

Mikrobiális aktivitás mérése talajban a CO₂-termelés alapján

– Laboratóriumi gyakorlat –

1. A mérés célja

Laboratóriumi kísérletekre van szükség annak megállapítására, hogy a talajban található mikroflóra működőképes-e és aktiválható-e, amennyiben igen, akkor milyen módon (például levegőztetés, olajbontó baktériumok talajhoz keverése, tápanyag-kiegészítés).

E laboratóriumi gyakorlat során két, a fenti igények kielégítésére szolgáló mini-reaktoros gyorsesztlő módszert ismerünk meg. Mindkét módszer – viszonylag egyszerű talajlégzés-mérőrendszer – alkalmas a talajok állapotának és a talajszennyező szénhidrogének bonthatóságának megítélésére, valamint a remediációhoz használható technológia vizsgálatára.

2. Elméleti összefoglalás

2.1. A talajlégzés és a szubsztrát indukált talajlégzés fogalma; a talajlégzésmérés és jelentősége

A talaj biológiai állapota és aktivitása jól jellemezhető az ún. **talajlégzésmérés** segítségével. A **talajlégzés** az a folyamat, amikor a talajban található élőlények a talajba kerülő vagy az ott képződött szerves anyagok átalakításához oxigént vesznek fel, illetve az átalakításkor keletkező szén-dioxidot leadják. A szerves szénforrás szerves szén (CO₂-dá) való átalakítását nevezzük **mineralizációnak**. A talajba kerülő szerves vegyületek lebontása végbemehet oxigén jelenlétében, **aerob** módon és **anaerob** viszonyok között is, amikor az oxigént például nitrát, nitrit vagy szulfát helyettesíti. A talajlégzésmérés során legtöbbször a talaj **aerob légzését** mérjük. Az aerob talajlégzést általában a termelt CO₂ és/vagy az elfogyasztott O₂ koncentrációjának mérésével határozzák meg. A gyakorlatban inkább a kibocsátott CO₂ mennyiségi meghatározása terjedt el, hiszen szén-dioxidot mind az aerob, mind az anaerob szervezetek bocsátanak ki, továbbá a szén-dioxid-koncentráció meghatározására szolgáló módszerek érzékenyebbek, mivel az atmoszférius szén-dioxid-koncentráció 0,033 V/V%, míg az atmoszférius oxigén-koncentráció 20 V/V%. A termelt szén-dioxid kvantitatív meghatározása durva közelítéssel jellemzi a talaj biológiai aktivitását. *Novák (1973)* szerint ez az ún. **alaplégzés**.

A talajlégzés dinamikáját sokkal jobban jellemzi azonban az *Anderson és Domsch (1978)* által kidolgozott, ún. **szubsztrát indukált légzésmérési** módszer. Ennek lényege, hogy az aerob talajlégzés folyamatos monitorozása közben bontható szubsztrátot (például glükózt) adagolunk a rendszerhez. Az impulzusszerű, egyszeri szubsztrátadagolás hatására bekövetkező légzésintenzitás-növekedést például a szén-dioxid-termelés időgörbéjének meredekségével lehet jellemezni. Az így mért talajlégzés mind a természetes állapotú (antropogén és természetes szennyezőanyagoktól mentes), mind pedig a szennyezett talajok jellemzésére alkalmas.

A talajlégzést mérő tesztrendszerek segítségével az alkalmazástól függően választ kaphatunk a következőkre:

- szennyezett-e a talaj;
- toxikusan hat-e a szennyezőanyag, vagyis gátolt-e a mikroorganizmusok működése vagy sem;
- adaptálódott-e a mikroflóra és aktívan működik-e;
- aktiválható-e a mikroflóra;
- amennyiben aktiválható a mikroflóra, milyen technológiai paraméterekre van szükség az optimális működéshez.

A termelődött CO₂ mennyisége arányos az elbontott szénhidrogének mennyiségével, a biológiai oxidáció mértékével, tehát a rendszer alkalmas, mind a talaj biológiai állapotának felmérésére, mind a biodegradáció folyamatának jellemzésére és követésére. A szénhidrogének vagy más szerves szennyezőanyagok típusából, a talaj fajtájából, a szennyezőanyag korából és koncentrációjából adódó különbségek kimérésére is alkalmazható a mérőrendszer. A technológiát tekintve válasz kapható például arra (levegőztetett rendszer esetében) hogy milyen mértékű levegőztetésre van szükség a mikroflóra aktiválásához. Szükség van-e tápanyag adagolásra (N- és/vagy P-forrás), szükségesek-e adalékanyagok (például hozzáférhetőséget javító anyagok). Ugyanakkor karbonátos talajok esetén a felszabaduló CO₂ zavarhatja a mérést.

