Z jedného zásobníka uhlíka môže často smerovať niekoľko tokov, ktoré súčasne pridávajú aj odoberajú uhlík. Napríklad do atmosféry prúdi uhlík z rozkladu organickej hmoty, lesných požiarov a zo spaľovania fosílnych palív a odtieká z rastu rastlín a absorpcie oceánmi. Veľkosť rôznych tokov sa môže veľmi líšiť, rovnako aj rýchlosť presunu uhlíka medzi zásobníkmi.

1.4 RÝCHLY UHLÍKOVÝ CYKLUS

Rýchly uhlíkový cyklus je biologický a zahŕňa relatívne krátkodobé biogeochemické procesy medzi prostredím a živými organizmami v biosfére. Väčšina týchto procesov sa uskutočňuje v priebehu niekoľkých minút až desaťročí, čo je v geologickom kontexte pomalého kolobehu uhlíka len okamih, ale to si ukážeme v kapitole *Pomalý kolobeh uhlíka*. Medzi kľúčové procesy v rýchlym uhlíkovom cykle patrí fotosyntéza, počas ktorej rastliny absorbujú energiu zo slnka, vodu cez korene, oxid uhličitý zo vzduchu, a premieňajú ich na kyslík a glukózu. Kyslík sa potom uvoľňuje späť do ovzdušia, zatiaľ čo uhlík uložený v glukóze sa využíva na energiu v rastline, ktorá kŕmi svoje stonky, konáre, listy a korene. Rastliny tiež uvoľňujú oxid uhličitý späť do atmosféry prostredníctvom dýchania. Okrem rastlín „dýchajú“ aj pôdne mikroorganizmy, ktoré rozkladajú odumreté časti rastlín a iných organizmov. Pri tomto rozklade však dochádza k uvoľneniu ďalšieho oxidu uhličitého, keďže všetky časti rastliny sa skladajú z uhlíka, strata týchto častí do pôdy predstavuje prenos uhlíka (tok) z rastliny do pôdy, ale zároveň sa časť vypustí do atmosféry.

Rýchla výmena prebieha aj medzi oceánom a atmosférou, presnejšie medzi spodnou vrstvou atmosféry a hladinou oceánu. Absorpcia/uvolnenie uhlíka prebieha prostredníctvom difúzie, čo je pohyb častíc z oblasti s vysokou kon-

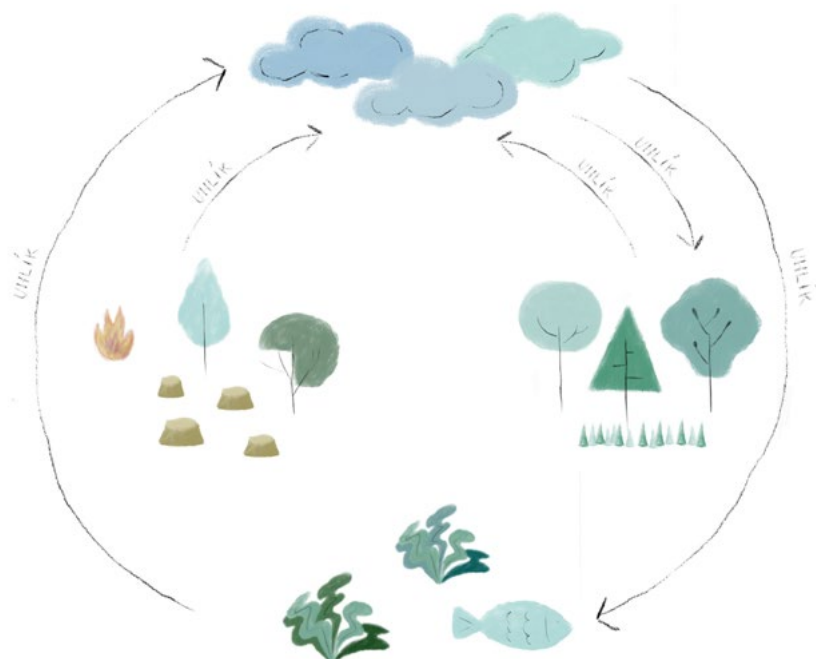
³ <https://farmcarbontoolkit.org.uk/toolkit-page/emissions-from-soil/carbon-cycle/>

centráciou do oblasti s nízkou koncentráciou. Tok môže ísť teda oboma smermi v závislosti od rovnováhy oxidu uhličitého medzi týmito dvoma zásobníkmi, teploty a podmienok vzduchu a vody, ale prevládajúci smer je z atmosféry do oceánu. Oxid uhličitý v atmosfére sa môže rozpúšťať vo vode a naopak, prirodzene sa z nej uvoľňuje podobnou rýchlosťou. To vytvára zásobu uhlíka v povrchových vodách, ktorá interaguje s riasami, so sinicami a s baktériami v priebehu fotosyntézy a ich dýchania. Uhlík v oceáne môže tiež reagovať so sedimentom vyplaveným do oceánu z pevniny, čo vytvára nové ložiská hornín. Keďže sú ťažšie ako voda, začnú klesať z oceánu na dno do litosféry.

Doteraz diskutované rýchle toky uhlíka zahŕňajú prírodné procesy, ktoré pomáhajú regulovať kolobeh uhlíka a úroveň CO_2 v atmosfére už milióny rokov. Ale do týchto procesov vstúpil človek, ktorý začal spaľovať fosilné palivá: uhlie, ropu a zemný plyn. Tieto materiály obsahujú uhlík, a keďže hlavným vedľajším produktom ich spaľovania je uvoľnenie oxidu uhličitého do atmosféry, možno ho považovať za nový a pomerne rýchly tok. Ďalšou ľudskou činnosťou, ktorá spôsobila tok uhlíka smerom do atmosféry, je zmena pôdneho krytu, najmä vo forme odlesňovania.

Ako je zrejmé, nie všetky interakcie v rámci uhlíkového cyklu prebiehajú vyššími rýchlosťami. Pomalý uhlíkový cyklus zahŕňa sériu chemických reakcií a tektonickej aktivity, ktorá presúva uhlík medzi rôznymi zásobníkmi. Tieto toky môžu trvať 100 – 200 miliónov rokov.

Geologické procesy predstavujú dôležitú kontrolu nad kolobehom uhlíka na Zemi. Medzi deje, ktoré sa na ňom podieľajú, patrí tvorba sedimentárnych hornín a ich recyklácia prostredníctvom tektonických dosiek, zvetrávanie a sopečné erupcie.



Obrázok 1.4: Rýchly uhlíkový cyklus.

1.5 POMALÝ UHLÍKOVÝ CYKLUS

Pomalý uhlíkový cyklus sa vzťahuje na dlhodobý pohyb uhlíka medzi geologickými zásobníkmi, ako sú horniny a zemská kôra, a atmosférou. Na rozdiel od rýchleho uhlíkového cyklu, ktorý sa vzťahuje na výmenu uhlíka medzi atmosférou, oceánmi a suchozemskými ekosystémami v ročnom alebo desaťročnom časovom horizonte, pomalý uhlíkový cyklus funguje v oveľa dlhšom časovom horizonte, ktorý trvá stovky až milióny rokov.

