



A KLÍMAVÁLTOZÁS ÁLLATTENYÉSZTÉSI VONATKOZÁSAI I.

Szakértő munkatársunk írása
Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft.

ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK, KÖRNYEZETI TERHELÉSEK

Aktualitására és jelentőségére tekintettel, Partnertájékoztató Hírlevelünkben egy új, klíma-változásról szóló rovatot indítunk. Ennek keretében először rövid áttekintést adunk az üvegházhatásról és az üvegházhatású gázokról (ÜHG-ok), majd a kibocsátások csökkentését, az energiahatékonyság fokozását, valamint a zöldítést szolgáló globális és európai uniós (EU-s) szintű célkitűzéseket, kezdeményezéseket ismertetjük, fókuszban az Európai Bizottság egy 2019-ben kiadott közleményével, az „európai zöld megállapodással”. Ez követően csak

Magyarországra összpontosítunk, górcső alá helyezve mezőgazdasági ÜHG-kibocsátásunk alakulását, időjárásunk XXI. században várható változásait, azok mezőgazdaságra gyakorolt hatásait, valamint a zöld fenntarthatósági törekvések hazai érvényesülését. A további részekben a szarvasmarhatartás (elsősorban a tejelő szarvasmarhatartás) és a trágyakezelés során képződő különféle ÜHG-ok és légszennyező anyagok okozta mezőgazdasági környezetterhelésekkel foglalkozunk, illetve azok telepi szintű mérésére és mérséklésére mutatunk be gyakorlati megoldásokat.

Klímaváltozás – bolygónk életjelei

A klímaváltozás az időjárási minták hosszú távú, tartós változását jelenti. Földünk története során különféle okok (naptevékenység változása, vulkánkitörések, nagyobb meteorok becsapódása stb.) miatt a lehűlések és a felmelegedések többször váltották egymást. Számos feljegyzés maradt fenn a középkori meleg periódust követő ún. kis jégkorszakból, amely több évszázadon át, egészen a XIX. századig tartott. Ekkor a globális hőmérséklet körülbelül 1 °C-kal volt alacsonyabb az 1960 és 1990 közötti időszak átlagához képest.

Míg a hidegebb és melegebb korszakok váltakozása természetes folyamatként, évszázadok, illetve évezredek alatt megy végbe, a jelenleg zajló klíma-változás ennél sokkal gyorsabb ütemű. Az Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatalának (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) adatai szerint míg a Föld hőmérséklete 1880 után 10 évenként átlagosan 0,08 °C-kal emelkedett, 1981 óta már – elsősorban az antropogén (humán) eredetű ÜHG-kibocsátások miatt – ennek több mint kétszeresével,



évtizedenként 0,18 °C-kal.¹ A Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization, WMO) számításai alapján a 2013-tól 2022-ig tartó periódus az eddig feljegyzett legmelegebb évtized volt, amikor az átlagos hőmérséklet 1,14 °C-kal haladta meg az 1850 és 1900 közötti időszakét. Magyarországon a 2022-es nyár az 1901 óta eltelt évek legmelegebb nyarának bizonyult, a középhőmérséklet (22,8 °C) megdöntötte az addigi 2003-as csúcst. Mivel a hosszú távú felmelegedés előreláthatólag nem szűnik meg, ezért csak idő kérdése, hogy mikor mérhetünk egy újabb rekordot.

