

## A szennyvíztisztítás alapjai

### Mechanikai előkezelés

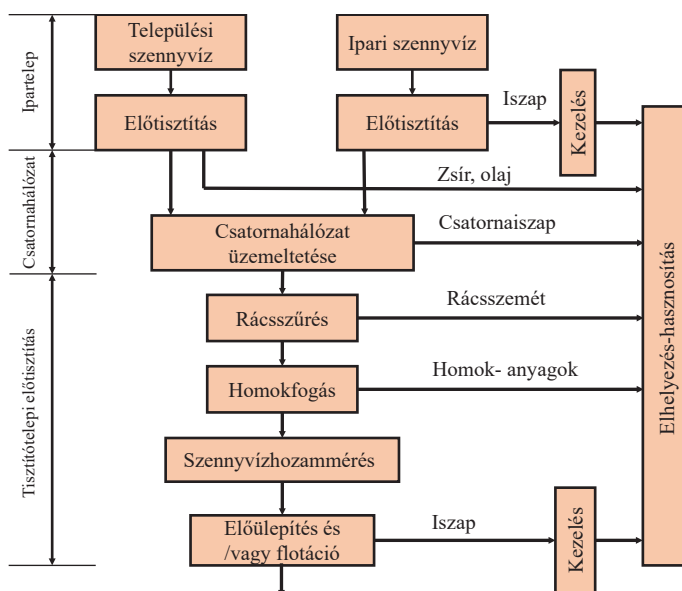
Az elsődleges szennyvíztisztítási fokozatot napjainkban nagyon ritkán vagy egyáltalán nem alkalmazzák önállóan, mert a tisztításból kikerülő víz nem, vagy csak részben felel meg az előírásoknak. A kiindulási nyers szennyvíz összetétele és koncentrációja jelentős eltéréseket mutathat a szennyvíz eredetétől függően, ami nagyban befolyásolja az alkalmazott technológiai sor kiválasztását. A szennyvíztisztítás során egymásra épülő fizikai, kémiai, illetve biológiai eljárásokat alkalmaznak.

A mechanikai szennyvíztisztítás a legrégebben alkalmazott eljárások közé sorolható. Műtárgyainak tervezése az áramlástani jelenségek figyelembevételével történik, fizikai erőhatások (tehetetlenségi, nehézségi, sűrűlási, kohéziós és Van der Waals-erők) befolyásolják.

A mechanikai tisztítás fő célja:

- a nagyobb méretű szennyező anyagok eltávolítása,
- a további tisztítási technológia gépi berendezéseinek védelme,
- a szennyvíz előkészítése a következő tisztítási fokozatokra (pelyhesítés, zsír- és olajleválasztás).

Az első tisztítási fokozat műtárgyait az 1.1. ábra mutatja be, amely egy általános mechanikai szennyvíztisztítási folyamat sorrendiségét követi.



1.1. ábra

A szennyvíztisztítás első tisztítási fokozata ([1] alapján)

A mechanikai tisztítás során becsült eltávolítási hatásfok %-os értékét a főbb szennyezőkre nézve az 1.1. táblázat tartalmazza, amely értékek tájékoztató jellegűek.

### 1.1. táblázat

Eltávolítási hatások (részlet [2])

| Eljárás    | Ülepíthető anyagok [%] | Összes lebegő-anyag [%] | Kolloid lebegő-anyag [%] | BOI <sub>5</sub> [%] | KOI [%] | Nehézfémionok [%] |
|------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Rács       | 5–10                   | 2–5                     | –                        | –                    | –       | –                 |
| Homokfogás | 20–30                  | 10–20                   | –                        | –                    | –       | 50–80             |
| Ülepítés   | 85–95                  | 40–50                   | 10–20                    | 20–30                | 15–25   | 20–30             |

A fizikai eljárásokat működési elvük szerint két nagy csoportba soroljuk:

- a méretkülönbség elvén alapuló berendezések: rácsok, szita- és szövetszűrők, szemcsés anyagú szűrők;
- a sűrűségkülönbség elvén alapuló berendezések: ülepítők, felúszató berendezések (zsír- és olajfogók).

A különböző mechanikai berendezések csoportosítását az eltávolítandó szennyeződés jellege szerint az 1.2. táblázat tartalmazza.

### 1.2. táblázat

Mechanikai eljárások osztályozása [3]

| Tisztítóberendezés                                            | Eltávolítandó szennyeződés                              |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Kő- és kavicsfogók, rácsok, szűrők, aprítók                   | Nagy méretű úszó és lebegőanyagok                       |
| Homokfogók                                                    | Kis méretű lebegő és ásványi anyagok                    |
| Ülepítők                                                      | Kis méretű lebegő és úszó anyagok                       |
| Hidrociklonok                                                 | Kis méretű lebegő és úszó, szilárd anyagok              |
| Úszatóberendezések, flotációs medencék, sűrítők, oldómedencék | Kis méretű lebegő és úszó, folyékony és szilárd anyagok |

A tisztítótelepre a szennyvíz érkezik a közcsontról gravitációsan vagy nyomás alatti rendszerből.

Durva szennyező anyagok felosztása (méretük és fizikai tulajdonságaik alapján):

- görgetett (kavicsok, kötőrmelékek),
- úszó (például faág, textilmaradványok, műanyag stb.),
- lebegőanyag (finomabb lebegőanyagok).

A kő- és kavicsfogó berendezések fő célja az egyesített csatornahálózathoz bekerülő hordalék (5–20 cm nagyságú) visszatartása. A nagy méretű durva szennyeződések (úszó és lebegőanyagok) eltávolítása a szűrőhatás és aprítás révén történik.

### Rácsok és aprítók

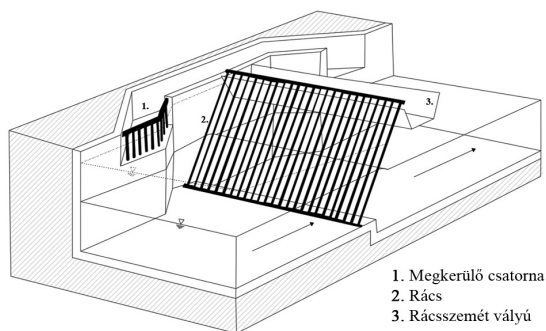
A tisztítási technológia általánosan alkalmazott mechanikai berendezései közé sorolható a rács, alkalmazása fontos például az eltömődést okozó anyagok leválasztása, a következő technológiai berendezések védelme és tehermentesítése céljából. A rácsok kialakításánál figyelembe kell venni az áramlási sebességet, és minimalizálni kell a rács előtti kiülepedést (min. 0,2–0,3 m/s, illetve csúcsterhelés esetén max. 0,7 m/s).

A rácsok alkalmazhatók:

- szivattyúk előtt (szennyvízátemelő telepen),
- technológia elején (homokfogó és előülepítő előtt).

A rácsokat általában épületen belül helyezik el a villamos és gépészeti berendezések védelme és településekhez közeli szaghatások kivédése érdekében, ezáltal a korróziós atmoszféra hatása kiküszöbölhető, és az élettartam növelhető. A kis kapacitású telepeken gyakran a gépi berendezéseket épületen kívül helyezik el, ilyenkor indokolt téli időszakban a fűtésük (a technológia zavartalan üzemeltetéséhez).

A technológia elején elhelyezett rács nyílásának megfelelően az anyagok egy részét visszatartja, tehát a rácsok ellenállást jelentenek az áramló szennyvíz útjában, ami miatt visszaduzzasztás keletkezik. A folyamat során a rácson maradó anyagokat el kell távolítani rendszeres gépi vagy kézi tisztítással. Gyakori, hogy a szennyvíztisztító telepeken két műtárgysoros kialakítást alkalmaznak, ha ez nem oldható meg, akkor vészmegkerülőt érdemes kialakítani (1.2. ábra) az esetleges üzemzavarok esetére.



1.2. ábra

Megkerülő csatorna kialakítása rácsonál [4]

A rácsok több szempontból csoportosíthatók, pálcaközük, elhelyezésük, kialakításuk és tisztítási módjuk szerint.

a) Tisztítási módjuk szerint:

- kézi (kis vagy időszakosan működő technológiák esetén),
- gépi (folyamatos és automatizált üzemeltetés esetén).

A gépi ráctisztító berendezések lassan mozognak, ezért elektromos teljesítményük viszonylag alacsony (max. 5 kW).

1.3. táblázat

A gépi tisztítású pálcás rácsok típusai [5]

| Rács típusa                              | Gereblyés         | Íves                      | Forgó                         | Kosaras            |
|------------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Beépítés                                 | Hajlásszög 60–80° | Függőleges és vízszintes  | Hajlásszög 60–80°             | –                  |
| Alkalmazása<br>szennyvíztisztító telepen | Kis kapacitású    | Kis és közepes kapacitású | Közepes és nagy<br>kapacitású | Csatornahálózatban |
| Berendezés                               |                   | Csatorna és rácskamra     |                               | Csatornaakna       |

b) Pálcaköz szerint (MSZ EN 12255-3-2001):

- finom (2–10 mm, anyaga rendszerint acél, indokolt a gépi tisztítás),
- közepes (10–20 mm, az eldugulás megelőzésére),
- durva (20–50 mm, egyesített rendszerű csatornahálózatok üzeme esetén, rácsszemete inkább szilárd hulladék jellegű, leggyakrabban alkalmazott fajtája a sík rác).

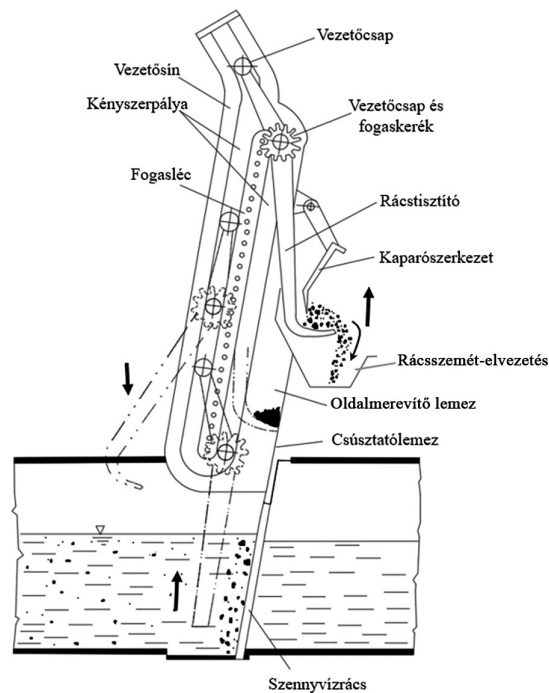
c) Elhelyezés szerint (hajlásszöge 20–75°):

- ferde,
- függőleges.

d) Kialakításuk szerint

- síkrács (Geiger-féle, rácspálcákból álló szűrőfelület, egyenes),
- íves rácok (Parkwood CM-féle, íves kialakítású pálcákból áll),
- álló rácok (fixen beépített sík vagy íves rácstáblákból állnak),
- mozgó rácok (Geiger-féle, végtelenített szalagként kiképzett, egymáshoz csuklósan kapcsolódó rácstáblákból állnak).