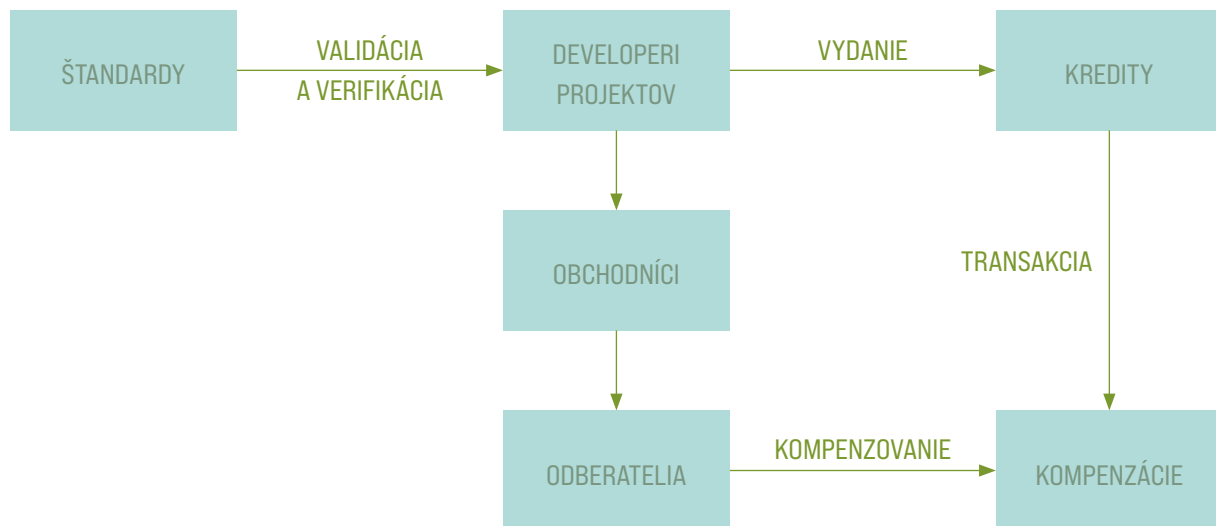
Pomalý kolobeh uhlíka je poháňaný geologickými procesmi, ako je tektonika dosiek, sopečná činnosť a zvetrávanie hornín. Pri týchto procesoch sa môže uhlík z hornín uvoľňovať do atmosféry a zároveň sa môže viazať späť do zemskej kôry. Napríklad sopečné erupcie môžu uvoľniť veľké množstvo oxidu uhličitého do atmosféry, zatiaľ čo zvetrávanie hornín môže odstrániť oxid uhličitý z atmosféry a zabudovať ho do zemskej kôry.

2. UHLÍKOVÉ KOMPENZÁCIE

Základným riešením pre organizácie, ktoré chcú obmedziť svoj vplyv na klimatickú zmenu, je priame zníženie množstva produkovaných emisií skleníkových plynov. Či už ide o výmenu starších technológií za menej emisné, zmenu dodávateľských reťazcov, nový dizajn produktov či zmenu procesov – nad všetkými týmito krokmi má organizácia úplnú kontrolu a výsledky v kontexte klimatickej zmeny sú prakticky okamžité. Ako ďalšie možné riešenie pre organizácie sa však často označujú aj tzv. uhlíkové kompenzácie, resp. uhlíkové offsety [angl. *carbon offsets*].

Uhlíkové kompenzácie sú obchodovateľné potvrdenia alebo certifikáty, ktoré tvrdia, že v rámci konkrétneho projektu prišlo k odstráneniu CO₂ z atmosféry alebo k zabráneniu emisií CO₂ do atmosféry. Vo všeobecnosti existujú dva základné typy uhlíkových trhov [angl. *carbon markets*], na ktorých sa obchoduje s kompenzáciami: povinné trhy a dobrovoľné trhy. Na povinných trhoch sa obchoduje s tzv. emisnými kvótami a sú zvyčajne uzavreté pre veľkých emitentov, ktorých chcú štáty regulovať napriamo. Na dobrovoľných trhoch sa obchoduje napr. s uhlíkovými kreditmi a týchto trhov sa môže zúčastniť akýkoľvek jednotlivec, firma či organizácia. Vo všeobecnosti sa účastníci dobrovoľných trhov delia na 4 skupiny:

- Štandardizačné authority (overujú a vyhodnocujú dodržiavanie štandardov pre kompenzačné projekty),
- Developeri projektov (sú zodpovední za realizáciu projektu),
- Obchodníci (prepájajú developerov a odberateľov),
- Odberatelia (nakupujú kredity a kompenzujú tak emisie skleníkových plynov).



Obrázok 2.1: Aktéri dobrovoľného trhu s uhlíkovými kompenzáciami.

Na dobrovoľnom trhu sú predávané tzv. kredity, pričom uhlíkový kredit je definovaný ako certifikovaný a prenosný inštrument, reprezentujúci 1 tonu ekvivalentu oxidu uhličitého⁴, ktorej sme sa vyhli alebo ju odstránili z atmosféry.

⁴ Skleníkové plyny sa často merajú v tzv. CO₂ ekvivalentoch, čo predstavuje hodnotu udávajúcu mieru vplyvu rôznych skleníkových plynov na zmenu klímy prepočítanú na množstvo CO₂, ktoré by malo obdobný vplyv.

V tomto prípade ‚vyhnúť sa‘ znamená, že skleníkové plyny neunikli do atmosféry (ale bez zásahu by k úniku prišlo), a ‚odstrániť‘ znamená, že skleníkové plyny boli odstránené z atmosféry a bezpečne uložené. V praxi sú tieto kredity využívané na to, aby kupujúci vykompenzovali vlastnú produkciu emisií a priblížili sa k uhlíkovej neutralite, resp. uhlíkovej negativite. Vo všeobecnosti sú uhlíkové kompenzácie dobrým nástrojom, ako financovať projekty pozitívne pre životné prostredie, no vo veľa prípadoch je ich efekt na znižovanie množstva CO₂ v atmosfére iba obmedzený. V nasledujúcej časti si na konkrétnych príkladoch projektov, ktoré môžu organizácie a jednotlivci financovať, ukážeme, v čom môžu byť kompenzácie prínosom a kde majú limity. Tieto projekty rozdelíme do dvoch primárnych kategórií, (i) Projekty zamerané na zabraňovanie novým emisiám a (ii) Projekty zamerané na sekvestráciu uhlíka vo vegetácii a v pôde.



Obrázok 2.2: Typy uhlíkových kompenzácií a súvisiace projekty.

