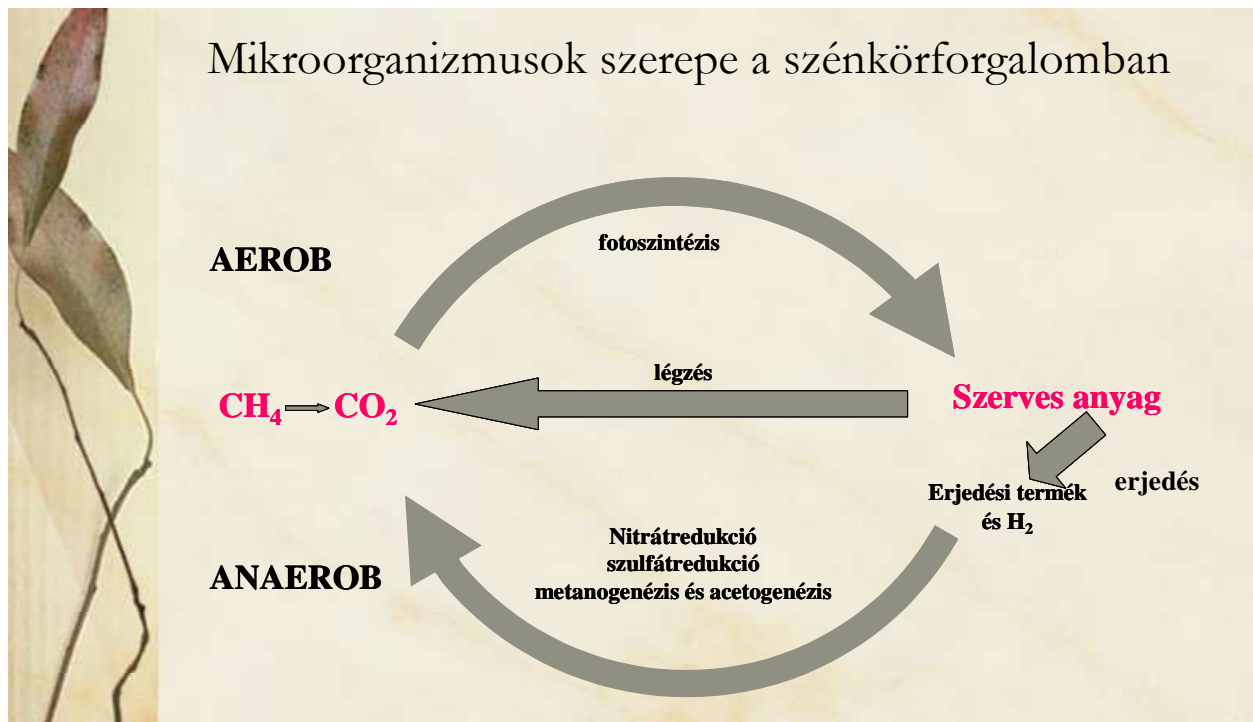


A MIKROORGANIZMUSOK SZEREPE AZ ELEMKÖRFORGALMAKBAN

A mikrobiális szénkörforgalom:

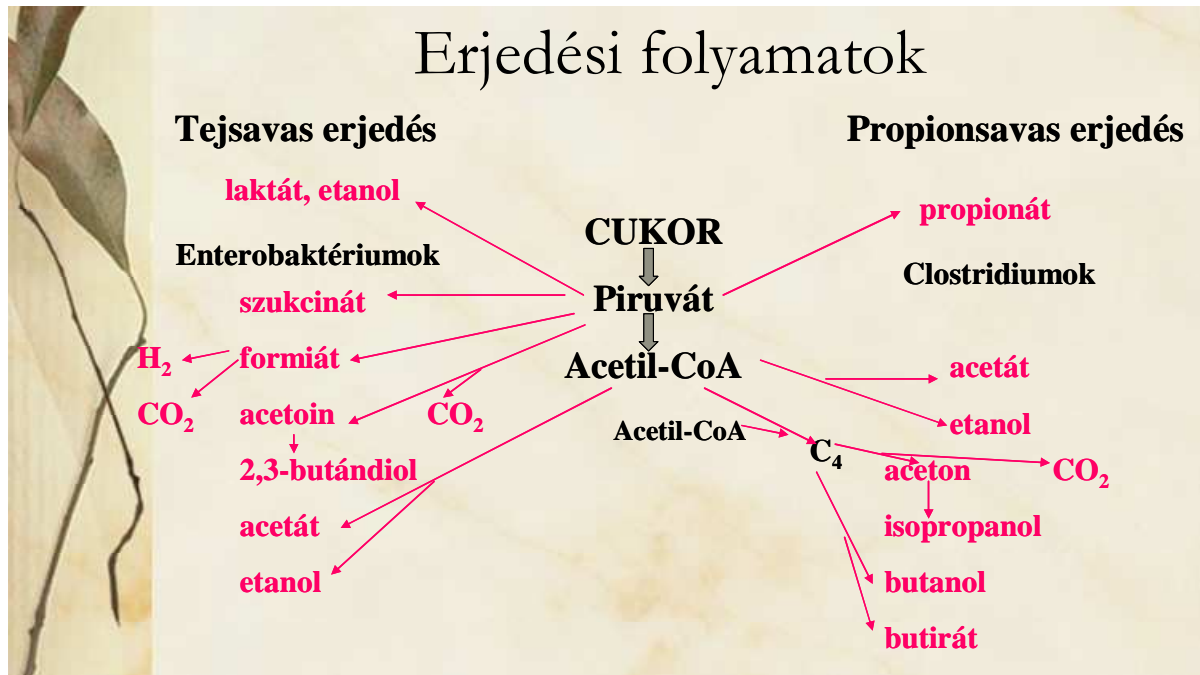
A szén a fotoszintetizáló algák és a kemolitotróf baktériumoknak köszönhetően fixálódik szén-dioxid formából szerves kötésbe, majd ezt a szerves formában tárolt szenet a nitrátredukcióra, szulfátredukcióra, acetogenezisre és metanogenezisre képes mikroorganizmusok szabadítják fel, és távozik szén-dioxid formában. A metanogenezis során keletkezett metán könnyen szén-dioxiddá oxidálódik (1. ábra).



1. ábra: A mikroorganizmusok szerepe a szénkörforgalomban

A szerves anyagok mikroorganizmusok által történő lebontása, vagyis biodegradációja aerob (jelen van oxigén) és anaerob (oxigéntől elzárt) körülmények közt is végbemehet. Aerob biodegradáció során bontódnak le a cukrok, keményítő, cellulóz és a lignin. Anaerob biodegradációnál az erjesztést (vagyis az oxigén hiányában történő lebontást) fakultatív és obligát (kötelezően) anaerob mikroorganizmusok végzik. Az erjedés azonban az anaerob táplálékláncoknál csak a bevezető lépés, ugyanis az ún. másodlagos erjedés során megy végbe az acetogenezis és metanogenezis folyamata. Az erjesztő baktériumok az etanolt, a vajsavat vagy a propionsavat acetáttá és hidrogénné erjesztik. Szoros együttműködésben vannak a hidrogént hasznosító metanogén baktériumokkal. Az erjedési folyamatok ábrán (2. ábra) megfigyelhető, hogy a cukrokból először mindig piruvát keletkezik, mely különböző elsődleges és másodlagos erjedési folyamatokba lép be. A piruvátból keletkező AcetilkoenzimA is kiinduló vegyülete számos erjedés során keletkező közti- és végtermékeknek. A rózsaszín nyilak és betűk az erjedés folyamatán belül a közti-, és végtermékeket jelölik.

Erjedési folyamatok



2. ábra: Erjedési folyamatok

A talajban lefelé haladva a redoxpotenciál csökken. Ez a tényező befolyásolja, hogy az aerob és anaerob biodegradáción belül is pontosan milyen folyamat megy végbe, mi az a végső elektronakceptor molekula vagy elem, melyet adott körülmények közt, adott redoxpotenciálnál az ott élő mikroorganizmusok felhasználnak. Az aerob és anaerob légzésfajták redoxpotenciáltól való függését a 3. ábra szemlélteti.