A globális klímaváltozás tehát – mint említettük – részben természetes folyamatokhoz (fokozott napfolttevékenységhez, vulkánkitörésekhez stb.), részben emberi tevékenységekhez (ipari műveletekhez, az energiaforrások intenzív használatához, a közlekedéshez, az erdőirtáshoz, a mezőgazdasági termeléshez, rossz fogyasztói szokásokhoz stb.) köthető ÜHG-kibocsátások következménye. Bár napjainkban a média inkább az utóbbiakra fókuszál, nem szabad lebecsülnünk az ÜHG-ok természetes úton légkörbe jutó mennyiségét sem. A csendes-óceáni Hunga Tonga-Hunga Ha'apai szigetnél fekvő víz alatti vulkán 2022. január 15-i kitörésekor például egyes kalkulációk szerint körülbelül 146 millió t vízgőz (amely a legfőbb ÜHG) került a sztratoszférába.² A kutatók megállapítása szerint a hőmérséklet-emelkedéssel párhuzamosan nő a természetes forrásokból származó ÜHG-ok koncentrációja is. Egy nemzetközi tudóscsapat például 2021-ben aggasztó kutatási eredményt³ tett közzé a *Nature* tudományos hetilapban, miszerint a világ jelentős szén-dioxid- (CO₂-) elnyelőjének számító Amazónia délkeleti részén mára az erdőirtások, a súlyos aszályok, valamint az emelkedő hőmérséklet miatt

mind gyakoribbak a spontán erdőtűzek, így évente több CO₂ kerül a légkörbe, mint amennyit a fák fotoszintézis útján fel tudnak venni. De katasztrofális hatása lehet a permafrost (örökfagy) oladásának is, amelyet a hőhullámok és a boreális (északi) erdőtűzek még fel is gyorsíthatnak, ugyanis jelentős mennyiségű metán (CH₄) kerülhet a légkörbe, felszabadulva a jelenleg fagyott állapotú ősi „szénraktárból”.

A klímaváltozás legsúlyosabb természeti következményei között van a hőmérséklet növekedése, a gleccserek eltűnése, a tengerszint emelkedése, az óceánok elsavasodása, egyes régiókban a csapadék drasztikus csökkenése, a szélsőséges időjárási események (árvizek, aszályok, heves esőzések stb.) gyakoribbá válása és intenzitásuk növekedése, a talajpusztulás, a növények és állatok élőhelyének beszűkülése vagy földrajzi eltolódása, valamint a biodiverzitás csökkenése. A károk egy része már visszafordíthatatlan (például egyes fajok kihalása), illetve ahhoz közeli (a gleccserek visszahúzódásából fakadó hidrológiai változások, a sarkvidéki ökoszisztémák átalakulása a permafrost olvadása miatt stb.). Az emelkedő hőmérséklet és a szélsőséges éghajlati események az előbbieken túl az élelmiszer- és ivóvízellátási problémák, a tömeges migráció, a betegségek gyors terjedése stb. révén is befolyásolhatják az emberek millióinak életét. A WMO számításai szerint az óceánok hőmérséklete 2021-ben csúcsértéket ért el, és a tengerszint, amelynek emelkedési üteme 1993 óta megduplázódott, 2020 januárjától napjainkig 10 mm-rel lett magasabb. 2022-ben az alpesi gleccserek súlyos jégmennyiség-veszteséget szenvedtek el, a grönlandi jégtakaró pedig már 26. éve veszít tömegéből.



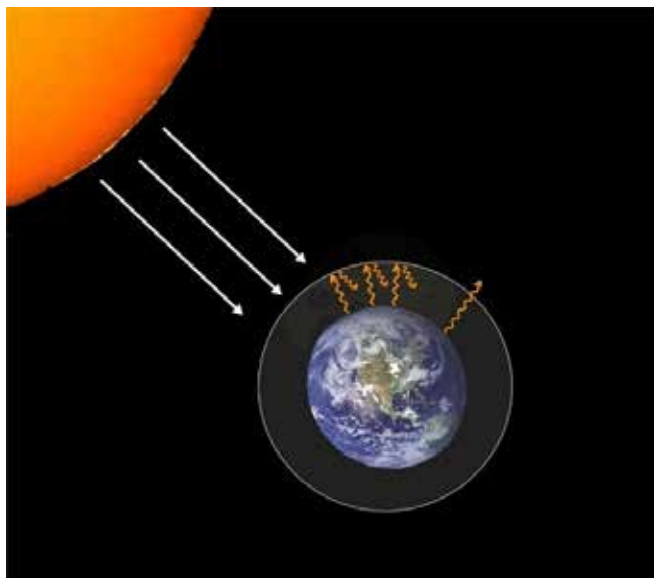
1. kép: Műholdfelvétel – Az Antarktisz keleti partja elveszíti a selfjég (tengerbe nyúló jégtömeg) egy részét, 1989, 2001 és 2022
Forrás: NASA Earth Observatory



Mi az üvegházhatás, melyek az üvegházhatású gázok?