KVALITA UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ

CERTIFIKÁCIA PROJEKTOV KOMPENZÁCIE EMISIÍ UHLÍKA ZAHŔŇA OVERENIE A POTVRDENIE ZNÍŽENIA EMISIÍ DOSIAH-
NUTÉHO PROJEKTI, AKO AJ ZABEZPEČENIE TOHO, ABY TIETO PROJEKTY SPĽŇALI OSOBNÉ NORMY A KRITÉRIÁ.
EXISTUJE VIACERO ORGANIZÁCIÍ, KTORÉ POSKYTUJÚ CERTIFIKÁCIU UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ, PRIČOM NAJZNÁMEJ-
ŠIE Z NICH SÚ VERIFIED CARBON STANDARD (VCS), CLIMATE, COMMUNITY AND BIODIVERSITY STANDARDS (CCBS)
A GOLD STANDARD. PROCES CERTIFIKÁCIE ZVYČAJNE ZAHŔŇA KOMPLEXNÉ POSÚDENIE NÁVRHU, REALIZÁCIE A ZNÍ-
ŽENIA EMISIÍ PROJEKTU, AKO AJ PRAVIDELNÉ MONITOROVANIE A PODÁVANIE SPRÁV S CIEĽOM ZABEZPEČIŤ, ABY SA
ZNÍŽENIE EMISIÍ DOSIAHLO PODĽA PLÁNU. VO VŠEOBECNOSTI MOŽNO POVEDAŤ, ŽE CERTIFIKÁCIA PROJEKTOV UHLÍKO-
VÝCH KOMPENZÁCIÍ POSKYTUJE SPOTREBITEĽOM A ORGANIZÁCIÁM ISTÚ MIERU ZÁRUKY, ŽE NIMI ZAKÚPENÉ UHLÍKO-
VÉ KOMPENZÁCIE SÚ SKUTOČNÉ, OVERITEĽNÉ A MAJÚ POZITÍVNY VPLYV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE. AKÁ VEĽKÁ TÁTO
ZÁRUKA REÁLNE JE, ZÁVISÍ OD KVALITY JEDNOTLIVÝCH PROJEKTOV.

KVALITA PROJEKTOV UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ SA NAJČASTEJŠIE ANALYZUJE V KONTEXTE NASLEDUJÚCICH 6 KRITÉRIÍ, KTORÉ HOVORIA O EFEKTE A KREDIBILITE DANÝCH PROJEKTOV:

ADICIONALITA (ANGL. *ADDITIONALITY*): TOTO KRITÉRIUM POPISUJE MIERU, DO AKEJ PROJEKT PRISPIEVA K DODATOČNEJ REDUKCII EMISIÍ ČI SEKVESTRÁCIÍ, KTORÁ BY SA NEUDIALA, KEBY PROJEKT NEBOL REALIZOVANÝ. ADICIONALITA JE DÔLEŽITÁ, PRETOŽE ZABEZPEČUJE, ŽE UHLÍKOVÉ KREDITY, KTORÉ SÚ VYGENEROVANÉ, MAJÚ PRIDANÚ HODNOTU A SKUTOČNE Povedú K REDUKCII EMISIÍ.

STÁLOSŤ (ANGL. *PERMANENCE*): TOTO KRITÉRIUM POPISUJE SCHOPNOSŤ PROJEKTU UDRŽAŤ POZITÍVNY VPLYV SEKVESTRÁCIE ČI REDUKCIE EMISIÍ V DLHODOBOM HORIZONTE. JE TOTIŽ DÔLEŽITÉ, ABY PROJEKTY ZABEZPEČILI, ŽE TáTO SEKVESTRÁCIA ČI REDUKCIA EMISIÍ VYDRŽÍ DOSTATOČNE DLHO A NEBUDE V BUDÚCNOSTI ZVRÁTENÁ.

ÚNIKY (ANGL. *LEAKAGE*): TOTO KRITÉRIUM ANALYZUJE MOŽNOSŤ, ŽE VZNIK PROJEKTU UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ Povedie K NEZAMÝŠĽANÝM EMISIÁM NA INOM MIESTE, KTORÉ MÔŽU ANULOVAŤ REDUKCIE EMISIÍ, KU KTORÝM SA PROJEKT ZAVIAZAL, PRÍP. ICH AJ DOSIAHOL. JE DÔLEŽITÉ TAKÉTO ÚNIKY ZVAŽOVAŤ A AKTÍVNE SA ICH MOŽNOSTI VYHÝBAŤ, ABY SME ZABEZPEČILI, ŽE PROJEKTY UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ JEDNODUCHO NESPÔSOBIA PRESUN EMISIÍ Z JEDNÉHO MIESTA NA DRUHÉ.

MONITORING A OVEROVANIE: TOTO KRITÉRIUM POPISUJE MIERU, DO AKEJ SÚ PROJEKTY EFEKTÍVNE MONITOROVANÉ A OVEROVANÉ, ABY BOLO ZABEZPEČENÉ, ŽE REDUKCIE EMISIÍ ALEBO SEKVESTRÁCIA SA SKUTOČNE DEJÚ. MONITORING A OVEROVANIE ZVYŠUJÚ INTEGRITU A KREDIBILITU PROJEKTOV UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ.

TRANSPARENTNOSŤ A DOSLEDOVATEĽNOSŤ: TOTO KRITÉRIUM POPISUJE MIERU, DO AKEJ SÚ PROJEKTY DOSLEDOVATEĽNÉ A VEDENÉ TRANSPARENTNÝM SPÔSOBOM. OTVORENOSŤ A TRANSPARENTNOSŤ O DETAILOCH PROJEKTOV JE DÔLEŽITÁ, ABY SA PROJEKTY JASNE ZODPOVEDALI VŠETKÝM STAKEHOLDEROM, VRÁTANE INVESTOROV A MIESTNYCH KOMUNÍT.

KO-BENEFITY (ANGL. *CO-BENEFITS*): TOTO KRITÉRIUM POPISUJE DODATOČNÉ BENEFITY, KTORÉ MÔŽU BYŤ DOSIAHNUTÉ POMOCOU PROJEKTOV UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ, AKO NAPR. ZVYŠOVANIE BIODIVERZITY, BUDOVANIE KOMUNIT ČI ZABEZPEČENIE UDRŽATEĽNÉHO ŽIVOBÝTIA. KO-BENEFITY JE DÔLEŽITÉ ZOHĽADŇOVAŤ, ABY PROJEKTY JASNE UKÁZALI, ŽE MAJÚ VÄČŠIU PRIDANÚ HODNOTU AKO IBA ZNÍŽOVANIE CO₂ V ATMOSFÉRE.

2.1 PROJEKTY ZAMERANÉ NA ZABRAŇOVANIE EMISIÁM

Často využívaným spôsobom kompenzácie emisií, využívaným organizáciami aj jednotlivcami, je kupovanie kreditov z projektov, ktoré zabraňujú produkcii budúcich emisií skleníkových plynov. Väčšinou ide o projekty stavby nových elektrární na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov, modernizáciu technológií v rozvíjajúcich sa komunitách a zabraňovanie odlesňovaniu.

2.1.1 VÝROBA ENERGIE Z OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV

Projekty stavby nových veterných elektrární, solárnych parkov, vodných elektrární či geotermálnych elektrární sa vo veľa prípadoch považujú za uhlíkové kompenzácie, pretože energia, ktorú vyprodukurujú, vedie k očakávanému



zníženiu množstva energie vyprodukovanej z fosílnych palív. K redukcii emisií teda neprichádza priamo napr. v solárnom parku, ale predpokladáme, že k nej príde v elektrárni na fosílné palivá, z dôvodu očakávaného nižšieho dopytu.

