

# Talajremediáció

**Tananyag  
szennyezett talaj  
remediációjának tervezéséhez**

Gruiz Katalin

# A környezetirányítás eszköztára



1. VESZÉLY AZONOSÍTÁSA

2. KOCKÁZAT FELMÉRÉSE

Általános / helyspecifikus

Kvalitatív/ kvantitatív

Ökológiai / humán egészségi

1. MEGELŐZÉS

2. KORLÁTOZÁSOK

3. REMEDIÁCIÓ

Fizikai-kémiai technológiák

Bioremediáció

Ökológiai technológiák

# A szennyezett területek kockázatának felmérése

A szennyezett területek kockázatának felméréséhez szükség van

- a szennyezőforrás és a terület integrált kockázati modelljére,
- integrált felmérési illetve monitoring módszerre és
- területspecifikus kvantitatív kockázatfelmérési módszerre

A kockázat csökkentésének tervezéséhez ismernünk kell a kockázatcsökkentési lehetőségeket:

- intézkedés,
- megelőzés,
- remediáció.

Ezek közül költség-haszon felmérés alapján kell kiválasztani a legmegfelelőbbet vagy a legmegfelelőbb kombinációt.

# **A kockázatcsökkentést megelőző feladatok**

- 1. A terület állapotfelmérése vagy monitoringja**
- 2. A mérési adatok megfelelő interpretációja, a kockázat felmérése,**
- 3. A kockázatváltozás spontán trendjének megállapításaÉ rövid- és hosszútávú kockázatok**
- 4. A kockázatcsökkentési intézkedések (megelőzés, korlátozás, remediáció) költség haszon felmérése**
- 5. A megfelelő intézkedés vagy intézkedés-kombináció kiválasztása**

# Remediációval kapcsolatos kérdések és feladatok

1. **Mióta szennyezett a terület?**
2. **Mekkora a szennyezettség kiterjedése?**
3. **Milyen környezeti elemeket érint?**
4. **A szennyezett környezeti elemek és fázisok azonosítása**
5. **A szennyezőanyagok fizikai, kémiai és biológiai jellemzői**
6. **A szennyezőanyagok azonosítása**
7. **A terület jelenlegi használata**
8. **A terület hidrogeológiai jellemzői**
9. **A terület érzékenysége**
10. **A terület ökoszisztémájának állapota**
11. **A terület talajának mikrobiológiai állapota**

# Remediációval kapcsolatos kérdések és feladatok

12. A terület jelenlegi kockázata
13. Milyen helyet foglal ez a kockázati érték a kockázati profilban?
14. A beavatkozás sürgőssége
15. A jövőbeni területhasználat megadása
16. A jövőbeni használathoz tartozó célérték
17. A választott célértéket teljesíteni képes remediációs módszerek áttekintése: a teljesség igényével készült felsorolás
18. Az elvileg megfelelő remediációs technológiák összehasonlító vizsgálata elérhetőség, költség és haszon szempontjából: a reálisak megtartása
19. A reális technológiai alternatívák összehasonlító értékelés, kipróbálása
20. A kiválasztott technológia alkalmazása
21. Technológiamonitoring
22. Utómonitoring

## **A talajremediálási módszereket több szempontból csoportosíthatjuk**

- 1. A remediáció alapulhat a szennyezőanyag immobilizálásán vagy mobilizálásán.**
- 2. Remediálási módszerek környezeti elemek szerint: levegő, víz, talajvíz, talaj vagy üledékremediálási módszer lehetnek**
- 3. A talajremediálási módszer a talaj fázisai szerint jelentheti a talajlevegő, talajnedvesség, a talajvíz, a talaj szilárd fázisa, a különálló szennyezőanyag fázis vagy több fázis együttes kezelését, pl. talajvíz és szilárd fázis, vagy háromfázisú (telítetlen) talaj kezelését.**
- 4. A remediáció alapulhat a talajban spontán lejátszódó folyamaton.**
- 5. A remediáció lehet *in situ* vagy *ex situ* módszer vagy ezek kombinációja.**
- 6. A talajremediáció alkalmazhat fizikai-kémiai, termikus vagy biológiai módszert.**
- 7. A szükséges technológiamonitöring típusa szerint**
- 8. A remediálás során megengedhető területhasználat szerint**
- 9. A remediációs technológia környezeti kockázata szerint**

## **A természetes folyamatok mérnöki alkalmazásának fokozatai szennyezett talaj remediálásában**

**NA:** Natural Attenuation: természetes szennyezőanyag csökkenés

**MNA:** Monitored Natural Attenuation: monitorozott természetes szennyezőanyag-csökkenés

**ENA:** Enhanced Natural Attenuation: gyorsított természetes szennyezőanyag-csökkenés

**In situ bioremediáció**

**Ex situ bioremediáció**



# Szerves szennyezőanyagok sorsa a talajban

A szerves szennyezőanyagok nagy része a talajban a holt szerves anyagokhoz hasonlóan viselkedik, ezért kötődésükre, terjedésükre, sorsukra, hatásaikra az alábbiak jellemzőek:

**1. Formáik: gáz- vagy gőzforma, vízben oldott vagy emulgeált és szilárd forma.**

A gáz és gőzformájú szennyezőanyag lehet a talajgázban, a talajvízben oldva vagy szorpcióval a szilárd felülethez kötődve.

A folyékony halmazállapotú szennyezőanyagok is előfordulhatnak gőzformában vagy a talajnedvességben illetve a talajvízben oldva, folyadékfilm formájában, a szilárd fázishoz kötődve, vagy különálló fázisként, a talajvíz felületén.

A szilárd fázisú szennyezőanyag szemcseméretétől és fizikai-kémiai tulajdonságaitól függően lehet: a.) talajszemcsékhez keveredve, b.) szilárd szemcsék felületéhez kötve szorpcióval, c.) mátrixba kötődve különféle erőkkel, akár kovalens kötésekkel is, például a humuszba épülve. A talajszemcsék felületén tehát gázok, gőzök, folyadékok és szilárd szennyezőanyagok egyaránt megkötődhetnek.

**2. A szerves szennyezőanyagok a talajban mineralizálódhatnak, belőlük energia termelődik, C, N és P tartalmuk pedig ismét felhasználhatóvá válik.**

- **Kometabolizmus: talajmikroorganizmusok enzimrendszerei úgy bontják el a xenobiotikumot, hogy közben nem termelnek belőle energiát.**
- **A perzisztens szennyezőanyagok nem bomlanak egyáltalán, vagy csak részlegesen bomlanak le.**
- **Egyes szerves szennyezőanyagok vagy metabolitjaik beépülnek a biomasszába, a talajmikroorganizmusok sejtjeibe vagy a növények szöveteibe.**
- **Beépülhetnek a táphumuszba, ahonnan bizonyos feltételek között könnyen mobilizálódhatnak.**
- **Beépülhetnek a szerkezeti humuszba, ahonnan csak kis valószínűséggel mobilizálódhatnak.**
- **Fossilizálódhatnak, ezzel véglegesen kikerülhetnek az anyagkörforgalomból.**
- **Szerves szennyezőanyagok természetes koncentrációcsökkenése során az alábbi kémiai folyamatok ismeretesek:**

**Hidrolízis során a szerves anyag reakcióba lép a vízzel és alkohol képződik.**

**Szubsztitúció során nukleofil ágenssel (anionnal) lép reakcióba a szerves anyag.**

**Elimináció során a szerves vegyület funkciós csoportjai leszakadnak, majd kettős kötés alakul ki.**

**Oxidáció/redukció során elektron transzport valósul meg a reakcióban résztvevő komponensek között.**

## **Biodegradálható szerves szennyezőanyagok természetes koncentrációcsökkenése során a mikrobiológiai folyamatok kerülnek előtérbe**

- A mikroorganizmusok degradáló képessége és hatékonysága függ a vegyi anyag szerkezetétől, összetételétől, illetve a hozzáférhetőségétől.**
- A jelenlévő mikrobaközösség minősége nagyban befolyásolja a degradáció hatékonyságát.**
- A szerves vegyületnek fizikailag, kémiaailag diszpergálnak kell lennie vízben azért, hogy a mikrobák számára hozzáférhetőek legyenek. Ezt biotenzidek biztosítják.**
- Számos környezeti tényező van hatással a bontás intenzitására, például a hőmérséklet, a tápanyagok a pH, és a redoxviszonyok.**
- Az oxigén mennyisége és forrása (levegő,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , stb.) meghatározza a légzésformákat. A vas is szolgálhat elektronakceptorként.**
- A szerves szennyezőanyagok természetes koncentrációcsökkenése során szabad vagy oldott oxigénből 3-4 mg szükséges 1 mg telített szénhidrogén teljes oxidációjához, vagyis a teljes mennyiség  $\text{CO}_2$ -dá és vízzé alakításához. Az oxigén bevitele a molekulába oxigenáz enzimek segítségével történik.**

# A szervesetlen szennyezőanyagok sorsa a talajban

**A szervesetlen szennyezőanyagok sorsa a növényi tápsók ionjainak sorsával analóg a talajban, ezért kötődésükre, mobilizálódásukra, biológiai felvételükre az alábbiak jellemzőek:**

- 1. Előfordulhatnak atomrácsba, molekularácsba épülve, oxidok és hidroxidok alakjában, ionos formában vagy komplexben.**
- 2. Az atomrácsba (molekularácsba) épült fémforma általában korpuszkuláris szennyezőanyagokban vagy még el nem mállott kőzetekben fordul elő, leggyakrabban a Si, a Fe vagy az Al, esetleg a Ca, Mg vagy a K helyettesítőiként. Innen a mállás során szabadulnak fel, kerülnek ionos formába, és mosódnak be (pl. mélyebb rétegekbe) vagy ki (pl. más környezeti elembe).**
- 3. Az oxidokban és hidroxidokban a Fe és az Al helyettesítőiként fordulnak elő és kőzetek mállásakor, a talaj savanyodásakor mobilizálódnak.**
- 4. Az ionos fémforma lehet a talajvízben vagy a talajnedvességben oldva, vagy a talajkolloidok (agyagásványok, humusz) felületére ionosan kötve, az ionerősségtől függő mértékben kicserélhető formában.**

**A szerves fémkomplexek főleg a humuszanyagokhoz kötve fordulnak elő, mobilisak.**

**Az ionos és komplex kötésben lévők mozgékonyak, vízoldhatóak, kicserélhetőek, biológiailag felvehetőek.**

**Az oxidok és hidroxidokban kötött fémek közepesen, a molekula és atomrácsban lévők nehezen hozzáférhetőek.**

**Az egyes fémformák egymásba átalakulhatnak.**

**Az egyes fémformák a pH, a redoxpotenciál és a nedvességtartalom függvényében megoszlanak a talaj egyes fázisai között.**

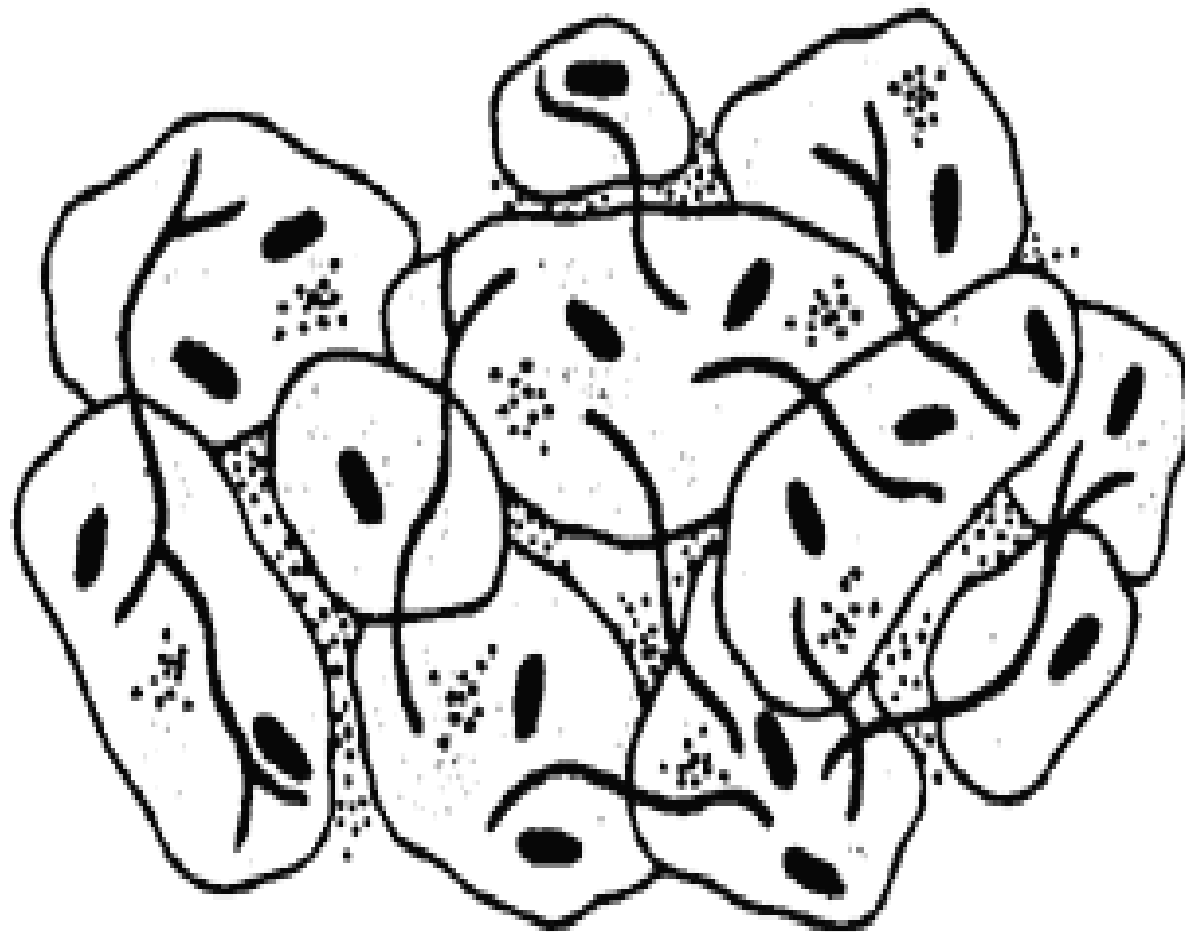
**A szilárd formák kialakulásában fontos szerepe van az adszorpciónak és a kemisorpciónak.**

**Az akkumulációval együtt járó rezisztencia mechanizmusa lehet:**

- a sejtfal komponenseihez való kötődés bioszorpcióval
- extracelluláris komplexképzés (pl. a *Rhizobium sp.*Ö
- intracelluláris megkötés,
- plazmidfüggő akkumuláció
- periplazmás peptidoglikánhoz kötés.

**Tovább bonyolítja a helyzetet a talajban, hogy gyakorlatilag soha sincs egyensúlyi helyzet, részben mert egyes egyensúlyok beállításához évekre sőt évtizedekre van szükség, részint mert állandóan változnak a klimatikus, az éghajlati és a szűkebb környezeti paraméterek.**

# Mikroorganizmusok a talaj mikroszemcséin



baktériumok



fonalas gombák

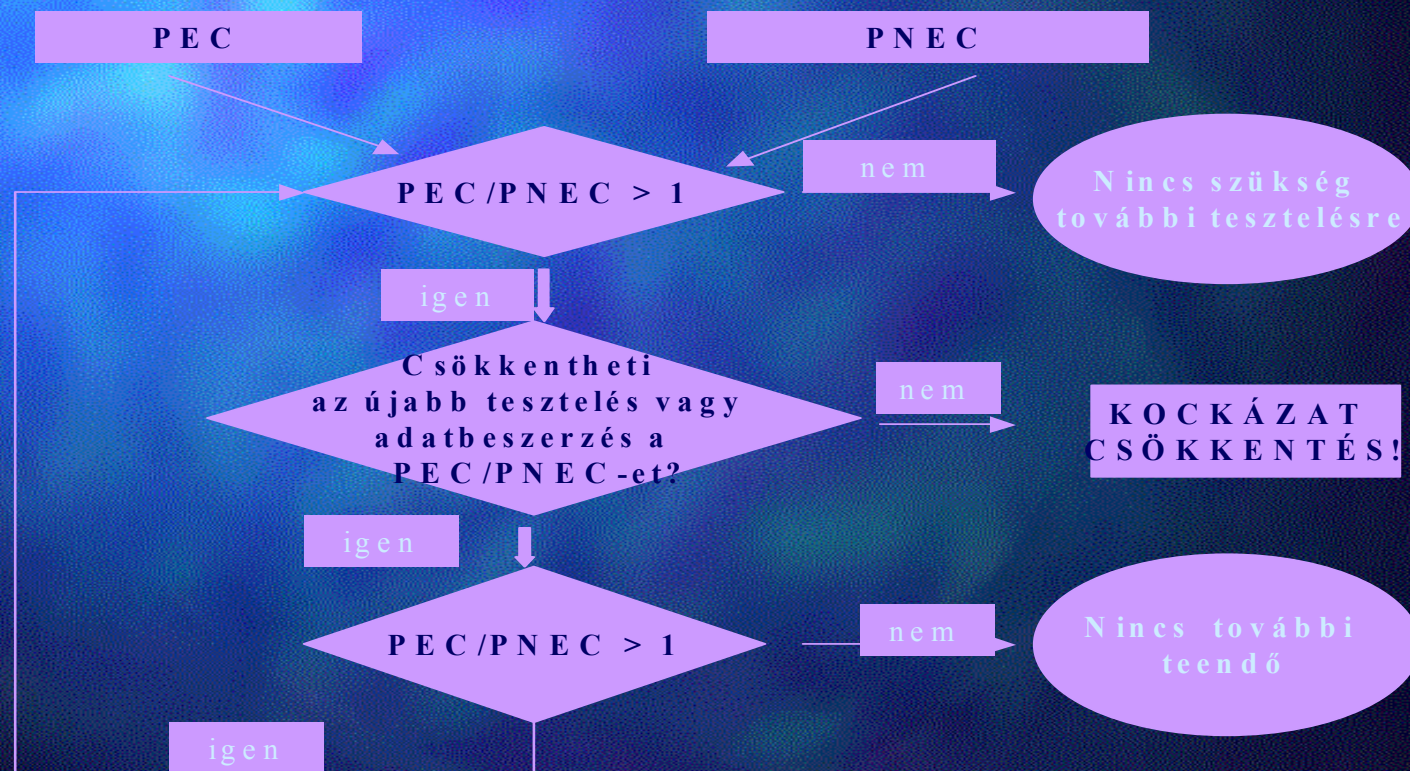


protozoák

# Szennyezőanyagok kvantitatív kockázatfelmérése

## Jellemzők:

- lépcsőzetes eljárás (költséghatékony),
- iteratív
- pesszimista modell (konzervatív)
- adathiány esetén is használható (kizárás)



## A kockázati tényező értéke és a megfelelő veszélyeztetési szintek

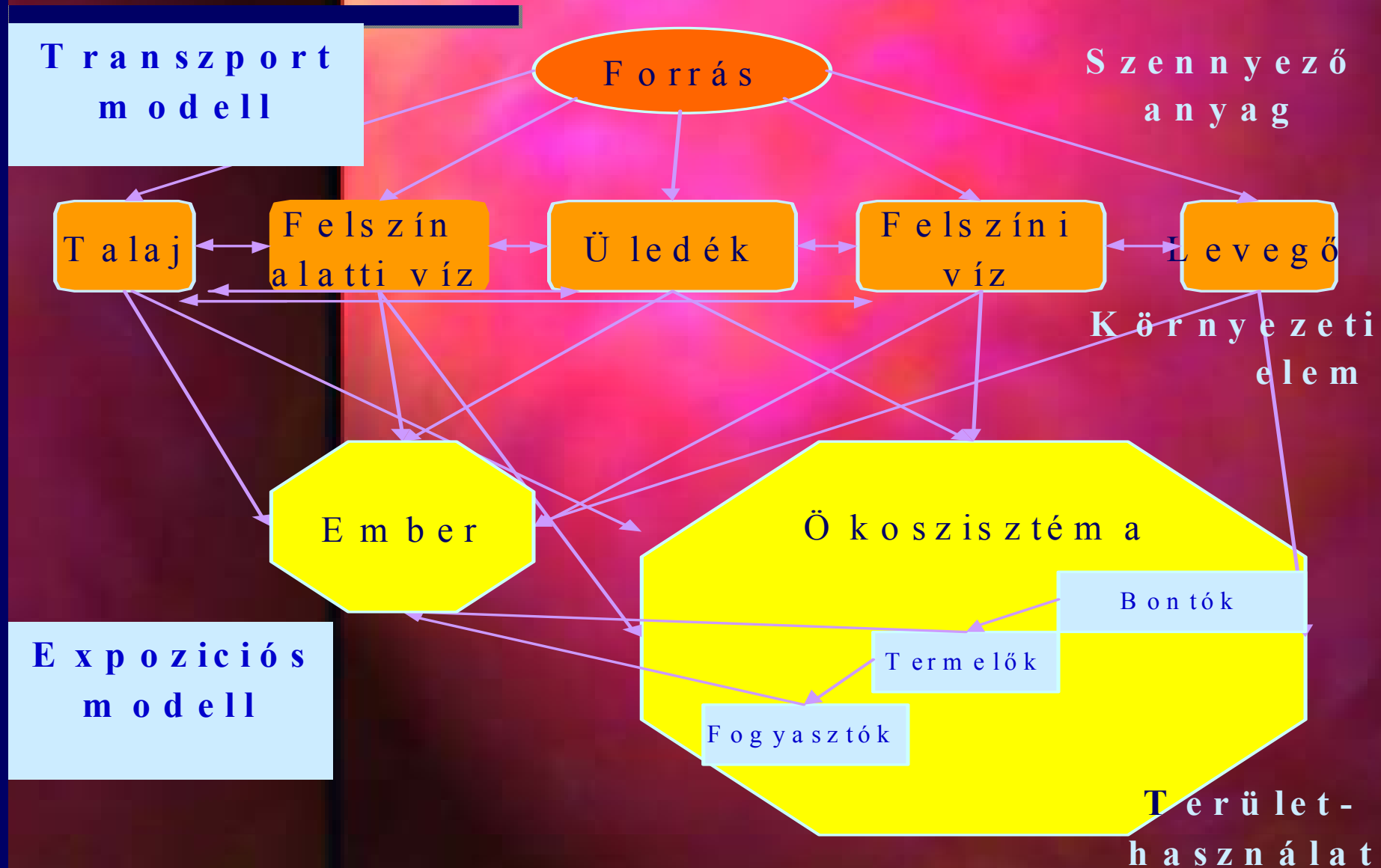
| RQ = PEC/PNEC | Veszély        |
|---------------|----------------|
| < 0,001       | elhanyagolható |
| 0,001 – 0,1   | kicsi          |
| 0,1 - 1       | enyhe          |
| 1 - 10        | nagy           |
| >= 10         | igen nagy      |