Aerob és anaerob légzésfajták

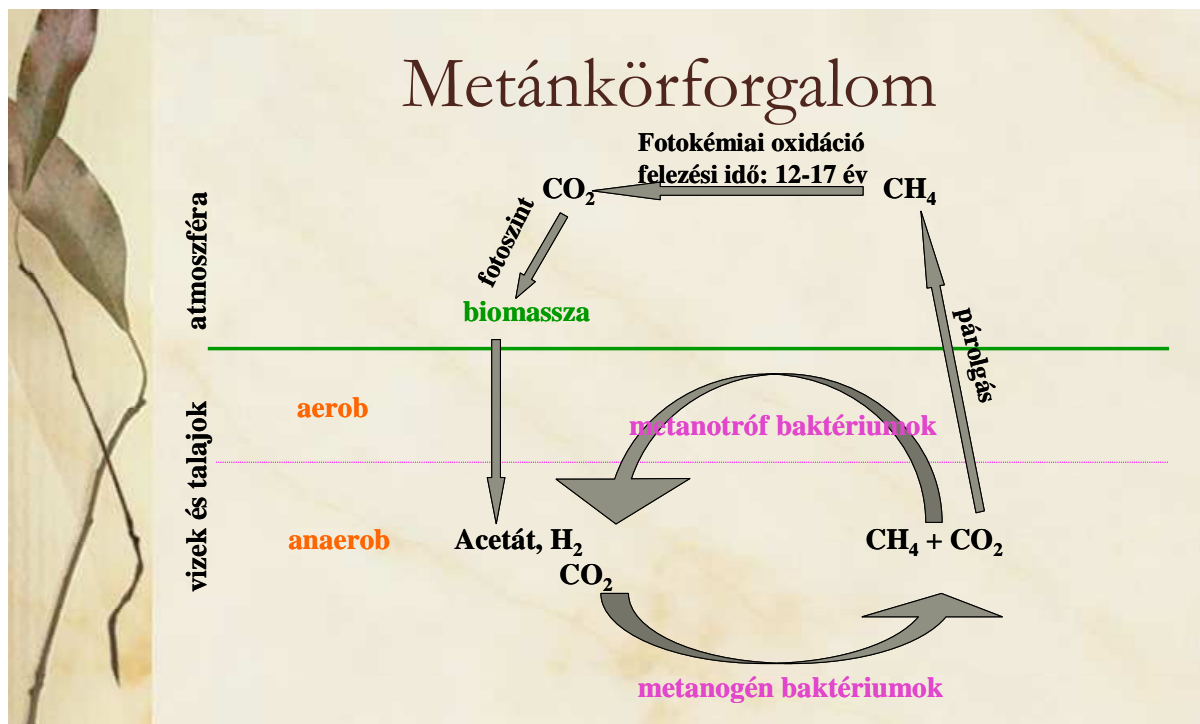
			redoxpot
aerob	Szénhidrát + O ₂	légzés	CO₂ + H₂O +0,8
	Ammónium + O ₂	nitrifikáció	NO₂/NO₃ + H₂O
anaerob	Szénhidrát + NO ₃	nitrátlégzés	N₂O/N₂ + H₂O +0,4
	Zsírsv, H ₂ + SO ₄ ²⁻	szulfátlégzés	acetát, CO₂, H₂S
	H ₂ + CO ₂	karbonátlégzés acetogénézis*	acetát + H₂O
	H ₂ + CO ₂	karbonátlégzés metanogénézis**	metán + H₂O
			-0,3

**Clostridium acetogenum/thermoaceticum*,
 ***Archaeobacteria: Methanobacterium, Methanococcus, Methanospirillum, stb*

3. ábra: Aerob és anaerob légzésfajták

A mikrobiális metánkörforgalom:

Anaerob metanogén baktériumok képesek acetátból, szén-dioxidból és hidrogénből metánt előállítani. Ezt a képződött metánt aerob metanotróf baktériumok képesek visszaalakítani acetáttá, szén-dioxiddá és vízzé, így zárul a körfolyamat. Másik lehetséges út, hogy a metanogén baktériumok által termelt metán egy része elpárolog, majd a légkörben fotokémiai oxidációval szén-dioxiddá oxidálódik, és ezt a szén-dioxidot építi be magába a fotoszintetizálni képes mikrobiális biomassza (itt főleg algákat, cianobaktériumokat értünk alatta), majd ez bomlik le acetáttá, szén-dioxiddá és hidrogénné szintén mikrobiális úton (4. ábra).