PROJEKTY UHLÍKOVÝCH KOMPENZÁCIÍ ZAMERANÉ NA VÝROBU ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV JE POTREBNÉ VNÍMAŤ ODDELENE OD NÁKUPU ENERGIE POCHÁDZAJÚCEJ Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV CEZ MECHANIZMY AKO TZV. ZÁRUKA PÔVODU ELEKTRINY Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ENERGIE ČI CERTIFIKÁTY OBNOVITELNEJ ENERGIE (ANGL. *RENEWABLE ENERGY CERTIFICATES* ALEBO *REC*). V TÝCHTO PRÍPADOCH IDE O MECHANIZMY, KTORÉ PRIAMO ZNIŽUJÚ MNOŽSTVO PRODUKOVANÝCH EMISIÍ ORGANIZÁCIE ČI JEDNOTLIVCA, RESP. MNOŽSTVO EMISIÍ, ZA KTORÉ SÚ ZODPOVEDNÍ. PO VYUŽITÍ TÝCHTO MECHANIZMOV MÔŽU NAPR. FIRMY BEZPEČNE TVRDIŤ O ICH SPOTREBE ENERGIÍ, ŽE „100 % ENERGIE, KTORÚ VYUŽÍVAJÚ, POCHÁDZA Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV“. NA ROZDIEL OD ZÁRUK PÔVODU A REC, UHLÍKOVÉ KOMPENZÁCIE Z PROJEKTOV NA VÝROBU ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV SÚ URČENÉ NA KOMPENZOVANIE UŽ VZNIKNUTÝCH EMISIÍ ORGANIZÁCIÍ A JEDNOTLIVCOV.

Výhody:

- Rýchly efekt zníženia produkovaných emisií CO₂ – v jednotkách mesiacov alebo rokov.
- Prínos k transformácii energetického odvetvia, ktorá je nevyhnutná na zbavenie sa závislosti ľudstva od fosílnych palív a mitigáciu klimatickej zmeny.
- Vysoká škálovateľnosť. Projekty tohto typu môžu byť malé, prispôsobené pre malú komunitu, ale aj veľké, s relatívne veľkým vplyvom na mitigáciu klimatickej zmeny.
- Viacero sociálnych výhod, ako stimulovanie lokálnej ekonomiky, zvyšovanie energetickej bezpečnosti (keďže fosílné palivá sú závislé od trhových podmienok a geopolitickej situácie) či ochrana zdravia verejnosti (znižovaním negatívnych účinkov fosílnych palív na zdravie ľudí).
- Môžu byť realizované aj priamou formou investície, ako podnikateľská aktivita, pričom takéto projekty môžu byť v budúcnosti ziskové. V tomto prípade je však miera zapojenia firmy vysoká.

Limitácie:

- Riziko, že projekty by vznikli a fungovali aj bez financovania cez uhlíkové kredity [tzv. *adicionalita*]. Príkladom môže byť ilustratívna solárna elektrárňa, ktorá by vznikla a jej prevádzka by bola ekonomicky výhodná aj bez financovania kreditmi. Kredity v takom prípade nemajú žiadny dodatočný efekt a bolo by lepšie, keby financie išli do iných projektov.
- Riziko, že projekty síce vytvoria novú ponuku obnoviteľnej energie, no elektrárne, ktoré vyrábajú energiu z fosílnych palív, si jednoducho nájdu nových zákazníkov a uspokojia iný dopyt (angl. *leakage*), pričom v konečnom dôsledku nepríde k redukcii emisií.
- Riziko, že projekty budú zrušené pred dosiahnutím očakávanej životnosti a nedosiahnu tak redukcii emisií, ku ktorej sa zaviazali. Dôvodom môže byť napríklad príliš optimistický odhad dopytu, ceny MWh či schopnosti projektu tvoriť energiu (slnéčné žiarenie, vietor a pod.), čo spôsobí ekonomickú neudržateľnosť projektu.

2.1.2 ZABRAŇOVANIE ODLESŇOVANIU A DEGRADÁCII LESOV

Iniciatívy, ktorých cieľom je zabrániť odlesňovaniu a degradácii lesov, ktoré môžu uvoľniť veľké množstvo uhlíka do atmosféry, sú taktiež často považované za uhlíkové kompenzácie. Zväčša fungujú tak, že odberatelia uhlíkových kreditov poskytujú finančné stimuly vlastníkom pôdy alebo komunitám, ktoré súhlasia so zachovaním a udržiavaním lesov namiesto ich premeny na iné účely.

Výhody:

- Nízke náklady, v porovnaní s projektmi zameranými na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov a na sekvestráciu.
- Viaceré environmentálne ko-benefity ako napríklad ochrana biodiverzity, prevencia znižovania kvality pôdy, ochrana vodných zdrojov a pod.

Limitácie:

- Vysoké riziko, že projekty síce ochránia isté územie pred odlesnením či degradáciou, ale odlesňovanie sa jednoducho presunie na iné miesto, pričom v konečnom dôsledku nepríde k žiadnej redukcii emisií (tzv. leakage).
- Riziko, že les by nebol odlesnený či nedegradoval aj bez financií z uhlíkových kreditov (princíp adicionality).
- Riziko, že lesy môžu byť zničené prírodnými katastrofami alebo ľudskou činnosťou, pričom nebudú dosiahnuté redukcie emisií, ku ktorým sa projekty zaviazali. Toto riziko sa často znižuje dlhodobými zmluvami alebo poistením, ale tieto mechanizmy sú často drahé a aj tak riziko úplne neeliminujú.
- Presné meranie a overovanie zníženia emisií z týchto projektov môže byť náročné a nákladné. V prípade monitorovacích systémov založených na satelitných snímkach môže byť problémom rozlišovanie prirodzených zmien v lesnom poraste od zmien spôsobených človekom.
- Mnohé z týchto projektov sa realizujú v krajinách, kde je slabá verejná správa, korupcia a nejasná situácia s vlastníctvom a využívaním pôdy. Takéto podmienky sťažujú efektívnu implementáciu projektu a spravodlivého rozdelenia ziskov.

2.1.3 MODERNIZÁCIA SPORÁKOV

Na Slovensku nie príliš známym projektom uhlíkových kompenzácií, ktorý môžu financovať organizácie aj jednotlivci, je modernizácia sporákov v domácnostiach a komunitách, ktoré využívajú na výrobu tepla tradičné, neefektívne sporáky. Väčšinou sa realizujú v rozvojových krajinách a ich cieľom je poskytnúť domácnostiam a komunitám efektívnejšie sporáky na drevo a inú biomasu. Táto modernizácia vedie k zníženiu spotreby paliva a menšiemu znečisteniu ovzdušia. Z dôvodu efektivity pri mitigácii klimatickej zmeny a pozitívnych sociálnych ko-benefitov pre ľudí a environmentálnych ko-benefitov pre lesy sú tieto projekty veľmi zaujímavou alternatívou k tradičnejším uhlíkovým kompenzáciám.