A Napból a Föld légkörébe érkező sugárzást a légköri részecskék különböző hullámhosszokon elnyelik, illetve az eredeti haladási irányától eltérítik. A felszínre ezért a sugárzásnak körülbelül csak a fele jut, amelyből kétharmad elnyelődik, egyharmad viszont visszaverődik. Az elnyelődés mértéke az évszaktól, a szélességi körtől és a felszín albedójától (visszaverő képességétől) függ. A felmelegedett felszín a hőt hosszú hullámú sugárzásként adja le, majd az hőáramlással jut el más helyekre. A sugárzás egy részének sikerül elhagynia a légkört, a másik része ugyanakkor a légköri részecskékről vagy a felhők felszínéről visszaverődik, illetve az ÜHG-ok által csapdába esik, melyek az alsóbb légrétegek felé „sugározzák”, hasonlóan az üvegházak működéséhez.

Az üvegházhatás elengedhetetlen a Föld hőháztartásának fenntartásához (nélküle az átlaghőmérséklet csupán -20°C lenne bolygónkon), ám az ember hatására e természetes folyamat jelentősen megváltozott az ipari forradalom, de különösen a XX. század közepe óta. Az utóbbi következménye a napjainkban tapasztalt klímaváltozás.



1. ábra Az üvegházhatás sematikus rajza

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) által kidolgozott módszertan szerint az országok minden évben egy ún. ÜHG-kibocsátási leltárt készítenek az adott év -2. évre (tehát 2022-ben 2020-ra), számba véve az emberi tevékenységekkel összefüggő kibocsátásokat és elnyeléseket, majd benyújtják azt az Egyesült Nemzetek (ENSZ) számára. Ebben CO_2 -egyenértékben, egyetlen adattal adják meg éves emissziójukat, amelynek hosszú

idősora alapján meghatározható a változás tendenciája, illetve összehasonlítható más országok releváns trendjével. A 2022-ben benyújtott Nemzeti ÜHG-kibocsátási Leltár szerint Magyarország földhasználat, földhasználat-változtatás és erdőgazdálkodás (land use, land-use change and forestry, LULUCF) nélküli vett antropogén eredetű ÜHG-kibocsátása 2019-ben 64,6 millió, míg 2020-ban (valószínűleg a közlekedés okozta kibocsátások Covid19-járvány alatti jelentős csökkenése miatt) 62,8 millió t CO_2 -egyenérték volt. Érdekes összehasonlításképpen további európai példákat is kiemelünk: Németország 2019-ben 799,7 millió, 2020-ban 728,7 millió t CO_2 -egyenérték ÜHG-t bocsátott ki (a LULUCF nélkül), míg Hollandia 180,7 millió, illetve 164,3 millió t-t.

Az ÜHG-kibocsátási leltár a következő gázokra terjed ki: CO_2 , CH_4 , dinitrogén-oxid (N_2O) és fluor- (F-) gázok (fluorozott szénhidrogének [HFC], kén-hexafluorid [SF_6], perfluor-karbonok [PFC]). A legnagyobb mértékű üvegházhatást a vízgőz és a CO_2 fejt ki, bár az előbbi a leltárban nem szerepel, mivel azt az ember csak közvetve befolyásolja, és légköri mennyisége egyelőre állandóságot mutat.

