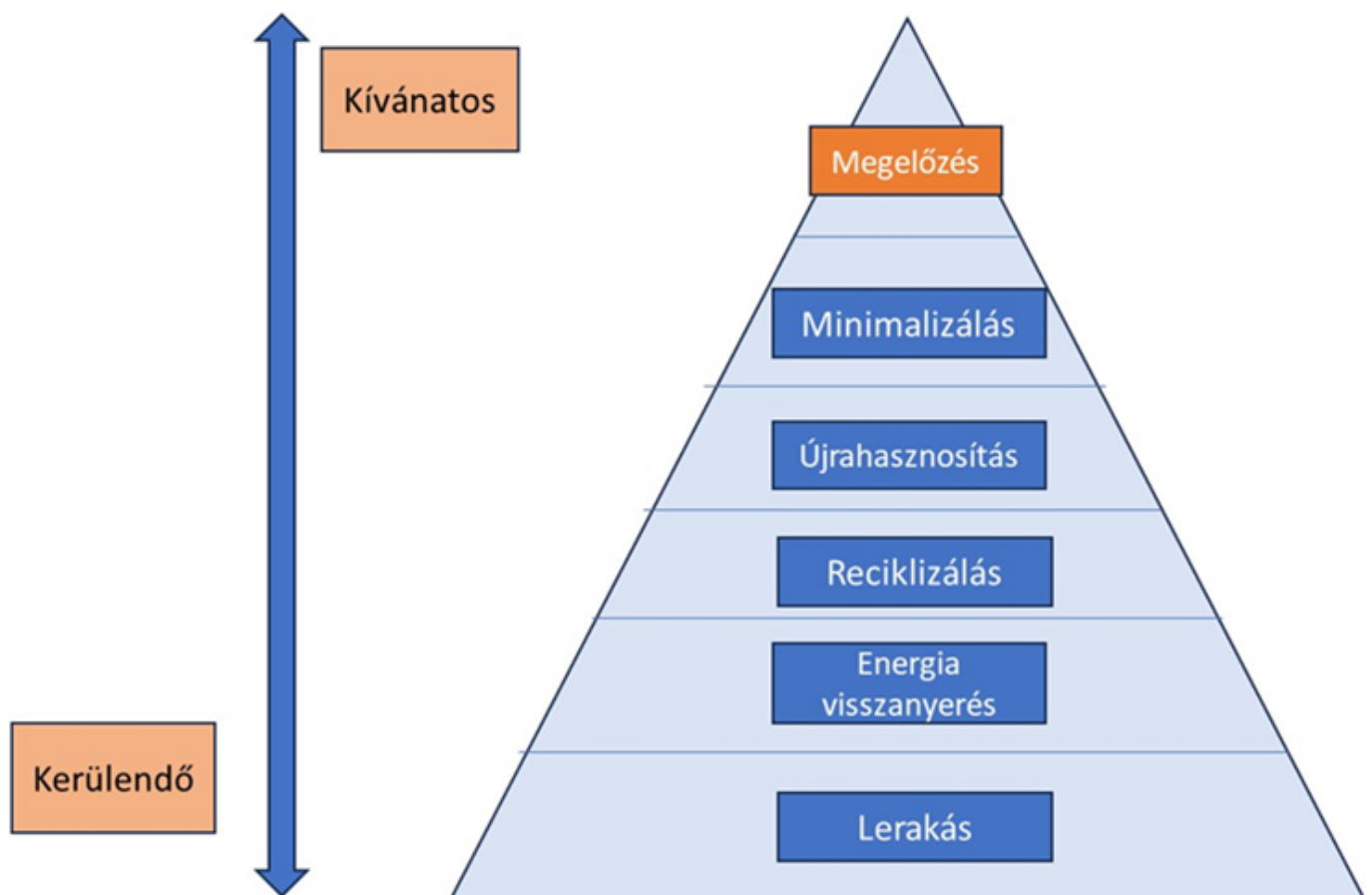


6.10. Környezeti kármentesítés, a bioremediáció formái

A bioremediáció élő szervezetek (általában mikroorganizmusok) vagy ezek anyagcsere termékeinek alkalmazását jelenti szerves szennyező anyagok lebontására ill. szervesetlen ionok és vegyületek kémiai, biokémiai átalakítására.