4. ábra: Mikrobiális metánkörforgalom

A metanogenezis a biogáztermelés alapfolyamata. Az acetát a metántermelés köztiterméke, mely a következő reakció szerint zajlik:

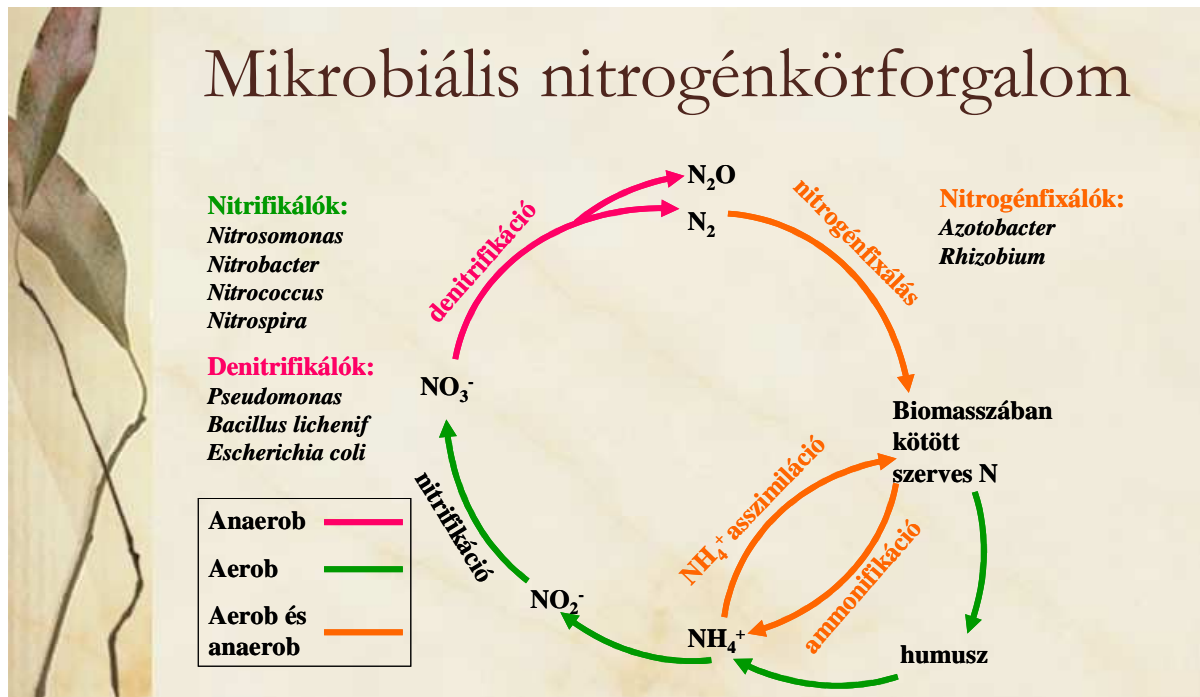


Metanogenezisre képesek a következő baktérium nemzetségek: *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanospirillum*, *Methanothermus*

A *Methanisarcina* és a *Methanotrix* nemzetségek az acetátot is képesek hasznosítani.

A metanotrófok a metánkörforgalomban a metán energiaforrássul történő hasznosítását végzik. Léteznek olyan aerob metanotróf vagy metilotróf baktériumok, melyek a metánt, a metanolt, a metilamint, a formiátot és a formamidot is képesek hasznosítani talajban és vizekben egyaránt. Ilyen baktériumnemzetségek a *Methylosynus*, *Methylocistis*, *Methylobacter*, *Methylococcus*. Metanotróf gombák: *Candida boidinii*, *Hansenula polymorpha*.

A mikrobiális nitrogénkörforgalom:



5. ábra: A mikrobiális nitrogénkörforgalom

A mikrobiális nitrogénkörforgalom alapvetően a következő folyamatokból áll (5. ábra): nitrifikáció, denitrifikáció, nitrogén fixáció és ammonifikáció.

A légkör nitrogénjét nitrogénfixáló baktériumok (*Azotobacter* és *Rhizobium* fajok) kötik meg, így alakul át a légköri molekuláris nitrogén a biomasszában kötött szerves nitrogénné. Ebből ammónia (NH_4^+) keletkezik az ammonifikáció folyamata során. A nitrifikáció magában foglalja mind az ammónium oxidációját—ekkor nitrit (NO_2^-) keletkezik—és az így keletkezett nitrit oxidációját nitráttá (NO_3^-). Ez a nitrát denitrifikációval (más néven nitrátredukcióval) molekuláris nitrogénné (N_2) alakul vissza.