A vízgőz az üvegházhatás 75%-áért felelős. A Föld hőmérsékletének emelkedésével a felszíni vízpárolgás is növekszik. A melegebb levegőnek, mivel több nedvességet képes magában tartani, magasabb a vízgőz-koncentrációja. A nagyobb mennyiségű vízgőz így több Földről kisugárzott hőt nyel el, megakadályozva annak ürbe kerülését, ami tovább melegíti a légkört, és fokozza a vízpárolgást. Amerikai tudósok becslése szerint ez a folyamat több mint kétszeresére növeli azt a felmelegedést, amely pusztán a CO_2 -szint emelkedése miatt következne be.

A világ összes ÜHG-kibocsátásának kb. 20%-át, a globális antropogén eredetű kibocsátásnak pedig a háromnegyedét a CO_2 teszi ki. A CO_2 mintegy 80%-a természetes úton, az élőlények biológiai folyamatai, a szerves anyagok lebomlása, valamint vulkanikus tevékenységek során kerül a légkörbe. Az ember tevékenysége nyomán leginkább fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) égetésével keletkezik; főbb forrásai közé tartozik az elektromosáram-termelés, a közlekedés, az ipar és a háztartások. A szén ciklusokérték becslése szerint a természetes



CO₂-elnyelők (óceánok, erdők stb.) az egyre nagyobb mennyiségben kibocsátott gáznak 2011 és 2020 között csupán a felét tudták elnyelni, ezért annak koncentrációja bár nem lineárisan, de folyamatosan nőtt az atmoszférában. A már említett NOAA adatai alapján ez a globális növekedési ütem az 1960-as években még csak $0,8 \pm 0,1$ ppm volt, a következő 50 évben azonban megháromszorozódott, és a 2010-es évtized végére elérte a 2,4 ppm-et. Napjainkban számos műhold figyeli a légköri CO₂-koncentráció alakulását, melyek azonban nem képesek megkülönböztetni egymástól az emberi és a természetes kibocsátási forrásokat. Ezért előreláthatólag 2025-ben három *Copernicus CO2M Sentinel* (Őrszem) elnevezésű műholdat állítanak majd pályára. Ezek a Földet 200 km-es sávokban pásztázva, 2x2 km-es felbontású képeket készítenek majd, és pontosan lokalizálják a CO₂-kibocsátások forrásait, illetve áramlását.



2. ábra Az antropogén eredetű ÜHG-kibocsátás megoszlása szennyező anyagok szerint az EU-ban, 2019*

A légköri CH₄ körülbelül 40%-át természetes források (például vizes élőhelyek) adják, 60%-át pedig olyan antropogén tevékenységek, mint az állattenyésztés (kérődzők emésztése, trágyakezelés) és a rizstermesztés, a fosszilis tüzelőanyagok kitermelése, a szennyvízkezelés, a hulladéktárolás, valamint a biomassza égetése.

A szarvasmarhák, juhok és más kérődzők emésztéséből származó biogén CH₄ „életciklusa” egyedülállónak tekinthető, ugyanis az eltér az egyéb úton kibocsátott CH₄-éhoz vagy más ÜHG-okéhoz képest. Ez a CH₄-mennyiség tulajdonképpen a légköri CO₂-ból keletkezik, amelyet korábban az állatok által elfogyasztott takarmánynövények kötöttek meg a fotoszintézisük során. Az állatok emésztésekor keletkezett CH₄ – csakúgy, mint más esetekben is – körülbelül 12 évig tartózkodik a légkörben, és ezalatt a CO₂-nál nagyobb

mértékű ÜHG-hatást gyakorol. Végül CO₂-ra és vízre bomlik, a körforgás pedig újrameződik.

A globális felmelegedés következtében megindult permafrost-olvadás, illetve a tenger alatti gázhidrátok (például a metánhidrát) szublimációja miatt a jövőben nagy mennyiségű CH₄ szabadulhat fel spontán a légkörbe.