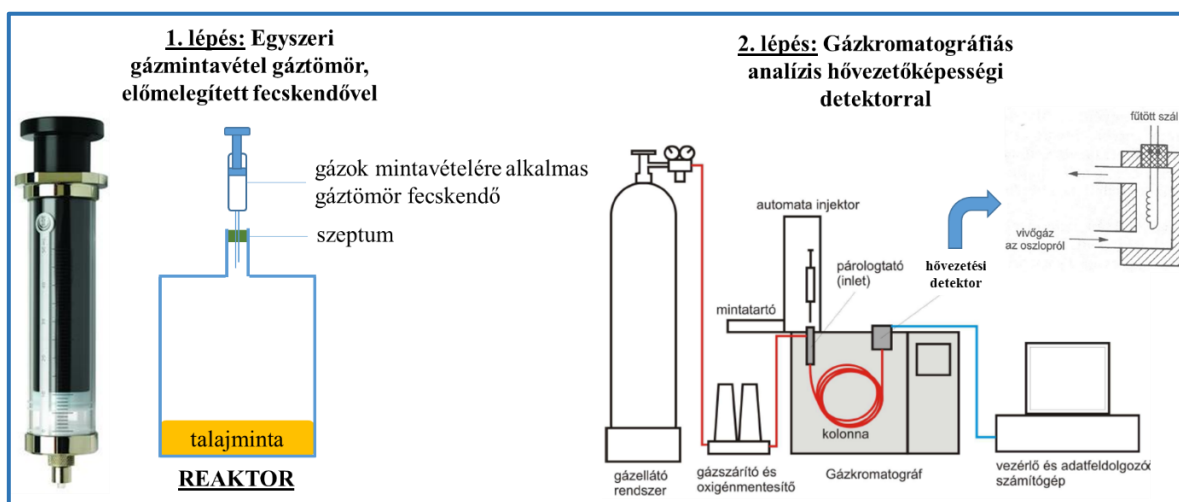
2.2. Statikus és dinamikus talajlégzésmérés definíciói, típusai

A talaj CO₂-termelésének mérésére számos eljárást dolgoztak ki. Vannak szabadföldi vagy *in situ* (**1. ábra**) és laboratóriumi mérési módszerek, előbbiekkal a talaj aktuális biológiai aktivitása, míg utóbbiakkal a talaj potenciális biológiai aktivitása határozható meg. Továbbá megkülönböztetünk statikus és dinamikus talajlégzés mérési módszereket is.



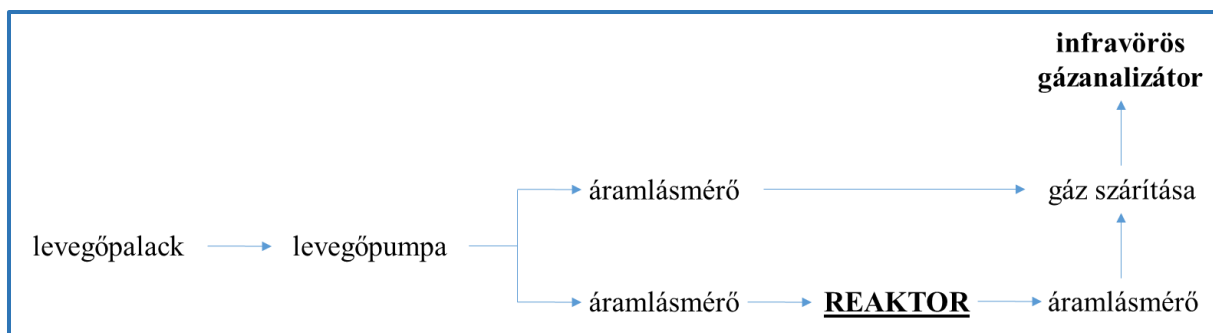
1. ábra: Intelligens *in situ* talajlégzésmérő készülék

A **statikus légzésmérés** során a zárt, inkubált, a levegő cirkuláltatásától mentes rendszerben elhelyezett talajmintából származó CO₂ vagy O₂ koncentrációját határozzák meg. A statikus módszerek tovább csoportosíthatók aszerint, hogy a mérési elv a képződő CO₂-gáz abszorpcióján vagy pedig a kísérleti kamrában lévő levegő CO₂-tartalmának dúsulásán (statikus zárt kamrás módszer) alapul. A **statikus abszorpciós módszer** azon alapul, hogy a talajlégzés során képződő CO₂-gázt valamilyen abszorbensen (például NaOH, KOH, Ca(OH)₂ oldatokban vagy ugyanezen vegyszerek szilárd hordozóin) elnyeletik, majd az elnyelt CO₂ mennyiségét meghatározzák titrimetriásan vagy gravimetriásan. A **statikus zárt kamrás** módszer alapja, hogy a kísérleti kamrában, reaktorban megnövekedett CO₂ koncentrációt mérjük az eltelt idő függvényében. A reaktorban lévő levegő CO₂ koncentrációját a kamra légteréből vett levegőminta gázkromatográfiás elemzésével mérik (2. ábra).