Bizonyos fajok az ammónium iont is képesek szerves kötésbe asszimilálni, ez az ammonifikációval ellentétes folyamat.

A fent említett folyamatokra a következő baktériumnemzetségek képesek:

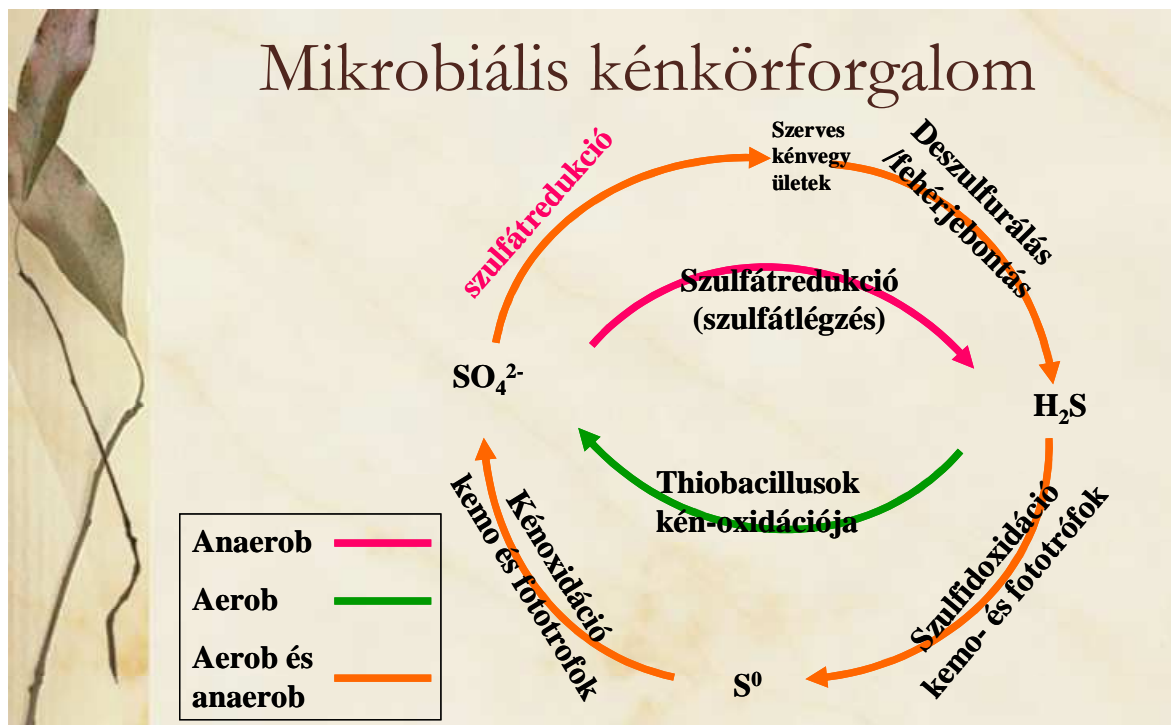
- **Nitrifikáció:**
ammónium oxidáció: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*
nitritoxidáció: *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospira*
- **Denitrifikáció:** *Pseudomonasok*, *Bacillus licheniformis*, *Paracoccus denitrificans*, *E. coli*, stb.
- **Nitrogénfixálás:** *Azotobacter*, *Rhizobium*

Mikrobiális kénkörforgalom:

A mikrobiális kénkörforgalom a szulfátredukció, deszulfurálás, szulfidoxidáció és a kénoxidáció lépéseiből áll. Ha a szulfátredukció aerob körülmények közt megy végbe, akkor a szulfátban található kén szerves kötésben beépül a biomassza szerves sejtalkotóiba, de

anaerob körülmények közt (vizekben, üledékekben) a SO_4^{2-} elektronakceptoroként funkcionál az anaerob lélegzésben. A szerves kénvegyületekből deszulfurálás során kénhidrogén (H_2S) szabadul fel, mely a szulfidoxidáció során kemo- és fototróf mikroorganizmusok segítségével előbb elemi kénné, majd az szulfáttá alakulhat vissza. Ezzel zárul a körfolyamat.