A N₂O közel 60%-ban természetes úton (az algák bakteriális lebontásának hatására az óceánok holt zónáiban, valamint az oxigénhiányos vizek üledékeinek bomlása, a nedves trópusi és mérsékelt övi talajokban zajló denitrifikációs folyamatok, villámlások, vulkánműködések stb. révén), míg 40%-ban az ember tevékenysége által kerül a légkörbe a fosszilis tüzelőanyagok (elsősorban a járművek üzemanyagának) égetése, továbbá különféle mezőgazdasági (N-műtrágyázás, szerves trágya-kezelés), vegyipari, fémgyártási, szennyvíz- és hulladékkezelési műveletek során. A képződött N₂O egy része a fotodisszociációnak, valamint az atomos oxigénnel való kölcsönhatásának köszönhetően a sztratoszférában lebomlik.

A **F-gázoknak** nincs természetes forrásuk, légköri megjelenésük a szintetikus vegyületek ipari előállításához köthető. Leginkább hűtő- és klímaberendezésekben, nagyfeszültségű berendezések elektromos szigetelésében, a félvezető- és a poliuretánhab-gyártásban használják őket. Bár a HFC-k, a PFC és a SF₆ aránya a teljes ÜHG-kibocsátásban alacsony, globális felmelegedési potenciáljuk (global warming potential, GWP) több ezerszerese a CO₂-énak. (Lásd az 1. táblázatot.)



*Minden ágazat, kivéve a földhasználatot és az erdőgazdálkodást
A kerekítés miatt a százalékokat összeadva nem pont 100%-ot kapunk

Forrás: Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA)

3. ábra Az antropogén eredetű ÜHG-kibocsátás megoszlása szennyező anyagok szerint az EU-ban, 2019*



Az egyes ÜHG-ok globális klímára gyakorolt hatása eltérő, nemcsak a légköri koncentrációjuktól és tömegüktől, de a légköri tartózkodási idejüktől és a GWP-értéküktől is függ. A táblázat adatai szerint például a CF₄ akár 50 000, a SF₆ 3 200 évig is a légkörben maradhat; 1 kg CH₄ pedig 100 év alatt csaknem 30-szor,

míg 1 kg N₂O 273-szor nagyobb mértékű felmelegedést okoz, mint 1 kg CO₂. A F-gázok GWP-értéke még ezeknél is magasabb, a CO₂-énak több százszorosa/ezerszerese. Ezért különösen fontos a F-gázok légköri jelenlétének csökkentése.

Az ÜHG-ok légkörben való tartózkodási ideje és GWP-értéke*

Gáz	Tartózkodási idő (év)	GWP-érték		
		20 év	100 év	500 év
Szén-dioxid (CO ₂)	változó (5–200)	1	1	1
Metán (CH ₄), fosszilis	11,8	82,5	29,8	10
Metán (CH ₄), nem fosszilis	11,8	80,8	27,2	7,3
Dinitrogén-oxid (N ₂ O)	109	273	273	130
Difluor-metán (HFC-32), fluorozott szénhidrogén	5,4	2 693	771	220
1,1,1,2-tetrafluor-etán (HFC-134a), fluorozott szénhidrogén	14	4 144	1 526	436
Perfluor-metán (CF ₄), perfluor-karbon	50 000	5 300	7 380	10 600
Kén-hexafluorid (SF ₆)	3 200	18 300	25 200	34 100

* GWP (global warming potential): globális felmelegedési potenciál - Forrás: AR6 WGI Report

Bár nem tartozik az ÜHG-leltárban szereplő gázokhoz, meg kell említenünk az ammóniát (NH₃) is, amelynek egyik fő kibocsátója a mezőgazdaság. Az NH₃ a légkörbe jutva nemcsak környezeti terhelést okoz, de egészségkárosító hatása is van. Reakcióba léphet különféle savakkal, és ennek eredményeként ammóniumsók keletkeznek; ha pedig a légkörben kén-

dioxiddal reagál, ammónium-szulfát jön létre, amely szerepet játszhat a ködképződésben, és a tüdőben lerakódva légzőszervi problémákat okoz. Az ember tevékenységéhez köthetően a gazdasági haszonállatok trágyájának bomlásakor, valamint a műtrágyagyártás és felhasználás, illetve biomassza-égetés során kerül a legtöbb NH₃ a légkörbe.