A síkrácsok alkalmazása inkább nagyobb kapacitású telepeken gyakoribb. Durva és finom rácoknál is alkalmazzák ezt a gépi tisztítású síkrácsot (általában 80°-os hajlású), amelyet az 1.3. ábra szemléltet.



1.3. ábra

Síkrács gépi tisztítása [2]

Síkrácsok fő fajtái:

- alternáló tisztítóberendezéssel működő,
- folyamatos tisztítású (fix rác),
- folyamatos tisztítású (mozgó rác).

A rács hidraulikai méretezésénél figyelembe kell venni:

- a pálcák között a vízmozgás áramlási sebességét, amely az 1 m/s értéket nem haladhatja meg (különben az áramló víz a szemetet magával ragadhatja),
- a bevezető és elvezető csatornába az áramlási sebesség 0,5–0,8 m/s határok között mozogjon (ásványi anyagok ülepedésének megakadályozása érdekében),
- a közepes és kisebb telepeken alkalmazott rácsoknál a rácskialakítást és a tisztítási rendszert is.

A szennyvízrácsok hidraulikai méretezésénél a Kirschmel-féle összefüggés alkalmazható, amellyel a helyi veszteség visszaduzzasztó hatását becsülhetjük, amely átlagosan 5 cm lehet. Ugyanolyan méretek mellett a rácpálca profilját változtatva a visszaduzzasztás mértéke csökkenthető, ami azért szükséges, hogy a telepen a szennyvíz minél kisebb energiavesztéssel tudjon átfolyani. A Bernoulli-egyenlet tagjait úgy alakítjuk, hogy méterben kifejezhető legyen a veszteség, amely a vízszintesést fogja kifejezni. A képlet egyszerű közelítésként könnyen alkalmazható.

Kirschmel-féle összefüggés:

$$h_v = \beta \cdot \left( \frac{d_p}{k_p} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ahol

$h_v$ : a rács visszaduzzasztása [m]

$d_p$ : a rács pálcaszélessége [m]

$k_p$ : a szabad pálcaköz [m]

$v$ : a szennyvíz áramlási középsebessége a rács előtt [m/s]

$\alpha$ : a rácsnak a vízszintessel bezárt szöge

$\beta$ : alakí tényező (a rács keresztmetszetétől függően kör keresztmetszetenél 1,79; lapos acél-nál 2,42; lekerekített lapos acél esetében 1,64; csak az egyik végén lekerekített lapos acél esetében 1,83).

Gyakorlatban a 750 m<sup>3</sup>/d alatti szennyvíztisztító telepeken a legegyszerűbben alkalmazott megoldások közé tartozik a kézi vagy gépi kiemeléssel periodikusan kiürített rácsszemétkosár.

1500 és 3000 m<sup>3</sup>/d között az íves rácsok és a kézi tisztítású síkrács alkalmazása egyaránt elterjedt. A 3000 m<sup>3</sup>/d kapacitás feletti telepeken pedig gépi tisztítású síkrácsokat alkalmaznak. A berendezésekről lejjövő rácsszemét gyorsan bomló, bűzös, fertőző anyagokat tartalmaz, amelynek nedvességtartalma 85–90% is lehet, mennyiségét a szennyvíz jellege és a pálcaköz határozza meg. A rácsszemét további kezelése történhet rothasztással (megfelelő aprítás után) vagy komposztálással, bár a jelenlegi gyakorlat azt mutatja, hogy legtöbb helyen a kommunális hulladékkal deponálják.

A rácsok helyett aprítóberendezéseket is alkalmazhatunk, amelyek a durva darabos szennyeződéseket nem eltávolítják, hanem aprítást végeznek. Az aprítás célja, hogy további problémát ne okozzon az átemelés, elvezetés és tisztítás során, a finomrács helyettesítésére is szolgálhat. Aprítók lehetnek komminutorok (késes aprítók), barminutorok és külön csoportba sorolható az aprító- vagy őrlőkerekes szivattyúk (egyidejűleg szennyvízátemelést is végeznek). A leggyakrabban alkalmazott aprítók a komminutorok (késes aprítók) kedvező szennyvíz-technológiai és gépészeti előnyeik miatt. Működésük során a szennyvíz a dob nyílásain keresztül beáramlik, a nagyobb szennyeződések fennakadnak, a rögzített kések végzik az aprítást (6–20 mm méretűre), majd a dob alján a szennyvízzel együtt távozik a szennyeződés. A barminutorok esetében a rácsszemétaprító berendezés a ráctisztító berendezéshez hasonlóan fel-le mozog, miközben aprítást végez.

## Homokfogó

A homokszemcsék sűrűsége két és félszer nagyobb a víznél, ezért gyors kiüledésre képes. Fizikai tulajdonságai miatt jelentős koptató hatást képes gyakorolni a technológiai berendezésekre.

A homokfogókat elsősorban az egyesített vagy vegyes rendszerű csatornahálózatok esetén indokolt alkalmazni, a technológiai sorban általában a szennyvízrácsok után következnek. Alkalmazásának fő célja:

- a szennyvízben lévő elsődleges szemcsés ásványianyag-tartalom csökkentése a további gépi berendezések védelme érdekében,
- az üledés megakadályozása (telepi összekötő vezetékekben),
- további medencék szervesanyag-terhelésének csökkentése,
- a kotróberendezés túlterhelődésének csökkentése.

A homokfogók lényegében ülepítőknek tekinthetők, ezért a Stokes-féle üledésre vonatkozó képlettel határozható meg a homokfogók működési elve. Nyugvó közegben a szemcsés anyagra a gravitációs, a felhajtó- és a súrlódási erő hat.

A Stokes-féle üledési képlet:

$$v_{\text{ü}} = \frac{g \cdot d^2}{18 \cdot \nu} \cdot \frac{\rho_{\text{sz}} - \rho_{\text{víz}}}{\rho_{\text{víz}}}$$

ahol

- $v_{\text{ü}}$ : üledési sebesség [m/s]
- $\nu$ : az áramló közeg kinematikai viszkozitása [m<sup>2</sup>/s]
- $g$ : gravitációs gyorsulása [m/s<sup>2</sup>]
- $d$ : az üledő szemcse átlagos átmérője [mm]
- $\rho_{\text{sz}}$ : az üledő részecske átlagos sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]
- $\rho_{\text{víz}}$ : a víz sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]

Ha az átfolyási sebességet 0,1–0,3 m/s sebesség közötti értéknél tudjuk tartani, akkor a 0,2 mm átmérőjű homok és az egyéb, víznél jelentősen sűrűbb, szemcsés szervesanyagok (apróbb kavicszemcsék, salak, gyümölcsök magjai stb.) kiülednek, de a nehezebben üledő szerves szennyezők már nem. Megfelelően tagolt medencék esetén a kiülepített anyagok méret szerint osztályozhatók.

A homokszemcsék mérete és a leválasztott homok összetétele függ:

- a háztartásokban keletkező szennyvíz mennyiségétől és minőségétől,
- a csatornahálózat típusától (egyesített vagy elválasztott),
- a csatornahálózat anyagától és állapotától,
- a vízgyűjtő terület méretétől,
- a hidraulikai tartózkodási időtől.

A homokfogó berendezés kiválasztásánál figyelembe kell venni:

- az építési szempontokat (például helyigény, talajvíz, gépészeti kialakítás),
- a szennyvízhozam nagyságát, ingadozását,
- az ülepíteni kívánt anyagot (mennyiség, tárolás, kiemelés, mosás, elhelyezés szempontjából).

Átfolyási irány szerint több csoportba sorolhatók a homokfogók, mint a vízszintes, függőleges és a kör áramlású, illetve forgóhengeres (vízszintes tengelyű-légbefúvásos) homokfogók.

## Vízszintes átfolyású homokfogó

Az optimális átfolyási sebesség 0,3 m/s. Állandó átfolyás biztosítható még változó vízhozam mellett is. Legelterjedtebben alkalmazott fajtája a Parshall-csatornával vezérelt homokfogó, a homokfogó után elhelyezett műtárgy lehet még Venturi-csatorna és Sutro-bukó is. A homokfogó alján a homok tárolására elegendő térfogatot kell biztosítani.

Típusok:

- hosszanti átfolyású (esseni, gépi kotróval történő homokleválasztás),
- légbefúvásos vagy más néven levegőztetett,
- tangenciális bevezetésű,
- függőleges átfolyású.

## Függőleges átfolyású homokfogók (henger, hasáb vagy tölcser alakú)

Legelterjedtebb változata a Blunk-féle, amely típusoknál a szennyvíz először függőlegesen lefelé áramlik a műtárgyban, ezáltal az ásványi anyag kiülepszik (hidraulikus homokleválasztás).

## Tangenciális (függőleges tengelyű) homokfogók

A medencében cirkulációs vízmozgást hozunk létre, amely során a lebegőanyagokra hat a nehézségi és a centrifugális erő, amely a víznél nagyobb sűrűségű szilárd részecskék kiülepedését gyorsítja. Gyakran alkalmazzák PISTA-rendszerben, amely egy integrált előkezelő egységet jelent, ahol a rácsokat és a homokfogót egy egységbe építik össze.

## Légbefúvásos homokfogók

Rugalmas szabályozhatósága miatt hazai telepeken gyakran alkalmazott berendezés. A műtárgyakban kialakuló áramlási sebesség széles határok között változtatható, és ezáltal beállítható a szilárdszemcse-eltávolítás hatásfoka is.

A légbefúvásos homokfogóban spirál áramlás alakul ki a durva buborékos (5–8 mm-es) levegő-bevezetés hatására. A technológia előnye, hogy a hosszanti átfolyású homokfogóhoz képest rövidebb műtárgyakban is hatékony a kiülepedés. Célszerű a levegőbevitelt a műtárgyfenékközelben meghatározott mélységben elhelyezni (1.4. ábra), ezáltal növelhető a leválasztási hatásfok, és csökkenthető a detergensnek következtében esetleg fellépő felhabzás. A bejuttatott levegőbuborékok hatására a víz mint közeg sűrűsége és viszkozitása csökken, ami által a szilárd szemcsék kiülepedése felgyorsul.