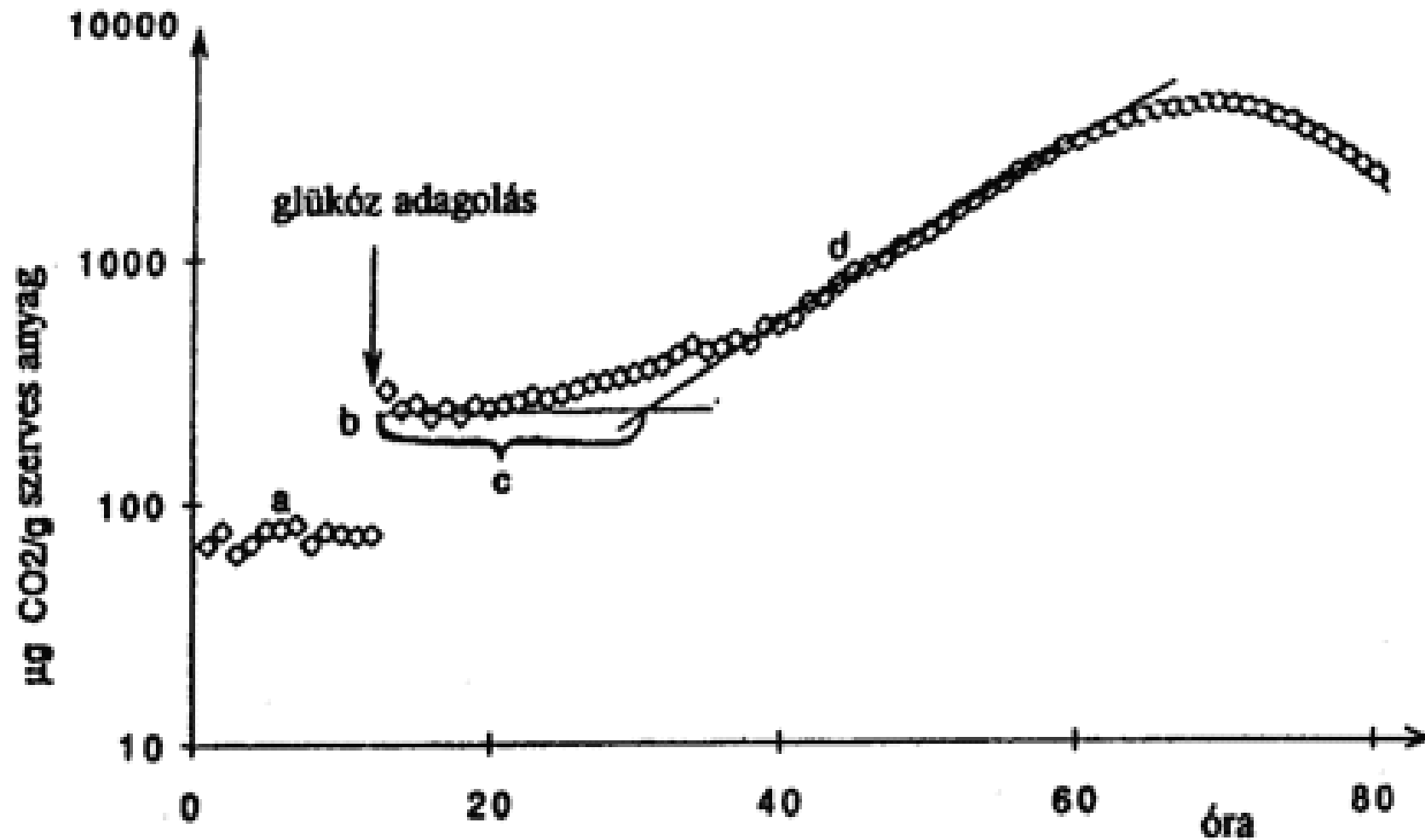
# Integrált Kockázati Modell

*Elvi felépítés*

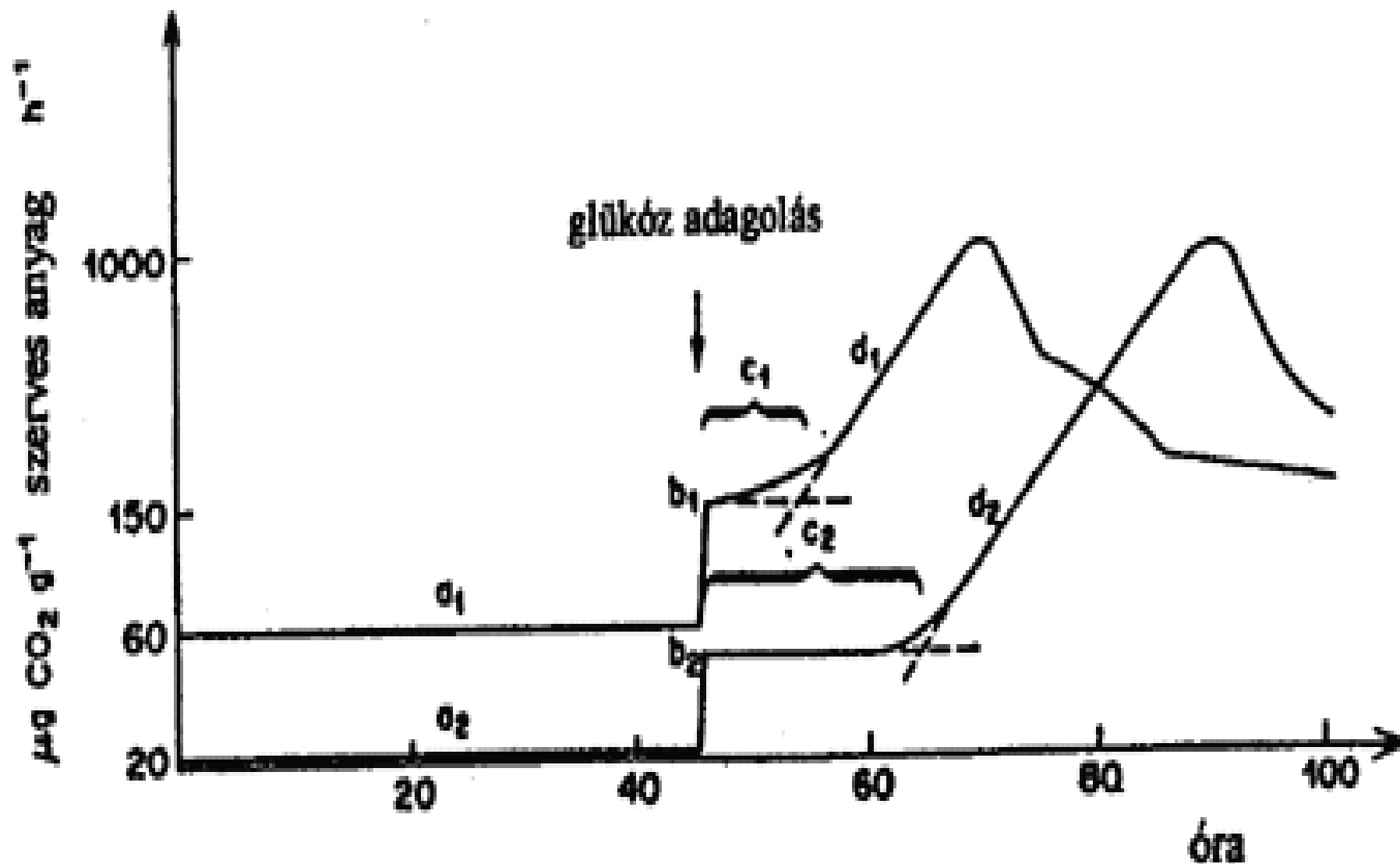
*(lehet általános vagy helyszín specifikus)*



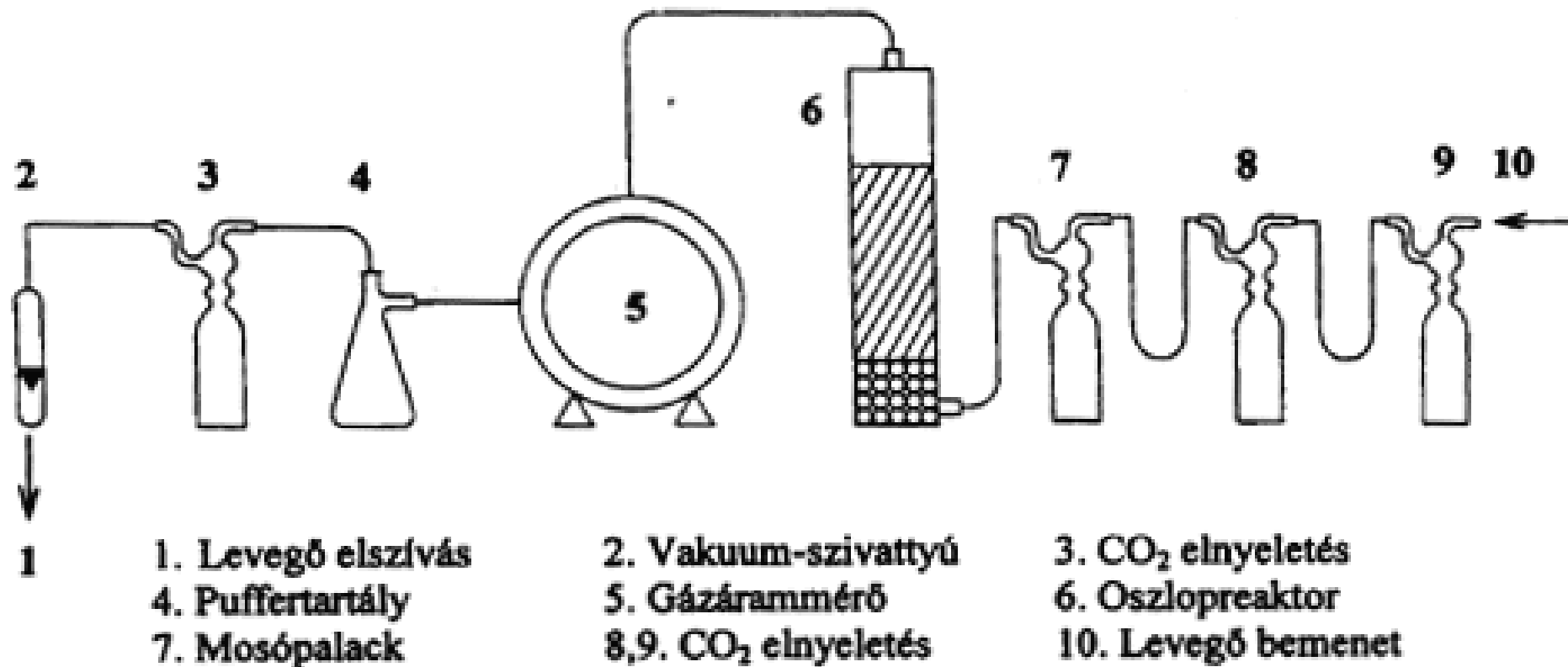
# Talajlégzés könnyen bontható szubsztrát ( glükóz) adagolása előtt és után ( Torstensson, 1994)



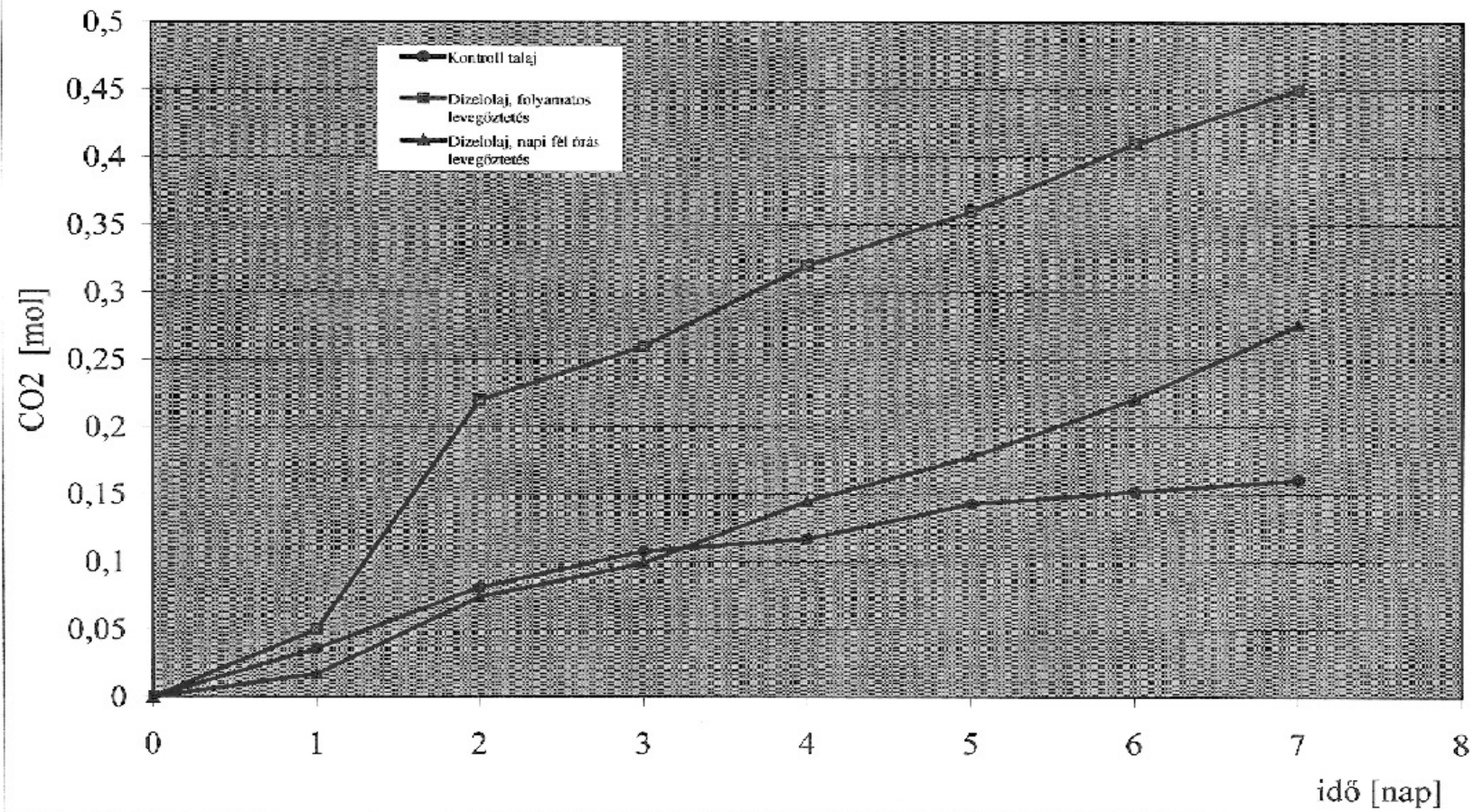
Talajlégzés könnyen bontható szubsztrát adagolása előtt és után szennyezetlen és fémekkel szennyezett talaj esetén ( Torstensson, 1994)



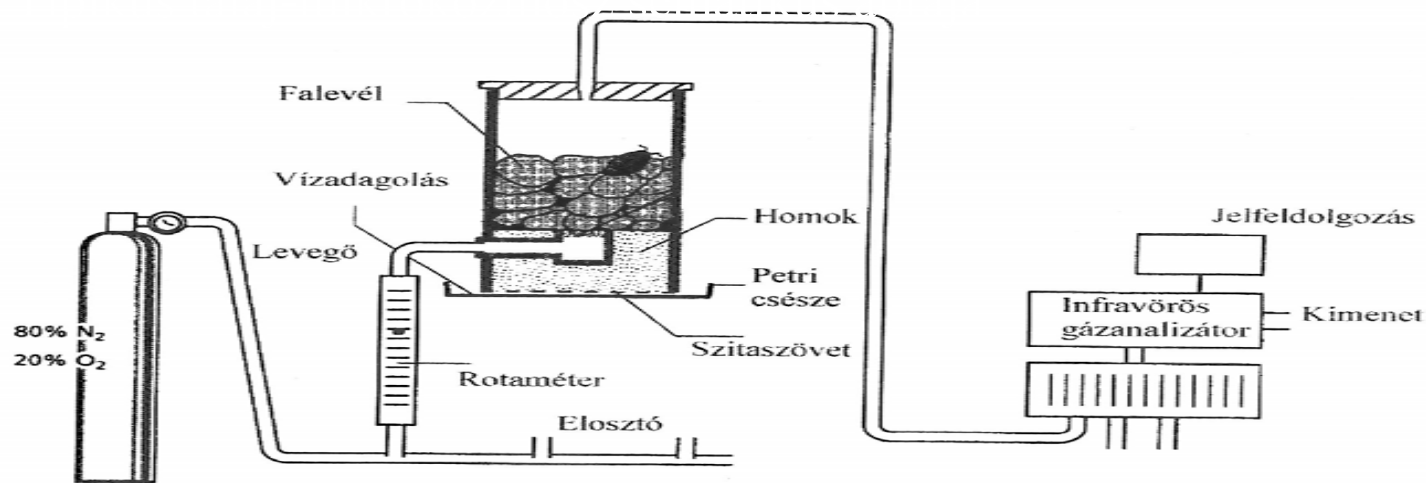
# A talajlégzés mérésére szolgáló rendszer ábrája



# A levegőztetés mértékének hatása a dízelolaj biodegradációjára



22. ábra



*Tipikus talaj-mikrokozmosz sematikus ábrája*

*A rendszeren levegőt áramoltatunk keresztül.*

*A termelődött CO<sub>2</sub>-ot infravörös gázanalizátorral mérjük*

| <b>Szennyező-anyag kémiai tulajdonsága</b> | <b>Talaj szilárd fázis szennyezett</b>   | <b>Talajvíz szennyezett</b>  | <b>Talaj levegő szennyezett</b>  |
|--|--|--|--|
| <b>Illékony</b>                            | <b>Biodegradáción alapuló</b><br><b>Talajgőz kiszívása és felszíni kezelése</b><br><b>Termikus deszorpció</b>  | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Sztrippelés</b>   | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Talajgáz kiszívása és felszíni kezelése</b> |
| <b>Vízoldható</b>                          | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Fitoremediáció</b><br><b>Talajmosás</b><br><b>Elektrokinetikai eljárások</b>  | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Fitoremediáció</b><br><b>Talajvíz kiszívás &amp; felszíni kezelés</b><br><b>Insitu kémiai ox/red</b><br><b>Aktív résfalak</b> | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Talajgőz kiszívása és felszíni kezelése</b> |
| <b>Szorbeálódó</b>                         | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Biológiai kioldás</b><br><b>Fitoremediáció</b><br><b>Extrakció</b><br><b>Szemcseméret szerinti frakcionálás</b><br><b>Termikus deszorpció</b><br><b>Talajégetés/Pirolízis</b><br><b>Vitrifikáció</b><br><b>Elektrokinetikai eljárás</b> | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Talajvíz kiszívás és felszíni kezelés</b>   | <b>Biodegradáción alapuló remediáció</b><br><b>Talajgáz kiszívása és felszíni kezelése</b> |

| <b>Szennyező-<br/>anyag kémiai<br/>tulajdonsága</b> | <b>Talaj szilárd fázis<br/>szennyezett</b>   | <b>Talajvíz<br/>szennyezett</b>  | <b>Talaj levegő<br/>szennyezett</b>  |
|---|--|--|--|
| <b>Illékony</b>                                     | <b>Gázadszorpció szilárd<br/>fázison<br/>Kémiai immobilizáció</b>  | <b>Biológiai<br/>immobilizáció<br/>Kémiai immobilizáció</b>  | <b>Izoláció<br/>Kémiai<br/>immobilizáció</b>   |
| <b>Vízoldható</b>                                   | <b>Biológiai immobilizáció<br/>Fitostabilizáció<br/>Szorpció növelése<br/>Kémiai<br/>oxidáció/redukció<br/>Fizikai-kémiai<br/>stabilizáció</b>                                     | <b>Biológiai immobilizáció<br/>Rhizofiltráció<br/>Szorpció növelése<br/>Kicsapás, oldhatóság<br/>csökkentése<br/>Kémiai ox./redukció</b>             | <b>Izoláció<br/>Fizikai-kémiai<br/>immobilizáció<br/>(kicsapás, szorpció<br/>növelése)</b> |
| <b>Szorbeálódó</b>                                  | <b>Biológiai immobilizáció<br/>Fitostabilizáció<br/>Szorpció növelése<br/>Kémiai<br/>oxidáció/redukció<br/>Fizikai-kémiai<br/>stabilizáció Vitrifikáció,<br/>kerámiába ágyazás</b> | <b>Biológiai<br/>immobilizáció<br/>Rhizofiltráció<br/>Szorpció növelése<br/>Kicsapás, oldhatóság<br/>csökkentés<br/>Kémiai<br/>oxidáció/redukció</b> |  |



# **Bioremediáció**

## **Biodegradáción alapuló**

**A baktériumok végtelen genetikai és biokémiai potenciálja biztosítja a szerves szennyezőanyagok lebontását a talajban illetve a talajvízben.**