2. ábra: Statikus zárt kamrás talajlégzésmérés folyamatábrája

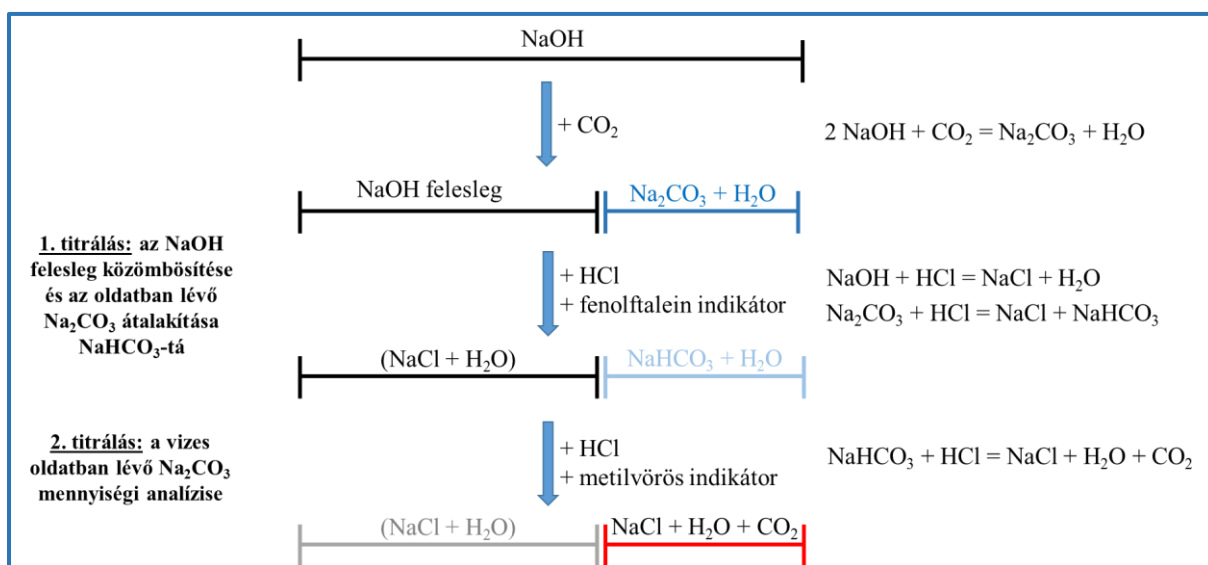
A **dinamikus légzésmérés** során folyamatosan levegőt (vagy CO₂-mentes levegőt) áramoltatnak át a kísérleti kamrán és a gázanalizátoron. A CO₂ fluxust a kísérleti kamrába belépő és a kísérleti kamrából kilépő CO₂ koncentrációjának különbségeként számítják. A dinamikus mérések során gyakran alkalmaznak infravörös gázanalizátort (3. ábra).



3. ábra: A dinamikus talajlégzésmérés folyamatábrája

2.3. A talajlégzés során képződő CO₂ kvantitatív meghatározására szolgáló módszerek

Az előbbieken áttekintettük, hogy a talajlégzés mérésének milyen módszerei terjedtek el a modern talajmikrobiológiai gyakorlatban. Most tekintsük át, hogy a talajlégzés során képződő szén-dioxid kvantitatív meghatározására milyen módszerek használatosak. A statikus és dinamikus abszorpciós talajlégzésmérési eljárásoknál, amikor a képződő CO₂-gázt pontosan ismert koncentrációjú NaOH-oldatban nyeletik el, akkor képződik a vizes oldatban Na₂CO₃. A NaOH és a Na₂CO₃ egymás melletti kvantitatív meghatározása pontosan ismert koncentrációjú sósav mérőoldat segítségével **acidimetriás kettős titrálással** történik (4. ábra). Ennek lényege, hogy a NaOH – Na₂CO₃ vizes oldat adott térfogatát fenolftalein indikátor jelenlétében pontosan ismert koncentrációjú sósav mérőoldattal titrálják halvány rózsaszín megjelenéséig. Ezen első titrálási lépés során a minta NaOH-tartalma vízzé és NaCl-dá, míg Na₂CO₃-tartalma NaHCO₃-tá alakul. A második titrálási lépésben a – már csak – NaHCO₃-ot tartalmazó vizes oldatot titrálják pontosan ismert koncentrációjú sósav mérőoldattal metilvörös vagy metilnarancs indikátor jelenlétében.



4. ábra: NaOH és Na₂CO₃ kvantitatív meghatározása vizes oldatban egymás mellett acidimetriás kettős titrálással

A második titrálási lépés során fogyott sósav mérőoldat anyagmennyisége ekvivalens a vizsgált talajból származó szén-dioxid anyagmennyiségével. Ez az eljárás akkor alkalmazható, ha a karbonátok mennyisége a hidroxidokéhoz viszonyítva nem nagy, ellenkező esetben a fenolftalein indikátor átcsapása nem elég éles. Az előbbieken ismertetett módszer egyszerűsíthető és gyorsítható **potenciometriás titrálással**, melynek során kiküszöbölhetők a fenolftalein és a metilnarancs indikátorok átcsapásainak bizonytalanságaiból eredő hibák.