A homokfogóba vezetett levegő mennyiségét a medence mérete és keresztmetszete határozza meg, illetve a telepeken kézi áramlásmérővel állítják be az optimális értéket, ezért mennyisége egyes telepeken eltérő lehet. A homokfogás feladata mellett fontos a homok és a szerves szennyeződések szétválasztása.

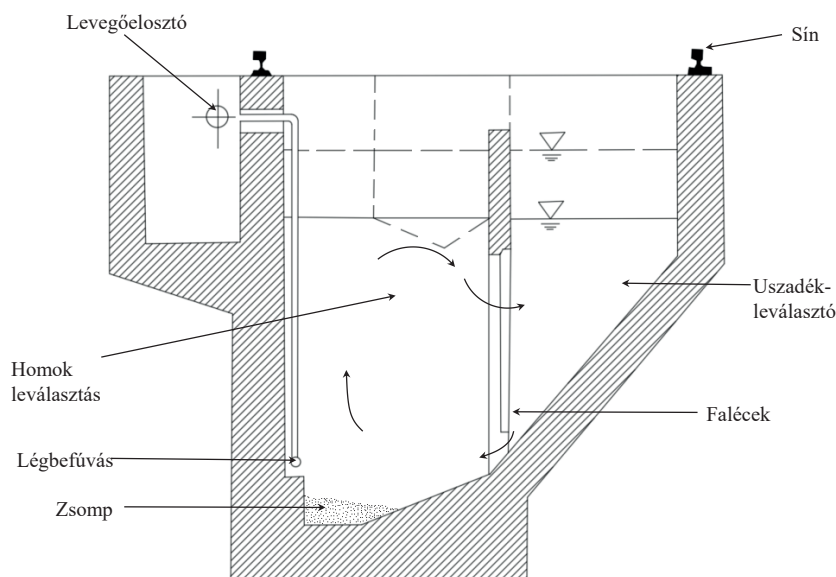
Ha az ideális levegőbevitelhez képest:

- kevesebb levegőt juttattunk be, akkor jelentős iszapmennyiség is leválhat a homokfogóban, így a biológiai lebontás (nitrogéneltávolítás) hatásfoka csökkenhet,
- nagy hatásfokkal üzemeltetjük a levegőbevitelt (túl sok levegő), a homokleválasztás csökkenhet, üzemeltetési gondot okozhat.

Alapvető szerepet játszik a medence keresztmetszeti síkjában (főként a medencefenék alsó kritikus zónájában) kialakuló áramlás (1.5. ábra), a műtárgy homokleválasztási hatásfokát nagyban befolyásolja. Kiemelt cél az áramlás homogenitásának biztosítása.

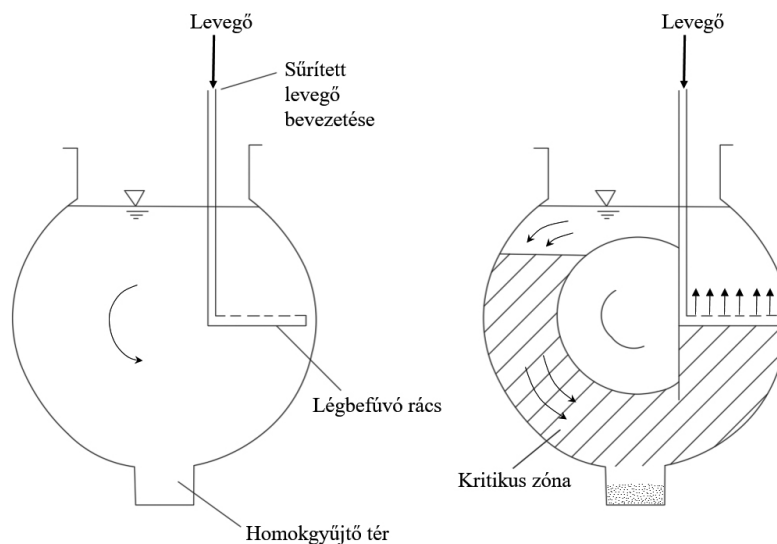
A homokfogó műtárgy méretezésénél a főbb méretezési paraméterekhez tartozik a tartózkodási idő, amelyet a gyakorlati alkalmazásoknál többnyire 3–10 perc közötti érték jellemez.

A berendezésből kikerült homok szervesanyag-tartalmát a homokmosóval csökkenthetjük tovább, amelyben lassú keverés mellett leválik a szerves anyag, és a hidrociklonban leülepszik a homok.



1.4. ábra

Légbefúvásos homokfogó keresztmetszeti kialakítása [1]



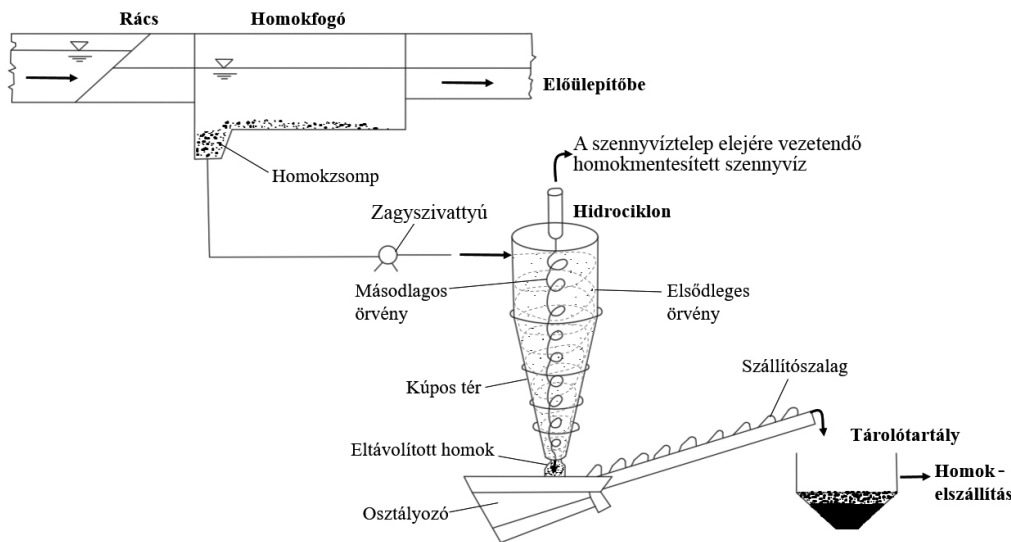
1.5. ábra

Légbefúvásos homokfogó működési vázlata [1]



## Hidrociklon

A sűrűségkülönbség elvén működő berendezés esetén a kör alaprajzú műtárgy vízterében érintőleges irányba vezetjük a tisztítandó szennyvizet, amely függőleges tengelyű körmozgást végez. A folyamat során a centrifugális erő hatására a részben szilárd, részben pedig vízben nem oldódó cseppfolyós anyagok elkülönülnek. Két fő csoportja ismert, a zárt és nyitott hidrociklon. Magas homoktartalom esetén a homokfogóval párhuzamosan alkalmazhatunk hidrociklont is (1.6. ábra).



1.6. ábra

Ciklonos homokeltávolítás [1]

A homokfogóban leválasztott anyag patogén organizmusokat tartalmaz, kezelésénél ezt figyelembe kell venni. Deponálás előtt a térfogatcsökkentés miatt a leválasztott anyag víztelenítése szükséges, amelyre gyakran alkalmaznak homokszárító ágyakat vagy üleptőtartályokat is.

## Úszatóberendezések

A szennyvíz jelentős mennyiségben tartalmazhat víznél alacsonyabb sűrűségű zsírokat, olajokat, amelyek megfelelő áramlási sebesség mellett a víz felszínére emelkednek, ezáltal eltávolíthatók. Alkalmazása nemcsak a további gépi berendezések védelme érdekében indokolt, hanem értékes anyagvisszanyerése miatt is.

Az úszó szennyeződés eredete és anyaga szerint a műtárgy lehet:

- zsírfogó,
- olaj- és benzinfogó,
- habfogó,
- egyéb uszadékfogó.

## *Zsír- és olajfogók*

A telepre beérkező zsírok, olajok jelenléte rontja a tisztítás hatékonyságát, ezen anyagok eltávolítását az üleptetés előtt, többségében a homokfogóval egybeépítve végzik, kihasználva a levegőbefúvás flotációs hatását.

A berendezés hatékony működéséhez biztosítani kell a megfelelő tartózkodási időt (2–5 min) és felületet. Alkalmazása indokolt, ha az összes zsír-olaj koncentráció nagyobb 50 g/m<sup>3</sup>-nél. A zsír- és olajfogást az üleptítéssel együtt kombinált műtárgyban célszerű megvalósítani.

## *Flotációs berendezések*

Az úsztató berendezések hatásfoknövelése céljából a flotálóberendezések alkalmazása célszerű a víznél kisebb sűrűségű olaj-, zsír- és benzincseppek és a fel nem úszó és nem is üleptíthető koloid részecskék eltávolítására, illetve az emulzió szétválasztására.

## *Üleptítő*

Az üleptítők a szennyvíztisztítás folyamatában alapvető szerepet játszanak. Ezek a berendezések a sűrűségkülönbség elvén működnek. A kis méretű lebegő és úszó anyagok (TSS) eltávolítása mellett közvetett módon a biológiai oxigénigény (BOI) csökkentését is fokozzák. Egy jól megtervezett előüleptítő akár 20–50%-os BOI- és 55–70%-os TSS-eltávolítást is eredményezhet.

Az előüleptítőket közepes és nagy kapacitású telepeken alkalmazzák elsősorban, ahol iszapstabilizálás is történik.

A homokfogónál leírt Stokes-törvény alkalmazható az előüleptítők esetén is, ahol a diszkrét szemcsék leválasztása történik.

Az üleptítőket felhasználási helyüktől függően a következő paraméterekre méretezik:

- felületi hidraulikus terhelés (m<sup>3</sup>/d),
- szükséges elméleti tartózkodási idő (h),
- felületi lebegőanyag-terhelés (kg/m<sup>2</sup>×h),
- függőleges, illetve vízszintes átfolyási sebesség (cm/s),
- bukóélterhelés (m<sup>3</sup>/m×h).

Az előüleptítőket több szempont alapján csoportosíthatjuk, mint például az átfolyási irány és az alaprajzi kialakítás szerint.

Átfolyási irány szerint az üleptítők lehetnek:

- vízszintes átfolyású:
  - hosszanti átfolyású (lipcei),
  - radiális átfolyású (Dorr),
  - függőleges átfolyású (dortmundi),
- átmeneti változat (Uniflow, hidrociklon).