**A holt szerves anyagokhoz hasonló útvonalon kerül a szennyezőanyag az elemek körforgalmába.**

**Biodegradáció fajtái:           Energia-termeléssel összekötve  
  Kometabolizmussal (energia nem termelődik)**

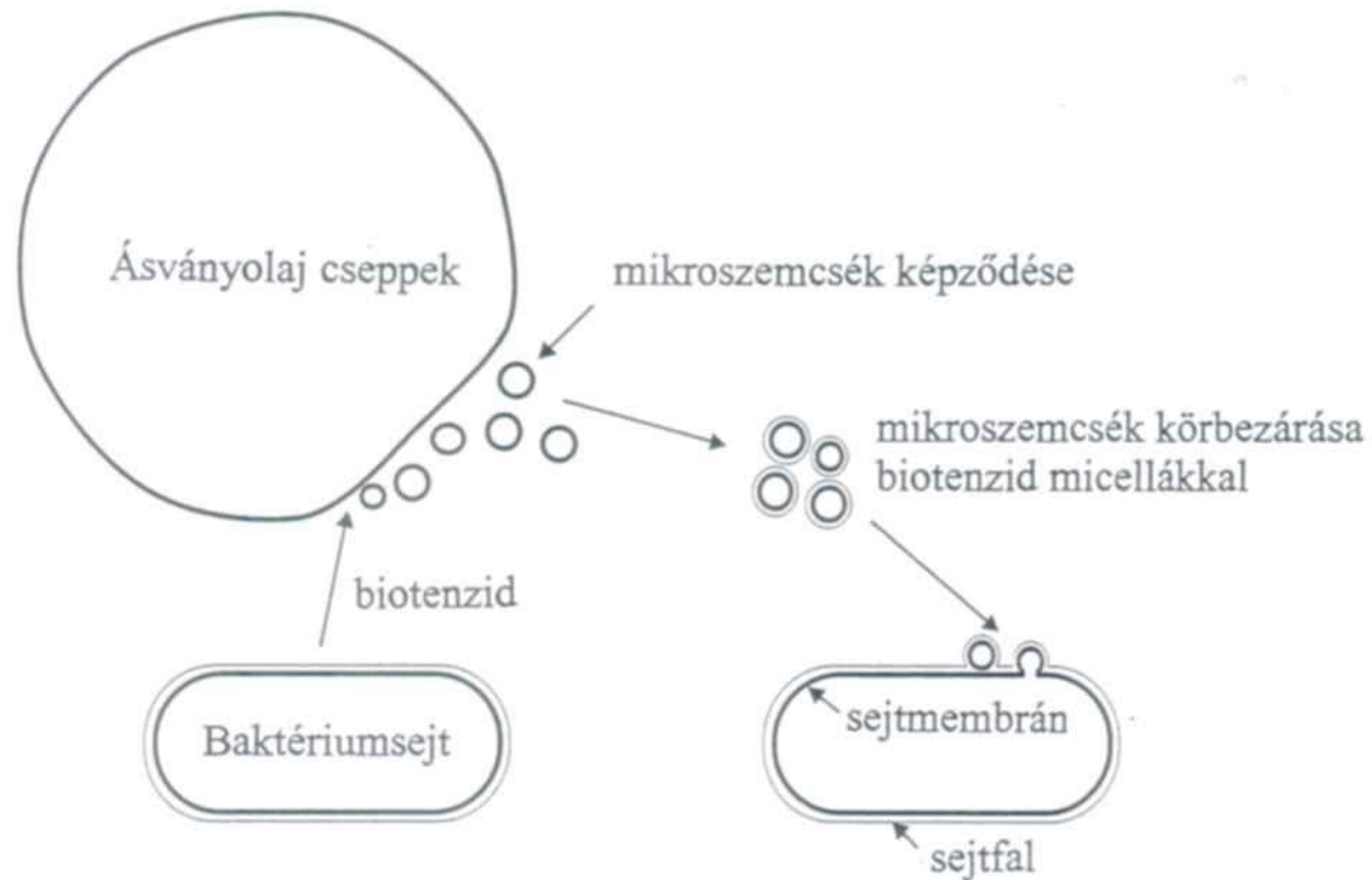
**Redoxpotenciáltól függően: aerob / fakultatív anaerob / anaerob**

**Teljes mineralizáció vagy részleges bontást követő átalakulás, pl. humuszképződésben való részvétel. Ez már átvezet a mikrobiológiai stabilizációs módszerekhez.**

## **Mikrobiológiai stabilizáción alapuló**

**Szerves szennyezőanyagok irreverzibilis beépülése humuszanyagokba vagy szervetlenek irreverzibilis megkötése vagy átalakulása (pl. fémszulfidokká).**

## Természetes tenzidek



# **Fitoremediáció**

## **Fitoextrakció**

**Talajból: hiperakkumuláló, felszín feletti részekben, nagy biomassa, égetés, hamu veszélyes hulladék, visszanyerés**

**Talajvízből: gyökérzónás kezelés: fűzfa, nád, sás**

**Felszíni vízből: rhizofiltráció: élőgépek**

## **Fitostabilizáció**

**Rezosztens fajok: növény általi fizikai talajmegkötés,  
kémiai+biológiai stabilizáció**

**Kombinált kémiai és fitostabilizáció**

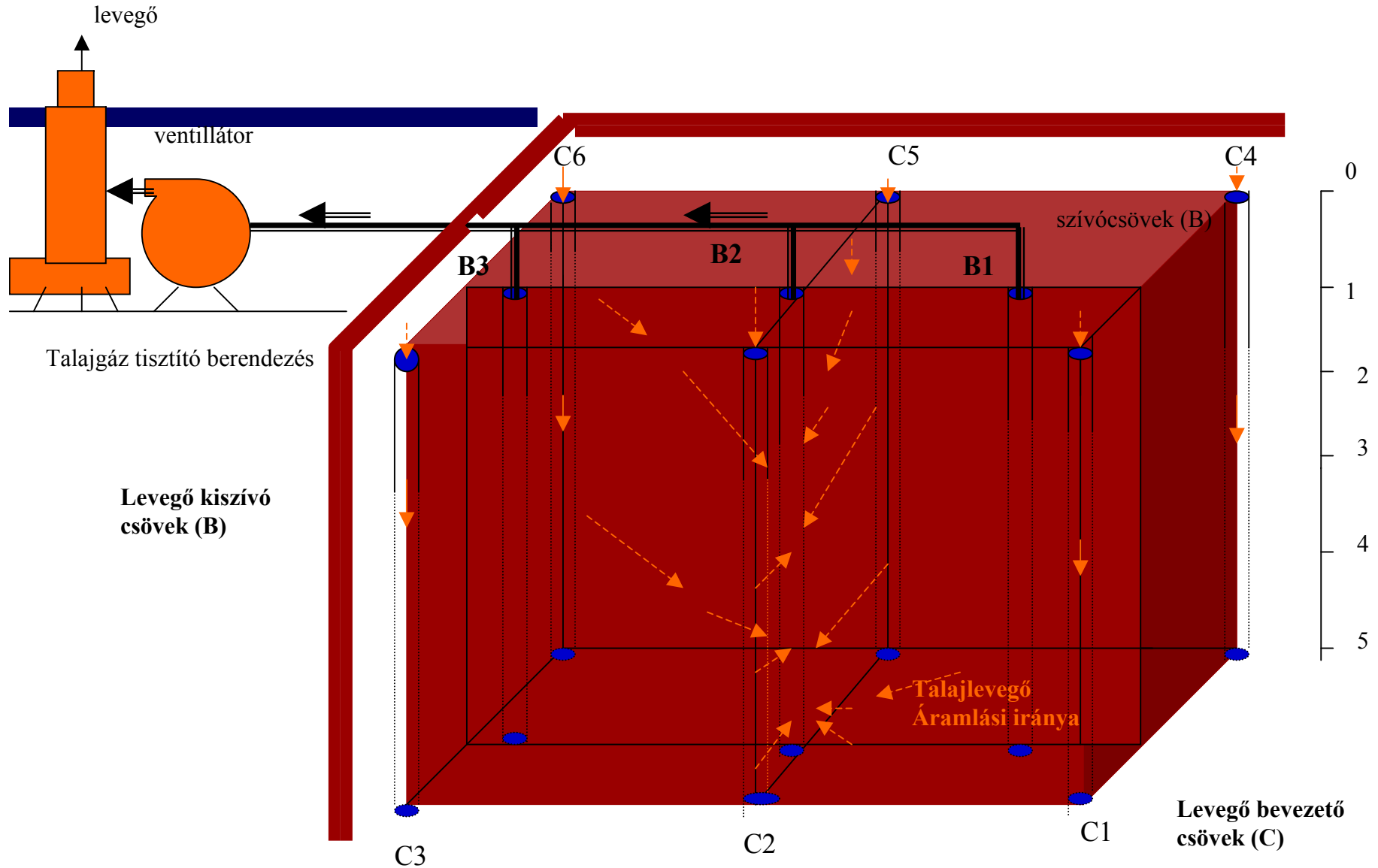
# Növényi bioakkumuláció mechanizmusai

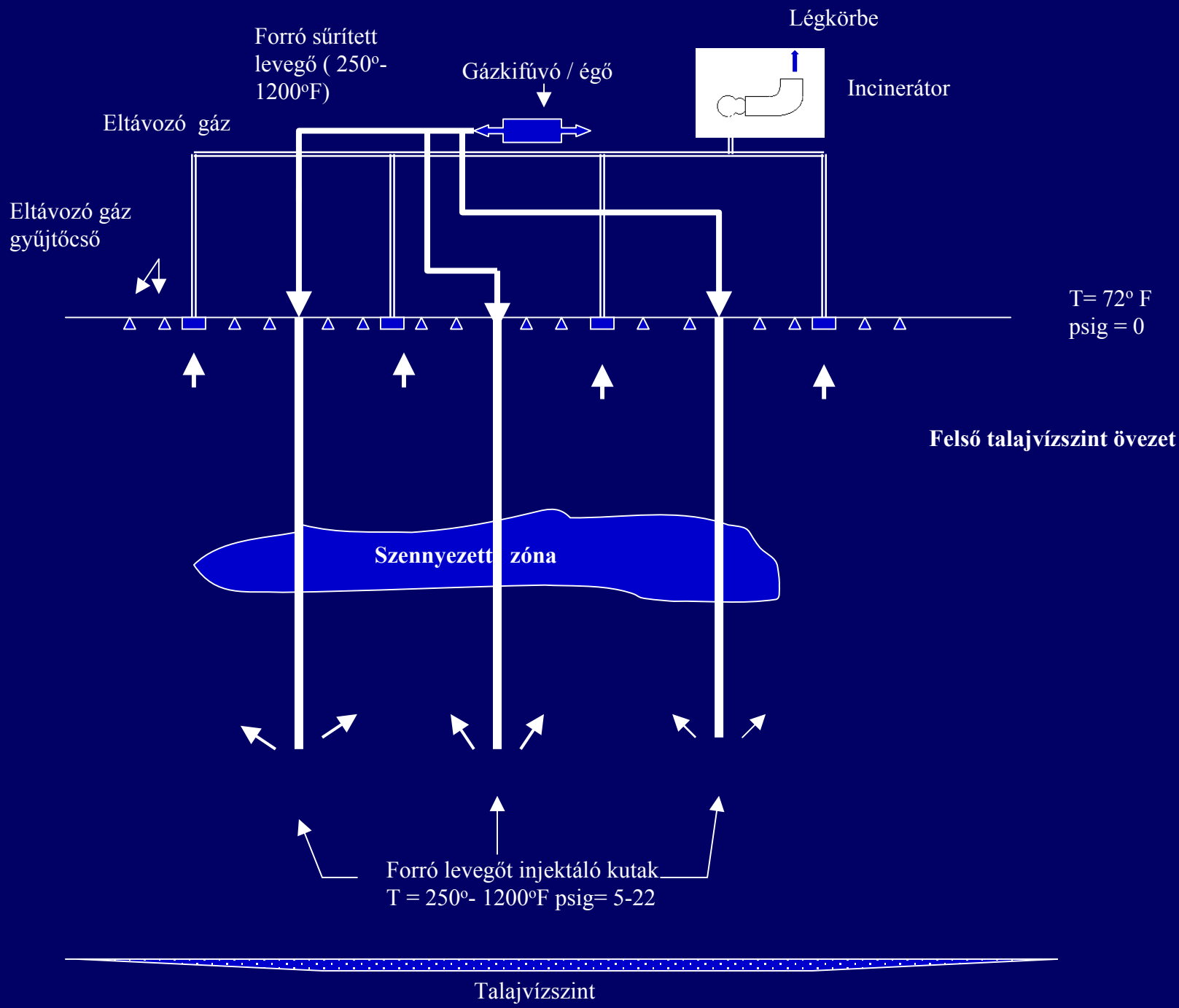
A toxikus fém a táplálékláncba elsősorban a növényeken keresztül kerül. Az adaptációs mechanizmus lehet:

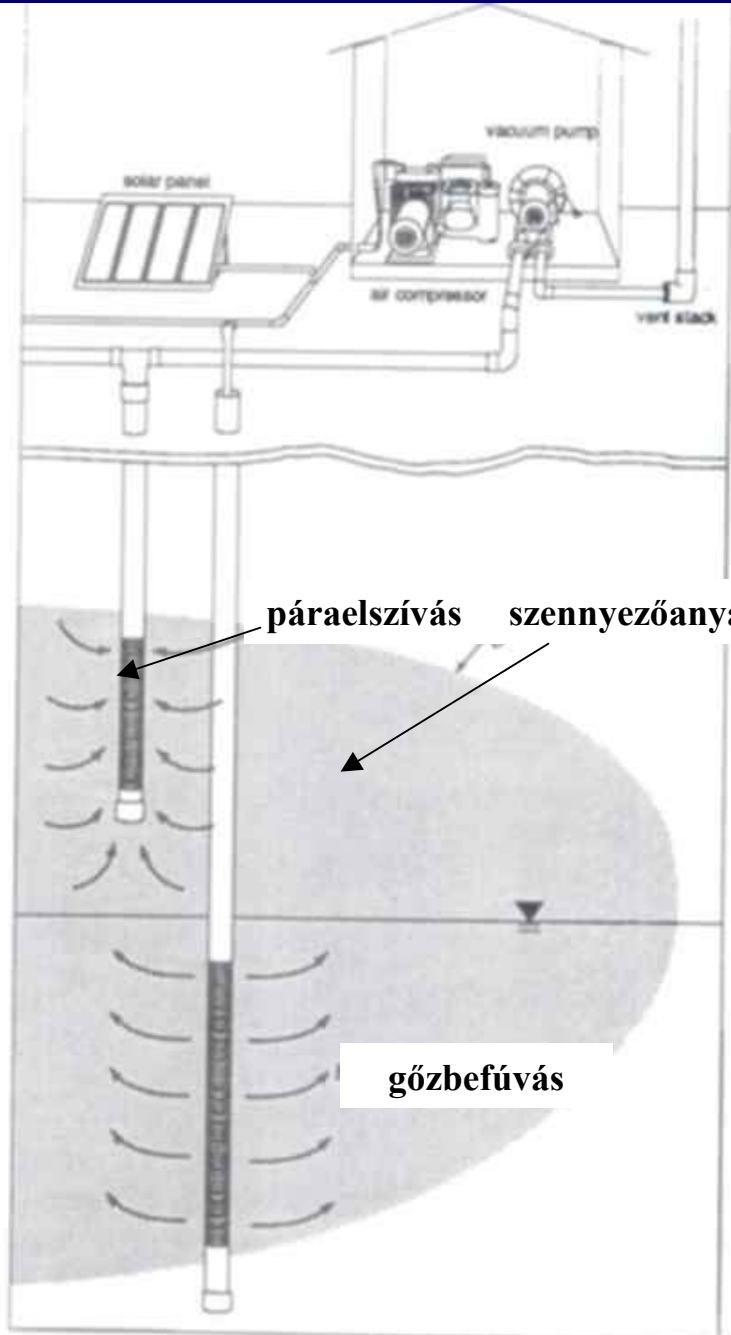
- a rhizoszférában csapja ki, így sem a gyökérben, sem pedig a szárban nem mérhető nagy fém koncentráció (pl. *Epilobium sp.*)
- a gyökérben raktározza, nem szállítja el a szárba (pl. *Elytrigia repens*, *Poa annula*, *Scirpus holoschenus*)
- csak a szárban és a levelekben raktározza el (pl. *Inula viscosa*, *Euphorbia dendroides*, *Arundo dorax*)
- a vakuolumokban immobilizálja
- a sejtfalban immobilizálja
- mind a gyökérben, mind a szárban raktározza a fémekeket az anyagcseréjéből kiiktatva (pl. *Cistus salviifolius*, *Helichrysum italicus*).