Výhody:

- Veľmi rýchly efekt zníženia produkovaných emisií CO₂.
- Nízke náklady na implementáciu, v porovnaní s projektmi zameranými na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov a na sekvestráciu.
- Sociálne výhody ako zlepšenie zdravia (menej škodlivého dymu) či zlepšenie ekonomickej situácie (nižšie náklady na palivo) domácností a komunít.
- Zníženie odlesňovania a s tým súvisiace dodatočné benefity pre životné prostredie.
- Vysoká škálovateľnosť, najmä v rozvojových krajinách.

Limitácie:

- Riziko, že k redukciam emisií dosiahnutým pomocou modernizácie sporákov by došlo aj bez financovania cez uhlíkové kredity, čo môže spôsobiť, že deklarované redukcie emisií nebudú naplnené.
- Riziko, že sporáky nebudú (napr. z kultúrnych dôvodov) využívané a nedosiahnu tak redukciiu emisií, ku ktorej sa projekty zaviazali. Toto riziko je možné obmedziť dôkladným zapojením komunity do projektu, čím sa taktiež zvýši dlhodobá udržateľnosť projektov.

- Náročné meranie a overovanie znižovania emisií dosiahnuté týmito projektmi, najmä ak ide o rozvojové krajiny.
- Tieto projekty majú veľký účinok, ale iba do istého momentu, pretože riešia len malú časť emisií energetického sektora.

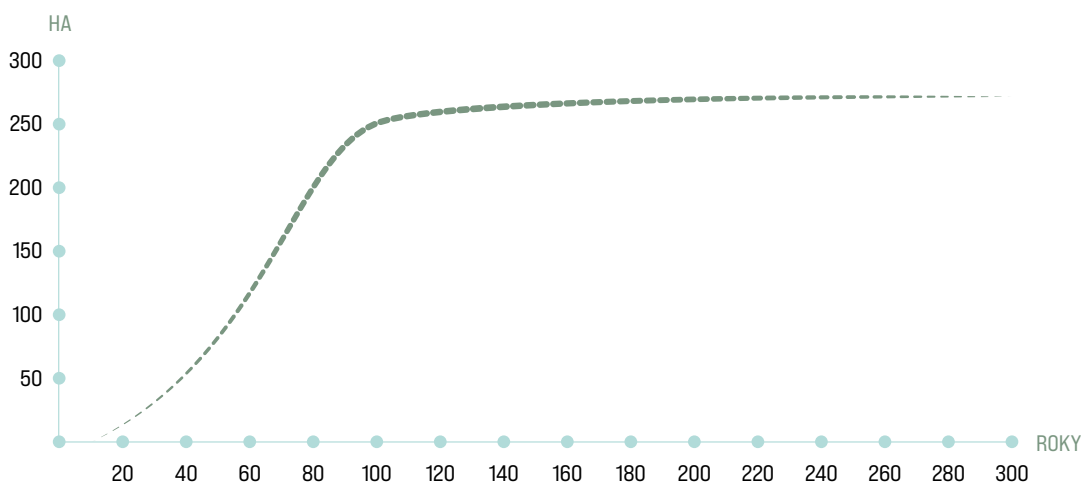
2.2 PROJEKTY ZAMERANÉ NA SEKVESTRÁCIU UHLÍKA VO VEGETÁCII A V PÔDE

Vo všeobecnosti pojem sekvestrácia uhlíka znamená odstraňovanie CO₂ z atmosféry a jeho následné dlhodobé ukladanie v oceánoch, suchozemských prostrediach (vegetácia, pôda a sedimenty) a geologických formáciách. V tejto podkapitole sa zameriame konkrétne na sekvestráciu v biomase (tráva, stromy, kríky a i.) a v pôde. Projekty zamerané na sekvestráciu uhlíka vo vegetácii sa väčšinou sústredia na podporu rastu rastlín, pričom sa uhlík z atmosféry v procese fotosyntézy uloží v ich biomase. V prípade sekvestrácie uhlíka v pôde sa tieto projekty zameriavajú zväčša na minimalizáciu zasahovania do pôdy (menej orby) a poľnohospodárske postupy, ktoré zvyšujú mieru ukladania uhlíka v pôdnej organickej hmote.

2.2.1 SADENIE STROMOV

Projekty kompenzácie uhlíka zamerané na výsadbu stromov sú iniciatívy na stiahnutie oxidu uhličitého z atmosféry pomocou vysádzania stromov buď na miestach, kde bol les predtým vyrúbaný (angl. *reforestation*), alebo na miestach, kde les historicky nebol (angl. *afforestation*). Stromy počas rastu absorbujú CO₂ a veľkú časť z neho ukladajú vo svojej biomase, čím ho na relatívne dlhý čas ukladajú. Tieto projekty môžu mať rôzne formy, od malých miestnych iniciatív až po rozsiahle medzinárodné programy. Niektoré projekty sa môžu zameriavať na snahy o opätovné zalesňovanie v oblastiach, kde boli lesy vyklčované, zatiaľ čo iné môžu financovať výsadbu stromov v mestských oblastiach alebo na súkromných pozemkoch.

Na ilustráciu efektu sekvestračného potenciálu lesa posluží príklad hypotetického hektára bukového lesa. Prvých 10 rokov je prírastok uhlíka do biomasy a pôdy minimálny. Následne začína rastová fáza, ktorá končí okolo roku 100, keď stromy na tomto pozemku naplnili svoj sekvestračný potenciál a uhlík udržia do roku cca 250, keď približne končí ich životnosť. Následne umierajú a veľká časť uhlíka sa procesmi rozkladu dostáva späť do atmosféry. Medzitým však na pozemku začnú rásť ďalšie stromy a tieto straty vyrovnávajú.



Obrázok 2.3: Ilustrácia sekvestrácie uhlíka na 1 hektári bukového lesa v čase⁵.

5 Dáta pochádzajú zo štúdie Jandl et al. (2007), *How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?*

Výhody

- Priame zachytávanie uhlíka z atmosféry (nejde o nepriame „zabraňovanie emisiám“, ale o zvyšovanie prirodzených záchytov).
- Mnohé environmentálne ko-benefity ako obnova degradovaných biotopov, tvorba nových biotopov, zachovanie a podpora biodiverzity, ochrana pôdy pred degradáciou (dôležité pre zdravé ekosystémy) či zlepšenie ekosystémových služieb pôdy.
- Po sociálnej stránke zlepšujú kvalitu vzduchu aj vody v okolí, poskytujú tieň, vytvárajú priestory pre rekreáciu, ale taktiež môžu pomôcť zvýšiť povedomie o dôležitosti ochrany životného prostredia a role lesov pri mitigácii klimatickej zmeny.