Milyen lehetőségek léteznek az ÜHG-kibocsátás csökkentésére?

Az ENSZ 2015. évi klímaváltozási konferenciáján született meg az első egyetemes, jogilag kötelező erejű keretegyezmény, az ún. Párizsi Megállapodás az éghajlatváltozásról (erről bővebben lásd a rovat következő részét), amelyben a 195 aláíró ország azt vállalta, hogy a globális felmelegedést az iparosodás előtti átlaghőmérséklethez viszonyítva 2 °C alatt, de lehetőség szerint inkább 1,5 °C alatt tartják. Ennek megvalósítása gyors dekarbonizációt követel. Jelenleg azonban úgy tűnik, hogy a megállapodásban szereplő hőmérsékleti célértékek (és az EU tagországai által 2050-re kitűzött klímasemlegesség [nulla nettó ÜHG-kibocsátás] határidőre való) teljesítése még az elérhető legnagyobb kibocsátáscsökkentés mellett is nagy kihívást jelent, vagy lehetetlen a legtöbb ország számára. Az egyes gazdasági szektorok kibocsátása ugyan tovább mérsékelhető, de teljesen nem megszüntethető. Ezért az elégtelen mértékű kibocsátáscsökkentést kompenzálандó, az „elnyelés” bővítésére/fokozására,

valamint új „negatív kibocsátó” vagy „CO₂-kivonó” technológiák alkalmazására lesz a jövőben szükség.

A tudósok többféle megoldást javasolnak az ÜHG-ok (elsősorban a CO₂) légkörből való eltávolítására, illetve tárolására, melyek közül néhány gyakorlati megvalósítása még gyerekcipőben jár. A felmerült főbb lehetőségek a következők:

1. természetes CO₂-elnyelő folyamatok erősítése ([újra]erdősítéssel, a tőzeg- és mangroveerdők helyreállításával),
2. CO₂-megkötés és -tárolás (carbon capture and storage, CCS), bioenergia-termelés CO₂-megkötéssel és -tárolással (bioenergy with carbon capture and storage, BECCS),
3. CO₂-megkötés és -felhasználás (carbon capture and utilisation, CCU),
4. közvetlen gáz-/CO₂-megkötés a légkörből (direct air capture gas/direct gas removal, DAC/DGR)



és -tárolás felszín alatti geológiai tárolókban, az óceánokban vagy valamilyen ember által épített környezetben,

5. ÜHG-ok lekötése bioszén segítségével,
6. kőzetek, ásványok mállásának fokozása és az óceánok lúgosítása,
7. óceánok trágyázása.

1. Az **erdőtelepítés** a CO_2 -megkötés egyik legköltséghatékonyabb módja. A szén így hosszú évtizedekig, akár évszázadokig is „biológiailag tárolható”, a fák pusztulását követően azonban újra visszakérül a körforgásba. Az erdősítés/újraerdősítés fő korlátját a rendelkezésre álló terület képezi.

2. A **CCS** első lépéseként felfogják a gyárak, erőművek füstgázát, majd leválasztják belőle, és folyékony állapotba sűrítik (komprimálják) a benne kb. 10-15%-os arányban jelen levő CO_2 -t, hogy az szállítható és legalább 1 km mélyen a föld alatt tartósan tárolható legyen például kimerült gáz- és olajmezőkben, művelés alól kivont szénbányákban vagy sós talajvízrétegekben.