## **Passzív módszerekre**

# In situ bioventillációs talajtisztítási technológia vázlatja

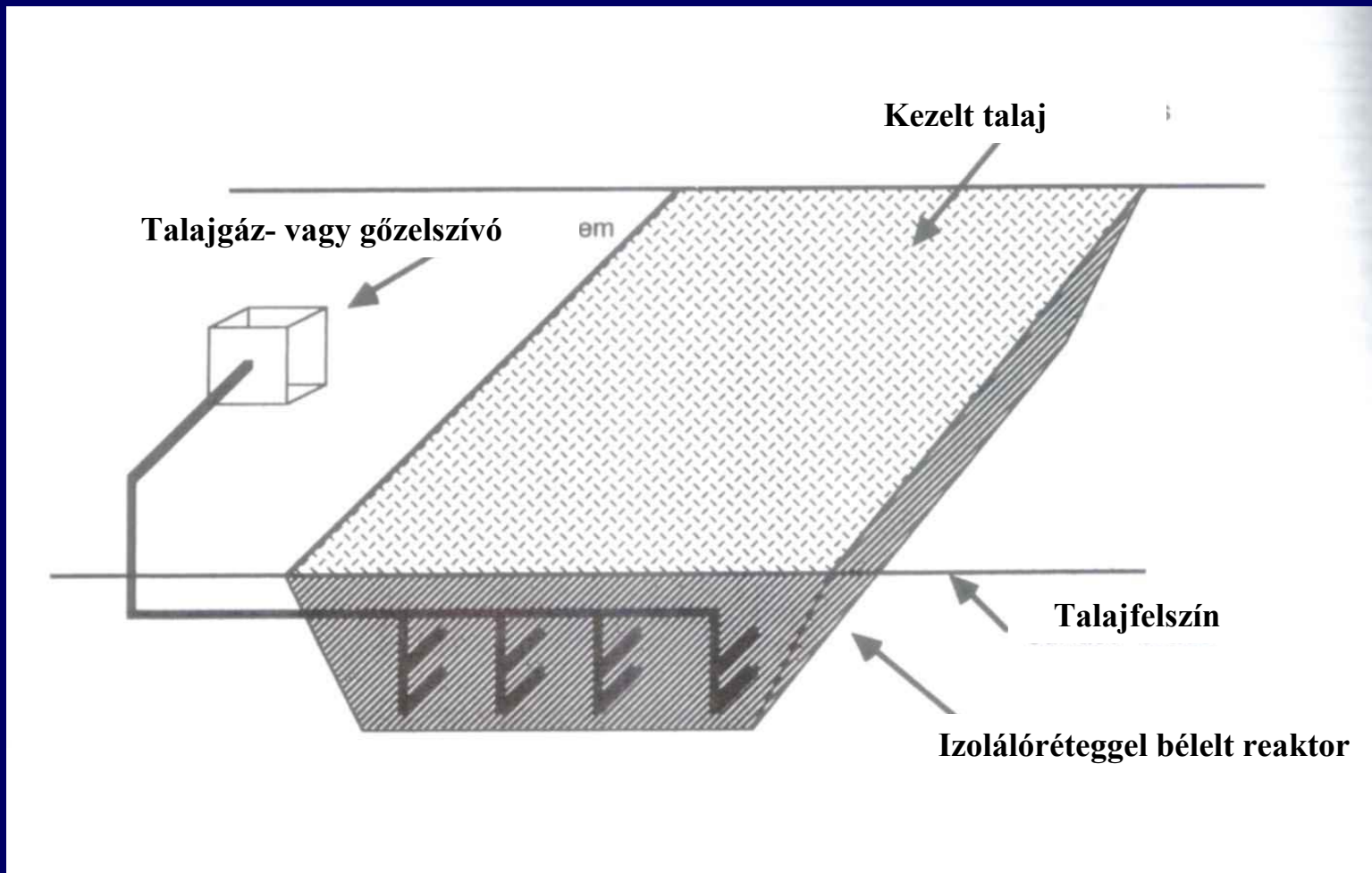




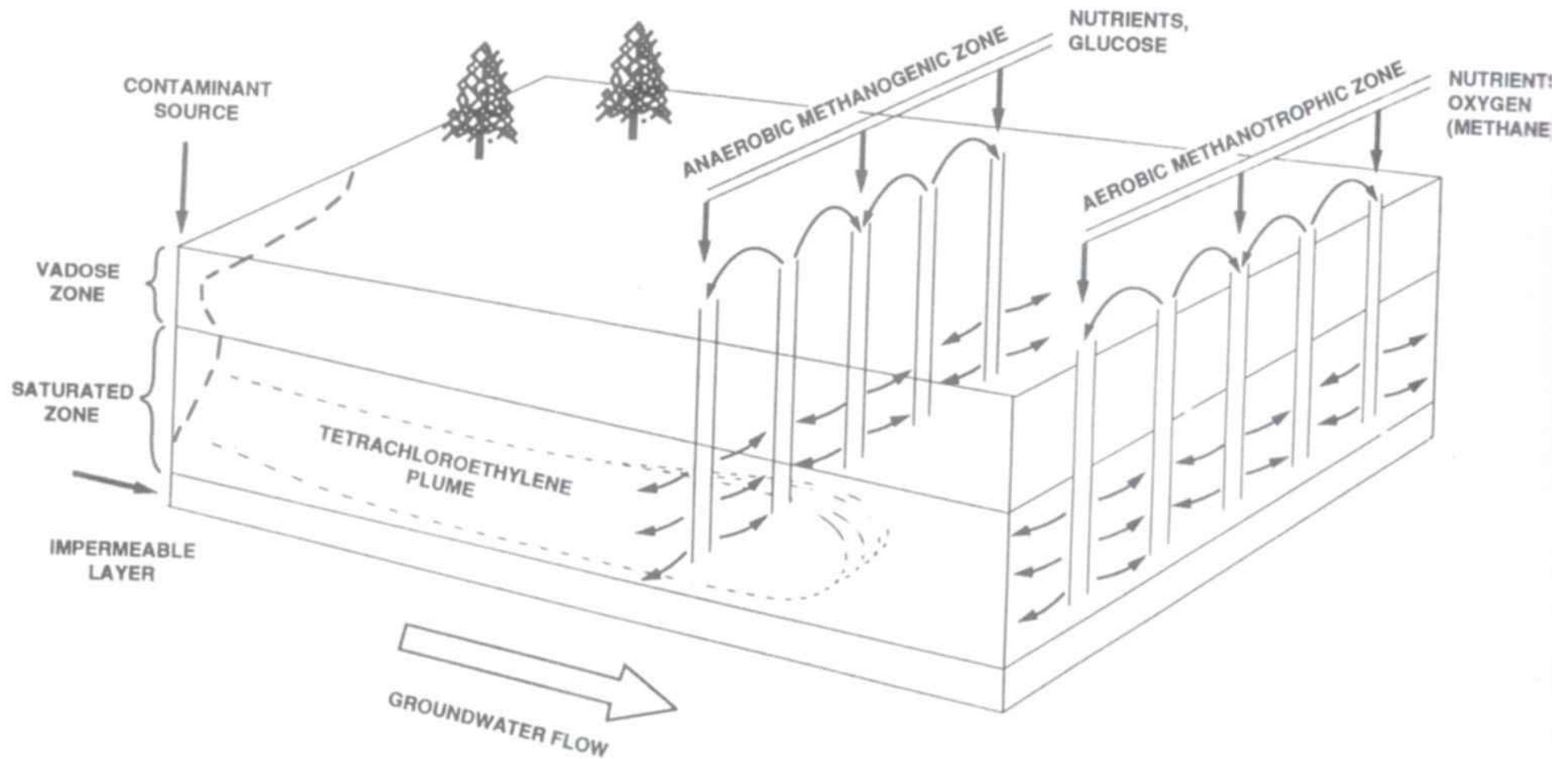


Subsurface Vapor Extraction and Steam Injection - Groundwater Remediation

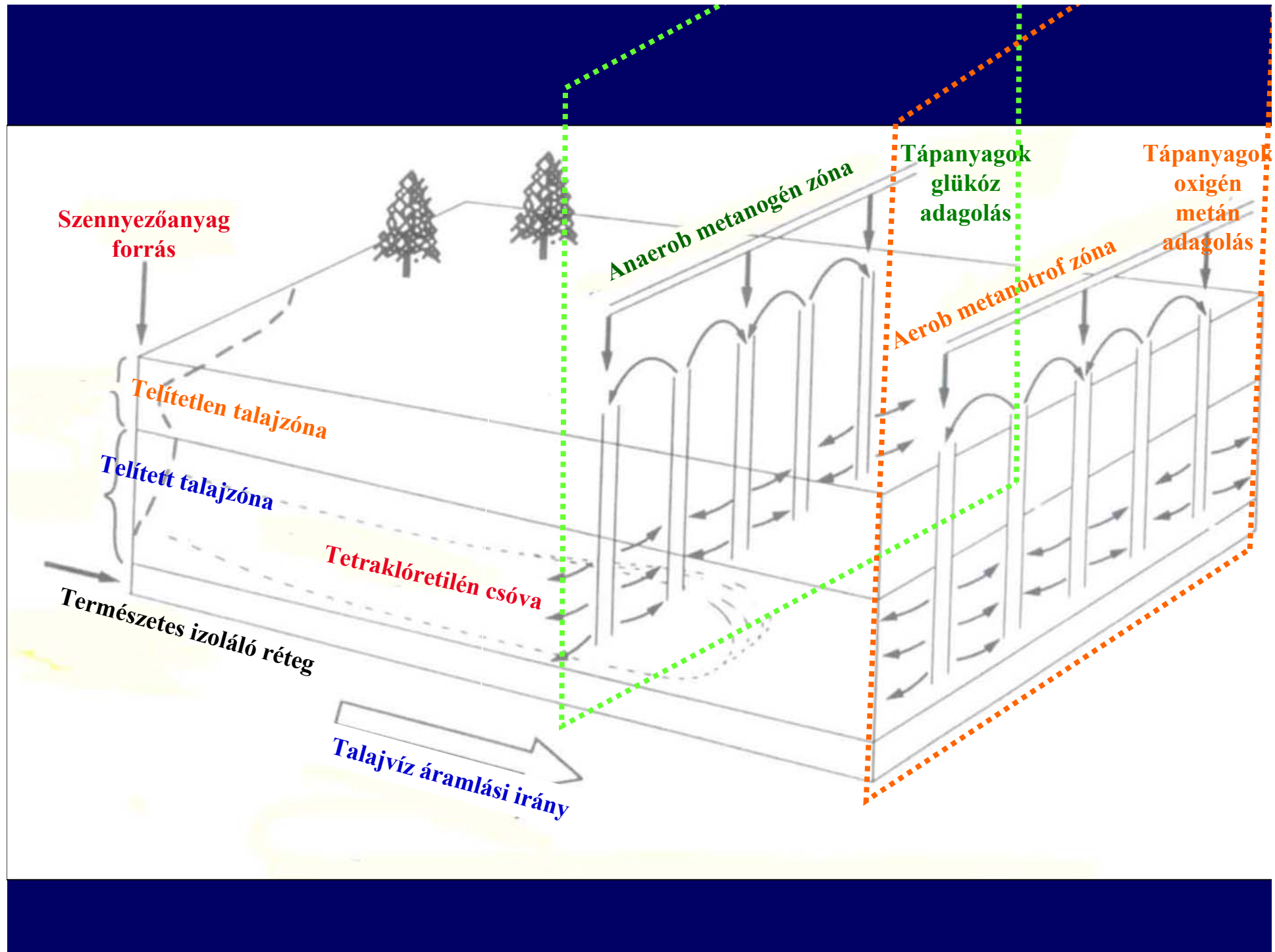




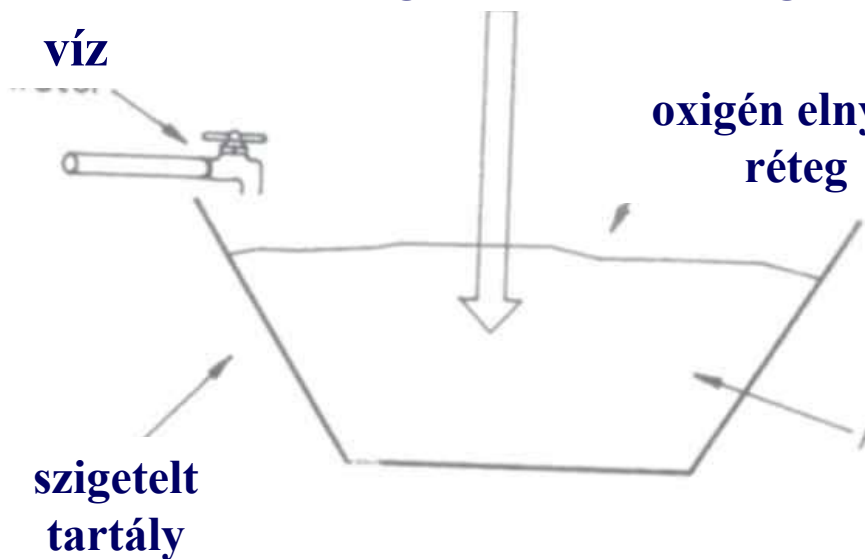
**Biológiai kezelés szilárd fázisban, reaktorban**



**Két zónás in situ bioremediáció**

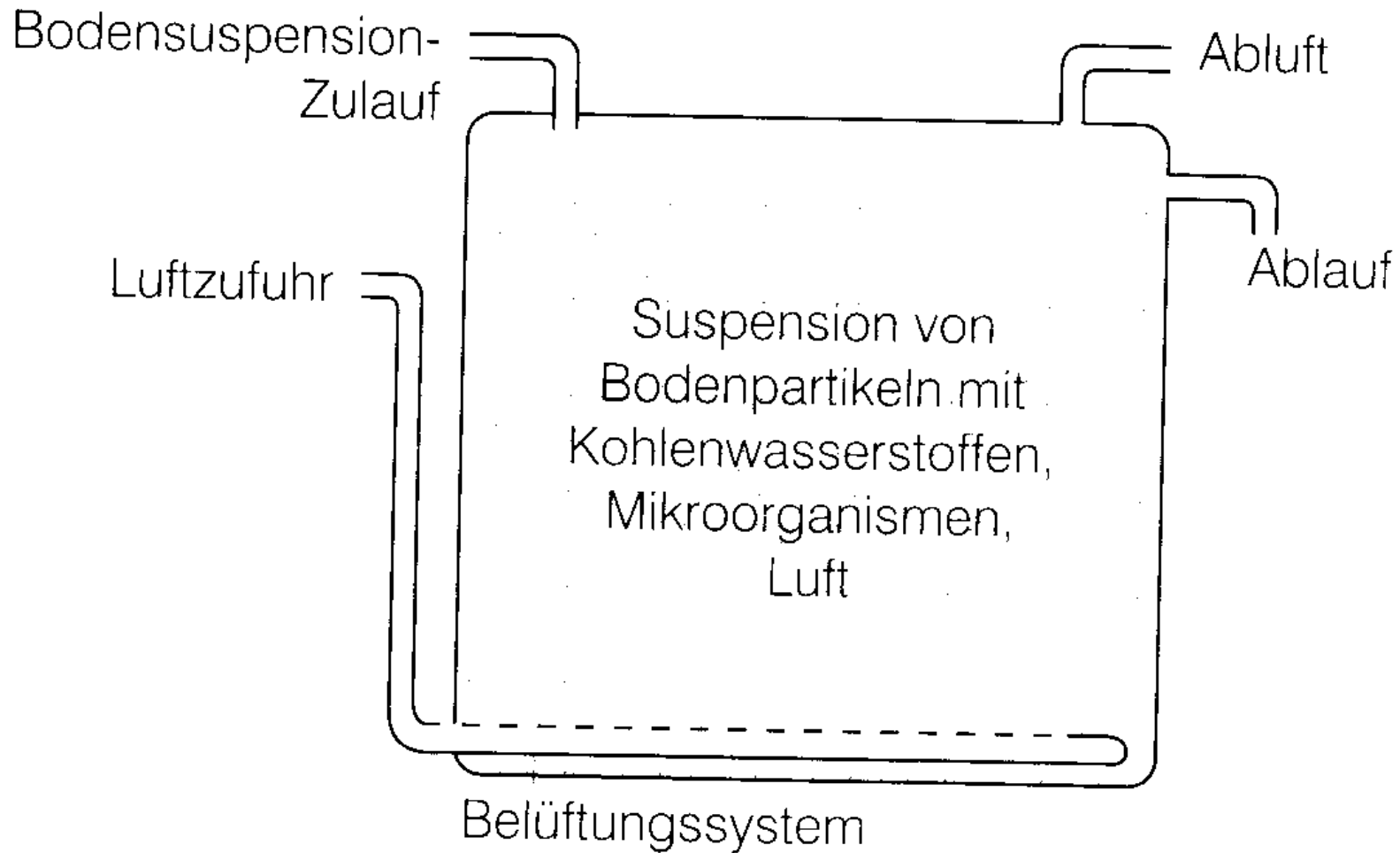


**szénforrás és anaerob  
mikroorganizmusok beadagolása**



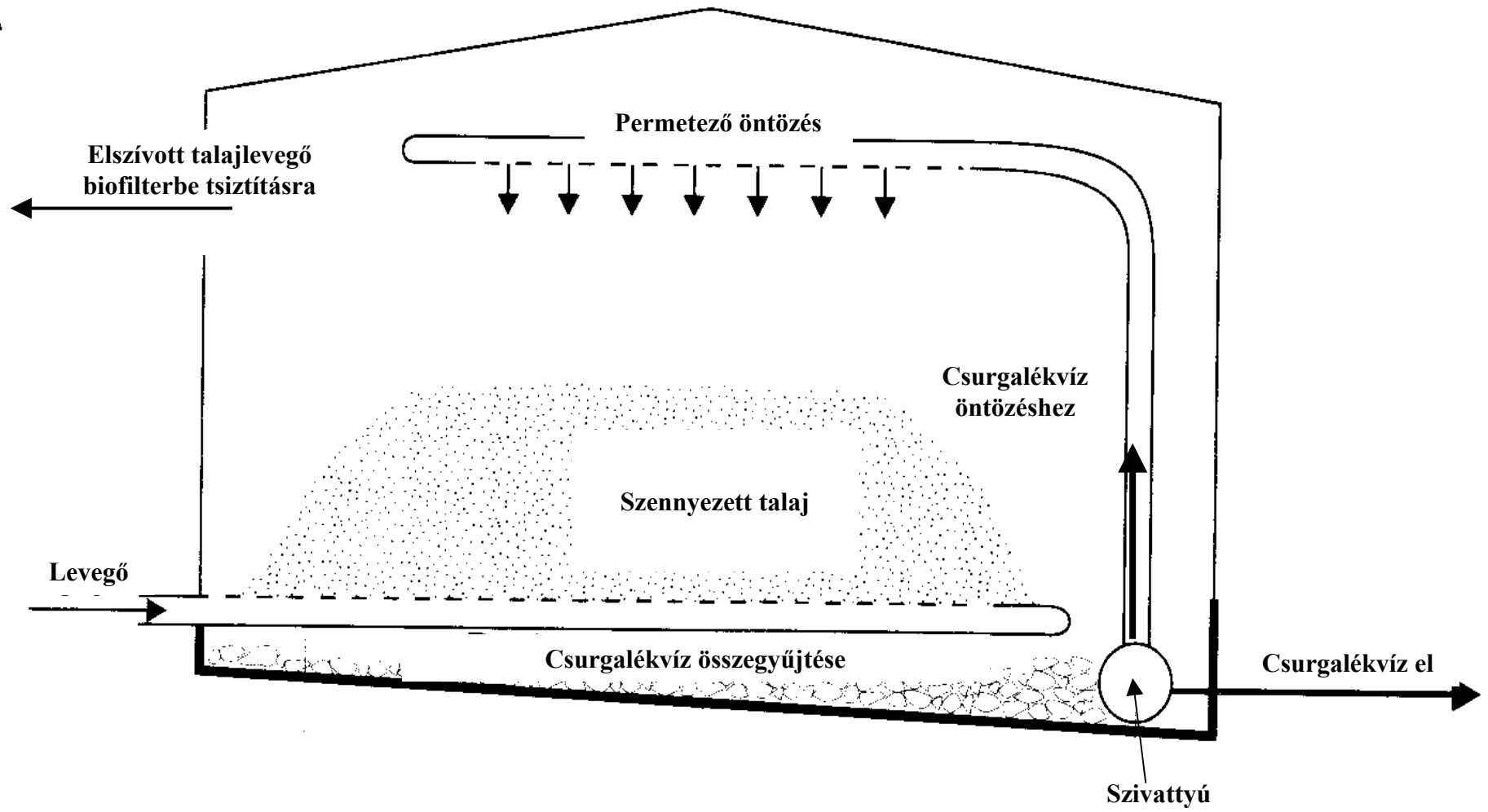
**Dinoseb-bel  
szennyezett talaj**

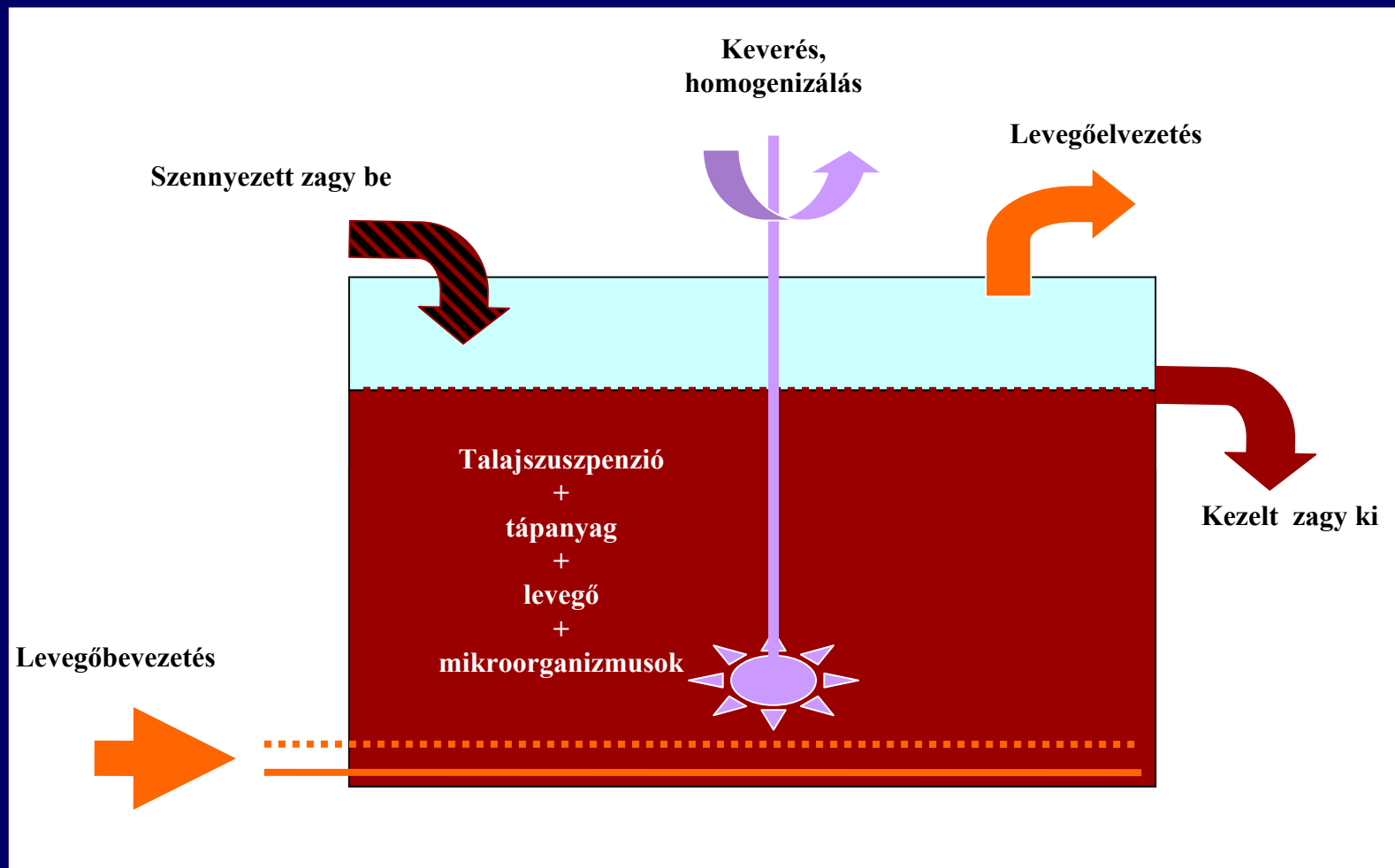
**Anaerob biológiai talajkezelés iszapfázisban**



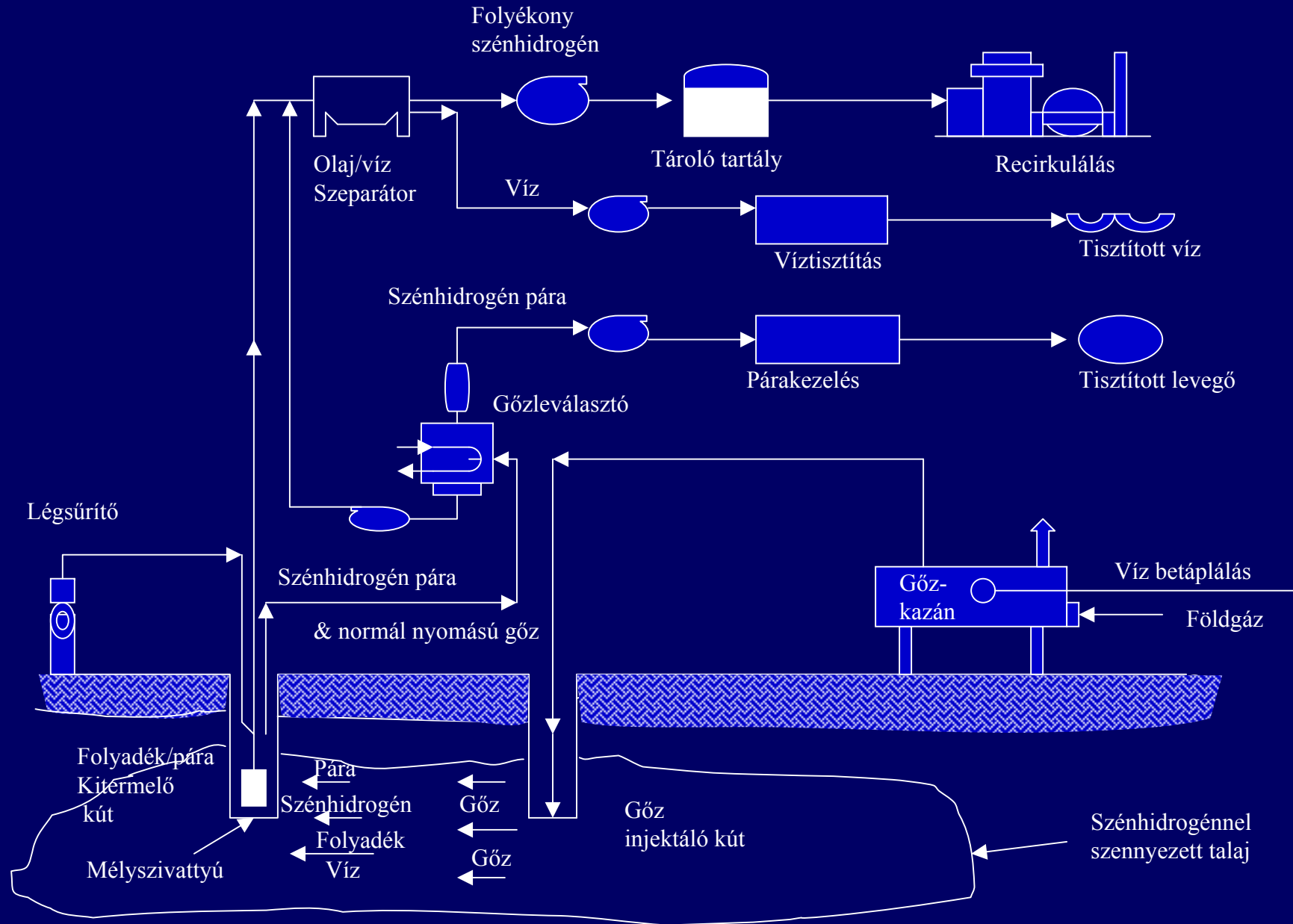
**Suspensions-Bioreaktor  
(Slurry-Reaktor)**