Alaprajzi kialakítás szerint lehetnek [6]:

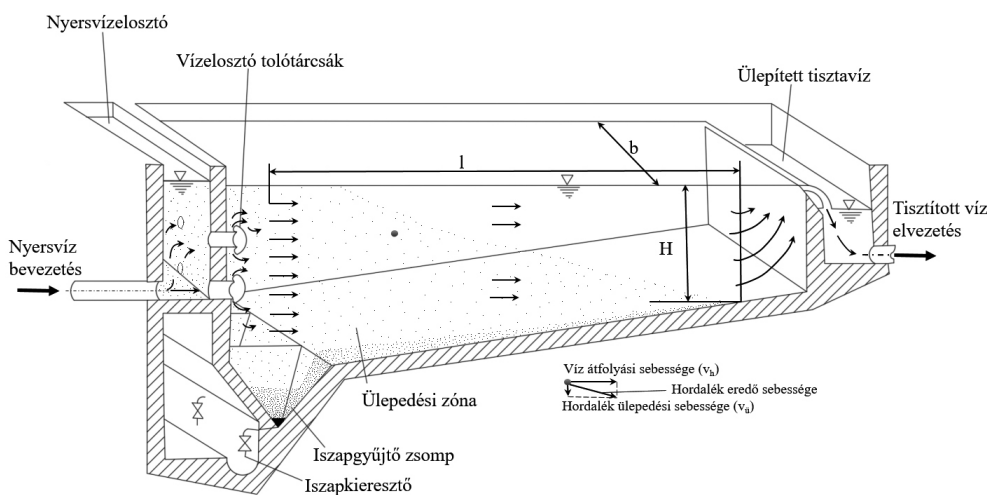
- téglalap (lipcei, Uniflow),
- négyzet (dortmundi),
- kör (dortmundi, Dorr, hidrociklon).

## Hosszanti átfolyású ülepítők (lipcsei)

Elsősorban előülepítőknek alkalmazhatók, téglalap alaprajzú vasbeton műtárgyak, az átáramlás hosszirányban történik (1.7. ábra). A leülepitett iszapot a karos kotró (10–50 mm/s sebességgel) juttatja el az iszapzsompba, amely iszap továbbítása centrifugál- vagy mamutszivattyúval történik.

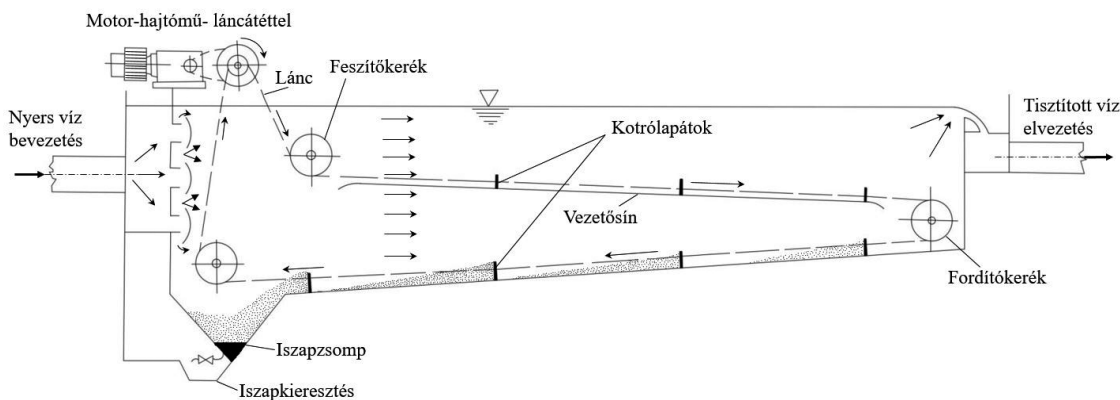
Főbb bevezetési megoldásai:

- A szennyvíz merülőfalának ütköztetve.
- Több csősonkból áramlik a medencébe (T csövek, Stengel-fej).
- Az ülepítő befolyási oldalánál, vályúkon keresztül áramlik a szennyvíz a medencébe, a fő áramlási iránnyal ellentétesen, majd egy merülőfal alatt lép be az ülepítőtérbe.
- Perforált lemezen, rácson keresztül áramlik az ülepítő előkamrájából a tényleges ülepítőbe.



1.7. ábra

Vízszintes (hosszanti) átfolyású lipcsei medence kialakítása [1]



1.8. ábra

Hosszanti áramlású ülepítő láncos kotróval [7]

## Kör alaprajzú, radiális átfolyású (Dorr)

Alaprajzi kialakítása szerint kör és ennek megfelelően sugárirányú átfolyású a Dorr-ülepítő, amelyet elő- és utóülepítőnek egyaránt alkalmaznak. A szennyvízbevezetés általában a műtárgy osztóhengerén keresztül történik, amelynek szerepe az áramlási sebesség optimalizálása. A tisztított víz elvezetése a műtárgy kerülete mentén elhelyezett bukóéllal ellátott gyűjtővályúkon keresztül történik. A leülepedett és az úszó iszap összegyűjtésére kotrókat alkalmaznak. Az iszapgyűjtő zsomp környezetében holtteret kell biztosítani a zavartalan ülepedés érdekében.

## Függőleges átfolyású (dortmundi) ülepítők

A medencék kör alaprajzúak, vasbetonból készülnek, jó hatásfokkal alkalmazhatók a pelyhes szerkezetű iszapot tartalmazó szennyvizek ülepítésére. Részben előülepítőként, nagyobb részben pedig utóülepítőnek alkalmazzák. Működését tekintve a szennyvíz a csillapító hengerbe érkezik, ahonnan lefelé áramlik az iszapzsomp felé, a tisztított vizet a bukóvályúkon keresztül vezeti el. Az ülepítőtől kikerülő iszap magas szervesanyag-tartalmú, általában sűrűbb, mint az utóülepítő iszapja.

## Kétszintes ülepítők

Technológiai sorban elfoglalt helyük szerint a kétszintes ülepítőket a sűrítőkkel együtt említik. Napjainkban már nem elterjedt az alkalmazásuk, aminek egyik fő oka az alsó ülepítőtérben alkalmazott anaerob folyamatok miatti folyamatos üzemeltetési felügyelet. Ezek a műtárgyak (Imhoff-medence vagy Emscher-kút) lehetnek kör vagy négyyszög alaprajzúak. A felső tere az ülepítőtér, az alatta lévő pedig az iszaptér, ahol a kiülepedett iszap rothasztása történik.

## *Sűrítők*

Az eljárás inkább az iszapkezelési eljárások közé sorolható, amelynek célja a kezelendő iszaptér-fogat csökkentése. Az ülepítés és a sűrítés térben és időben egymás mellett lejátszódó folyamatok, az eljárás során az iszap további kezelésének nagyobb hatékonyságú víztelenítése várható.

A sűrítőket és a sűrítési eljárásokat a következő módon csoportosíthatjuk [6]:

- Gravitációs sűrítés (természetes úton vagy gépi berendezéssel): A folyamat történhet az ülepítő zsompjában, különálló sűrítőben vagy az iszapmosással egybekapcsolva. A sűrítési folyamatot több tényező befolyásolhatja, az áramlási viszonyok, a műtárgy mérete, a környezeti viszonyok és az iszap tulajdonságai (fizikai, kémiai, biológiai).
- Flotációs sűrítés (levegővel vagy vegyszerrel történő flotáció, illetve biológiai úton).
- Statikus sűrítés.
- Dinamikus sűrítés (leggyakrabban vibrációs, centrifugális, szűrés).

A közsatorna-hálózattal nem rendelkező települések vagy településkörzetek ellátását biztosítják, hazánkban korábban elterjedt kisberendezések voltak. Részben az ülepítők, részben a kis szennyvíztisztító berendezések közé sorolhatók. Kialakításuk attól függ, hogy mi a befogadó, talaj vagy élővíz.

Működésük során az első kamrába bevezetett szennyvízben lévő lebegő szennyeződés egy része kiülekszik, és egy része felúszik. A következő kamrába, illetve kamrákban (indokolt lehet 2–3 kamra kialakítása is) történő bevezetés után a kisebb lebegő szennyeződések ülepíthetők ki bizonyos tartózkodási idő után. A leülepített iszap anaerob körülmények mellett bomlásnak indul, aminek következtében az iszap egy része az úszó réteghez felúszik. A felúszott anyagok közül pedig bizonyos idő elteltével a nagy fajsúlyú részecskék üledhetnek le az alsó iszaprétegbe. Ezen műtárgyak viszonylag kis szennyvízhozamok (1–25 m<sup>3</sup>/d) fogadására és kezelésére alkalmasak. Egyszerűségükkel fogva házilagos kivitelezéssel is megvalósíthatók, energia- és kezelési igényük minimális.

### **A szennyvíztisztítás biológiai folyamatai**

A szennyvíztisztítás célja a patogének környezetbe való jutásának megakadályozása, a fertőzések és járványok megelőzése, valamint a vizeink minőségének megóvása. A tisztítatlan szennyvizek számtalan kórokozót, humán patogént tartalmaznak. A jelenleg alkalmazott szennyvíztisztítási technológiák többsége nem alkalmas minden szennyező anyag és a mikroorganizmusok eltávolítására, amelyek napokig vagy akár hetekig is túlélhetnek a természetben, és járványok forrásai lehetnek. Emiatt nagyon körültekintően kell megválasztani a szennyvíztisztítás módját, a tisztított szennyvíz környezetbe való jutását.

A kommunális szennyvíz nagy koncentrációban tartalmaz szerves anyagokat, amelyek változatlan formában való kijuttatásuk esetén (azaz tisztítás nélkül) a talajba vagy a felszíni vizekbe jutva az ott élő mikroorganizmusok hatására a körülményektől függően többnyire alkotóelemeikre bontódnak, illetve mineralizálódnak. Bomlástermékként jelentős mennyiségű szén-dioxid, valamint könnyen felvehető nitrogén- és foszforformák keletkeznek, utóbbiak a felszíni vizekbe jutva tápanyagként hasznosulhatnak. A felvehető nitrogén- és foszforformák a fotoszintetizáló, autotróf szervezetek számára (idetartoznak a növények és az algák is) általában nem állnak korlátlanul rendelkezésre a környezetben. A mezőgazdasági területekre is amiatt juttatnak ki N- és P-tartalmú trágyákat (legyen az szerves trágya vagy szervesetlen műtrágya), hogy a hiányt pótolják, így nagyobb terméshozam várható. Ha a földekről vagy a tisztítatlan szennyvíz révén ezek az anyagok a vizeinkbe jutnak, az autotróf élőlények hasznosítják azokat, így a felszíni vizekben egyrészt az algák gyors szaporodását okozzák, valamint a magasabb rendű növények elburjánzásához is vezethetnek, eutrofizációt okozva.