A klasszikus és műszeres acidimetriás CO₂-meghatározáson kívül elterjedten használják a **gázkromatográfiás** és az **infravörös spektroszkópiás gázanalízist** is. A **gázkromatográfiás** CO₂-méréshez általában töltetes kolonnát használnak, és a detektálás hővezetési detektorral történik. A hővezetési detektorban két fémszál található egymástól térben elválasztva, melyeket konstans áramerősséggel fűtenek, ezek a fémszálak adott hőmérsékleten adott elektromos ellenállásúak. Ha a mintaágban a vivőgázban lévő mérendő komponens eléri a fűtött fémszálát, akkor annak hőmérséklete és ezáltal az elektromos ellenállása megváltozik, szemben a referencia ágban lévő fűtött fémszál elektromos ellenállásával. Az ohmikus ellenállás változása arányos a mérendő komponens koncentrációjával. A hővezetési detektorok az elektromos ellenállás változását hídkapcsolásban (például Wheatstone-híd) mérik. Az **infravörös gázanalízis** (IRGA = **I**nfra**R**ed **G**as **A**nalysis) egy rezgési spektroszkópiás módszer. Az infravörös tartományban az IR aktív molekulák (az IR-aktivitás feltétele, hogy a molekula dipólus momentuma megváltozzon az IR-besugárzás hatására) kölcsönhatásba lépnek a besugárzó fénnel, ekkor a besugárzó infravörös sugárzásból a molekulák a saját, normál rezgési frekvenciájuknak megfelelő frekvenciájú részt abszorbeálják. Az elnyelt sugárzás következtében a vizsgálandó molekulák nagyobb energiára tesznek szert, így erőteljesebben vibrálnak (rezegnek). E rezgés következtében a gázmolekulák hőmérséklete emelkedik. A hőmérséklet pedig arányosan nő a gáz koncentrációjával, és ezt érzékeli a detektor (például termoelektromos, piroelektromos detektor).

2.4. Talajlégzésmérés zárt palackban manometrikus oxigén-meghatározással

A talajok biológiai aktivitásának mérésére jól használható manometrikus módszert *Warburg* dolgozta ki, aki után a technikát később elnevezték *Warburg*-féle respirációs talajlégzésmérésnek. A **manometrikus oxigén-meghatározás** lényege, hogy a talajban élő szervezetek a légzési oxigén elfogyasztása mellett szén-dioxid-gázt termelnek. A termelt szén-dioxid-gázt megfelelő abszorpciós szerrel megkötik.

Ezzel zárt gáztérben azt érik el, hogy a gáztér nyomása lecsökken, ami kizárólag az oxigénfogyasztásra vezethető vissza, amit manometrikusan mérnek. Az oxigénfogyasztás manometrikus méréséhez a következő feltételeknek kell teljesülniük:

- a biológiailag aktív mintának gázt át nem eresztő edénybe zárva kell lennie;
- a minta fölött levegővel töltött, megfelelően méretezett gáztérnek kell lennie, amely elegendő oxigént biztosít a biológiai lebontáshoz;
- a zárt mérőedényben a szén-dioxid-gáz megkötésére szolgáló abszorpciós szert kell elhelyezni úgy, hogy az ne kerülhessen érintkezésbe a mintával;
- a reakció edényen megfelelő nyomásmérő berendezést kell elhelyezni;
- a reakciós edényt a mérés közben állandó hőmérsékletű helyen, fénytől elzárva kell tartani.

A manometrikus oxigén-meghatározáshoz használt rendszert mutatja az **5. ábra**. A reakciós edényekre erősített sárga-fekete színű elektronikus nyomásmérők ún. **membrános nyomásmérők**. A nyomás változásának hatására egy rugalmas elem – jelen esetben egy membrán – deformálódik, és a létrejött deformáció érzékelésével kapott elektromos feszültség vagy áram szolgál kimenőjelként. Az **5. ábrán** látható készülék nem abszolút (vákuumhoz mért) nyomást mér, hanem relatív – a mindenkori légköri nyomáshoz viszonyított – nyomásváltozást (pontosabban nyomáscsökkenést) mér.



5. ábra: A zárt palackos manometrikus oxigén-meghatározáshoz használt apparátus

3. Talajlégzés mérése átlevégőztetett rendszerben

3.1. A mérés elve

A bemutatott mérési eljárás azon alapul, hogy a vizsgálni kívánt talajrészletet meghatározott ideig és meghatározott áramlási sebességű CO₂-mentesített levegővel levegőztetjük át. Így a reaktorból távozó levegő szén-dioxid-tartalma teljes mértékben a talajmikroflóra tevékenységéből származik. A keletkezett szén-dioxidot ismert összetételű lúgoldatban elnyeletjük, mennyiségét acidimetriás kettős titrálással határozzuk meg.