A



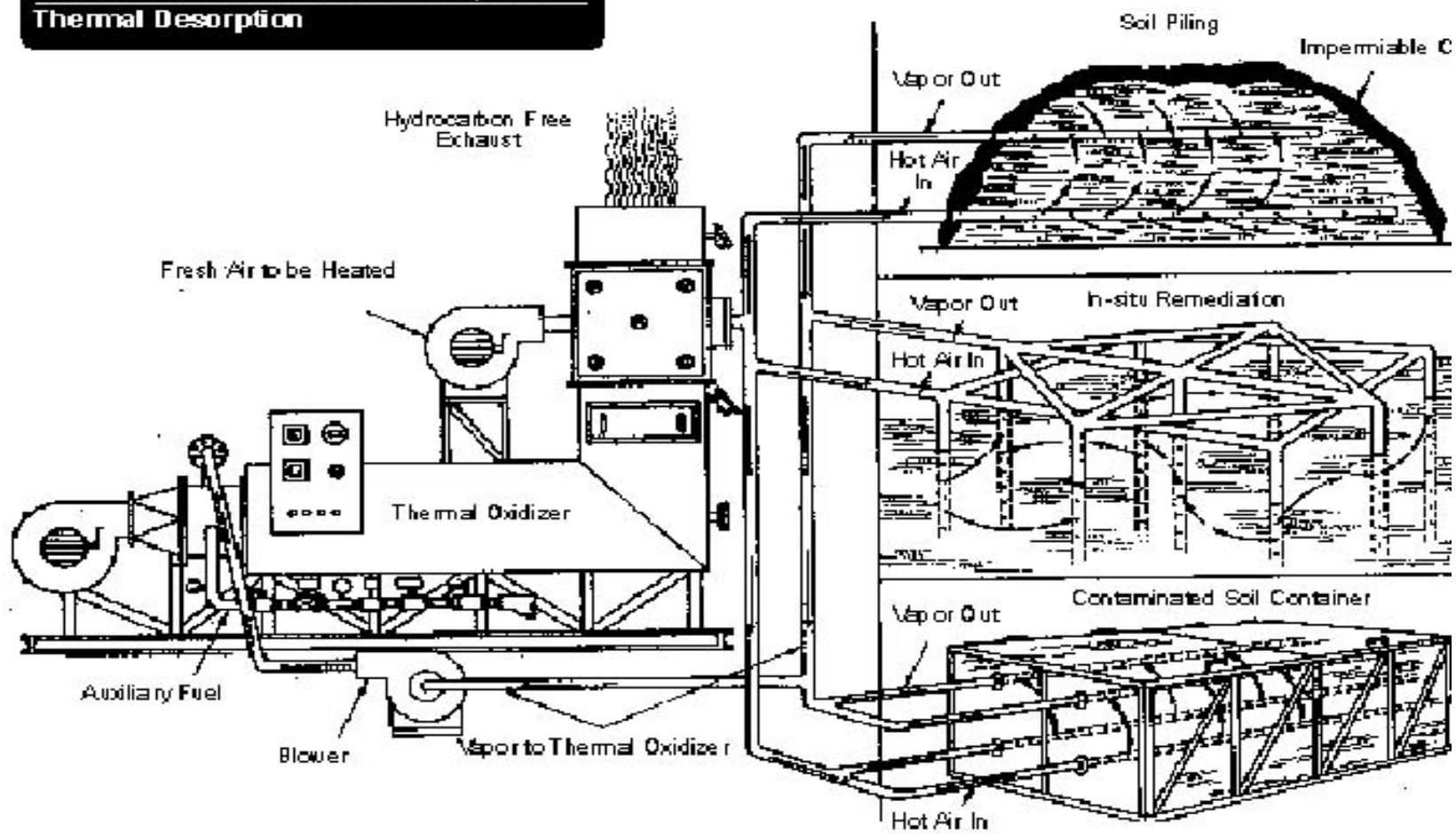


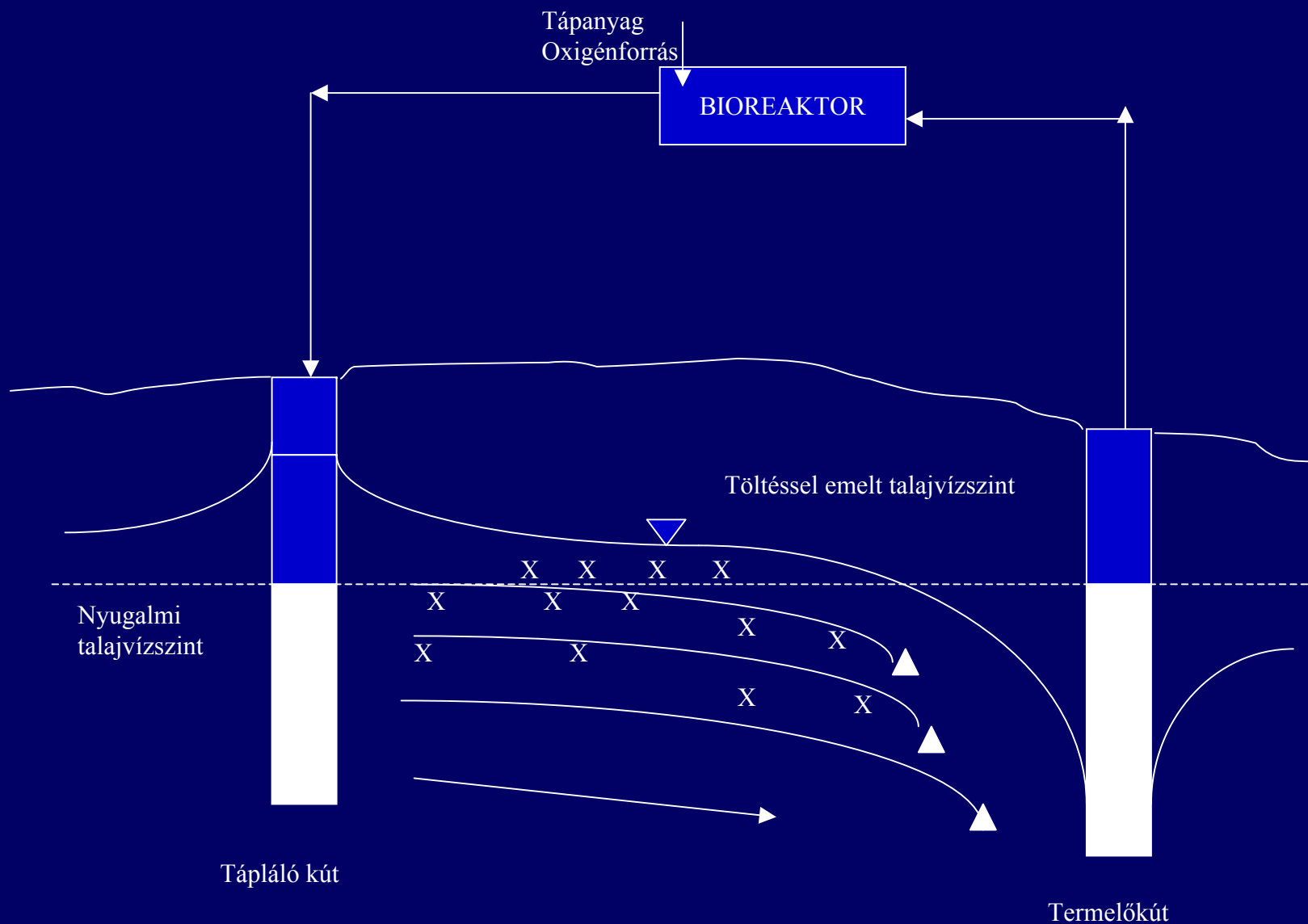
# TALAJPÁRA KITERMELES





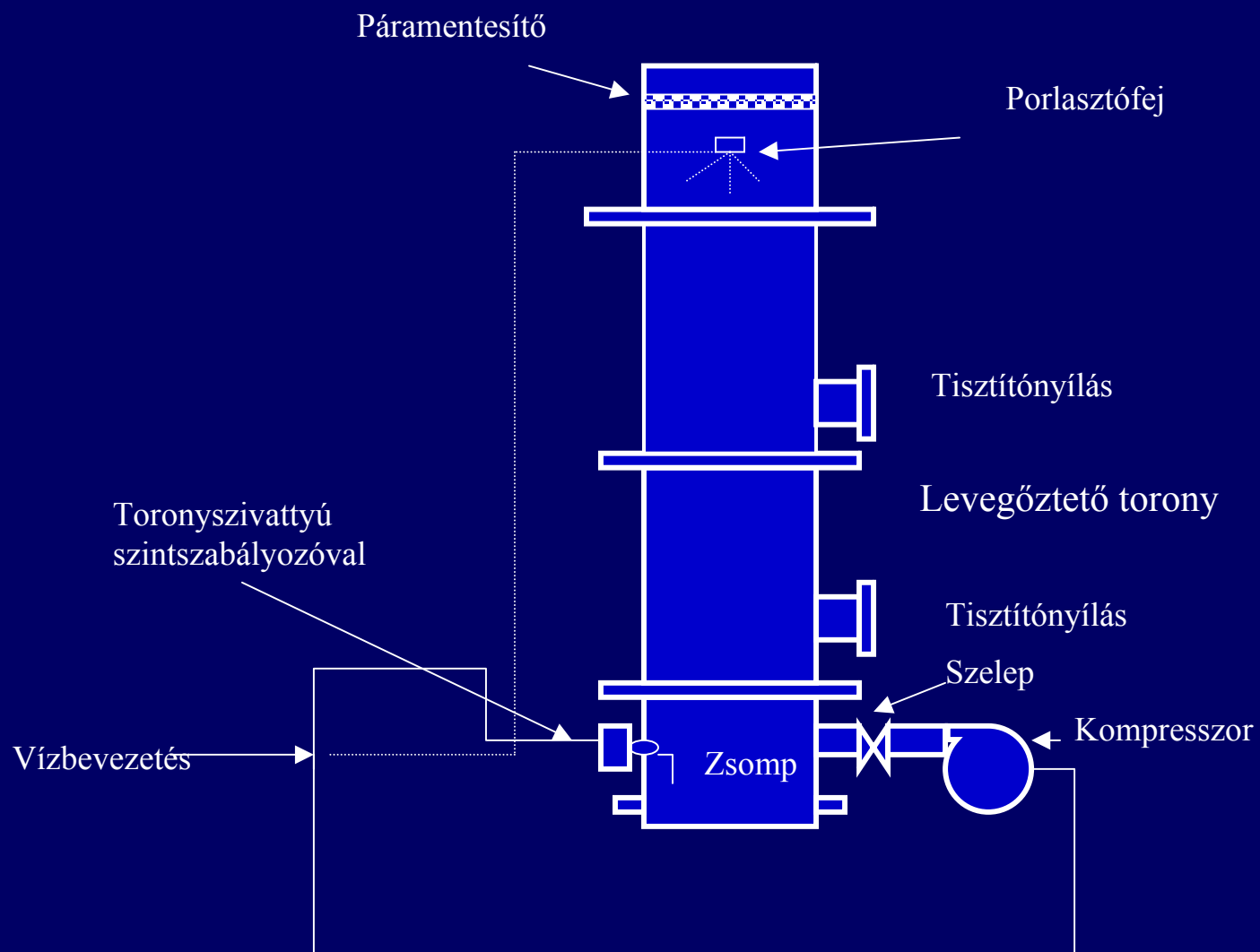
**Hrubetz Environmental Services, Inc.**  
**Thermal Desorption**



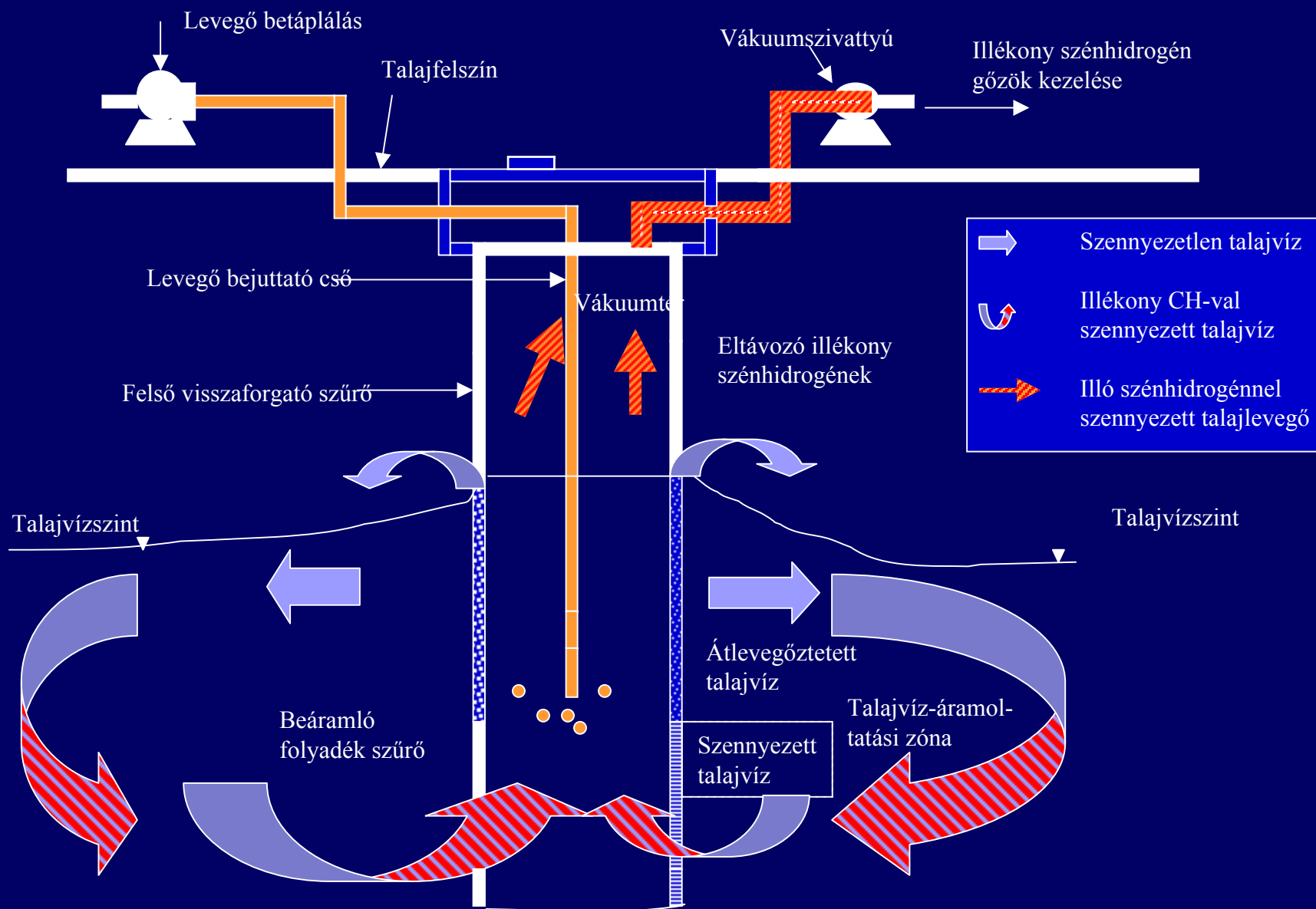


# IN SITU BIOLÓGIAI KEZELÉS

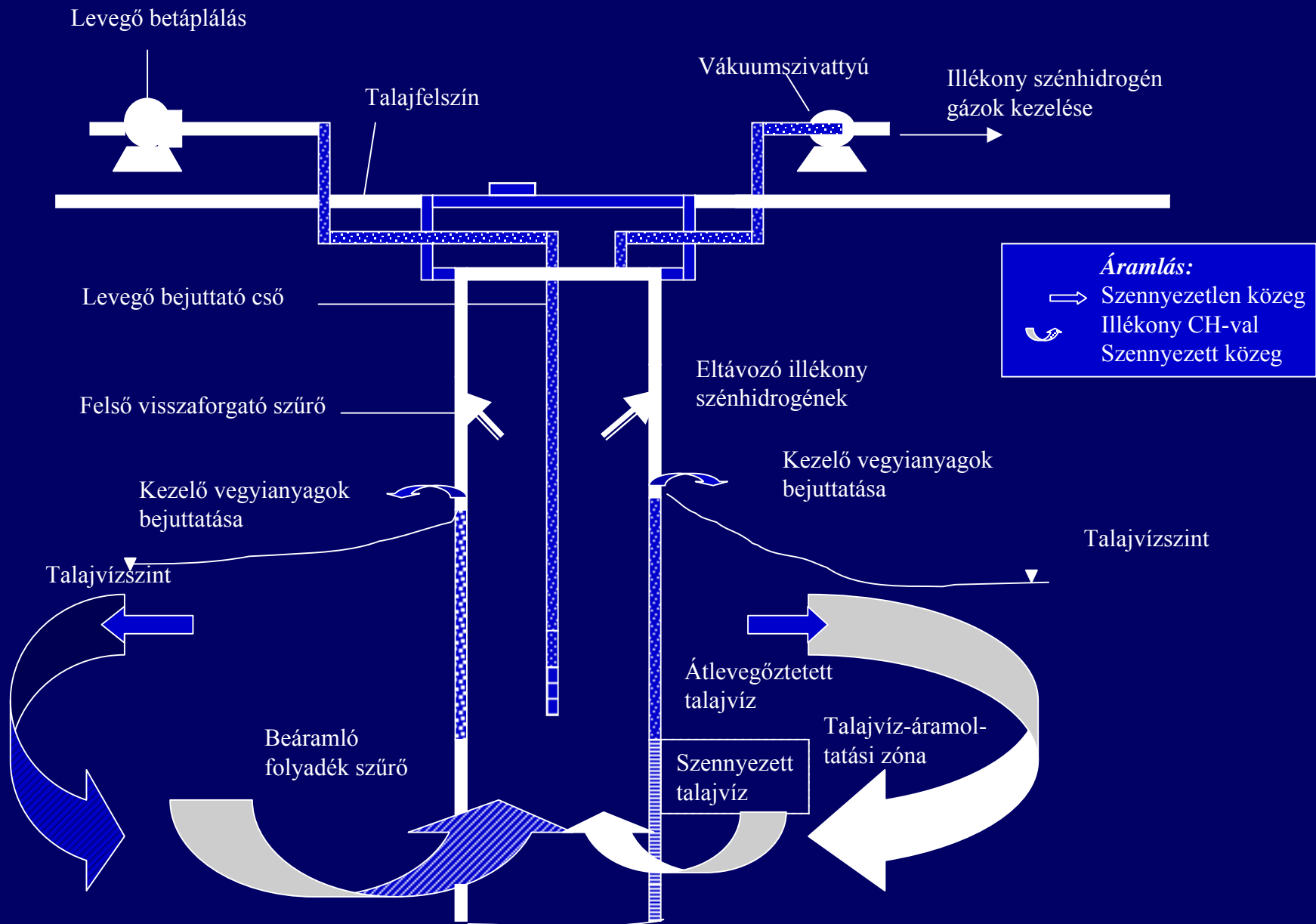
# FOLYADÉK LEVEGŐZTETÉS ( AIR STRIPPING)



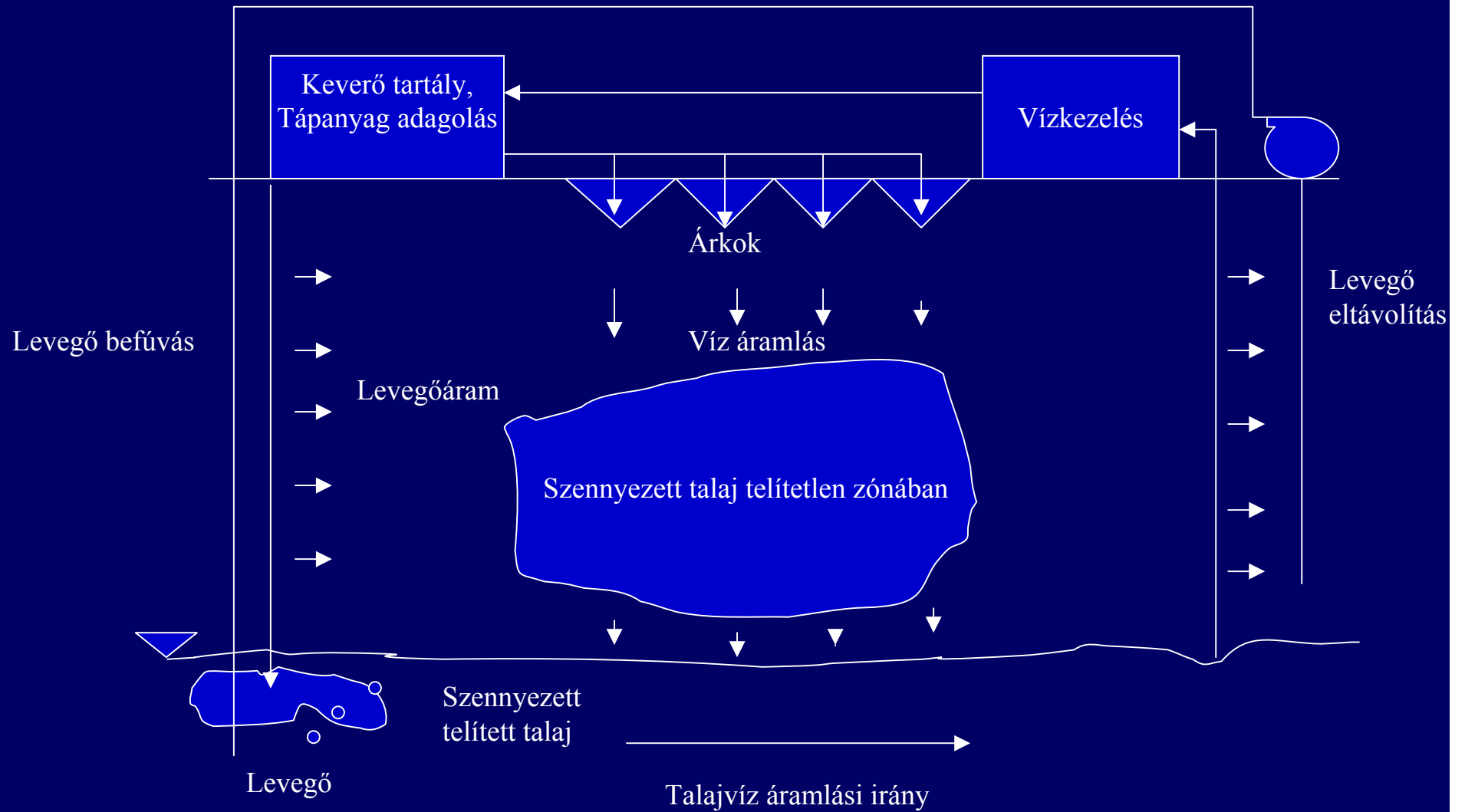
# Talajpára sztrippelése injektáló-kitermelő kúttal