A szennyvíztisztítás során olyan élőlények alakítják át a szennyvízben lévő anyagokat, amelyek a természetben is megtalálhatók, viszont a technológiák alkalmazása során a mikroorganizmusok szaporodása intenzifikált, irányított. Az intenzív állattenyésztés során ahhoz, hogy sok állatot lehessen kis területen fenntartani, nagy mennyiségű tápanyagot kell bejuttatni, megfelelő hőmérsékletet és körülményeket kell biztosítani, a betegségeket, az állatok elhullását meg kell akadályozni. A szennyvíztisztítás során is intenzív tenyésztés történik, viszont a célunk a kimeneti víz megfelelő minőségének elérése. A tápanyag adott – bár a minősége és mennyisége változó –, és a feladat a szennyvíz átalakítása, a baktériumközösség fenntartása (a szaporodásuk biztosítása, a gátló körülmények kizárása). A következő fejezetekben bepillantást nyerhetünk abba,

hogy milyen változatos a mikrobák világa, az anyagcseréjük módja, mely élőlénycsoportok vesznek részt a szennyvíztisztításban, és miért is nehéz olyan körülményeket teremteni, ahol minden biológiai folyamat a kívánalmaknak (céljainknak) megfelelően működik, hogy az előírásoknak megfelelő tisztított szennyvizet állítsunk elő.

### *A prokarióták anyagcseretípusai*

A mikrobák vagy mikroorganizmusok szabad szemmel nem látható élőlények. Ezek lehetnek prokarióta baktériumok vagy valódi sejtmaggal rendelkező eukarióták. Azokat – a többnyire egysejtű – élőlényeket, amelyeknek az örökítőanyagát nem veszi körül membrán, azaz nincsen valódi sejtmagjuk, prokariótáknak nevezzük.

Bár prokarióta alatt a hétköznapi nyelvben a baktériumokat értik, és 1977 előtt valóban csak a baktériumokat sorolták ide, Carl Woese és George E. Fox a 16S riboszomális RNS-analízis alapján két taxonra osztotta a csoportot: Bacteria (baktériumok) és Archea (ősbaktériumok). Így az élőlényeket három birodalomba (domén) soroljuk jelenleg is, a harmadik csoport az eukarióták (valódi sejtmagvas élőlények). Ez utóbbiba tartoznak az egysejtű, fotoszintetizáló eukarióták (algák többsége), az egysejtű állatok, valamint a többsejtűek, a növények, gombák, állatok.

A prokarióták a világon mindenhol megtalálhatók, szerepük kiemelkedő, és nélkülözhetetlenek a bioszféra geokémiai ciklusában, alapvető szerepet töltenek be a nitrogén, szén és foszfor körforgásában is, a többsejtű szervezetek többsége elpusztulna nélkülük. A vizek öntisztulása is nagyrészt a prokarióták tevékenységének köszönhető.

A baktériumok többsége egysejtű, 1–5 mikrométer, sejtjüket membrán határolja, amelyet peptidoglikán sejtfal veszi körül. Szaporodásuk ivartalan, a sejt növekedésével egy bizonyos méretet elérve kettéosztódik, amit hasadásnak neveznek. Lehetnek pálcika (bacillus), gömb (coccus), csavart (spirochaeta), fonál, ovális alakúak, viszont morfológiai változatosságuk – az eukariótákéhoz képest – viszonylag kismértékű.

Az élőlények alapvető tulajdonságai közé tartozik a metabolizmus, amely a szervezetben végbemenő energia-, anyag- és információáramlást jelenti. A baktériumok anyagcseréje sokkal változatosabb, mint a magasabb rendű élőlényeké, energiaforrás és szénforrás szerint is különbözhet, ez a baktériumok gyakorlati csoportosításának alapja, amely nem feltétlenül tükrözi evolúciós rokonságukat. A prokariótáknak nagyon változatos az anyagcseréje, ezen belül kiemelkedik az energiatermelés terén kialakult sokszínűség. Számos olyan mikrobiális anyagcsere- (metabolikus) út alakult ki, amely a magasabb rendű élőlényeknél nem található meg.

Az ember esetében a tápanyag szervezetbe jutását (táplálkozás) követően már a szájban elkezdődik a nyálban található amiláz enzimek hatására a keményítő bontása (anyagcsere-folyamatok kezdete). Az amiláz egy ún. extracelluláris enzim, amely ebben az esetben a sejten kívül fejti ki hatását, és a keményítő (mint nagy molekulájú biopolimer) kémiai kötéseit elvágva kisebb molekulákat eredményez. A gyomorban és a bélben folytatódik a különböző makromolekulák bontása. A bélfalon keresztül felszívódnak a már lebontott, kisebb molekulájú tápanyagok, és a vérárammal jutnak el a sejtekig. A sejthártyán keresztül aktív vagy passzív transzporttal jutnak az anyagok a sejtek belső terébe.

Általában az egysejtű élőlények sem tudják a nagy méretű szerves molekulákat (polimer) közvetlenül felvenni (kivétel például DNS). Extracelluláris enzimjeik segítségével a nagy molekulákat kisebbekre bontják, majd transzportfolyamatok révén a már kisebb molekulák a sejt belsejébe jutnak.

Nagyon fontos megjegyezni, hogy a lebontás alatt több mindent érthetünk. Ez vonatkozhat sejtek, sejtalkotók, sejten kívüli és sejten belüli molekulák lebontására, kisebb egységekre való átalakítására is.

A többsejtű élőlények a szervezetükbe jutott táplálék emésztése során sejten kívüli (extracelluláris) enzimjeikkel a makromolekulákat kisebb egységekre bontják, így azok könnyebben felvehetővé válnak a sejtek számára.

Biodegradáció alatt azoknak a lebontó szervezeteknek a tevékenységét értjük, amely során a környezetben lévő szerves anyagokból kisebb molekulájú szerves, illetve szervetlen anyagok képződnek. A biodegradáció első lépésében szintén az extracelluláris enzimek működnek közre, a makromolekulákat a sejt számára felvehető kisebb molekulákra hasítják, amelyek végül az intermedier anyagcsere (lásd alább) részeivé válnak. A folyamatban a heterotróf mikroorganizmusoké a fő szerep, amelyek többnyire baktériumok és gombák.

Minden élőlény mellett, hogy molekulákat szintetizál, és ezekből felépíti önmagát, képes azokat lebontani is. Ebben az esetben a lebontó folyamatok alatt a minden sejtben lejátszódó disszimilációt értjük, amely során a sejt a saját maga által épített makromolekulákat is átalakítja, kisebbekre bontja. Akár egysejtű, akár többsejtű az élőlény, a sejtterben történő anyagcsere-folyamatokat intermedier anyagcserének hívjuk.

Az intermedier anyagcsere két *biokémiai* folyamatrendszerből áll:

- *építőfolyamatok* (asszimiláció v. bioszintézis v. anabolikus folyamatok), ezek energiát igényelnek.
- *lebontófolyamatok* (disszimiláció v. katabolikus folyamatok), ezek energiát termelnek.

A sejtalkotók felépítéséhez szükséges energia a sejteken kívülről érkezik egyrészt fényenergiaként – amely a sejtben lévő vegyületek átalakítása következtében végül kémiai energiává alakul –, másrészt vegyületek átalakításával kémiai energiaként. Mindkét esetben ATP (adenozin-trifoszfát) képződik, amely az élőlényekben a fő energiátároló és szállító molekula.

*Energiaforrás* szerint az élőlények lehetnek:

- *fototrófok* (fotoszintézis),
- *kemotrófok* (kemoszintézis).

Minden élő szervezetnek a környezetétől elhatárolt belső tere van, amelyben szabályozott és irányított folyamatokkal viszonylagos állandóságot tart fent (homeosztázis) anyagcsere-folyamatain keresztül. Az anyagcsere során számos kémiai reakció történik, ezek egy része redoxifolyamat, azaz elektroncserével jár. Amelyik anyag leadja az elektront, az oxidálódik (ez a redukálószer, az oxidációs száma nő), amelyik vegyület felveszi az elektront, az redukálódik (ez az oxidálószer, az oxidációs száma csökken).

Az anyagcsere (végső soron az élőlények is) a kezdeti elektront adó vegyület (elektronforrás, más néven elektrondonor) alapján is jellemezhető.

Ha az *elektrondonor*:

- szerves vegyület: *organotróf*,
- szervetlen vegyület (például  $H_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ): *litotróf* az anyagcsere, illetve az élőlény.

Az élőlényeket megkülönböztetjük az alapján is, hogy a sejt lebontó folyamatainál mi a terminális *elektronakceptor*:

- *aerob légzők*:  $O_2$  az elektronakceptor,
- *anaerob légzők*, ahol a szervetlen elektronakceptor lehet:
  - oxigéntartalmú szervetlen vegyület (például  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ),
  - egyéb szervetlen vegyület (például  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $S^{2-}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $H^+$ ),
- *fermentálók*:
  - szerves anyag (ezek is anaerobok és az elektrondonor is szerves!).



Az élőlényeknek sejtanyagaik felépítéséhez szénre van szükségük.

*Szénforrás* szerint elkülönítünk:

- szervesetlen szén ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ): autotróf asszimiláció, *autotróf* szervezetek,
- szerves kötésű szén (C-C kötés): heterotróf asszimiláció, *heterotróf* szervezetek.

#### 1.4. táblázat

*Az élőlények nyolc csoportja (saját szerkesztés)*

| Energiaforrás           | Elektron donor         | Szénforrás (szerves v. $\text{CO}_2$ ) | Elnevezés                 |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| Fény<br>Foto-           | Szerves<br>-organo-    | -heterotróf                            | 1. Foto-organo-heterotróf |
|                         |                        | -autotróf                              | 2. Foto-organo-autotróf   |
|                         | Szervesetlen<br>-lito- | -heterotróf                            | 3. Foto-lito-heterotróf   |
|                         |                        | -autotróf                              | 4. Foto-lito-autotróf     |
| Kémiai kötések<br>Kemo- | Szerves<br>-organo-    | -heterotróf                            | 5. Kemo-organo-heterotróf |
|                         |                        | -autotróf                              | 6. Kemo-organo-autotróf   |
|                         | Szervesetlen<br>-lito- | -heterotróf                            | 7. Kemo-lito-heterotróf   |
|                         |                        | -autotróf                              | 8. Kemo-lito-autotróf     |

A fotoszintetizálók a Nap sugárzó energiáját, a fényenergiát alakítják kémiai energiává. Fotoszintézisre prokarióta és eukarióta szervezetek is képesek. A fototróf szervezetek általában autotrófak is, mivel többségük szervesetlen C-forrást, szén-dioxidot és oldott formáit használja szénforrásként szerves vegyületek előállítására. A zöld növényeknél a fény hatására a vízmolekula adja le az elektront (-lito-: elektrondonor szervesetlen), az elektronakceptor az oxigén, így a növények foto-lito-autotróf aerob szervezetek (ábra 4. csoport).