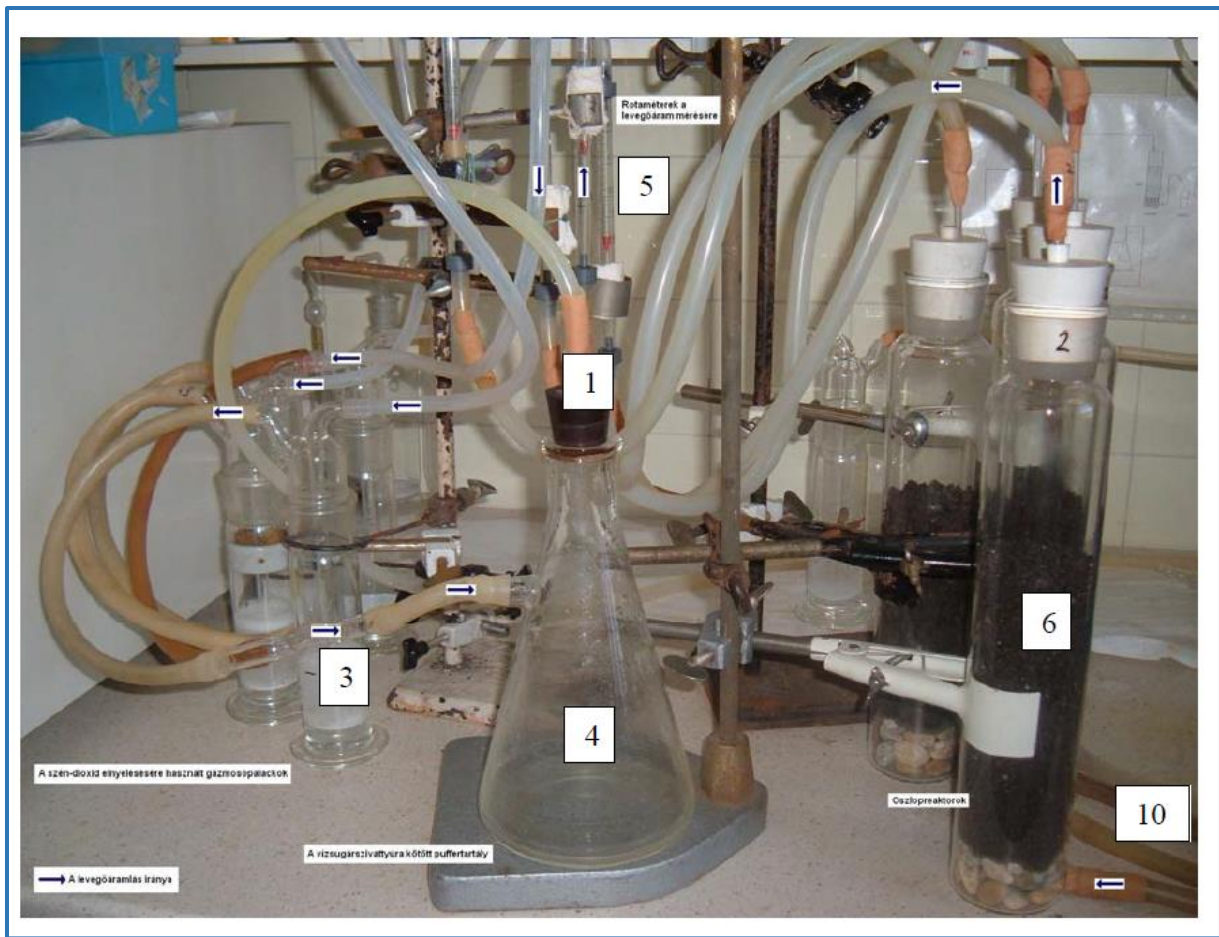
3.2. A mérőrendszer összeállítása

A mérőrendszer (6. és 7. ábra) szénhidrogénnel szennyezett talajok mikrobiológiai állapotáról ad felvilágosítást. Segítségével megállapítható, hogy van-e a talajban működőképes mikroflóra, a mikroflóra aktiválható-e a technológiai paraméterek megváltoztatásával (például levegőztetéssel, nitrogén- és foszforforrás, vagy hozzáférhetőséget fokozó adalékanyagok adagolásával). A talaj származhat szennyezett területről, de vizsgálhatunk mesterséges szennyezett talajokat is.

A talajlégzést vizsgáló teszrendszerben központi szerepe van egy folyamatosan levegőztethető 1100 cm³ hasznos térfogatú üvegreaktornak. Az üvegreaktor aljára kavicsréteget, erre pedig vászonlapot teszünk a levegőztető eldugulásának elkerülésére. A reaktor tetejéhez gumidugó, üvegcső és gumicső segítségével csatlakozik a vízszugárszivattyú, melynek segítségével levegőt áramoltatunk át a rendszeren. A talajjal töltött reaktoron való áthaladás előtt kétszeres, lúgban történő elnyeletéssel eltávolítható a levegő CO₂-tartalma. Így az acidimetriás kettős titrálás során már csak azt a CO₂ mennyiséget mérjük, amely a mikroorganizmusok életműködéséből származik, tehát az olajbontást jellemzi.



6. ábra: A dinamikus talajlégzésmérés során használt mérőrendszer összeállítása



7. ábra: A dinamikus légzésmérés során használt mérőrendszer összeállításának gyakorlati megvalósítása

3.3. A mérés kivitelezése

A mérés során különböző típusú és koncentrációjú szénhidrogén-származékokkal szennyezett talajok CO₂-termelését vizsgáljuk.

Első feladat, hogy oszlopreaktorokba töltött vizsgálandó talajt levegőztetjük. A szennyezett talaj levegőztetésének időtartamát a laboratóriumi gyakorlat során a gyakorlatvezető mondja meg.