Limitácie

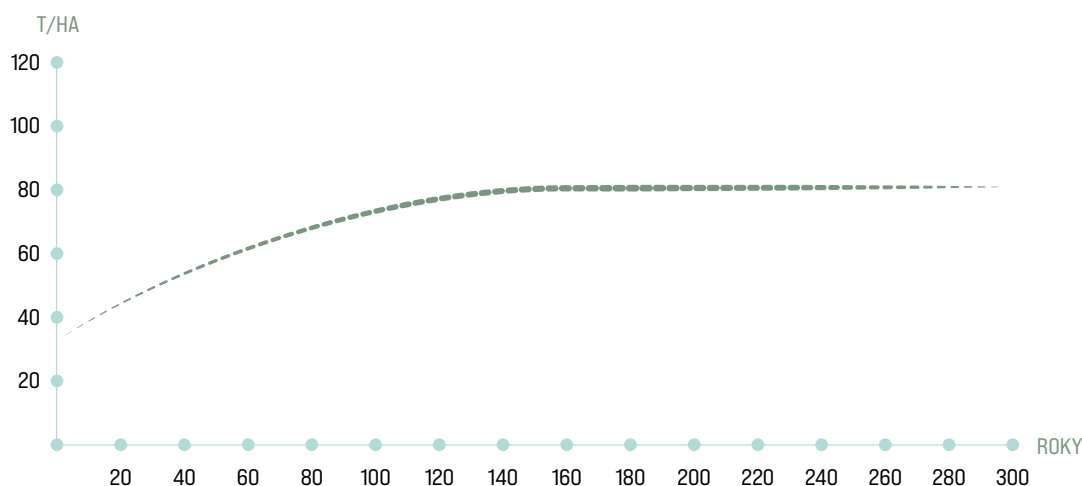
- Riziko, že projekty nedosiahnu sekvestráciu uhlíka, ku ktorej sa zaviazali, z dôvodov predčasného úhynu stromov, prírodných katastrof (napr. požiarov) či problémov s manažmentom lesov.
- Výber správnych drevín a kvalitný plán správy lesa je kľúčový pre dlhodobú udržateľnosť týchto projektov. Výber drevín nemôže byť založený iba na čo najrýchlejšej tvorbe biomasy (alebo „rýchlosti sekvestrácie“), ale musí zohľadňovať aj vhodnosť pre danú lokalitu v kontexte klimatických podmienok, invazívnosti, škodcov či vplyvu na miestne ekosystémy.
- Konflikt s inými spôsobmi využitia pôdy. V oblastiach, kde projekty sadenia stromov súperia s využitím pôdy na poľnohospodárske účely či stavbou ľudských obydlí, môže byť komplikované takúto pôdu získať, pretože by to malo negatívny vplyv na život miestnych komún a živobytie ľudí v nich. Tieto konflikty môžu eskalovať v prípadoch, keď organizácie skupujú lesnú pôdu, aby ju ochránili pred odlesňovaním, a ľudia, ktorí na týchto pozemkoch žijú, sú nedobrovolne vystahovaní.
- Projekty sadenia stromov vyžadujú dôkladné monitorovanie a overovanie, aby sa zabezpečilo, že množstvá sekvestrovaného uhlíka, ku ktorým sa projekty zaviazali, zodpovedajú realite.
- Náklady na takéto projekty môžu byť vysoké, najmä ak ide o kvalitné projekty, ktoré zabezpečujú monitoring, správny manažment lesov a overovanie.
- Je komplikované nastaviť spravodlivo, kto a kedy dostane možnosť vykompenzovať si emisie z projektov sadenia stromov. Často sa deje, že organizácie financujú výsadbu stromov, ktorým bude trvať desiatky rokov, kým dosiahnu svoj sekvestračný potenciál, ale emisie si vykompenzujú hneď v prvom roku. Okrem toho celý princíp sadenia stromov je v tom, že dlhodobo uložíme uhlík v biomase, čo znamená, že spoločnosti by sa teoreticky mali o les, ktorý financujú, doživotne starať, aby sa mu nič nestalo (požiar, opätovné vyrúbanie) – a ak sa mu aj niečo stane, znovu ho musia obnoviť, aby doňho uhlík vrátili.
- Sadením stromov na miestach, kde boli predtým lesy, ľudstvo prakticky kompenzuje emisie z využívania dreva. Oxid uhličitý pomyselne pochádzajúci z ropy a zo zemného plynu však týmto spôsobom nevykompenzujeme.

2.2.2 PODPORA UHLÍKOVÉHO POĽNOHOSPODÁRSTVA

Keď rastliny prijímajú oxid uhličitý v procese fotosyntézy, väčšinu z neho využívajú na vlastný rast, avšak časť sa premiestňuje cez korene rastlín do pôdy, kde sa môže dlhobojšie ukladať. Do uhlíka v pôde zahŕňame anorganický uhlík (v horninách, vo forme CO₂ a pod.) a organický uhlík vo všetkých živých a mŕtvych organizmoch, ktoré sa v pôde nachádzajú, od mikrobov a dážďoviek cez odumreté a živé kúsky koreňov v pôde až po pôdne huby. Sekvestrácia uhlíka v pôde závisí do veľkej miery od klímy, teploty, zrážok, typu pôdy, minerálov v pôde, vlhkosti a štruktúry pôdy, ale aj od toho, ako sa o pôdu poľnohospodári starajú. Aby poľnohospodári zvýšili zásobu pôdneho uhlíka, často musia zmeniť svoje zaužívané postupy a vyskúšať nové, ako napr. minimalizáciu orby, implementáciu agrolesníckych

postupov, sadenie medziplodín, striedanie plodín, zníženie syntetických hnojív a pesticídov či zvýšenie organických hnojív. Poľnohospodárstvo s vedľajším cieľom sekvestrácie uhlíka nazývame aj uhlíkové poľnohospodárstvo. Najčastejším cieľom projektov na podporu uhlíkového poľnohospodárstva je spolufinancovanie poľnohospodárskych postupov a konverzie, ktoré vedú k vyšej sekvestracii uhlíka pri zachovaní produkcie na pôde.

Na ilustráciu efektu sekvestračného potenciálu poľnohospodárskej pôdy posluži príklad hypotetického hektára poľa. Celkový uhlík môže rásť už od prvých rokov po zmene postupov, avšak v nejakom momente dosiahne maximálny prirodzený potenciál pôdy sekvestrovať uhlík a prichádza k saturácii, kedy je už iba veľmi náročné prirodzene ďalej zvyšovať uhlík v pôde.



Obrázok 2.4: Ilustrácia sekvestrácie uhlíka na 1 hektári poľnohospodárskej pôdy v prípade pravidelnej aplikácie organických hnojív⁶.

Do podpory uhlíkového poľnohospodárstva v EÚ koncom roka 2022 vstúpila aj Európska komisia plánom na vytvorenie certifikačného systému, ktorého úlohou bude vyčíslvať, monitorovať a sledovať odstraňovanie CO₂ v projektoch uhlíkového poľnohospodárstva. Rovnako aj Slovenská republika pripravuje finančno-certifikačný mechanizmus na podporu uhlíkového poľnohospodárstva, nazývaný aj Uhlíková a vodná banka, ktorý si kladie za cieľ monitorovať odstraňovanie CO₂, certifikovať a viesť evidenciu certifikátov a platiť za tzv. ekosystémové služby pôdy. Iniciatíva Európskej komisie aj Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR sú zatiaľ iba v štádiu prípravy.