A **BECCS** a CCS-től csak annyiban különbözik, hogy e technológiában fenntartható módon termelt biomasszát égetnek el (amely fotoszintézis révén CO_2 -t használt fel a szerves vegyületek előállítására), a felszabaduló CO_2 -ra pedig a CCS-t alkalmazzák. A BECCS-dzsal nettó negatív kibocsátás érhető el, mivel több CO_2 -t távolítunk el a légkörből, mint amennyit kibocsátunk. Mindkét eljárás alkalmazása azonban nemcsak drága, de kockázatot is rejt magában. A fő problémát a tárolási infrastruktúra jelenti, hiszen annak biztosítása kell a CO_2 szivárgásmentes, tartós elhelyezését. A füstgázból való leválasztáshoz vegyszereket, a berendezések működtetéséhez pedig energiát kell felhasználni, amelyek költségvonzata magas, csakúgy, mint a sűrített CO_2 szállításának (ráadásul ez utóbbi még kibocsátással is jár). Továbbá a BECCS nagy tömegű biomassza előállítását igényli, amelyhez hatalmas termőterületekre, kellő mennyiségű

vízre és tápanyagokra van szükség. Az így lefoglalt termőterületek ugyanakkor az élelmiszer-előállítás oldalán hiányként jelennek meg.

3. A **CCU** abban különbözik az előző pontban ismertetett CCS-től, hogy a megkötött CO_2 -t tárolás helyett különféle anyagok, termékek (például műanyag, beton, bioüzemanyag, kerámia) gyártásához használják fel, amellyel e termelési folyamatok CO_2 -semlegessé válnak. Kínában például már működik egy olyan gyár, ahol metanolt állítanak elő a közeli cementgyár füstgázából leválasztott CO_2 -ból.

4. A légköri CO_2 közvetlen megkötése (**DAC/DGR**) ugyanazon az elven alapul, mint a CCS, csak azt közvetlenül a légkörre alkalmazzák. A módszer előnye, hogy nem köti a CO_2 -befogás folyamatát emissziós forrásokhoz, így a megkötésre szolgáló berendezéseket a tárolási lehetőségek közelében lehet elhelyezni. Két fő típusa létezik. Az egyik szilárd adszorbensek használatára épül környezeti vagy alacsony nyomáson (vákuum), 80-120 °C hőmérséklet mellett. A másikban egy óriási ventilátor „húzza be” a levegőt a légkontaktorba. Ott pedig magas hőmérsékleten (300-900 °C) valamilyen lúgos kémhatású oldat (például kálium-hidroxid) segítségével befogják a CO_2 -t, amely azután karbonátsóként oldatba kerül, majd egy sor kémiai folyamatot követően – mint tiszta CO_2 -gáz – már szállítható és tartósan tárolható. Nagy kihívást jelent azonban, hogy a DAC/DGR még a CCS-nél is sokkal költségesebb, mivel a CO_2 szintje a légkörben csak körülbelül 410 ppm, szemben a füstgázzal, amelyben általában 10-15%, továbbá gondot okozhat a tárolási infrastruktúra kialakítása is.

5. A **bioszén** egy finomszemcsés, porózus, stabil anyag, amely növényi és állati eredetű biomasszából, szerves melléktermékekből, illetve hulladékokból (például fahulladékból, fakéregből, gabonamaghéjból, állati trágyából, papírgyári vagy szennyvíziszapból) állítható elő oxigénhiányos környezetben hevítéssel (pirolízissel). Megfelelő mennyiségben a talajba juttatva egyrészt növeli a növények terméshozamát, illetve javítja a talaj szerkezetét, víztartó képességét és ásványianyagtartalmát, másrészt mérsékli az ÜHG-kibocsátást, lévén, hogy képes a N_2O , a CH_4 és a CO_2 megkötésére. Túl nagy dózisa ugyanakkor kedvezőtlen hatással lehet a talaj termőképességére, mivel a bioszén a növényi tápanyagokat is megköti, továbbá egyes fajtái alapanyaguktól függően policiklusos aromás



szénhidrogéneket, szennyező anyagokat, túl sok cinket és rezet tartalmazhatnak.