Második feladat, hogy az egyes oszlopreaktorokban adott átlevégőztetési idő alatt termelt szén-dioxid-gáz mennyiségét meghatározzuk. A termelődött CO₂ mennyiségi meghatározása acidimetriás kettős titrálással történik, melyet a CO₂-gáz 150 cm³ térfogatú gázmosópalackban, 100 cm³ térfogatú 1 mol/dm³ anyagmennyiség-koncentrációjú NaOH-oldatban való elnyeletése előzi meg. Az elnyeletést követően a lúgoldatból 10-10 cm³ térfogatú mintákat titrálunk, és három párhuzamos mérést végzünk.

Az acidimetriás kettős titrálás lépései:

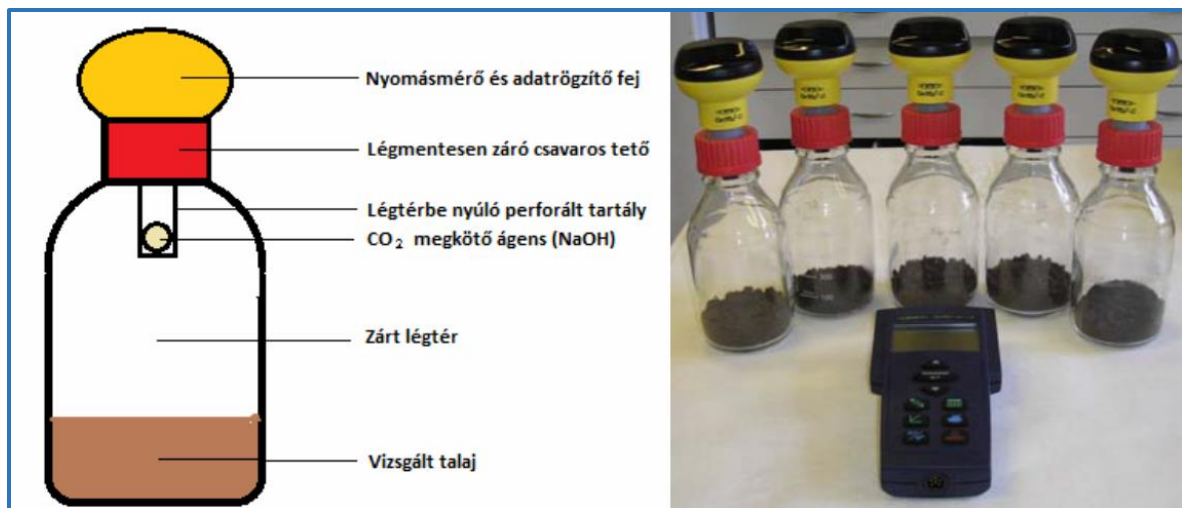
1. A $10,0 \text{ cm}^3$ mintát tartalmazó Erlenmeyer-lombikba 3–4 csepp fenolftalein indikátort csepegtetünk. A Erlenmeyer-lombik tartalmát $1,0 \text{ mol/dm}^3$ néveleges anyagmennyiség koncentrációjú sósav mérőoldattal halvány rózsaszínig titráljuk.
2. A halvány rózsaszín megjelenésekor az Erlenmeyer-lombik tartalmához 3–4 csepp metilvörös indikátort adunk, majd hagymaszínig titráljuk $0,1 \text{ mol/dm}^3$ néveleges anyagmennyiség koncentrációjú és $f = \dots\dots\dots$ faktorú sósav mérőoldattal.
3. A második titrálás végpontja előtt az oldatot kiforraljuk, hogy a NaHCO_3 és sósav reakciójakor képződő szén-dioxid-gázt kiűzzük az oldatból. A forralás után vízfürdőn lehűtjük az oldatot, majd tovább titráljuk hagymaszínig.
(Fontos, hogy a titrálást viszonylag alacsony hőmérsékleten körül, erős rázogatóst kerülve végezzük!)

4. Talajlégzés mérése zárt palackban az OxiTop légzésmérő rendszerrel

4.1. Az OxiTop Control zárt palackos légzésmérő rendszer jellemzése

Az alkalmazott **OxiTop Control** készülék légzésintenzitás változások mérésére alkalmazható manometrikus módszer. A rendszer a mintában lévő élő mikroorganizmusok aerob légzése során felhasznált oxigén fogyását, és az ezzel arányosan növekvő, kilélegzett szén-dioxid mennyiségét követi nyomon. A szén-dioxid a talajminta fölötti légtérbe kerül, ahol egy NaOH-ot tartalmazó edény található, a keletkező szén-dioxid megkötésére. Mivel az oxigén fogy, és a keletkező szén-dioxid pedig elnyelődik, ezért az edény légterében a légzés hatására nyomáscsökkenés figyelhető meg, amit a mérőfejben elhelyezett membrános nyomásmérő mér. A készülék vezérlése és az információk lekérdezése a **Control Panel**-el történik. A Control Panel infravörös jelekkel képes kapcsolatot teremteni a mérőfejekkel.