A cianobaktériumok is főleg ezt az anyagcsereformát alkalmazzák, fényben, oxigéndús környezetben szén-dioxidot kötnek meg. Legtöbbjük obligát oxigéntermelő aerob foto-lito-autotróf (4). Több faj szulfid jelenlétében anoxikus fotoszintézisre képes váltani (4). Egyes fajok képesek sötétben aerob heterotrófként életben maradni (5). Ilyenkor főként cukrokat, mint például glükózt, szacharózt és fruktózt bontanak. A cianobaktériumok képesek a légköri nitrogént megkötni, így számos esetben a vízvirágzás okozói, mivel szaporodásukat nem gátolja, ha az élőhelyükön (vízben, talajban) elfogy a szervesetlen N-forrás.

A felszíni vizekben a fotoszintézis a sekély tavakban, a folyóvizekben, a mély tavak felső rétegében (epilimnion, fotolitikus réteg) megy végbe. A fotoszintetizálóknak az öntisztulási folyamatokban elsősorban oxigéntermelőként van jelentősége, ezenkívül a szervesetlen sók mint tápanyagok beépülnek szervezetükbe.

Az obligát (jelentése: kivétel nélkül, kötelezően) aerobok csak oxigén jelenlétében, az obligát anaerobok csak oxigénmentes környezetben képesek túlélni. A fakultatív anaerobok jobban nőnek aerob környezetben, de oxigén hiányában is képesek anyagcserére. Az aerotoleráns anaerobok nem képesek hasznosítani az oxigént, de nem is toxikus számukra. A mikroaerofilek növekedési maximumot a légköri oxigénnél kevesebb oxigént tartalmazó környezetben mutatnak.

A szervesanyag-bontás történhet aerob (oldott oxigén jelenlétében) vagy anaerob (oldott oxigén hiányában) közegben. Légköri oxigén jelenlétében történő disszimiláció a biológiai oxidáció vagy aerob légzés, egyéb szervesetlen elektronakceptor esetén (például nitrát, vas) a szén-dioxidot termelő lebontó folyamatokat anaerob légzésnek nevezzük. Fermentáció vagy erjedés az a lebontó



folyamat, amikor a szerves anyagok anaerob lebontása során nem szén-dioxid, hanem szerves molekula képződik (például alkohol, tejsav a terminális elektronakceptor).

Az aerob lebontás végtermékei megegyeznek a szervesanyag-termelés kiindulási vegyületeivel, végső soron  $\text{CO}_2$  termelődik. Az aerob légzés a vízi szénforgalom egyik tipikus folyamata, amely jellemzően a szerves anyaggal túlságosan nem terhelt folyóvizekben, a sekély tavakban és a mély tavak felső vízrétegében (epilimnion) megy végbe.

Anaerob körülmények szerves anyaggal túlterhelt folyókban és sekély tavakban, valamint a mély tavak alsó vízrétegében (hipolimnion) alakulhatnak ki. Az anaerob lebontás során az oxidáció nem teljes, a végtermékek között  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  és kis molekulájú telítetlen szerves vegyületek keletkezhetnek. Ez utóbbiak – más, nem szénvegyületek mellett – hozzájárulnak a víz íz- és szagproblémáinak kialakulásához.

A gyakorlatban a mérnökök anoxikus viszonyok alatt azt értik, amikor szabad (oldott) oxigén nem áll rendelkezésre, de kötött oxigén (például nitrátban, szulfátban) van a vízterben, ezt tudják hasznosítani a baktériumok. A biológusok a molekuláris oxigén hiányát értik az anoxikus körülmények alatt.

Az élőlények képesek lehetnek váltani az egyes anyagcsereutak között. Ez még az emberi sejtlégzésnél is előfordul: oxigén jelenlétében a glükózból szén-dioxid keletkezik (glikolízis), oxigénhiányban viszont (nagy erő kifejtésénél) a glükóz bontása nem teljes, fermentációval piroszőlősav keletkezik.

Mixotrófok az olyan szervezetek, amelyek az egyes anyagcsere-folyamatok tekintetében több útvonalat is választhatnak a környezettől függően, mindig az optimális energiatermelésnek megfelelően. Egyes bíbor nemkén baktériumok például képesek fotolitotróf, fotoorganotróf, kemoorganotróf légző és fermentáló anyagcserére is. Ekkor nemcsak az ATP-előállítás módjában, de a redukáló erő forrását illetően is váltanak, sőt még az autotróf, illetve heterotróf anabolizmusba is átkapcsolnak.

A kemoszintetizáló baktériumok energiájukat különböző anyagok oxidációjával nyerik. A korábban említett fotoszintézist leszámítva elsődlegesen az összes szerves anyag ezen a táplálékláncszinten asszimilálódik.

A heterotróf szervezetek a legtöbb ökoszisztémában mind számban, mind aktivitásukban dominálnak. Csak szerves szénforrást képesek hasznosítani. A heterotróf élőlények is kétféleképpen nyerik az energiát. A kemo-organoheterotrófok (5. csoport) kémiai energiát hasznosítanak. A vizek öntisztulása során a szerves anyagok lebontásában (biodegradáció) az ide tartozó mikroorganizmusnak van a legnagyobb szerepe, de ilyen anyagcseréjű a legtöbb kórokozó baktérium is.

Anaerob körülmények között egyes mikroorganizmusok a kötött (nitrátban, szulfátban és esetleg a foszfátban lévő) oxigént hasznosíthatják. Ezért ilyen körülmények között a denitrifikációs, szulfát- és foszfátredukciós aktivitás nőhet. Az, hogy melyik folyamat megy végbe, a redoxpotenciáltól függ. Addig, amíg a nitrát jelen van a vízben, az élőlények ezt az oxigénforrást hasznosítják (redoxpotenciál =  $-50\text{ mV}$ ). A szulfát redukciójához  $-200\text{ mV}$ , a foszfátéhoz  $-700\text{ mV}$  redoxpotenciál szükséges. Ezeket a redukciós folyamatokat más és más mikroorganizmusok végzik.

Minden heterotróf élőlény táplálkozás szempontjából más élőlényekre van utalva, és a táplálék jellegétől függően az ökológia több csoportot különít el. Például: ragadozók, dögevők, növényevők, paraziták, szimbioták. A szimbiózis olyan – nem feltétlenül táplálkozási – kapcsolat, amely során mindkét fél előnyöket élvez. A szintrofizmus (syntrophy) mikrobiológiában, mikrobiális ökológiában gyakran használt kifejezés, a szimbiózis azon esete, amikor egy faj növekedése egy másik faj termékére van utalva. A víztestekben az anyag- és energiaáramlás a szintrofikus kapcsolatok révén valósul meg.

## *A lebontás biokémiai folyamatai*

A kommunális szennyvizek nagy koncentrációban tartalmaznak szerves anyagot, amelynek jelentős része makromolekula. Egyes molekulák például UV hatására fizikai-kémiai változásokon mennek át, vagy a környezet más molekuláival reakcióba lépnek. Nagyon sok molekulát viszont az élő szervezetek biokémiai folyamatai alakítanak át, amely folyamatok során alapanyagot és energiát nyernek testük felépítéséhez.

A sejtekre, így a mikroorganizmusokra is jellemző, hogy a nagyobb molekulaméretű szerves molekulákat eredeti formájukban nem képesek a sejtbe közvetlenül felvenni, csak részleges enzimatis lebontás után. Az enzimek biokatalizátorok, szerepük a biokémiai reakciók kialakítása, gyorsítása, többségük fehérje természetű molekula.

A szerves anyag lebontása vagy biodegradációja a sejten kívül kezdődik az extracelluláris enzimek lebontó folyamataival. Ezek az enzimek a biopolimereket (fehérjéket, nukleinsavakat, poliszacharidokat) és más nagy méretű molekulákat (például lipideket) komponenseikre, oligomerekre, monomerekre képesek hasítani, amelyek így már átjutnak a sejtfalon, illetve sejtmembránon. Az extracelluláris enzimek (például proteázok, nukleázok, lipázok) specifikusan ismerik fel és bontják le a molekulákat. A bejutott molekulákat a celluláris, azaz a sejten belüli enzimek bontják tovább, illetve alakítják át.

Az evolúció során mutációkkal számos lebontási útvonal alakult ki, de vannak olyan konzervatív folyamatok, amelyek szinte minden élőlényben egyformák.

A leggyakoribb enzimtípusok:

- hidrolázok,
- oxidoreduktázok,
- transzferázok,
- liázok,
- izomerázok,
- ligázok.

A csoportokba számos specifikus és kevésbé specifikus enzim tartozik. Az egyes makromolekulák lebontása számos enzim közreműködésével történik. Például a biopolimerek lebontásának első lépése a hidrolízis. A hidrolázok a szubsztrátmolekulát víz belépésével hasítják. Ennek során a vízmolekula hidroxilcsoportja a szubsztrátmolekula egyik, míg a protonja a másik részére kerül. A poliszacharidokban lévő glikozidos kötések lebontásáért a glikozidázok, a fehérjék peptidkötésének hasításáért a proteázok, míg a trigliceridekben lévő észterkötések hidrolíziséért az észterázok felelősek.

## Szénhidrátok bontása

A szénhidrátok szénből, hidrogénből és oxigénből állnak, fontos tápanyag-, szén- és energiaforrások. A monoszacharidok a legegyszerűbb szénhidrátok, ilyen a fruktóz (gyümölcscukor), mannóz, galaktóz, glükóz, utóbbi élő szervezetben D-glükóz (dextróz) formában található. A vércukor, a szőlőcukor a krumplicukor elnevezés az eredetükre utal, kémiaiilag mind glükóz. A monoszacharidok vízben jól oldódnak, a sejtek számára könnyen felvehetők, az anyagszereutakba könnyen beépülnek. A diszacharidok két monoszacharid-egységből álló szénhidrátok, idetartozik a mindenki számára ismert kristálycukor, a szacharóz (répacukor), a laktóz (tejucukor), a maltóz (malátacukor) és a cellu-

lóz építőeleme (illetve köztes bomlásterméke), a cellobióz. Utóbbit az emberi szervezet nem tudja bontani. Az oligoszacharidok 3–10 monoszacharidból álló molekulák, amelyek egy részét (például frukto-oligoszacharidok) az emberi szervezet szintén nem tudja lebontani, de a bélben található baktériumok egy részének hasznos tápanyag. A poliszacharidok monoszacharid-egységekből felépülő óriásmolekulák. A keményítő az egyik leggyakoribb poliszacharid, a növények tartalék-tápanyagaként raktározódik, glükóz monomerekből álló amilóz- és amilopektin-egységekből épül fel. A baktériumok és gombák extracelluláris amiláz enzimek kisebb egységekre hasítják, amelyek további bontása már a sejten belül, az intermedier anyagcsere keretében történik. A pektin a növények sejt közötti állományában található, vízben oldhatatlan vegyület. Lebontását aerob és fakultatív anaerob baktériumok és gombák végzik.