# Talajpára sztrippelése injektáló-kitermelő kúttal



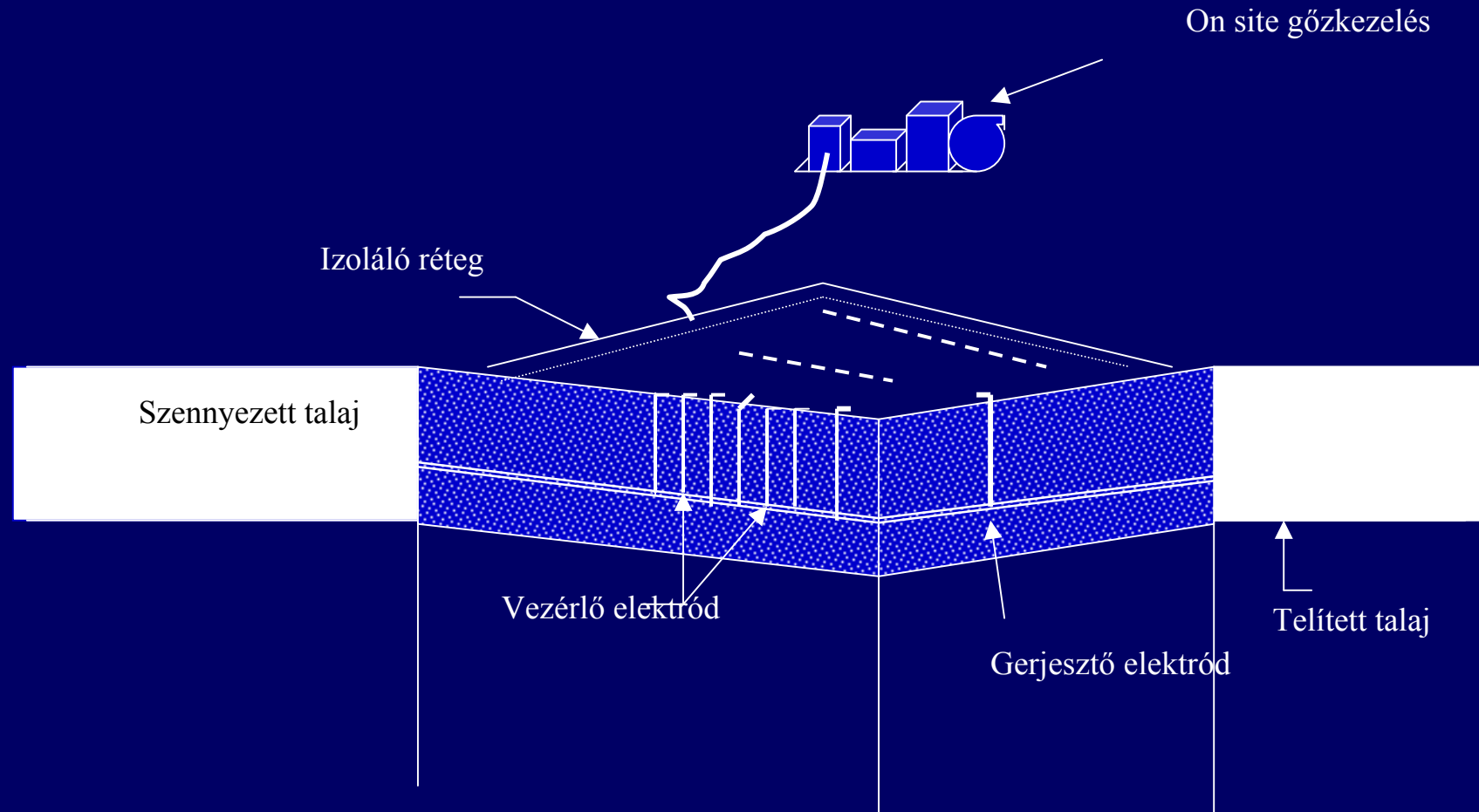
# In situ remediációs technológiák összefoglalása



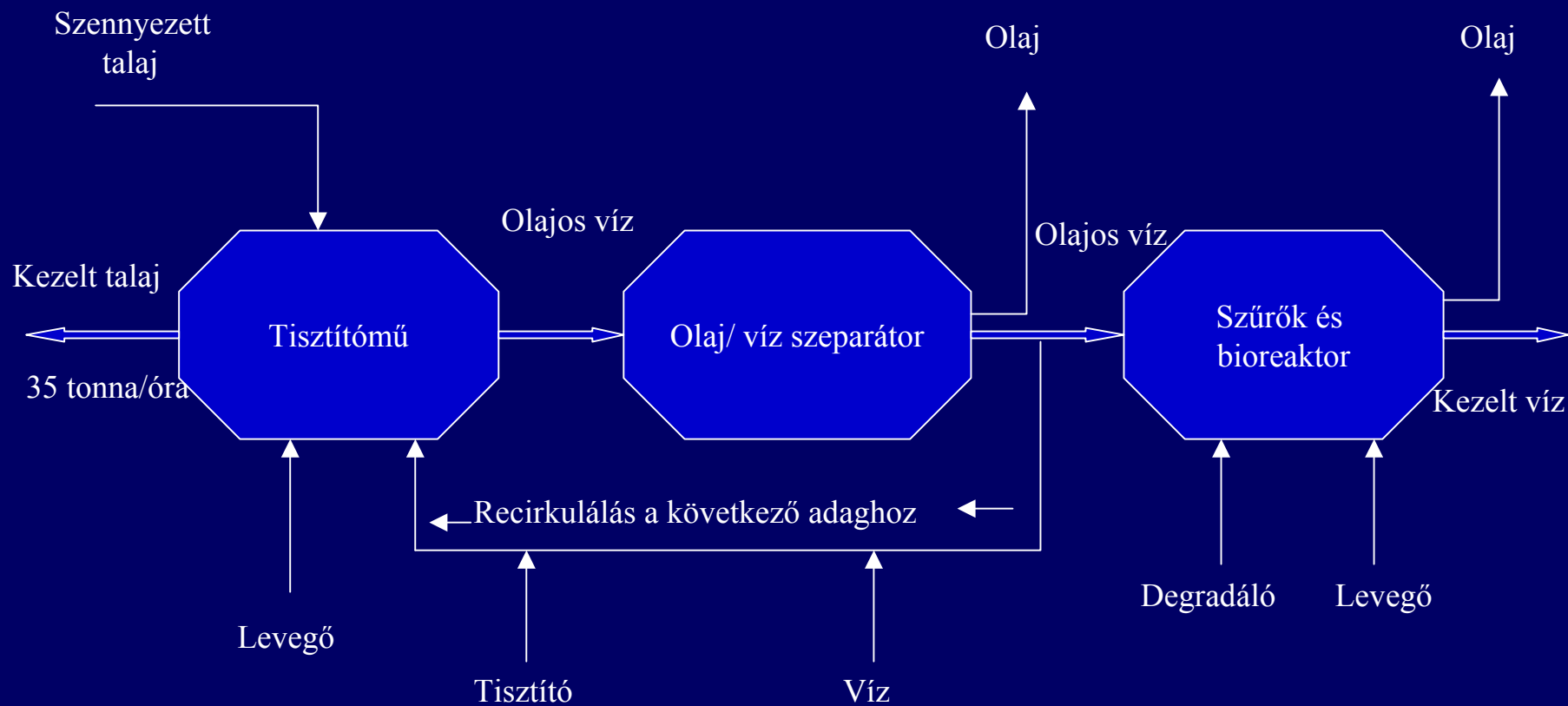


**In situ biodegradációs eljárás talajra ex situ talajvízkezeléssel kombinálva**

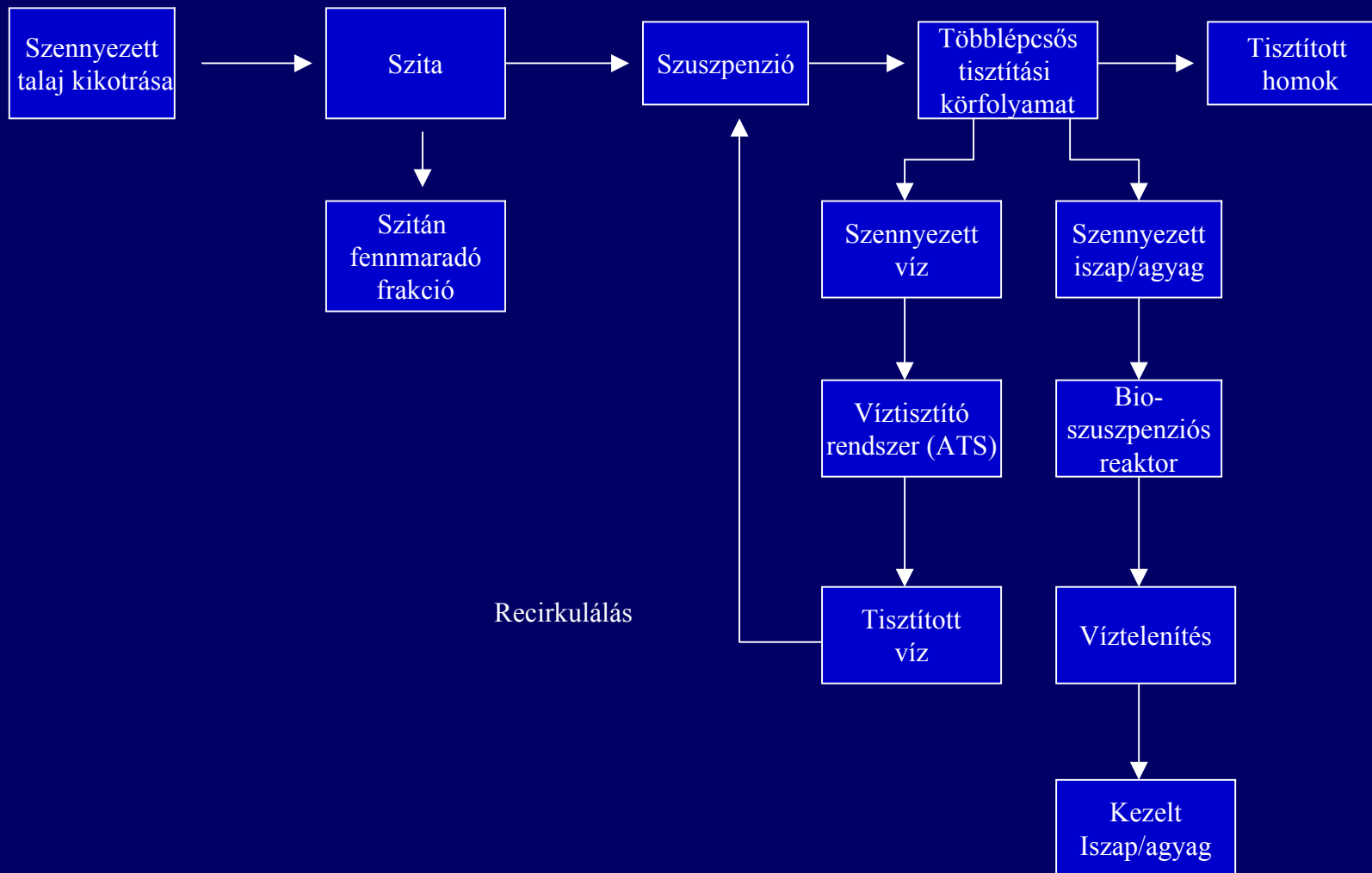
# Radiofrekvenciás in situ talajmelegítés