Az összeállított mérőrendszer felépítését mutatja a **8. ábra**.



8. ábra: A zárt palackos OxiTop Control talajlégzésmérő rendszer.

4.2. A mérés kivitelezése

A mintatartó edényekben (250 cm^3) elhelyezzük a talajmintákat (20–50 g), majd hozzáadjuk a szükséges adalékanyagokat. Ezután az edényben elhelyezett anyagokat homogenizáljuk, majd csatlakoztatjuk a NaOH-ot tartó edényt. Ebbe az edénybe ~1 g szilárd, lemezes NaOH-ot mérünk be. A NaOH-tartó csavarosan illeszkedik a fedélhez. A NaOH-os edények csatlakoztatása után rögzítjük a tömítéseket csavaros technikával. A Control Panelen már ezt megelőzőleg be kell állítani a mérési módot, időt és a méréshatárt.

A megfelelő beállítások ellenőrzése után elindíthatjuk a mérést, mégpedig úgy, hogy a Control Panel-t megfelelően közel (kb. 40 cm távolságba) helyezzük a mintatartó edényhez, hogy az infravörös kapcsolat létrejöjjön. A kapcsolat tényleges létrejöttét a mérőfejen piros fény felvillanása jelzi. A mérés ideje alatt állandó hőmérsékletet, és napsugárzástól mentes környezetet kell biztosítani, mert ezek mind hatással vannak a mért nyomásértékekre.

A változásokat az idő függvényében rögzíti a készülék, az időadatokat percekben jeleníti meg. A mért adatokat az adatátviteli vezeték segítségével továbbíthatjuk a számítógépre egy a készülékhez tartozó számítógépes szoftver segítségével, majd Microsoft Excel táblában elvégezhetjük a kiértékelést. A talaj-mikrokozmosz kísérleteink során **nyomásváltozást mértünk**, mely a talaj mikroflóra aerob légzése során felhasznált oxigénfogyásból adódik.

A zárt palackban OxiTop Control mérőrendszerrel végzett talajlégzésmérés főbb paramétereit az **1. táblázat** foglalja össze.

1. táblázat: A zárt palackos OxiTop Control mérőrendszerrel végzett talajlégzésmérés főbb mérési paramétere

Kísérleti/mérési paraméter	Beállított érték
Mérőedény (reaktor) térfogata	250 cm ³
Talajmennyiség a reaktorban	20–50 g
Talajminták nedvességtartalma	15–18 %
Hőmérséklet	25°C
Mérési mód	nyomásváltozás hPa dimenzióban
Méréshatár	300 hPa
Mérési idő	3 nap
A CO₂-gáz elnyelésére használt abszorbens ágens és tömege	szilárd, lemezes NaOH kb. 1 g

4.3. A mérési eredmények értékelése

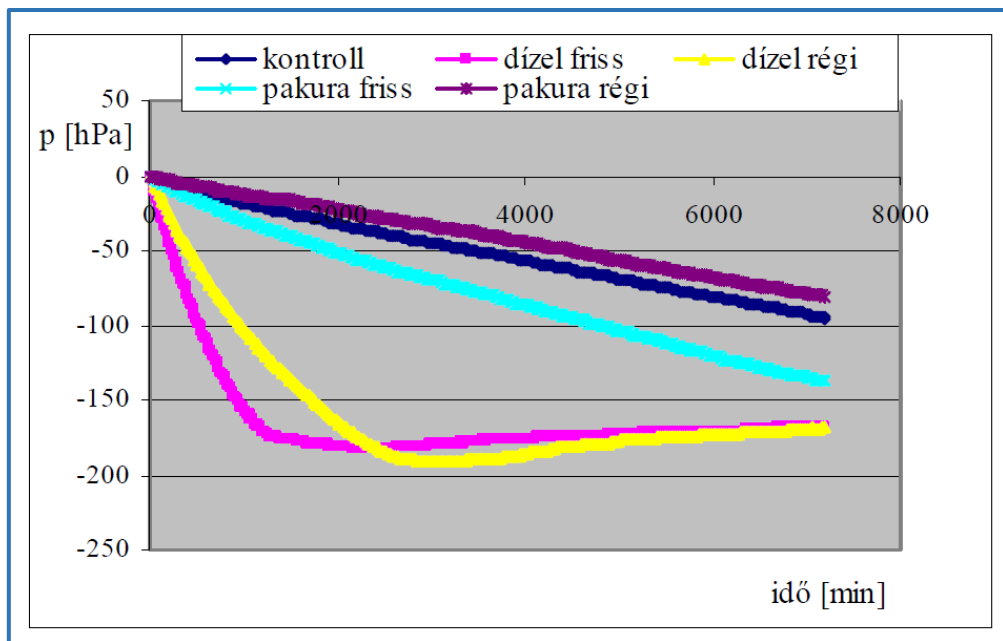
Az OxiTop Control mérőfej öt napon keresztül, öt percenként rögzíti a palackban a nyomásváltozás értékét. Mivel a tesztedényt állandó hőmérsékleten tartjuk, ezért a nyomásváltozás elvileg kizárólag a talaj légzése során termelődött, és a NaOH által elnyelt szén-dioxid mennyiségével arányos. A kiértékelés szemléltetésére egy, különböző szerves szennyezőkkel kezelt kísérlet talajainak teszteredményeit közöljük (**9. ábra**).