Természetesen a hulladékgazdálkodás esetén a cél, hogy a környezetet a lehető legkevésbé károsítsuk (30. ábra).



30. ábra. Hulladékgazdálkodási hierarchia piramisa.

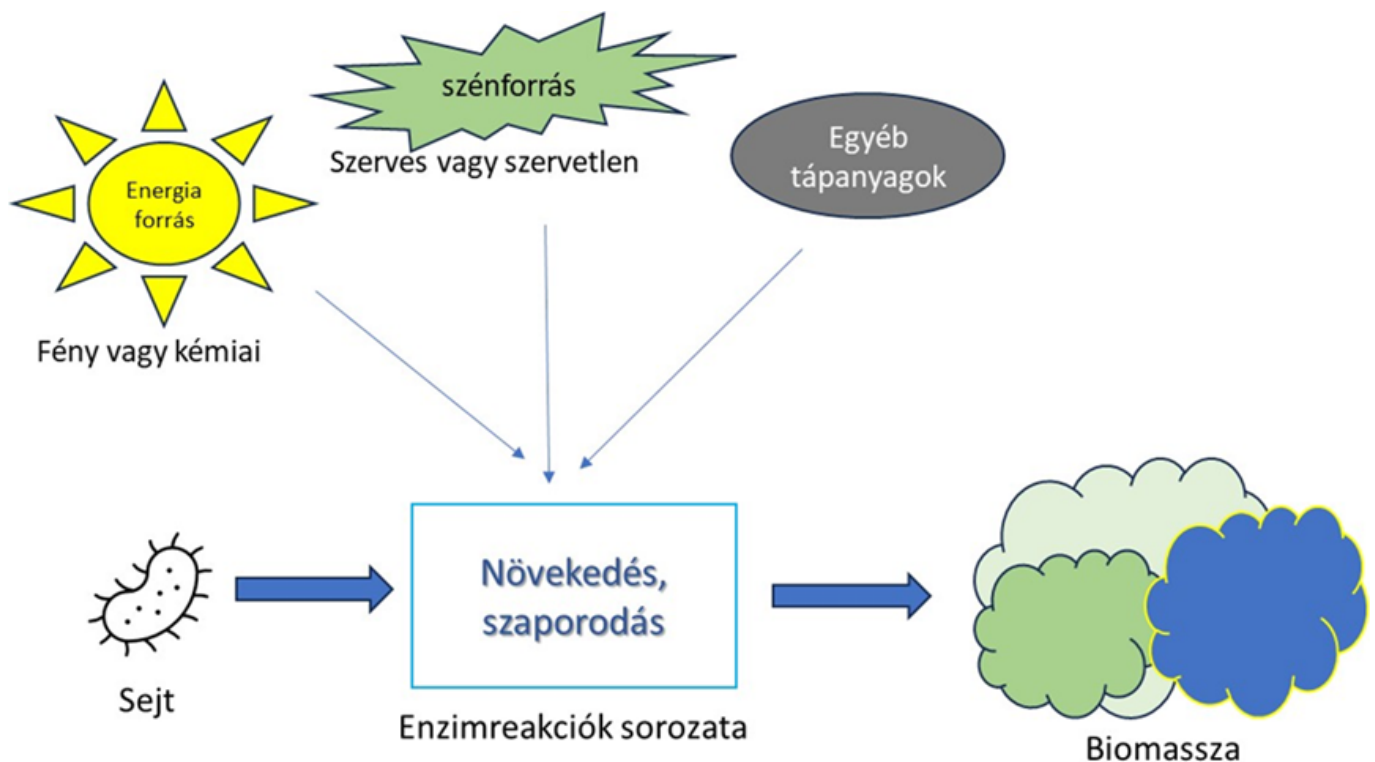
A már kialakult szennyeződések esetén a kármentesítés történhet az adott környezet (pl. talaj) saját mikrobiológiai aktivitásának felhasználásával vagy megfelelő lebontó/átalakító képességű mikroorganizmusok bevitelével. Bármelyik esetben biztosítani szükséges a megfelelő nedvességtartalmat, tápanyag ellátást, aerob eljárás esetében a megfelelő oxigén koncentrációt, pH-t stb. A lebontás (vagy az eltávolítás) hatékonyságát továbbá befolyásolja tápanyagok (N, S, P, Ca, Mg stb.)

hozzáférhetősége, a hőmérséklet és az esetleges gátló anyagok jelenléte.