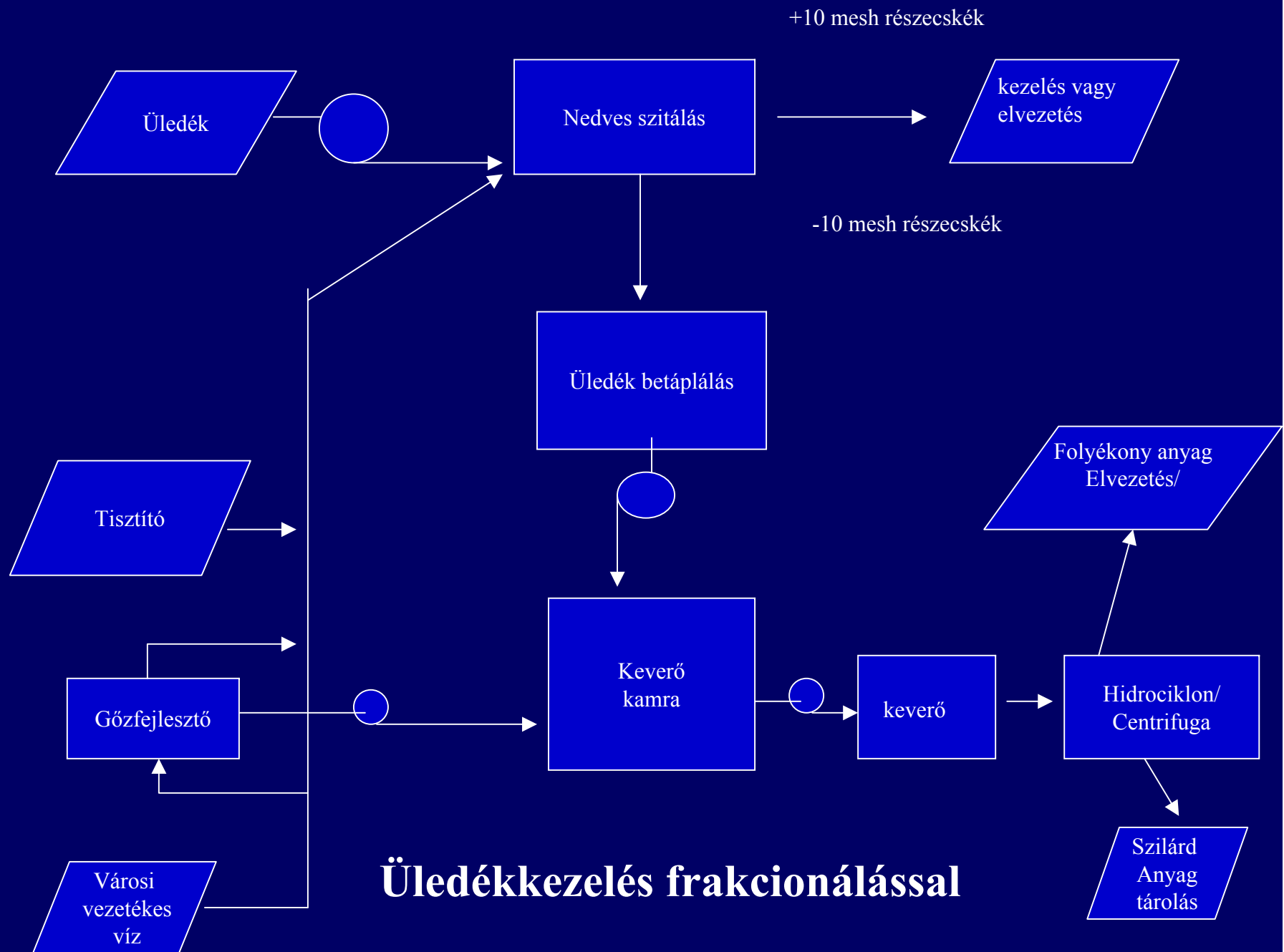




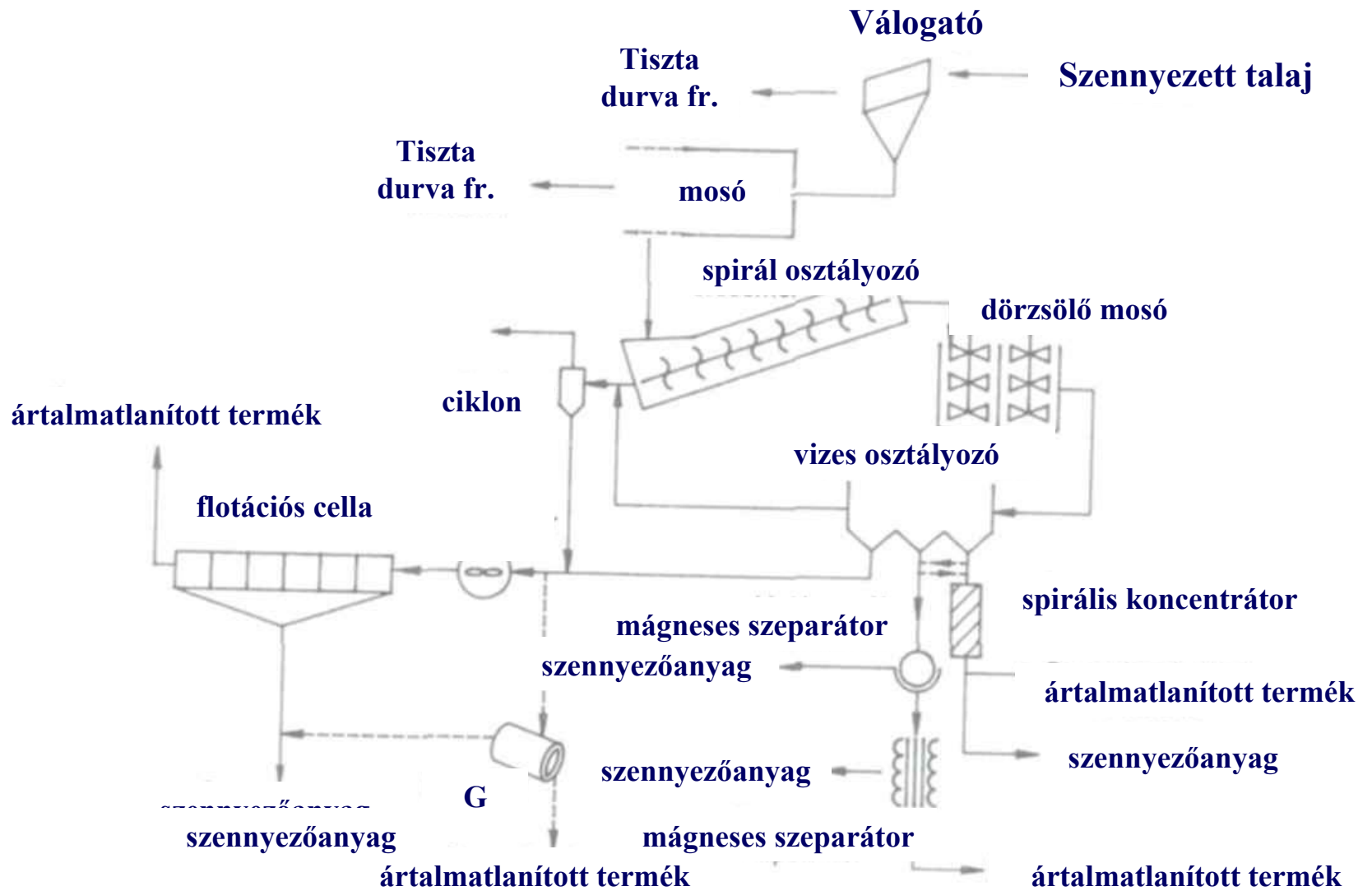
Talajmosási folyamat



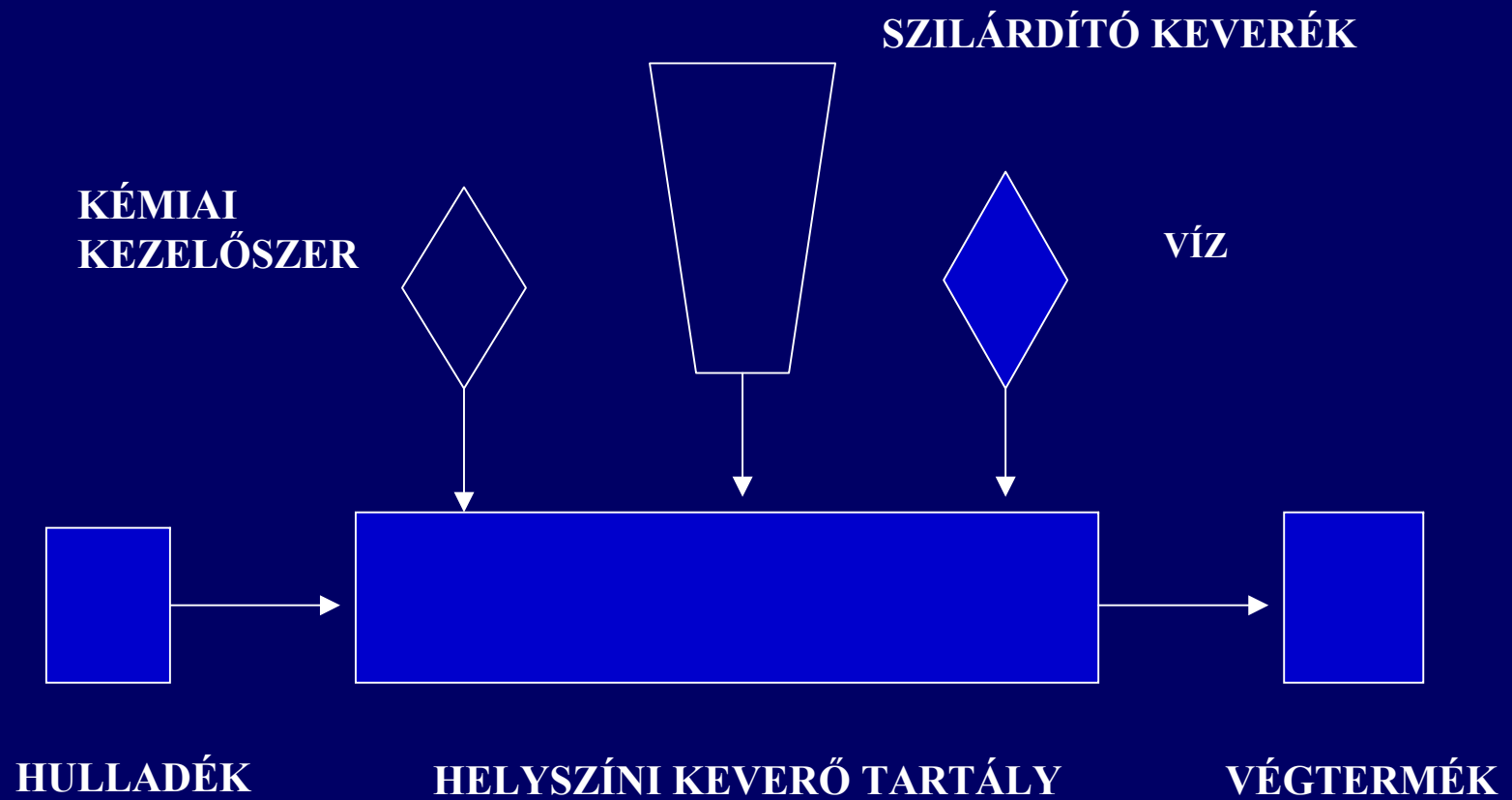
### Egyszerű talajmosás



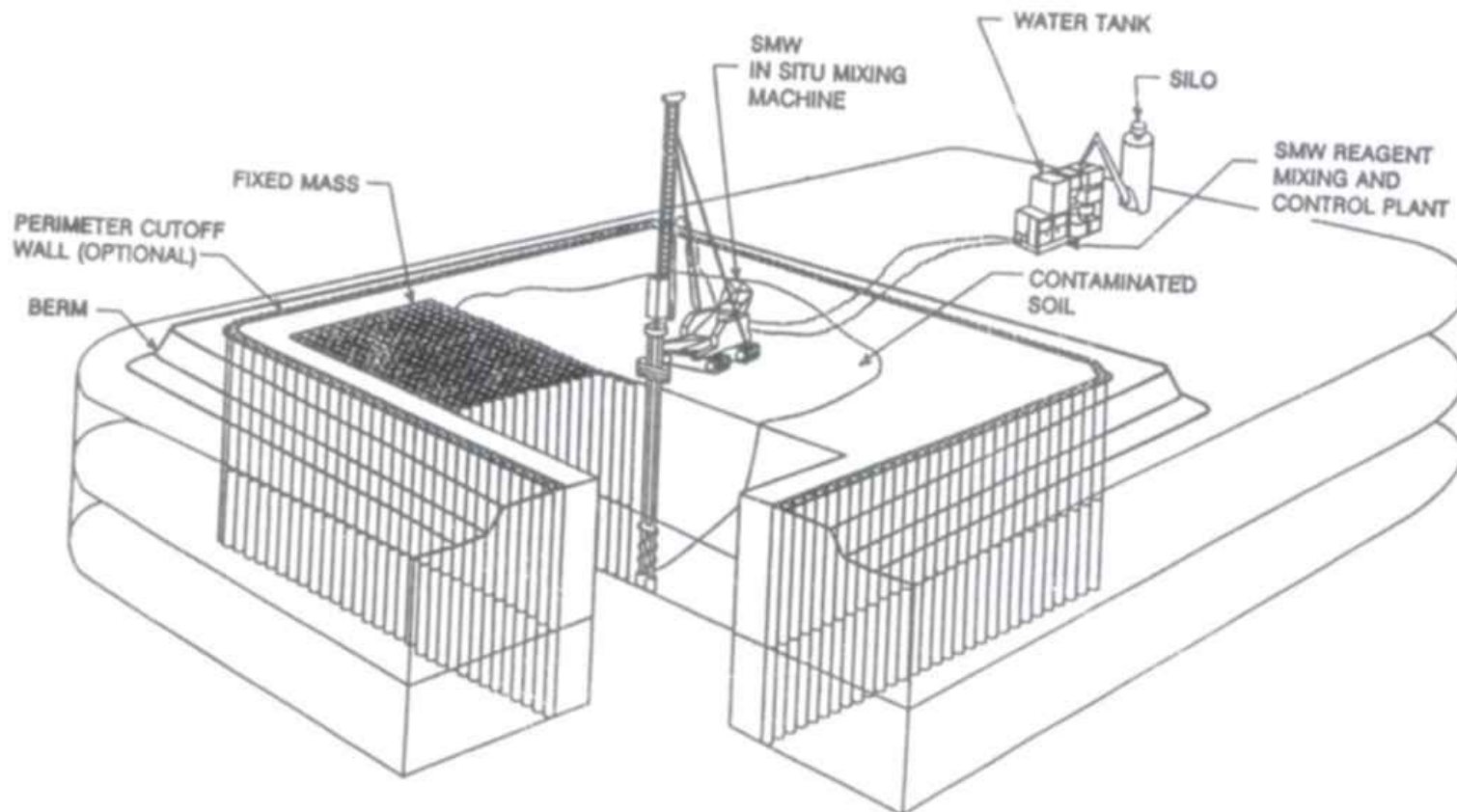
## Üledékkezelés frakcionálással



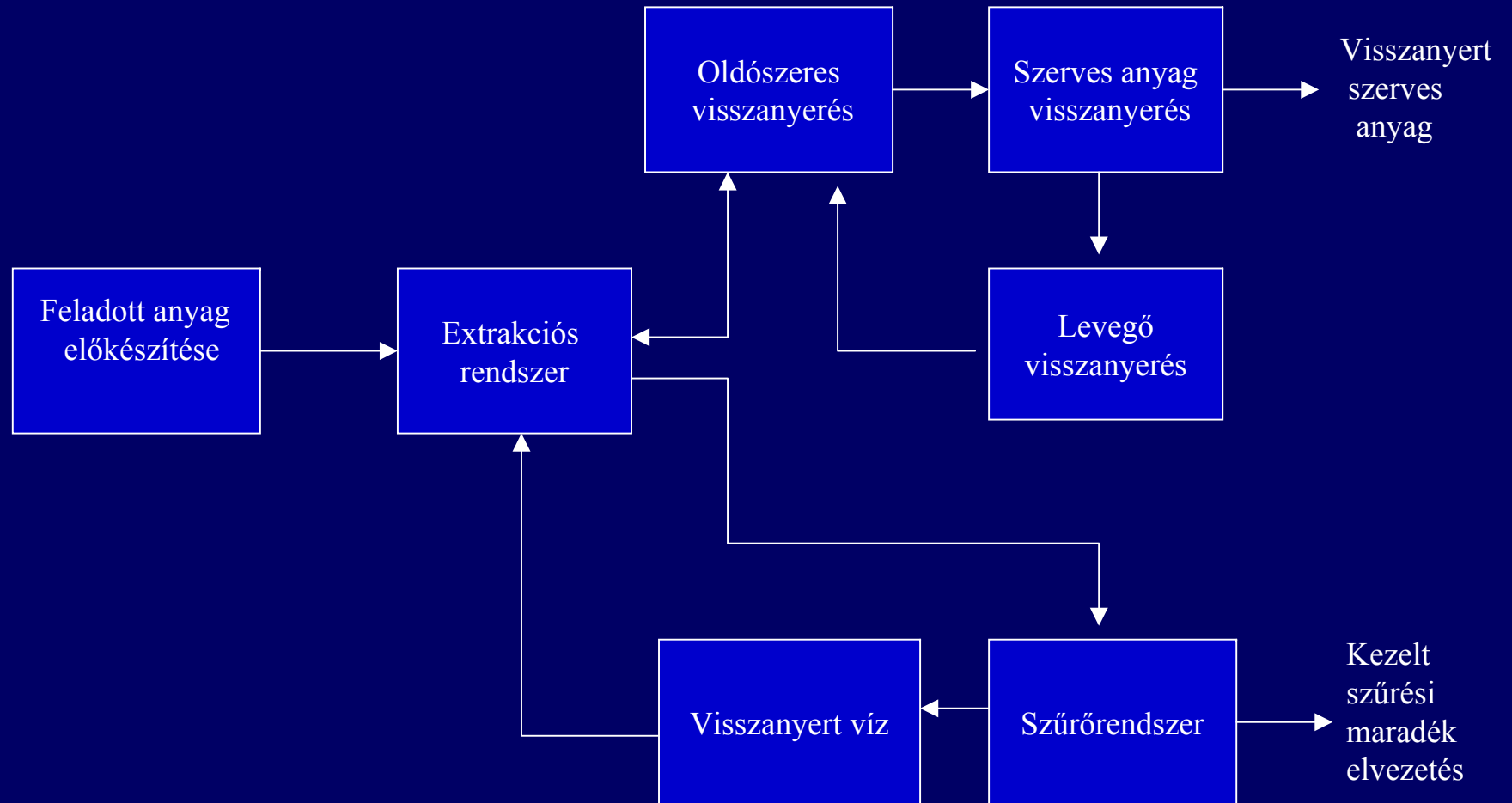
## Talaj komplex fizikai-kémiai kezelése



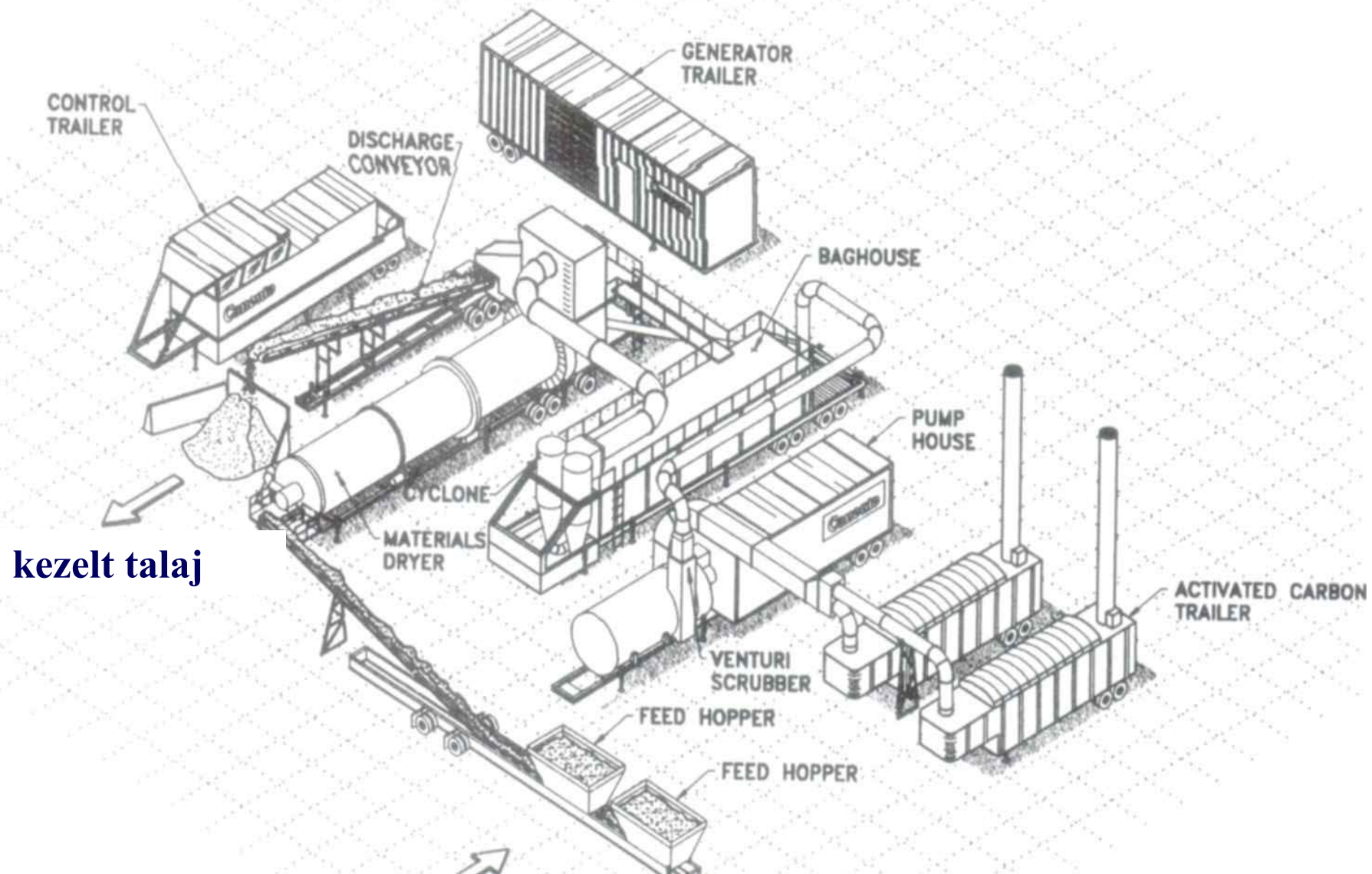
***HULLADÉKKEZELÉS KLÓRTALANÍTÁSSAL  
ÉS IMMOBILIZÁCIÓVAL (tömbösítés)***



**In situ szilárdítás**



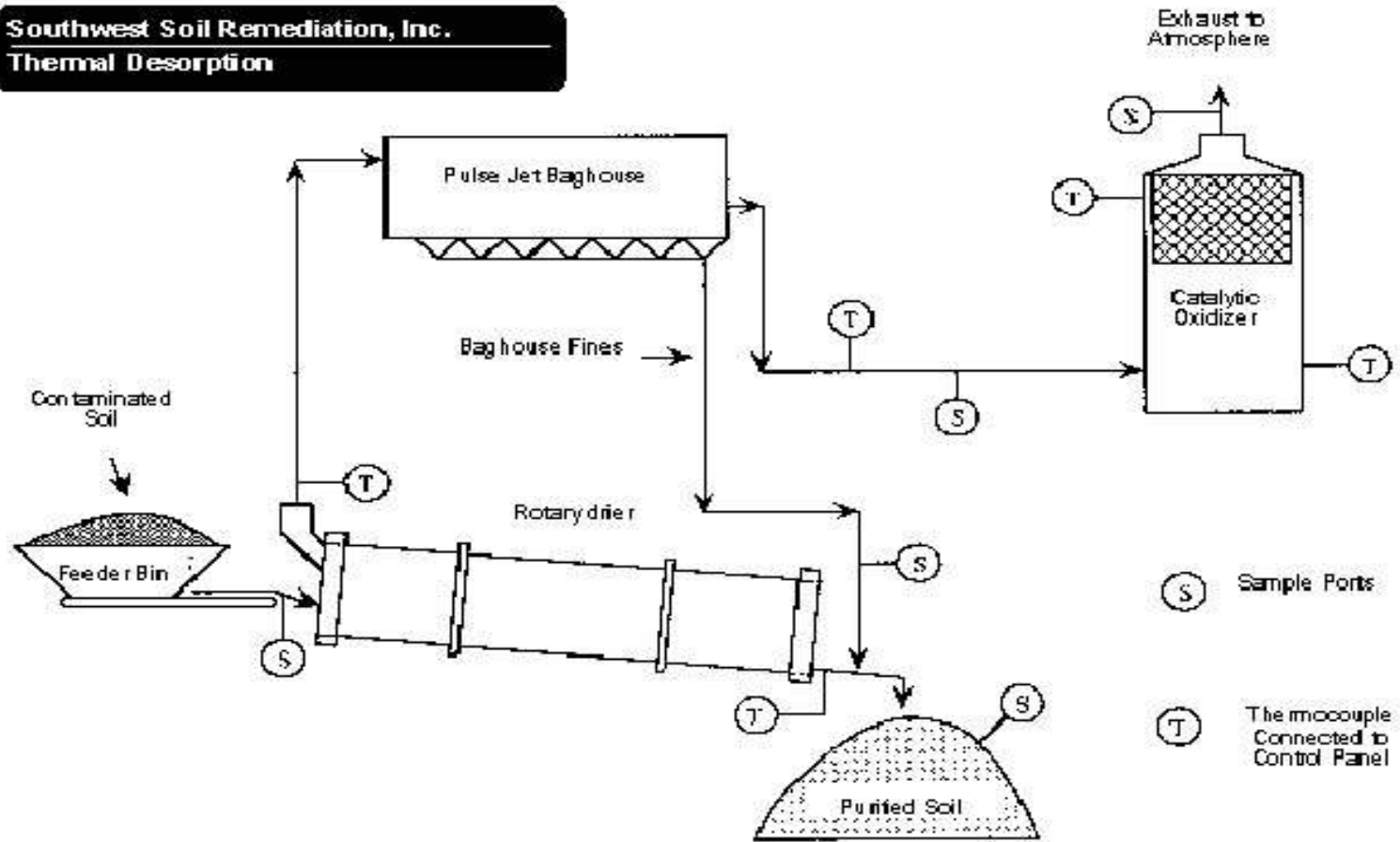
## *Oldószeres extrakció*



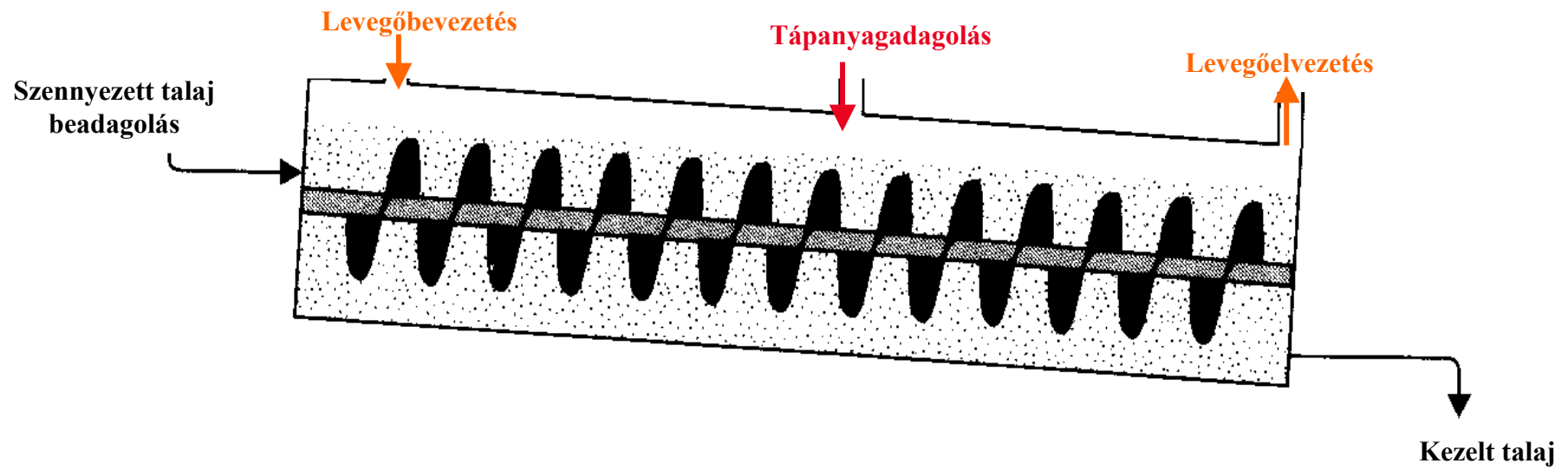
## Termikus deszorpció



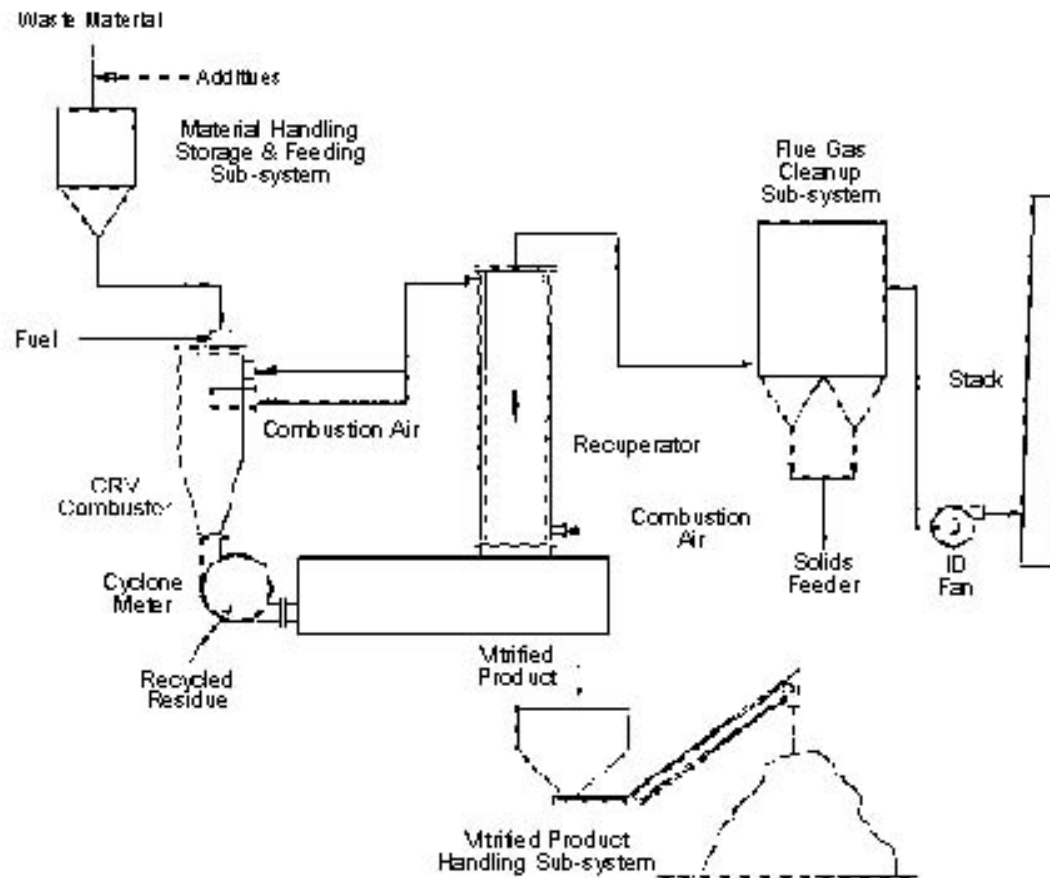
**Southwest Soil Remediation, Inc.**  
**Thermal Desorption**