Výhody

- Priame zachytávanie uhlíka z atmosféry (nejde o nepriame „vyhýbanie sa emisiám na inom mieste“, ale o zvyšovanie prirodzených záchytov).
- Mnohé environmentálne ko-benefity, ako napr. zvýšenie zdravia pôdy a s tým súvisiaca lepšia schopnosť pôdy zadržiavať vodu, udržiavať zdravý kolobeh živín či zabezpečovať podmienky pre mikroorganizmy v pôde. Zmena poľnohospodárskych postupov na viac udržateľné často zvyšuje aj biodiverzitu na farmách a v ich okolí.
- Vyššia odolnosť pôdy voči zmene klímy a extrémnemu počasiu.

Limitácie

- Najväčšie riziko, s ktorým súvisia aj všetky ďalšie, je, že vedecké poznanie v téme sekvestrácie uhlíka v pôde je iba

⁶ *Dáta pochádzajú zo štúdie Poulton et al. (2018), Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom.*

na začiatku a aktuálne ešte nemáme dostatok vedomostí o tom, ako presne upraviť poľnohospodárske postupy, aby sme efektívne zvýšili množstvo sekvestrovaného uhlíka v pôde.

- Môže trvať desiatky rokov, pokiaľ pôda sekvestruje relevantné množstvá uhlíka.
- Zmeny pôdneho uhlíka nie sú lineárne. Môže rásť pomalšie, rýchlejšie, môže klesať a taktiež má svoje maximum, kedy je ďalšie zvyšovanie pôdneho uhlíka extrémne náročné.
- Množstvo pôdneho uhlíka je do veľkej miery závislé aj od faktorov, ktoré nevieme ovplyvniť (napr. zrážky či teplota – obzvlášť dôležité v kontexte zmeny klímy a neistého vývoja počasia).
- Relatívne nízke, ale možné riziko presunu emisií v prípade, že na sekvestráciu zamerané poľnohospodárske postupy znížia produktivitu farmy a táto úroda bude musieť byť nahradená inou farmou, ktorá zvýši svoje emisie [angl. *leakage*].
- Monitorovanie a pravidelné overovanie pôdneho uhlíka je komplikované, obzvlášť v krátkodobom horizonte, keď sú zmeny v uhlíku minimálne.
- Zmeny v pôdnom uhlíku vidno iba v dlhodobom horizonte, avšak investície do zmeny v postupoch si často vyžadujú vysoké počiatočné investície. Navyše, aktuálne vedecké poznanie neodpovedá presne na to, aké poľnohospodárske postupy budú mať aký vplyv na sekvestráciu uhlíka v pôde. Rovnako je nepravdepodobné, že tieto zmeny v uhlíku uvidia poľnohospodári z roka na rok, čiže ak aj zmenia postupy, dlhú dobu nie je isté, či povedú k zvýšeniu uhlíka v pôde.
- Rovnako ako pri sadení stromov, aj pri sekvestracii uhlíka v pôde je potrebné, aby odberatelia uhlíkových kreditov z týchto projektov zabezpečili udržiavanie zvýšeného uhlíka v danej pôde dlhodobo. Akékoľvek zníženie uhlíka v pôde v budúcnosti zneguje doterajšiu sekvestráciu (a teda aj uhlíkovú kompenzáciu odberateľa uhlíkových kreditov z týchto projektov).

2.3. ĎALŠIE MOŽNOSTI ZACHYTÁVANIA UHLÍKA Z ATMOSFÉRY

2.3.1 OCEÁNSKA INJEKTÁŽ A HNOJENIE

Svetové oceány sú hlavným dlhodobým pohlcovačom emisií CO₂ spôsobených ľudskou činnosťou. Distribúciu CO₂ medzi oceánom a atmosférou ovplyvňuje veľa faktorov vrátane teploty, pH a koncentrácie soli vo vode. Napríklad vyššia koncentrácia soli a vysoká teplota negatívne regulujú rozpustnosť CO₂ v oceánskej vode.

Oceánska sekvestrácia predstavuje spôsob vstrekovania atmosférického uhlíka do hlbokých oceánov. Avšak miesto, kde sa vstrekuje CO₂, sa stáva kyslým v dôsledku zníženia pH vody, ktoré je z dlhodobého hľadiska toxické pre morskú faunu a flóru.

Ďalšou možnosťou sekvestrácie uhlíka je hnojenie oceánov. Tento proces jednoducho znamená, že hnojením oceánov, t. j. zvýšením koncentrácie živín, ktoré by stimulovali rast a produkciu fytoplanktónov, sa v konečnom dôsledku zvýši fixácia uhlíka. Najviac skúmanou formou hnojenia je prídavok železa, ktorý by mal zvýšiť rast fytoplanktónu. Táto metóda však čelí rovnakým nevýhodám ako metóda priameho vstrekovania, t. j. môže viesť k takým zmenám, ktoré ovplyvňujú ekológiu oceánu viacerými spôsobmi. Tieto prístupy sú v štádiu vývoja.

2.3.2 GEOLOGICKÁ SEKVESTRÁCIA

Metóda geologickej sekvestrácie poskytuje zaujímavú príležitosť na ukladanie uhlíka pomocou rôznych podzemných geologických formácií. CO₂ sa dá ukladať vstrekovaním do rôznych geologických štruktúr hlboko pod zemou vrátane zásobníkov ropy a zemného plynu, nerudných uhoľných ložísk a hlbokých slaných vodonosných vrstiev. Predpokladá

sa, že geologická sekvestrácia by bola účinná z hľadiska ukladania uhlíka na dlhšie časové obdobie. Geologická sekvestrácia sa považuje za sľubnú technológiu na zmiernenie vplyvu emisií skleníkových plynov, no jej implementácia je stále v počiatočnom štádiu a medzi výzvy patrí potreba vhodných geologických formácií a potenciálne riziká, ako sú únik, zemetrasenia a vplyv na podzemné vodné zdroje. Tieto prístupy sú v štádiu vývoja.

2.3.3 CHEMICKÁ SEKVESTRÁCIA

Chemická sekvestrácia uhlíka je sľubná technológia, ktorá má potenciál zohrávať významnú úlohu pri znižovaní množstva CO₂ v atmosfére. Základnou myšlienkou chemickej sekvestrácie uhlíka je využitie chemických reakcií na premenu CO₂ na pevné, stabilné zlúčeniny, ktoré možno bezpečne uložiť pod zem alebo použiť v rôznych priemyselných procesoch.

Jednou z hlavných výhod chemickej sekvestrácie uhlíka je, že sa dá použiť na zachytávanie emisií CO₂ z rôznych zdrojov vrátane elektrární, priemyselných procesov a dokonca aj zo samotnej atmosféry. Tento prístup má potenciál poskytnúť zdroj príjmov a znížiť náklady na zmiernenie emisií skleníkových plynov. Jeho výhodou je aj zníženie dopytu po neobnoviteľných zdrojoch, ako je ropa, ktoré sa používajú na výrobu chemikálií a palív. Tieto prístupy sú v štádiu vývoja.