A cellulóz glükózegységekből épül fel, a növények vázának építőeleme, a természetben legnagyobb tömegben előforduló szerves anyag, lebontására a legtöbb élőlény nem képes. A cellulóz természetes bontása fizikai aprítással kezdődik (például ízeltlábúak: ászkarák, felemáslábú rákok, ikerszelvényesek, rovarok, földigiliszták), amely során a felület növelése miatt hozzáférhetőbb lesz a biodegradációt végző mikroorganizmusok (gombák, baktériumok) számára. A bontás többnyire mikrobiális konzorciumban történik, számos extracelluláris enzim végzi, a képződő alegységeket (cellobióz, glükóz) a sejtek már fel tudják venni.

Az egyes baktériumfajok sokféle szénhidrátot hasznosíthatnak, a rendelkezésükre álló szénhidrátoknak megfelelően szintetizálják a lebontáshoz szükséges enzimeket.

A szennyvíztisztítás során egy adott összetételű, megfelelően működő baktériumközösség fenntartásához szükséges az állandóság biztosítása, így a folyamatos tápanyag-utánpótlás is. Emiatt a szennyvíztisztító kisberendezések is akkor tisztítanak a leghatékonyabban, ha egész évben folyamatosan működnek. Ennek érdekében, ha a berendezésbe csak pár hétig nem érkezik tápanyag friss szennyvíz formájában, célszerű a szénforrást könnyen felvehető formában, például szacharózzal (kristálycukor) pótolni.

## Lipidek bontása

A lipidek nem egységes szerkezetű vegyületek csoportja, de közös tulajdonságuk, hogy vízben rosszul oldódnak, biológiailag lebonthatók. Idetartoznak a sejtthártyát alkotó foszfolipidek, a tartalék tápanyagot jelentő neutrális zsírok (zsírok és olajok), a szteroidok (hormonok, koleszterin, D-vitamin) és a karotinoidok (karotin, likopin, xantofill, A-vitamin). A lipidek többsége közvetlenül a sejtbe nem vehető fel, így bontásuk az extracelluláris lipáz enzimekkel kezdődik. Zsír-bontó gombák például *Rhizopus sp.*, *Geotrichum candidum*, *Aspergillus niger*, *Penicillium cyclopium* fajok, baktériumok közül például az *Actinomyces*, *Mycobacterium* és a *Pseudomonas* nemzetség tagjai.

Bár a mikroorganizmusok képesek lebontani a lipideket, mégsem szabad nagy mennyiségben, például használt étolaj formájában a lefolyóba önteni. A növényi olajok, az állati zsírok a szennyvíz szerves alkotóelemeivel a csatornahálózatok falán kemény bevonatot képeznek (zsírkő), amely az évek során beszűkíti a csövek keresztmetszetét, és nehezen elhárítható dugulást okozhat a házi és kommunális hálózatokban egyaránt. Az olajos anyagok az élőlények felületén bevonatot képeznek, akadályozva az anyagcserét, ami nemcsak a mikroorganizmusok, hanem a magasabb rendű élőlények pusztulását is okozza. A szennyvíztisztítóknál a felúszó zsíros anyagok koncentrációjának csökkentése mechanikai tisztítással, úgynevezett zsír- és olajfogó berendezésekkel történik (lásd korábban).

## Fehérjék bontása

A fehérjék aminosavakból felépülő polimerek. Közel 500-féle természetes aminosav ismert, amelyek közül 22 fehérjealkotó, ezek közül 9 aminosav esszenciális az emberi szervezet számára, azaz nem tudjuk szintetizálni, csak a táplálékfelvétellel pótolni. A fehérjékhez tartoznak az enzimek, számos hormon (például inzulin), a struktúrfehérjék (például kollagén), az izom tömegét adó aktin és miozin, transzportfehérjék (például hemoglobin), toxinok (például gombamérgek, kígyómérgek).

A heterotróf prokarióták a környezetben található fehérjéket jól tudják hasznosítani (Pseudomonadales sp., Eubacteriales sp.) mint anyag- és energiaforrást. Ennek hiányában időlegesen saját fehérjeiket bontják el a szükséges aminosav-mennyiség fedezésére. A fehérjék bontása szintén extracelluláris enzimek (proteázok és peptidázok) segítségével kezdődik, majd az aminosavak bontása a sejtben fejeződik be.

## Xenobiotikumok

A szerves szennyező anyagok nagy része a legtöbb szervezet számára xenobiotikum, amelyeket a mikroorganizmusok sem tudnak közvetlenül lebontani, anyagsereűtjaiknak idegenek ezek a vegyületek (xeno = idegen). Ez nem meglepő, hiszen az anyagsere-folyamatok kialakulása az evolúció során történt, és a szervezetek korábban nem találkoztak ezekkel az anyagokkal. A xenobiotikum egy része ennek ellenére bizonyos mikrobafajok együttműködésével lebontható biológiai úton. Nagy probléma napjainkban, hogy számos anyag kimutatására nincs protokoll, és előfordulásukat a jogszabályok nem megfelelően korlátozzák. Sok anyag hatása csak feltételezhető, de nem kellően bizonyított. A xenobiotikumok lehetnek szerves anyagok, például toxikus fémek, de a vegyületek típusát és mennyiségét tekintve az antropogén eredetű szerves mikroszennyezők száma nagyságrendekkel nagyobb. Idetartozik a gyógyszerek többsége, az illegális pszichoaktív szerek, a kozmetikai és testápoló szerek, a rezisztenciagének, a peszticidek, az életviteltermékek, élelmiszer-adalékanyagok, a felületaktív anyagok, a szerves fertőtlenítés melléktermékei, az égési melléktermékek, toxinok, fémorganikus vegyületek és még számos egyéb ipari kemikália (például lágyítók, égésgátlók, üzemanyag-adalékok). A xenobiotikumok egy része közvetlenül nem mérgező a szennyvíz lebontó szervezeteire, de a befogadó vízbe kerülve az ott élő szervezetekbe juthat, azokban felhalmozódhat, és komoly környezeti károkat okozhat. Más részük viszont kifejezetten toxikus lehet a mikroorganizmusokra, azok pusztulását okozhatja, így a szennyvíz lebontása nem történik meg. Emiatt fokozottan ügyelnünk kell arra, hogy minél kevesebb vegyi anyag jusson a lefolyókba).

## *Az eleveniszap életközössége*

A biológiai szennyvíztisztítás során a szerves anyagok lebontását, a nitrogén- és foszforformák átalakítását mikrobiális közösségek végzik, amelyek lehetnek felülethez kötöttek vagy eleveniszapban élők. Az eleveniszap egy olyan mesterségesen létrehozott és fenntartott életközösség, amelynek tagjai szoros egymásrautaltsági hálózatban élnek. Az eleveniszap életközösségét baktériumok, csillós egysejtűek, ostorosok, amőbák és többsejtű élőlények alkotják. Ezek az élőlények természetes körülmények között vizes élőhelyeken, felszíni és felszín alatti vizekben, folyókban, tavakban fordulnak elő. A közösség összetételét a szennyvízben mesterségesen kialakított környezeti feltételek befo-

lyásolják. A szennyvíztisztítás során alkalmazott technológiai elemek, a szennyvízvezető csatorna kialakítása, az üzemeltetés gyakorlata egyaránt befolyásolja a kialakuló eleveniszap fajösszetételét.

Az életközösséget alakító legfőbb technológiai tényezők:

- a nyers szennyvíz összetétele,
- a szennyvíz tartózkodási ideje a csatornahálózatban,
- az eleveniszap biológiai szempontú terhelése (szervesanyag-tartalom),
- a levegőztetőmedence oldottoxigén-koncentrációja,
- hőmérséklet,
- a dekant- és csurgalékvizek kezelése,
- a fölösiszap tárolási, víztelenítési gyakorlata.

Az eleveniszap angol megfelelője: activated sludge, azaz aktivált iszap. A kifejezés jól körülírja az eleveniszap fogalmát, ugyanis az iszapot alkotó mikroorganizmusok a természetes környezetben is ugyanazt az élettevékenységet folytatják, mint a szennyvíztisztító telepen, azonban ebben a mesterséges környezetben a különböző technológiai elemek segítségével (például intenzív levegőztetés) a folyamatok sokkal gyorsabban játszódnak le.

Az Amerikai Egyesült Államokban a szennyvíztisztító telep technológusának megnevezése: bug farmer, azaz bogár (átvitt értelemben baktérium) tenyésztő. A fogalom a szennyvíztisztítás biológiai nézőpontú megközelítését festi elénk, azaz a technológus az állattenyésztőhöz hasonlatosan igyekszik megteremteni a baktériumok számára az optimális életkörülményeket.

## Baktériumok

Az eleveniszap életközösségének alapját a baktériumok adják. Az iszap biomasszájának fő tömegét ők alkotják. Élettevékenységeik során a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvízben található szennyező anyagokat elfogyasztják és/vagy átalakítják, ami során energiát nyernek, és szaporodnak. A települési szennyvizekben található nitrogén, szén, valamint foszfor vegyületeinek eltávolítását képesek megvalósítani.

Élettevékenységeik szerint három fő csoportba sorolhatjuk őket:

- Kemo-organo-heterotróf baktériumok: szervesanyag-eltávolításra képes baktériumok.
- Nitrifikáló baktériumok: biológiai nitrogéneltávolításra képes kemo-lito-autotróf baktériumok. Az ammóniaoxidálók tudományos neve *Nitroso-* (például *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*) míg a nitritoxidálók neve *Nitro-* (*Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospina*, *Nitrospira*) előtaggal kezdődik.
- Poli-P baktériumok (biológiai foszforeltávolításra képes baktériumok): igen különböző Gram-pozitív és Gram-negatív baktériumok képesek polifoszfat betárolására, vannak közöttük fonalas formák is. Jellemzőbb taxonok: *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Coryne* és *Microlunatus* fajok.

Az eleveniszap-baktériumok az eleveniszapban a következő formákban lehetnek jelen:

- szabadon úszó baktériumok: a pelyhekbe még nem beépült baktériumok,
- helyalkotó baktériumok: a baktériumok a vízben üledni képes, tömör közösséget alkotnak,
- fonalas baktériumok: speciális baktériumok, amelyek sejtjei fonalakká szerveződnek.