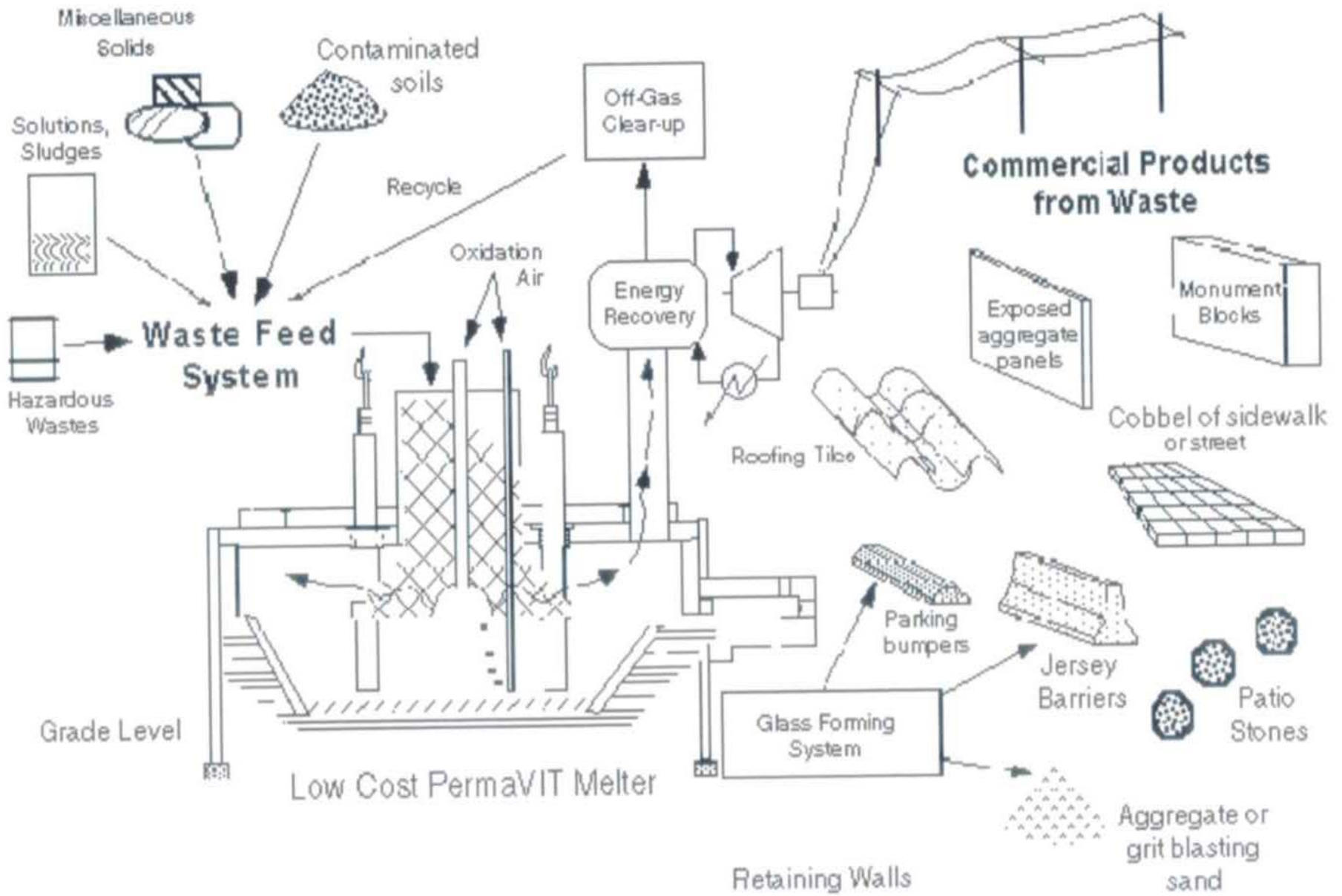
(S) Sample Ports  
 (T) The thermocouple Connected to Control Panel



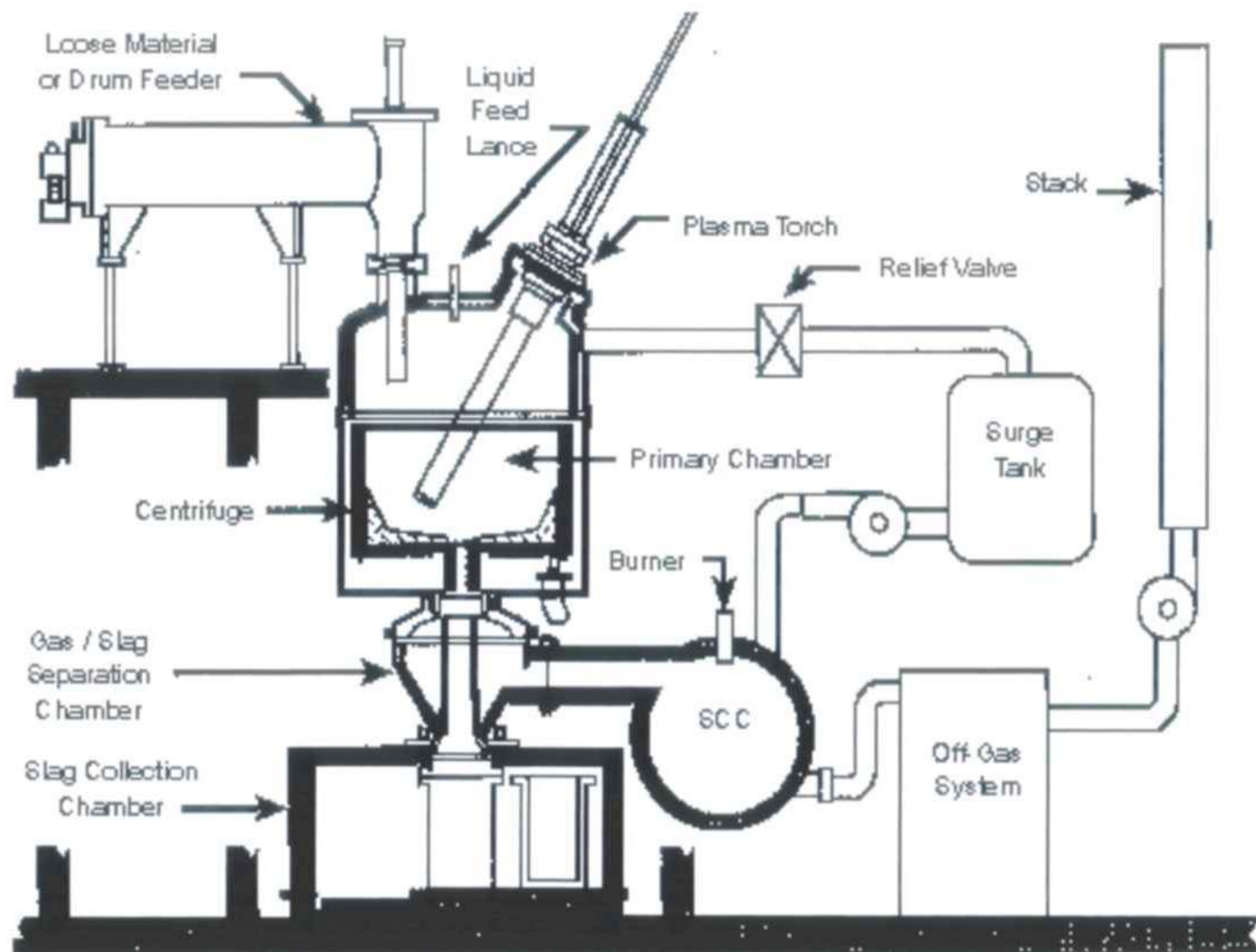
**Vortec Corporation**  
**Vitrification**



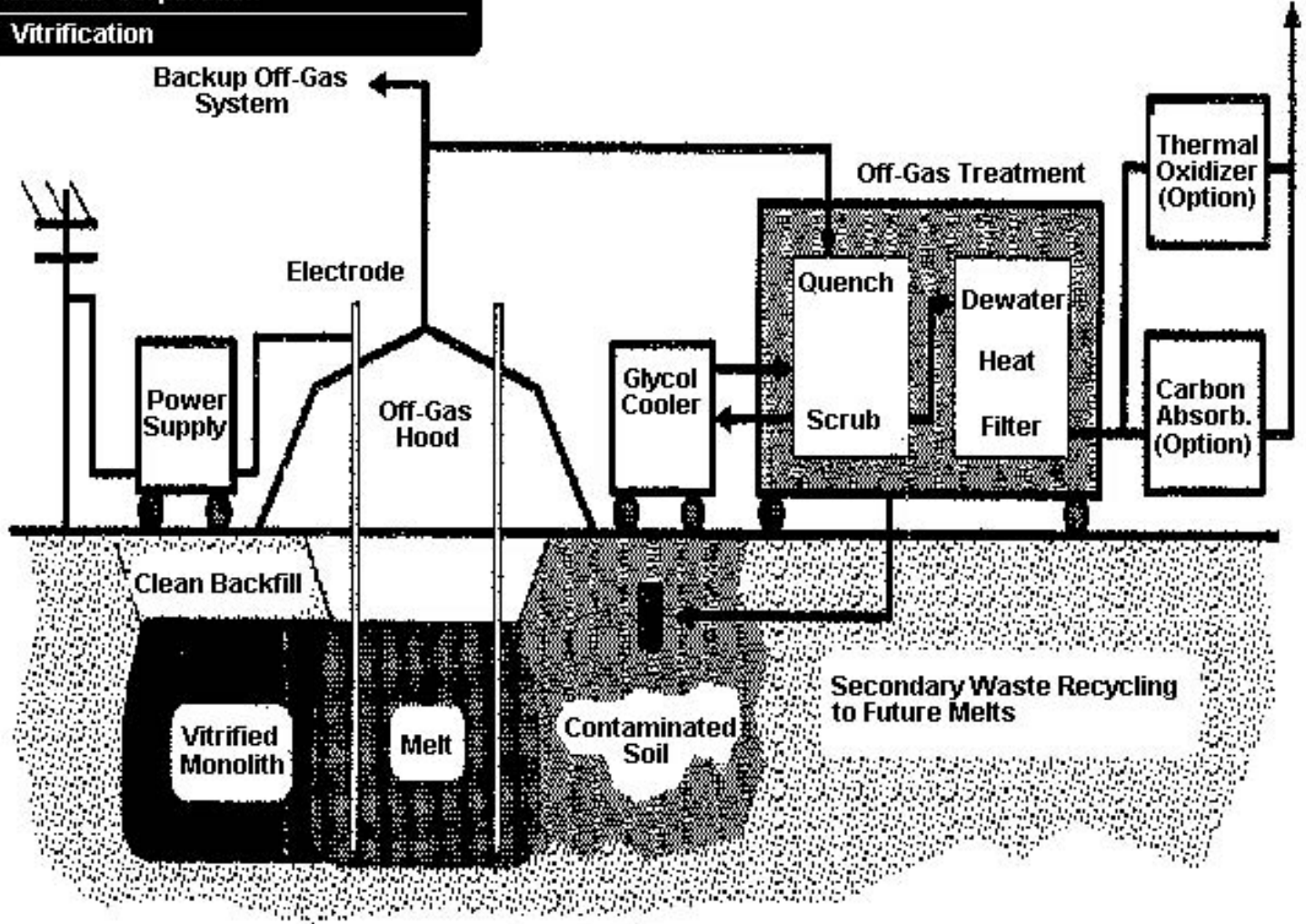
**VIT, Inc.**  
**Vitrification**

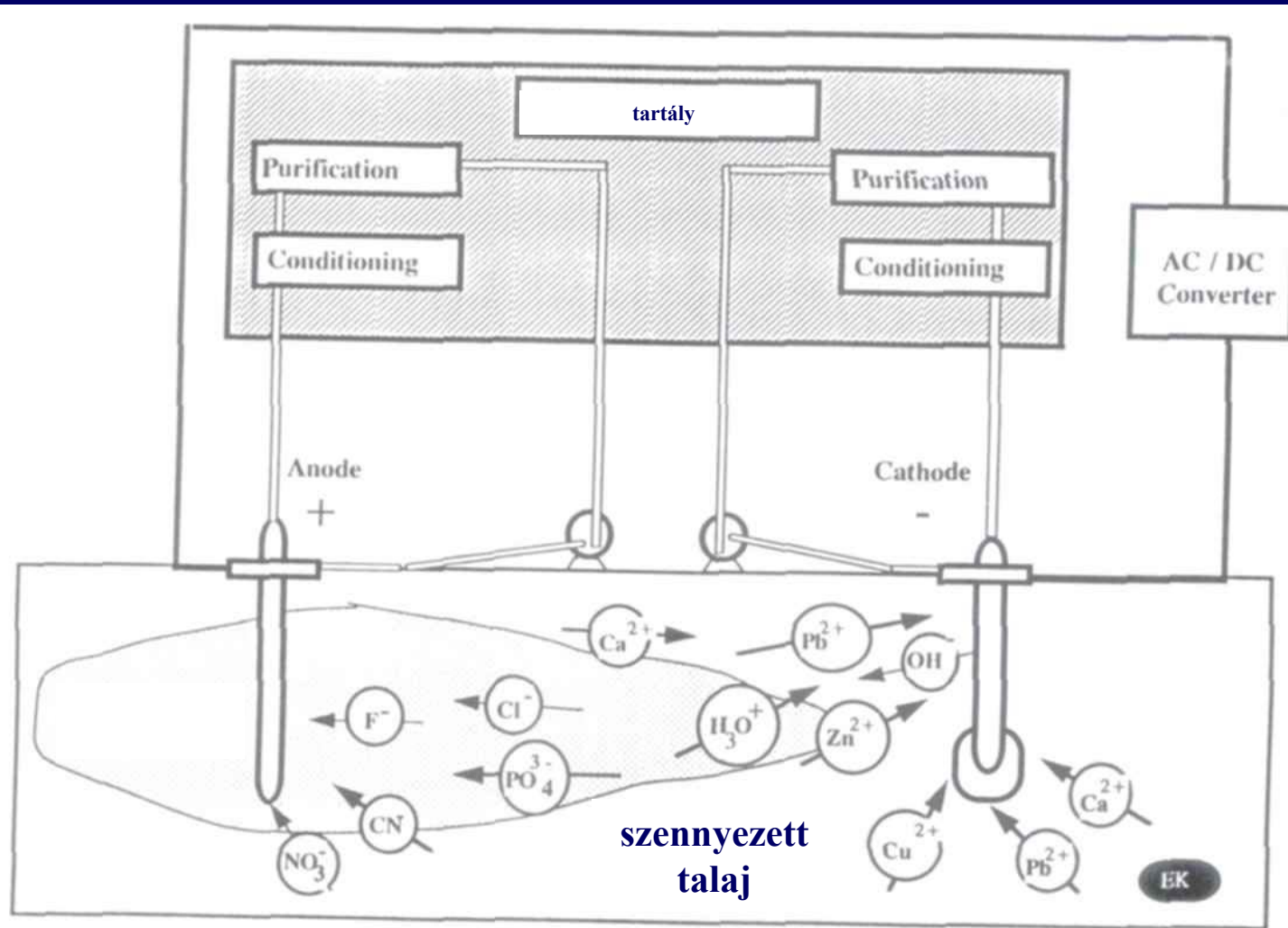


**Retech, Div. of Lockheed Eng. Sys. & Tech.**  
**Vitrification**



**Geosafe Corporation**  
**Vitrification**





**Elektrokinetikus remediáció**

# **A döntés meghozatalakor figyelembe veendő szempontok:**

- 1. A szennyezőanyag fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai, veszélyessége**
- 2. A szennyezett környezeti elem és fázis tulajdonságai, vagyis a matrix**
- 3. A területhasználat, beleértve a jelenlegi és a jövőbeni területhasználatot, esetleg a remediáció alatti, ezektől eltérő területhasználatot és a területhasználathoz tartozó remediációs célérték. A terület pénzben kifejezhető értéke is döntő lehet.**
- 4. A technológia hatékonysága (anyagmérleg)**
- 5. A technológia bonyolultsága, rendelkezésre állása**
- 6. A kezelés várható (szükséges) időtartama**
- 7. A technológia saját kockázatai (lokális, regionális, globális)**
- 8. A technológia beruházási és üzemeltetési költsége**
- 9. A remediáció hasznai**



## Szennyezőanyagtól függő döntési szempontok:

*Milyen módon mobilizálható:*

- **Illékony:** elpárologtatás
- **Szorbeálódó:** deszorpció felé eltolás
- **Vízoldékony:** vizes extrakció
- **Biodegradálható:** bioremediáció
- **Fényérzékeny:** fotodegradáció, stb.

*Milyen módon immobilizálható:*

- **Ez elsősorban a szennyezőanyag fizikai állapotától függ**
- **Részecske:** fizikai stabilizálás, tömbösítés
- **Szorbeált:** ad/abszorpció felé eltolás külső körülmények, pl. pH, redoxpotenciál segítségével
- **Reaktív:** kémiai reakcióval az immobilis forma felé
- **Biológialag immobilizálható:** bioakkumuláción vagy bioszorpción alapuló technológiák, pl. bioszűrés, rhizofiltráció, stb.

# Mátrixtól és fázistól is függő döntési szempontok

1. Mely környezeti elem, mely fázisai szennyezettek, melyeket kell kezelni
2. Az egyes szennyezett fázisok milyen módon kötik a szennyezőanyagot
3. Milyen kölcsönhatások vannak az egyes fázisok, a biota és a szennyezőanyag között
4. A kezelendő környezeti elemek és fázisok hozzáférhetősége, elhelyezkedése, hidrogeológiai viszonyok
5. A kezelendő környezeti elemek és fázisok érzékenysége
6. A fizikai, kémiai vagy biológiai módszer választásáról szóló döntés attól is függ, hogy *in situ* vagy *ex situ* kezelés lesz-e. *Ex situ* vízkezelésnél például a fizikai, kémiai vagy biológia eljárások azonos jogú alternatívák lesznek.
7. *In situ* talajkezelésnél biológiai eljárás preferált, a környezeti kockázat és a talaj jövőbeni használata miatt, az ökoszisztéma megóvása érdekében.

## **In situ vagy ex situ**

- 1. Nagyság, kiterjedés: nagy kiterjedés az *in situ* felé tolja a döntés mérlegének nyelvét**
- 2. Terjedés, toxicitás, veszélyesség: ennek nagy volta az *ex situ* felé tolja a döntésünket**
- 3. Szennyezett elemek és fázisok: víz, levegő: *ex situ*, talaj: *in situ***
- 4. Terület jövőbeni használata: pl. lesz-e építkezés, megbolygatják-e a terület felszínét. Ha igen, *ex situ*. Természetvédelmi terület és nem várható területhasználat változás: *in situ*. A kettő között folyamatos átmenet szerinti döntés.**
- 5. A beavatkozás sürgőssége: sürgős: *ex situ* felé, nem sürgős: *in situ* felé tolja.**
- 6. Kapcsolható és kapcsolandó technológiák: pl. megelőzésre: résfal: aktív résfal: kezelés + megelőzés, szivattyúzás: *ex situ* vízkezelés + vízzel tovaterjedése**

# Költségek és hasznok

## Miből tevődik össze a remediáció költsége?

- Előkészítés, felmérés, tervezés költségei.
- A berendezés létrehozásának, telepítésének vagy bérlésének ára.
- Az alkalmazandó technológia paraméterei és a rendelkezésre álló idő egyértelműen megszabják a technológia működtetési költségeit.
- Az alkalmazandó technológia saját kockázatának csökkentése
- A költségek nagyrészt képezheti a technológia monitoring és az utómonitoring.

## Miből adódnak a hasznok?

- A szennyezettség megszűnéséből adódó értéknövekedés.
- A remediáció során megengedett területhasználat.
- A remediáció utáni értékesebb területhasználat.
- A szennyezőanyag hasznosítása.
- Pénzben kifejezhető szociális, egészségügyi és életminőségbeli hasznok.
- Pénzben ki nem fejezhető szociális, egészségügyi és életminőségbeli hasznok.

**1. Régi-e a szennyezettség?**

**Igen** 2 **Nem** 16/17

**2. Monitorozott-e a terület**

**Igen** 2a **Nem** 14

**2a. Azonosított(ak)-e a szennyezőanyag(ok)**

**Igen** 2b **Nem** 13

**2b. Azonosítottak-e a szennyezett környezeti elemek**

**Igen** 2c **Nem** 13

**2c. Azonosítottak-e a szennyezett fázisok**

**Igen** 3 **Nem** 13

**3. Azonosítható-e természetes szennyezőanyag-csökkenési folyamat a területen?**

**Igen** 4 **Nem** 14

**4. Kockázatot csökkentő folyamat-e?**

**Igen** 4a **Nem** 5

**4a. Mobilizációs folyamat zajlik-e a területen?**

**Igen** 4b **Nem** 4c

**4b. Biodegradáció folyik-e a területen?**

**Igen** 6 **Nem** 6/4c

**4c. Immobilizációs folyamat zajlik-e a területen?**

**Igen** 6 **Nem** 14

**5. Kockázatot növelő-e?**

**Igen** 17 **Nem** 16

**5a. Mobilizációs folyamat zajlik-e a területen?**

**Igen** 5b **Nem** 5c

**5b. Biodegradáció folyik-e a területen?**

**Igen** 6 **Nem** 6/5c

**5c. Immobilizációs folyamat zajlik-e a területen?**

**Igen** 6 **Nem** 14

**6. Technológia alapját képezheti-e a folyamat?**

**Igen** 7 **Nem** 16/17

**7. A talaj kitermelése nélkül alkalmazható-e a technológia?**

**Igen** 10/11 **Nem** 8

**8. Talaj kitermelése és ex situ kezelése**

**Igen** 9 **Nem** 7

**9. A talaj szemcseméreteloszlása indokolja-e az előzetes frakcionálást?**

**Igen** 9a **Nem** 10/11

**9a. Szemcseméret szerinti frakcionálás után kapott frakció szennyezett-e**

**Igen** 10/11 **Nem** 18

## **10. Mobilizáción alapuló módszer alkalmazása**

### **10a. Mobilizáció a gáz/gőz vagy vízfázissal együtt**

**Gáz/gőzfázis eltávolítása és kezelése 12a**

**Folyadékfázis eltávolítása és kezelése**

**12b**

### **10b. Mobilizáció más fázisba átvitelrel**

**Gáz/gőzfázis eltávolítása talajvízből**

**sztrippelés**

**Gáz/gőzfázis eltávolítása szilárd fázisból**

**deszorpció**

**Szorbeált fázis átvitele folyadékfázisba**

**mosás, extrakció**

**Szorbeált fázis átvitele gőzfázisba**

**termikus deszorpció**

### **10c. Biológiai folyamatokon alapuló mobilizációs módszer alkalmazása**

**Bármilyen fázis eltávolítása bármely fázisból**

**biodegradációval**

**Szorbeált fázis átvitele folyadékfázisba**

**biológiai kioldás**

**Szorbeált fázis átvitele biológiai fázisba**

**fitoextrakció**

## **11. Immobilizáción alapuló módszer alkalmazása**

### **11a. Fizikai-kémiai immobilizáció**

**Fizikai stabilizáció**      **tömbösítés, diszperz stabilizálás**

**Kémiai stabilizáció**      **meszezés, oxidáció/redukció**

### **11b. Biológiai immobilizáció**

**Oldott fázisból szilárd fázisba**      **rizofiltráció, bioakkumuláció**

**Fizikai stabilizálás**      **fitostabilizáció**

## **12. Gőz/gázfázis és folyadékfázis ex situ kezelése**

### **12a. Gőz/gázfázis ex situ kezelése**

**gáz/gőzadszorpció / katalitikus égetés / biológiai szűrés, stb.**

### **12b. Vízfázis ex situ kezelése**

**fázisszétválasztás: üleptítés lefölvzés / adszorpció / kémiai kezelés (oxidáció, redukció, dehalogénezés, stb.)**

**biológiai kezelés / UV-oxidáció, stb.**

## **13. Állapotelmérés**

## **14. Monitorozás**

## **15. Kockázatfelmérés**

## **16. Intézkedés**

**Megelőzés / Korlátozás / Remediáció**

## **17. Gyorsintézkedés**

## **18. Kezelt talaj (más környezeti elem vagy fázis) hasznosítása**