A **9. ábra** alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

1. A mindegyik görbén megjelenő nyomáscsökkenés azt mutatja, hogy a szennyezőanyagok gyors biodegradációja elkezdődött.
2. A meredeken induló görbék azt mutatják, hogy a dízelolaj sokkal gyorsabban és könnyebben bontható a mikroorganizmusok számára, mint a hosszabb szénláncú szénhidrogéneket tartalmazó pakura.

3. A frissen szennyezett talajban gyorsabban bontják a szennyező anyagot a mikroorganizmusok, mint a régebben szennyezett talajban. Gyorsabban aktiválódnak a szénhidrogén-bontó mikroorganizmusok a friss szennyeződések esetében, hiszen nagyobb a hozzáférhető frakció, míg a régi szennyeződés esetén feldúsultak a nehezebben bontható, kevésbé hozzáférhető komponensek.
4. Nagymértékű a nyomáscsökkenés a dízelolajjal régóta szennyezett talajban is, ami az adaptálódott mikroflóra jelentét és aktivitását mutatja.
5. A szennyezett területről származó, régi, koros szennyeződést tartalmazó pakurával szennyezett talajnak még a kontroll talajénál is kisebb az aktivitása, ami arra utal, hogy az ebben lévő szénhidrogének már biológiailag nem vagy csak nagyon nehezen hozzáférhetőek, a mikroflóra aktivitásának növelésére van szükség.

A nyomásértékek jól szemléltetik a talajokban zajló különböző folyamatok eredményét és a mikroflóra adaptációs képességét. A könnyebben bontható dízelolajhoz gyorsabban adaptálódtak a mikroorganizmusok; nagyobb a mikrobiális aktivitás ezek a talajokban. A dízelolajjal szennyezett mintáknál megfigyelhető, hogy a mérőedénybe helyezett NaOH kimerülése miatt nem nyelődött el a CO₂, ezért nem tudott tovább csökkenni a nyomás. Ilyen nagy légzésintenzitásnál több NaOH-ra van szükség. Továbbá a nagy mikrobiológiai aktivitás miatt a dízelolajjal szennyezett talajban a rendelkezésre álló oxigén is kevés volt, nagyobb reaktortér szükséges.



9. ábra: Nyomáscsökkenés az 5 napos zárt palack teszt során.

A laboratóriumi gyakorlat során feljegyzendő információk és a mérési jegyzőkönyv tartalma

a) Dinamikus légzésmérés:

- A laboratóriumi gyakorlat során feljegyzendő paraméterek, értékek:
 - a reaktorok levegőztetésének időtartama [óra]
 - a reaktorokban található talajok tömege [g]
 - a reaktorokban található talajokban található szénhidrogén-szennyezések típusai, koncentrációi [mg/kg talaj]
 - a laboratóriumban a méréskor uralkodó hőmérséklet [°C] és légnyomás [hPa]
 - az acidimetriás kettős titrálás során mért sósav mérőoldat-fogyások [cm³]
 - az acidimetriás kettős titráláshoz használt sósav mérőoldat faktora.
- A jegyzőkönyvben szerepeljen:
 - a mérés rövid elve
 - a gyakorlat során végzett mérés rövid leírása, készülékrajz
 - az acidimetriás kettős titrálás leírása, a három rendezett sztöchiometriai reakcióegyenlet

- az acidimetriás titrálás során kapott mérőoldat-fogyások számtani közepe a három különböző talajminta esetén
- a termelt szén-dioxid anyagmennyiségének és térfogatának kiszámítása
- a termelt szén-dioxid megadása [$\text{cm}^3/\text{kg talaj} \times \text{óra}$] mértékegységben
- a termelt szén-dioxid térfogatok alapján meghatározni, hogy melyik reaktor milyen szennyeződést tartalmazhatott
- a vizsgálat során kapott és számított adatok alapján a szennyezett talajok szöveges értékelése és jellemzése

b) Statikus légzésmérés és röntgenfluoreszcens analízis:

➤ A jegyzőkönyvben szerepeljen:

- a mérés rövid elve,
- a gyakorlat során végzett mérés rövid leírása, készülékrajz,
- a fémszennyezést tartalmazó minta röntgenfluoreszcens spektruma, a spektrum alapján a K_α és/vagy L_α értékek segítségével meghatározni, hogy a fémmel szennyezett talaj milyen fémes elemet tartalmazott (szöveges indoklással együtt)
- a fémes szennyező anyag koncentrációjának megadása [$\text{mg}/\text{kg talaj}$]
- a nyomáscsökkenést [hPa] ábrázolni az idő [nap] függvényében mind a három minta esetén egy diagramon
- az előbbieken felvett diagram szöveges értékelése.

A mérési jegyzőkönyv megírása során figyeljen a megfelelő mértékegység-használatra, továbbá ügyeljen a számításai során kapott végső eredmények értékes jegyeinek megadására!