6. A **közetek, ásványok mállásának fokozásakor** egy egyébként a természetben is zajló folyamat felgyorsítására kerül sor. A CO_2 az esővízben vagy a talajban levő vízben oldódva szénsavat képez, amely egyes kőzetekkel kémiai reakcióba lép, és bikarbonátionok képződésével például mészkövet alkot. Az ember a CO_2 ásványi kiválását úgy fokozhatja, hogy zúzott formában a föld felszínén kalciumban, magnéziumban, szilíciumban és oxigénben gazdag kőzeteket, ipari hulladékokat, bányameddőt terít szét meleg, nedves szárazföldi területeken vagy a tenger felszínén. Ilyen környezetben gyorsan elindulhat a CO_2 lekötése a nagy felületű ásványi „szőnyegen”, amelynek eredményeként a gáz kémiaiilag stabil karbonátvegyület-formában több ezer évre kivonódik a légkörből ásványként, illetve a vízben feloldódva vagy a tengerfenéken üledékként raktározódva. Ehhez kapcsolódik az óceánok lúgosítása is, amely azok CO_2 -megkötő képességének növelése érdekében merült fel elméleti megoldásként. Ez esetben is karbonátok keletkezhetnek a reakciók végtermékeként.

Az előbb említett két módszer még csak kísérleti stádiumban van, de már most is több érv felhozható

ellenük: a kőzetek, ásványok felaprítása, szállítása és szétszórása rendkívül energia- és költségigényes, emellett egészségügyi kockázatokkal is járhat, az óceán lúgosítása pedig kedvezőtlenül befolyásolhatja a vízben zajló természetes biológiai folyamatokat.

7. Az **óceánok különféle tápanyagokkal (például vassal) való trágyázásának** hatására növelhető a fitoplanktonok mennyisége és ezáltal a CO_2 -megkötés mértéke. E módszer óriási hátránya azonban, hogy nagymértékben beavatkozik az óceáni ökológiai rendszerek működésébe, továbbá a fitoplanktonok által megkötött szén nagy része idővel visszakerül a légkörbe.



Annak eldöntése érdekében, hogy az előbbieken bemutatott, esetenként még kialakulófélben levő ÜHG-eltávolítási lehetőségek közül melyeknek lehet szerepe a klímavédelmi stratégiákban, a felsorolt technológiák műszaki megvalósíthatóságának, alkalmazásuk követelményeinek, illetve előnyeik és hátrányaik reális elemzésére van szükség. Vitatott azonban, hogy milyen mértékben lehet e technológiákra támaszkodni. Ha ugyanis túl nagy súlyt képviselnek egy ország ÜHG-csökkentési tervében, de az előzetesen becsült eredményeket mégsem „hozzák”, úgy az adott országnak a későbbiekben rövidebb idő alatt, radikálisabb kibocsátáscsökkentést kell majd elérnie.

Források:

¹ <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>

² Millán, L. – Santee, M. L. – Lambert, A. – Livesey, N. J. – Werner, F. – Schwartz, M. J. – Pumphrey, H. C. – Manney, G. L. – Wang, Y. – Su, H. – Wu, L. – Read, W. G. – Froidevaux, L. (2022): The Hunga Tonga-Hunga Ha’apai hydration of the stratosphere. *Geophysical Research Letters*. Vol. 49. No. 13.
<https://doi.org/10.1029/2022GL099381>

³ Gatti, L. V. – Basso, L. S. – Miller, J. B. – Gloor, M. – Domingues, L. G. – Cassol, H. L. G. – Tejada, G. – Aragão, L. E. O. C. – Nobre, C. – Peters, W. – Marani, L. – Arai, E. – Sanches, A. H. – Correa, S. M. – Anderson, L. – Von Randow, C. – Correia, C. S. C. – Crispim, S. P. – Neves, R. A. L. (2021): Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*. Vol. 595. July. pp. 388–393.