Környezeti kármentesítés előtt egy nagyon pontos felmérést (survey) kell végezni. Ez magába foglalja a szennyező anyag(ok) minőségének és mennyiségének pontos felmérését, a szennyezés „korát” és időtartamát, a szennyező forrás azonosítását (lehetőség szerint a további szennyeződés megakadályozását). Fontos megismerni azt is, vajon a szennyező anyag terjed-e, veszélyeztet-e bármely olyan környezetet (pl. ivóvízbázist), amely további komoly veszélyforrást jelent pl. emberek vagy állatok számára. A bioremediációs stratégia megtervezésénél fontos szempont, hogy később az adott területnek milyen feladatot szánunk (pl. egészen más elbírálás alá esik az a szennyezett talajfolt, ahol golfpályát kívánnak létesíteni, mint az, amelyet később mezőgazdasági megművelésre szánunk).

Érdemes megvizsgálni, hogy az adott helyen lévő élőlény (gyakran mikrobiális) közösség képes lehet-e az adott szennyező anyag lebontására, környezetből való kivonására. Fontos szempont természetesen az eljárás költsége is, azt biztonságos eljárást választva minimalizálni igyekeznek.

Amikor a szennyező anyag szén és energiaforrásként szolgálhat mikroorganizmusoknak, és a szennyezett környezetben ezen szervezetek jelen vannak, az igen szerencsés eset (31. ábra), ilyenkor valójában csak várni szükséges (természetes szennyezőanyag csökkentés).



31. ábra. A szennyező anyag biomasszába építésének lehetősége.

Biodegradációs hatékonyság és rekalcitrancia:

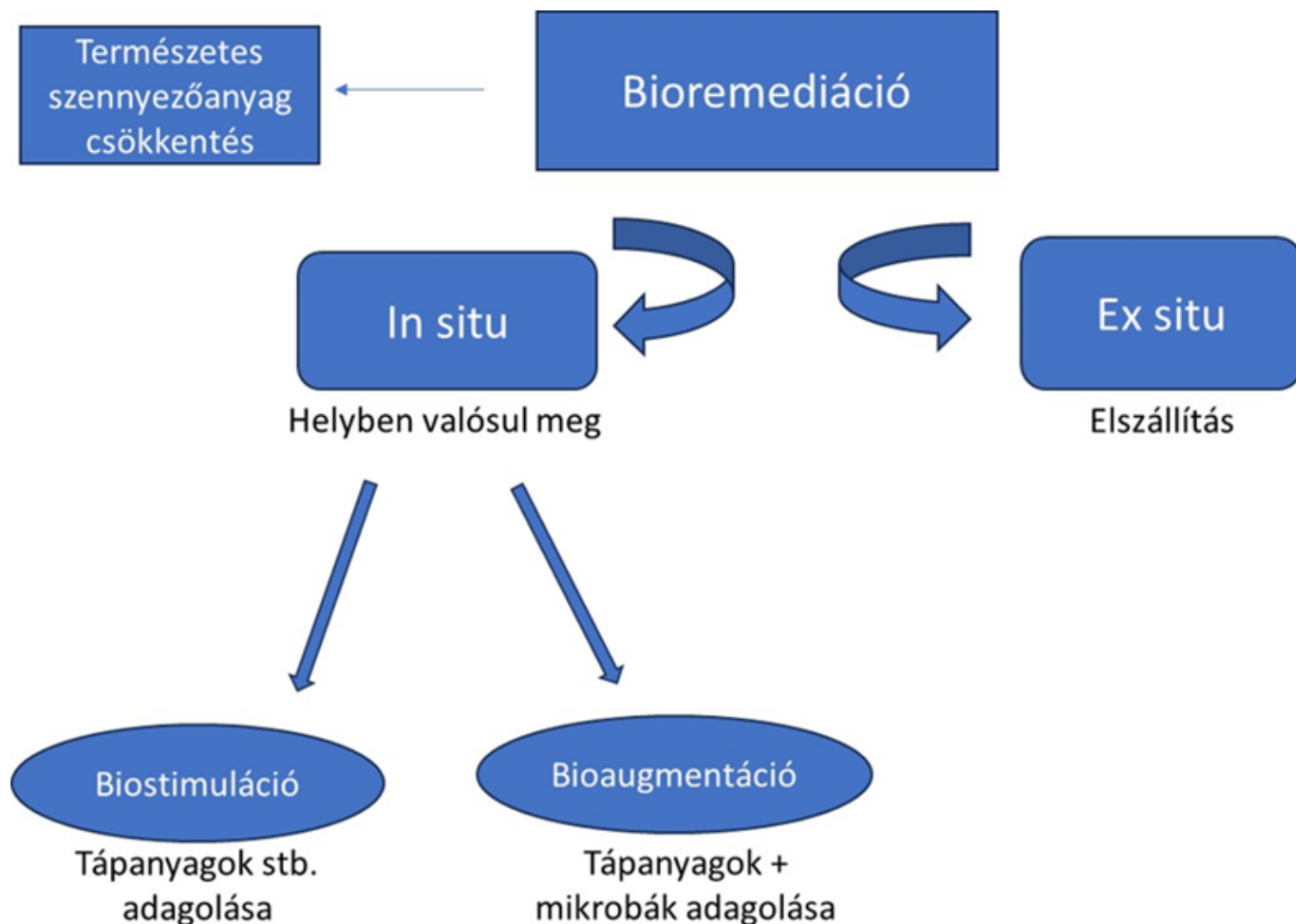
Rekalcitráns vegyületeknek hívjuk a biológiai úton nem, vagy csak nagyon nehezen bontható anyagokat, ezek lehetnek természetes vagy szintetikus vegyületek. Valójában egy molekula rekalcitráns jellege annál nagyobb, minél eltérőbb molekulaszervezete a természetben előforduló vegyületektől, ha valamilyen szubsztituenst (pl. halogént) tartalmaz, ha a vegyület túl nagy, vízdékonyság hiánya stb.

Xenobiotikumoknak hívjuk azon anyagokat, amelyek idegenek az élő szervezetek számára, bár esetenként kémiai szerkezetük hasonló lehet a természetben előforduló vegyületekéhez, pl. növényvédő szerek (pesticidek). Ezek átalakítása lassú folyamat, a természetben mikrobiális reakciókhoz kötődhet, pl. a peszticid szubsztrátként szolgál a szaporodáshoz és energia utánpótláshoz.

Bizonyos toxikus anyagokat prokarióta szervezetek légzésük során oxigén helyett elektron akceptornak is használhatnak (pl. arzenát).

Bioremediációs stratégiák:

A környezeti kármentesítés lehetőségei sokfélék (32. ábra)



32. ábra. Bioremediációs lehetőségek mikroorganizmusok felhasználásával.

A biológiai ártalmatlanítás módszerei között megkülönböztetünk in situ és ex situ eljárásokat a kezelés helye szerint.

Ha a tisztítást a szennyezett, de zavartalan helyszínen végzik, a szennyezett talaj kitermelése nélkül, akkor „in situ” módszerről beszélünk. In situ eljárást választunk, pl., ha a szennyező anyag nem terjed tovább a környezetben, így a kármentesítés a szennyeződés helyszínén megvalósítható. Ex situ eljárás ugyan drágább megoldás, hiszen a szennyezett környezetet – pl. talajt – ki kell emelni eredeti helyszínéről és elszállítani, majd a kármentesítés végeztével lehetőség szerint visszahelyezni eredeti helyére, de pl. a szennyeződés terjedésekor, valószínűleg ez a választandó stratégia.