2.3.4 RIEŠENIA GENETICKÉHO INŽINIERSTVA

Existujú rôzne prístupy genetického inžinierstva, ktoré možno použiť napríklad na zvýšenie účinnosti fotosyntézy. Tieto inžinierske prístupy by teda poskytli kombinované účinky biologických aj nebiologických prístupov. Zaujímavou alternatívou by mohla byť fyto-remediácia, ktorá využíva geneticky modifikované rastliny na odstraňovanie oxidu uhličitého z atmosféry a jeho ukladanie do rastlinnej biomasy alebo do pôdy. Tieto prístupy sú ešte len v počiatočnom štádiu vývoja a na určenie ich uskutočniteľnosti a potenciálnej účinnosti pri rozsiahlej sekvestracii uhlíka je potrebný rozsiahly výskum.

2.3.5 DIRECT AIR CAPTURE (DAC)

Ide o nové technológie, ktoré priamo zachytávajú CO₂ zo vzduchu a premieňajú ho na ľahšie spracovateľné formy uhlíka. Takto zachytený oxid uhličitý vieme uložiť pod zemou, v priemysle či vyrábať z neho produkty. Výhodou týchto projektov je, že môžu byť vysoko škálovateľné, nie sú viazané na konkrétnu lokalitu a dokážu uhlík viazať spoľahlivo a kontinuálne. Sú to však nové technológie, takže ich aktuálna cena je príliš vysoká pre komerčné využitie (najmä kvôli vysokej spotrebe energie a iným technologickým obmedzeniam). Je otázne, do akej miery je možné túto cenu v budúcnosti znížiť, no ak Direct Air Capture všetky bariéry prekoná, táto technológia bude hrať významnú úlohu v mitigácii klimatickej zmeny.

DISKUSIA

Kompenzácia emisií uhlíka, známa aj ako offset emisií uhlíka, je proces, pri ktorom jednotlivci alebo spoločnosti kompenzujú svoje emisie uhlíka investovaním do environmentálnych projektov, ktoré znižujú alebo odstraňujú emisie skleníkových plynov na inom mieste. Týmto spôsobom sa snažia neutralizovať uhlíkovú stopu svojich činností a dosiahnuť net zero vplyv na životné prostredie.

Jedným z hlavných argumentov v prospech kompenzácie emisií uhlíka je, že poskytuje jednotlivcom a spoločnostiam spôsob, ako prevziať zodpovednosť za svoje emisie uhlíka a pozitívne ovplyvniť životné prostredie, aj keď nie sú schopní priamo znížiť svoje emisie. Investovaním do obnoviteľných zdrojov energie, zalesňovania alebo iných projektov na zníženie emisií uhlíka pomáhajú zmierniť negatívne účinky svojej uhlíkovej stopy a podporujú prechod na nízkouhlíkové hospodárstvo.

Hoci kompenzácia emisií uhlíka môže byť krokom správnym smerom, sama osebe nie je riešením. Spoločnosti a organizácie, ktoré skutočne chcú riešiť emisie uhlíka, by sa mali v prvom rade zamerať na znižovanie celkových emisií za pomoci interných opatrení a rozhodnutí. Až v prípade, že ďalšie zníženie nie je technicky možné, by sa mali prikloniť k možnosti kompenzácií.

Okrem toho je dôležité uvedomiť si, že niekedy sú kompenzačné programy zneužívané a umožňujú určitým priemyselným odvetviám a firmám platiť za to, aby vyzerali zodpovedne, pričom sa vyhýbajú skutočnému úsiliu o zníženie množstva skleníkových plynov, ktoré produkujú. Niektoré projekty nemusia mať skutočný vplyv na emisie uhlíka alebo môžu byť menej účinné ako iné typy projektov. Okrem toho niektoré kompenzačné projekty môžu mať nezmýšľané dôsledky, ako napríklad vysídlenie miestnych komunit alebo zhoršenie životného prostredia. Kompenzácia uhlíka je síce nedokonalá, ale môže mať pozitívny vplyv, najmä ak si spoločnosť program kompenzácie uhlíka vyberie precízne. K offsetu preto treba pristupovať maximálne transparentne, aby sa nepremenil na greenwashing.

Neexistuje odpoveď na otázku, ktorý typ offsetového programu je najlepší. Ak sa organizácia alebo jednotlivec rozhodujú medzi rôznymi offsetovými programami, mali by si vyberať na základe kvality a ceny. Je úplne reálne, že kvalitný projekt na výmenu sporákov v komunitách rozvojových krajín bude mať väčší vplyv na mitigáciu klimatickej zmeny ako nekvalitný projekt sadenia stromov, pri ktorom desiatky percent stromov časom uhynú. Na kvalitu dohliadajú certifikačné authority, ktoré sú zodpovedné za overovanie kvality týchto projektov, a preto je na ne potrebné neustále vyvíjať tlak, aby zvyšovali nároky a certifikovali výhradne kvalitné projekty.

Dlhodobou víziou tohto odvetvia by malo byť zjednotenie trhov s emisnými kompenzáciami a zapojenie všetkých emitentov. Okrem výhod ako väčšia transparentnosť, vyžadovanie aktivity na riešenie klimatickej zmeny od všetkých a oveľa väčšia prehľadnosť má toto riešenie však aj jednu zásadnú nevýhodu – v takom prípade je očakávaný extrémny nedostatok projektov uhlíkových kompenzácií a značné zvýšenie ceny kreditov.

Na Slovensku nie sú rozvinuté overené kompenzačné schémy. Momentálne je dostupný napr. program Clean Advantage alebo Sloveff, avšak na základe nedostatku informácií nevieme overiť ich metodické postupy a relevantnosť. V zahraničí ich existuje niekoľko. Líšia sa vo viacerých sledovaných indikátoroch ako cieľová skupina či cieľová oblasť projektov. Široké spektrum tvoria aj projekty s rôznou škálou transparentnosti, dĺžkou pôsobenia na trhu alebo cenou za kompenzáciu 1 tony CO₂e či účinnosť projektov. Pri výbere organizácie a projektov treba brať do úvahy všetky tieto parametre.

Na záver možno konštatovať, že hoci kompenzácia uhlíka môže byť užitočným, je iba doplnkovým nástrojom pre jednotlivcov a spoločnosti pri znižovaní svojej uhlíkovej stopy. Ak chceme skutočne riešiť problémy spojené s emisiami uhlíka, dôležitá je spolupráca na globálnej i národnej úrovni, ako aj lokálnej. Emisie ako také nie sú ohraničené štátom ani regiónom, tak ako zmena klímy.

Autori a autorky publikácie:

Michaela Majerová (INCIEN)

Michael Matis (INCIEN)

Petra Csefalvayová (INCIEN)

Jazyková korektúra: Jana Vicenová

Grafická úprava: Sashi

BRATISLAVA 2023

Publikáciu zostavil Inštitút cirkulárnej ekonomiky, o. z.

Podporené Britským veľvyslanectvom v Bratislave



British Embassy
Bratislava