Bizonyos mikroorganizmusok képesek szulfátból közvetlenül kénhidrogént előállítani (szulfátlégzés), míg mások a kénhidrogént egy lépésben képesek visszaalakítani szulfáttá (*Thiobacillusok* kénoxidációja).



6. ábra: Mikrobiális kénkörforgalom

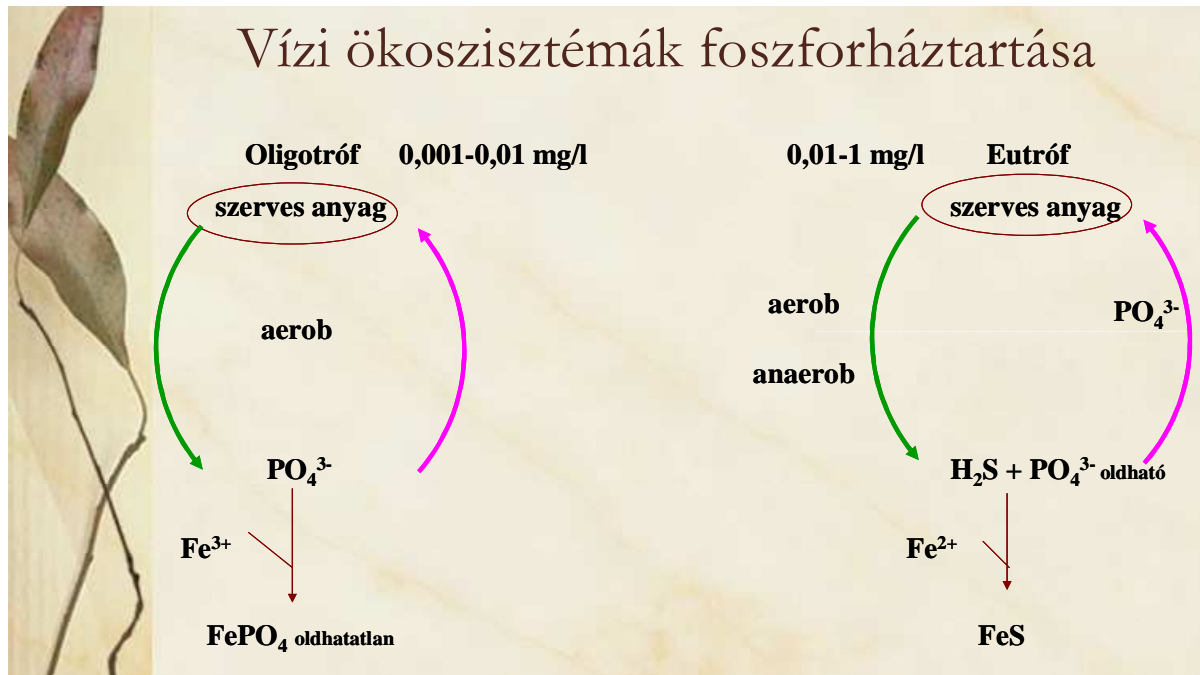
Szulfátredukciót végző mikroorganizmusok: *Desulfovibrio*, *Desulfomikrobium*, *Desulfolobus*, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, *Desulfotomaculum acetoxidans*, *Desulfovobrio desulfuricans*, *Desulfotomaculum orientis*

Kénoxidációt végző mikroorganizmusok: *Chromatiaceae*, *Thiorhodaceae*, *Thiospirillum*, *Chlorobium*, *Thiobacillusok*

Mikrobiális foszforkörforgalom:

A mikroorganizmusok a foszfor körforgalmának alapvető fontosságú aktivátorai. Ez az elem jelentős mennyiségben a kőzetekben és talajokban alumínium-, vas- és kalcium-foszfát alakjában fordul elő. A vizekben, ahol gyakran csak nyomokban található, az algákban sokszorosán koncentrálódik. A szerves kötésben lévő foszfort heterotróf mineralizáció keretében, főleg a baktériumok és a gombák szabadítják fel, és az ortofoszfátot regenerálják. A heterotróf és fotoautotróf mikroorganizmusok a szaporodásuk során a szerves foszfort immobilizálják. Szerves savakat is termelhetnek (pl. salétromsav, kénsav), így az anorganikus foszfátot oldatba képesek vinni.

Vízi ökoszisztémák foszforháztartása



7. ábra: Vízi ökoszisztémák foszforháztartása