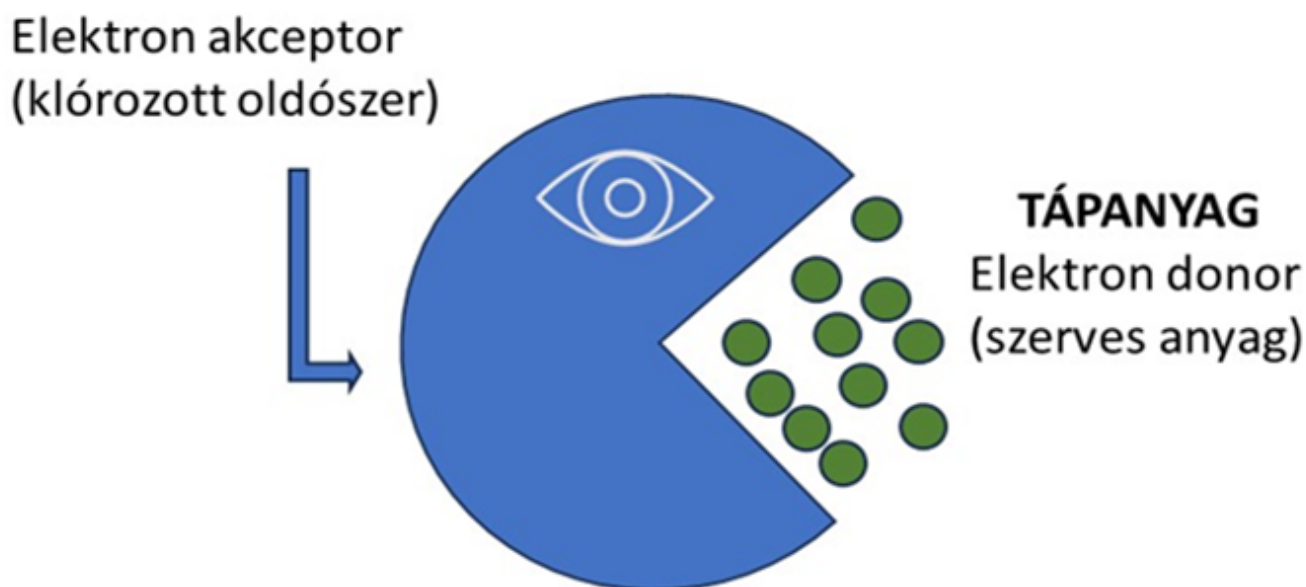
Sok esetben elegendő „megsegíteni” a biológiai lebontást (biodegradációt) pl. tápanyag vagy légzési elektron akceptor (oxigén – levegőztetés) bejuttatásával, ilyenkor biostimulációról beszélünk, ekkor a környezetben már jelenlévő mikroorganizmusok aktivitását használjuk ki.

Ha a környezetben nincsenek jelen olyan mikrobák, amelyek a káros anyag lebontását képesek

elvégezni, ilyenkor a helyszínen egyéb mikrobák (akár adott szennyező anyag lebontására adaptált/módosított mikroorganizmusok) kijuttatására is szükség lehet. Ilyenkor bioaugmentációról beszélünk. Ebben az esetben fontos, hogy a kijuttatott mikrobák az adott területen életképesek maradjanak és az eredeti mikrobákkal való versengés során is életképesek maradjanak, a környezetben szaporodni tudjanak. Leggyakrabban nem egyetlen mikroorganizmust juttatnak ki, hanem a lebontásra adaptált kisebb-nagyobb konzorciumot.

Példa:

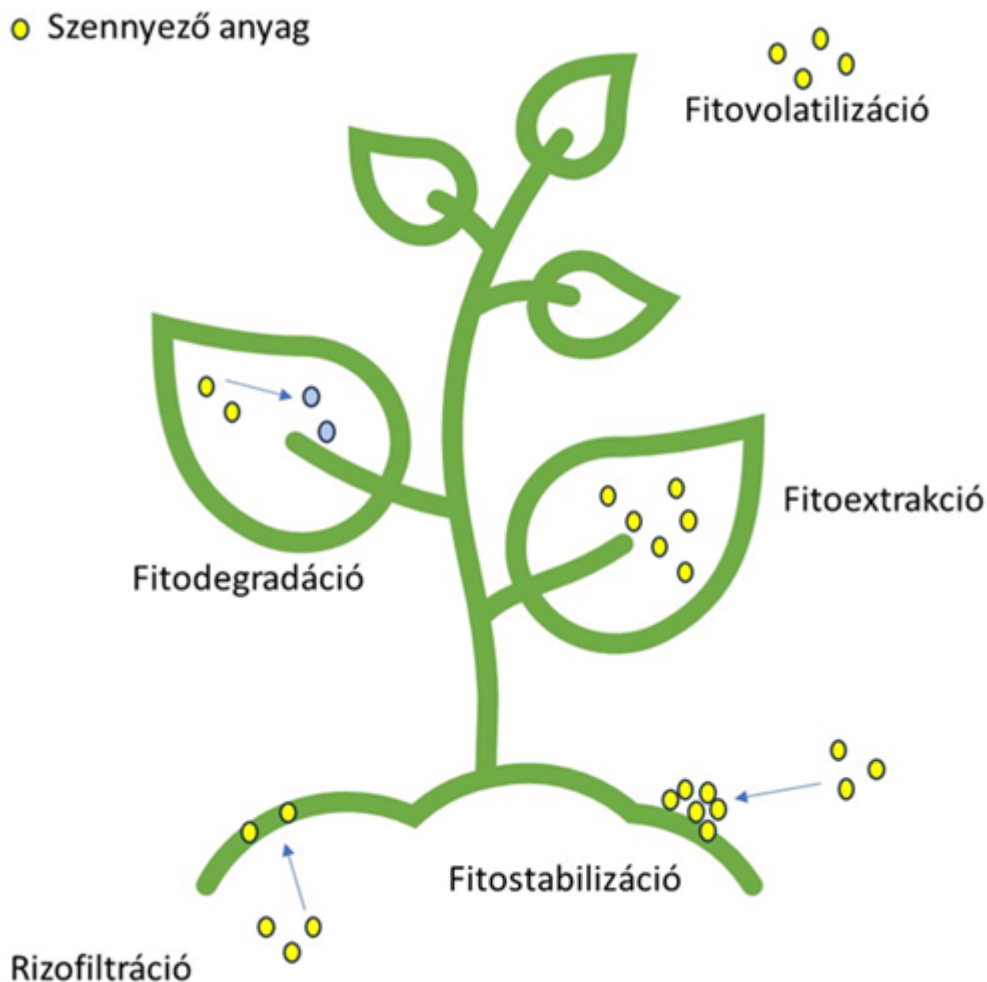
A klórozott szénhidrogének eltávolítása mikroorganizmusok által, jó példája a mikrobák felhasználásának bioremediációs célokra pl. reduktív deklorináció segítségével, ahol a triklór-etilén (szerves klorid) elektron akceptorként szolgál a baktériumok (pl. *Dehalococcoides* nemzetség) anaerob légzéséhez. A reakcióhoz elektron donorként a hidrogént használják (33. ábra).



33. ábra. Klórozott szénhidrogén lehetséges bontásának sematikus ábrája.

A környezeti kármentesítés még elfogadottabb formája a növények felhasználása, a „növényzettel történő gyógyítás”.

A fitoremediáció lehetséges formáit a 34. ábra mutatja be.



34. ábra Fitoremediáció formái.

Fitoextrakció (Fitoakkumuláció): szennyező anyagok akkumulálása a növényben talajból, vízből; pl. nehézfémek (ólom, kadmium, cink) eltávolítása

Fitostabilizálás: szennyező anyagok immobilizálása a talajból a gyökérzet által

Fitodegradáció (Rizodegradáció = Fitostimuláció): szerves szennyezők (pl. szerves oldószerek, olajszennyeződés) átalakítása, lebontása növények és/v. mikroorganizmusok által

Rizofiltráció: szennyezőanyagok adszorbeálódása vagy felvétele vízinövények, v. vizes élőhelyek növényeinek gyökérzetével

Fitovolatilizáció: szennyező anyagok (pl. Hg, As, Se vegyületek) átalakítása illékony, v. nem

mérgező vegyületekké és a légtérbe juttatása