## Csillós egysejtűek

A *Protista* csoportba a hagyományos rendszertani besorolásban az egysejtű eukarióták tartoztak. A fotoszintézisre képes, növényekhez hasonló anyagcserét folytató egysejtűek alkották a különféle moszat- (alga-) csoportokat. A *Protozoa* taxonba a heterotróf életmódra (is) képes élőlények tartoztak, amelyek a gombákéhoz vagy az állatokéhoz hasonló anyagcserét folytatnak, de sok közöttük az élősködő, patogén szervezet is. Vannak olyan fajok, amelyek heterotróf táplálkozás mellett fotoszintézisre is képesek, ilyenek például az ostoros moszatok (*Euglenozoa*). A jelenlegi filogenetikai besorolás a fajok leszármazási viszonyait tükrözi DNS-szekvenciájuk alapján, amelyre részleteiben most nem térünk ki, a fejezetben praktikus okokból a hagyományos elnevezéseket is alkalmazzuk.

A csillós egysejtűek az egysejtű eukarióta, *Protozoa* élőlények egy csoportja. Nevüket a testükön egyenletesen vagy mezőikbe rendeződve elhelyezkedő csillókról kapták, amelyek a táplálkozást és a helyzetváltoztatást segítik elő. A csillósok fontos tagjai a eleveniszap táplálékhálózatának, rendszerint dominálnak az eleveniszap egysejtű faunájában, ezért kiemelt szerepet tulajdoníthatunk nekik.

A csillós egysejtűek legfőbb táplálékai a baktériumok, ezért a baktériumpopuláció rendszeres fogyasztásával elősegítik azok folyamatos megújulását. Előfordulnak saját protozoatársaikat fogyasztó fajok is, de maguk a csillósok is a kerekessérgek és a szívókások áldozataivá válhatnak. A szennyvíztisztító telepek eleveniszapjában két fő kategóriára oszthatjuk a csillós élőlényeket, a szabadon úszó és a helytűlő csillósokra.

A szabadon úszó csillós egysejtűek a baktériumok által kialakított pelyhek között úszva keresik táplálékaikat, amelyek lehetnek szabadon úszó, a pelyhekbe még be nem épült bakteriális sejtek vagy a pelyhek felszínén rosszul kötődő szerves anyagok, esetleg élő vagy elhalt baktériumok. A pelyhek felszínét legelő csillósokat a pelyhek karbantartóinak is szokás nevezni, ugyanis ezzel a tevékenységükkel segítik a pelyhek külső felszínének folyamatos megújulását és a pelyhek gömbölyded, tömör, jó ülepedési képességű formájának kialakulását (például *Aspidisca cicada*, *Holophrya* sp., *Colpidium* sp.).

A helytűlő csillósok a pelyhekhez egy szárképlettel kihorgonyozva élnek, és a pehely közötti térben található szabadon úszó baktériumokat, szerves törmelékeket fogyasztják. Ezzel a tevékenységükkel olyan apró szennyeződések iszapba épülését teszik lehetővé, amelyek az apró méretüknél fogva a szennyvíztisztító telepet elhagynák a tisztított vízben. Egyes fajaik kolóniákat alkotnak, egy központi szárral csatlakoznak a pehelyhez, majd ez a szár elágazik, és több sejt kapcsolódását teszi lehetővé (például *Epistylis* sp.).

A csillósok a jól működő eleveniszap indikátorai, 5–10 ezer egyed/ml állományaik általában optimális körülményekre utalnak, míg a kisebb és egyhangúbb faji összetétel rosszabb működést, gyengébb tisztítási hatásfokot indikál. Teljes hiányukból toxikus anyagok jelenlétére, oxigénhiányra, túlterhelésre, berothadásra következtethetünk.

## Amőbák

Az amőbák szintén a *protozoa* csoport képviselői. Sejtalakjuk amorf, folyamatosan változik, az állásaik segítségével mozognak, ami során a sejt több pontján kitüremkedő sejthártyába egyszerűen átfolyik az élőlény belső sejtállománya, a sejtplazma. Az eleveniszapban számtalan fajuk képes megélni, a különböző fajok különböző méretűek lehetnek, a néhány mikrométeres nagyságtól egészen a 7–800 mikrométeres nagyságig terjedhetnek. Legjellemzőbb fajok, amik az eleven-



iszapban előfordulnak, a *Mayorella sp.*, az *Amoeba proteus* vagy az *Arcella sp.* Egysejtűek, egyszerű sejtfelépítésűek, sejtjukat egy vékony hártya határolja, a sejtmembrán. Ostorral és csillóval nem rendelkező, állabakkal mozgó élőlények, amelyek a táplálékot állásaik segítségével kebelezik be, így fénymikroszkóppal gyakran láthatók bennük táplálékot tartalmazó üregek (vakuólumok).

Táplálkozásuk heterotróf, azaz más élőlények sejtanyagának elfogyasztásából származó szerves anyagból építik saját sejtjeik anyagát. Az iszap vízfázisában oldott formában található nagy koncentrációjú szerves anyagok jelenlétét indikálják.

Egy vagy több valódi sejttaggal rendelkező élőlények, szaporodásuk mitózissal történik. A mitózis során a sejt génállománya megkettőződik, majd kettéosztódik. A folyamat során keletkező két sejt genetikai állománya megegyezik, ezért a mitózist számtartó osztódásnak nevezzük.

Az eleveniszapban előforduló amőbáknak két nagy csoportját különböztetjük meg: a csupasz amőbákat és a házast (héjas) amőbákat. A házast amőbák sejtfelépítése teljesen azonos a csupasz amőbákéval, de ők egy külső héjat építenek maguk köré vasból és mangánból. A házast sárgás színű, ami az egészen halványtól a sötétvörösig terjedő színtartományt jelentheti.

A csupasz amőbák az eleveniszap-pelyhek között szabadon úszva figyelhetők meg, a pelyhekbe be nem épült baktériumokat, protozoákat, szerves törmelékeket fogyasztanak. A házast amőbák a házastukon található pórusokon keresztül beáramló szennyvízben található sejtek törmelékeivel, szerves anyagokkal táplálkoznak.

### Ostoros egysejtűek

Az egysejtű, protozoa élőlények egy csoportja. Nevüket a jellegzetes sejtalkotójukról, az ostorukról kapták. Fajtól függően lehet egy vagy néhány ostoruk, ezekkel tudnak helyváltoztató mozgást végezni és tájékozódni a környezetükben. Valódi sejttaggal rendelkeznek, osztódásuk mitózissal történik. Méretük 1–200 mikrométer. A szennyvíztisztító telepek mesterséges ökoszisztémájában a szennyvízben található szerves anyagokkal, bakteriális sejtekkel táplálkoznak.

A szennyvíztisztító telepek eleveniszapjában számtalan ostoros faj képes megélni és szaporodni. A kis ostorosok, például *Bodo sp.* (mérete 10–20 mikrométer), jellegzetes szaltózó mozgással, míg a nagyobb mérettartományba tartozó szintelen szemestorosok az ostorukat előrenyújtva úsznak.

Nagyon jól használhatók a szennyvíztisztító telepek működési hatékonyságának monitorozására, ugyanis egyedszámuk megváltozása jelentős információkat hordoz magában.

A szennyvíztisztító telepek beüzemelésének kezdetén egyedszámuk mindig nagy, megközelítőleg 10–50 ezer egyed/ml, azonban normál üzemi körülmények között háttérbe szorúlnak, vagy teljesen el is tűnnek az ökoszisztémából.

A levegőztetőmedencében élő fajok közül a legtöbb az erősen szennyezett, nagy terhelés indikátora így üzemszerű működés közbeni elszaporodásuk rothadási folyamatokat, hirtelen megnövekedett biológiai terhelést jelez, amelynek okai a következők lehetnek:

- az elvett fölösiszap túlzottan hosszú tárolási ideje, ahonnan a csurgalékvíz nagy mennyiségű, anaerob körülmények között kialakult redukált S-kötést, szerves savakat tartalmazva érkezik vissza a technológiára,
- egyes reaktorok nem megfelelő keveredése (itt kiülepedik az iszap, és anaerob rothadás indul el),
- tartós szervesanyag-túlterhelés,
- rossz oxigénellátás, meghibásodott levegőztetőelemek, csökkent oxigénbeoldódás.



## Többsejtű élőlények

Magas szerveződési szintű élőlények, amelyek az eddig tárgyalt protozoa élőlényektől nagyban különböznek. A többsejtűek sejtjei szöveteket, a szövetek szerveket, a szervek szervrendszereket alkotnak az élőlényben. Az eleveniszap többsejtű életközösségét többsejtű állatok alkotják (*Eumetazoa*), a növények és gombák nem jellemzőek. Méretük alapján 50–100  $\mu\text{m}$  nagyságtól néhány mm-ig terjedő skálán találhatók. Egyes *Nematoda* fajok szabad szemmel is jól láthatók. A magasabb szintű taxonok azonosítása jól kivethető, határozó bélyegeiknek köszönhetően viszonylag egyszerű.

Táplálkozásuk heterotróf, a törmelékfogyasztó, legelő, szűrő fajok mellett a ragadozók baktériumokat, ostorosokat, csillós egysejtűeket vagy kisebb többsejtű társaikat fogyasztják el, de többségük vegyes táplálkozást folytat. Az eleveniszap élőlényeiből felépülő tápláléklánc csúcsát alkotják, domináns csoportjaikhoz tartoznak a fonálférgesek (*Nematoda*), kerekessférgesek (*Rotifera*, *Rotatoria*) és a kevéssejtű gyűrűsférgesek (*Oligochaeta*), bár alacsony terhelésű rendszerekben előfordulnak a csillóshasúak (*Gastrotricha*) és medveállatkák (*Tardigrada*) is.

Bár szaporodásuk jellemzően ivaros, a kerekessférges többségének csak nőtényei ismertek, szűznemzéssel (partenogenezis) szaporodnak, amely során az anyaállat testében a fejlődő tojások a pelyhek között is gyakran megfigyelhetők.

A metazoa egyedszáma általában sokkal alacsonyabb, mint a protozoa élőlényeké, mivel szaporodásuk jelentősen hosszabb időt vesz igénybe. Jellemzően 1–10 egyedet lehet megfigyelni egy csepp (30  $\mu\text{l}$ ) eleveniszap-mintában. Elsősorban a stabilizálódott (idős) eleveniszapban élnek, ezért annak jellegzetes indikátor fajaként tartják számon őket. Szűrő táplálkozásuk révén csökkentik a pelyheken kívüli baktériumok számát, másrészt szabályozzák a pelyhek méretét. A pelyhek struktúráját lazítva növelik a belső területek oxigénellátottságát. A többsejtű fajok túlzott elszaporodása nemkívánatos, mert aktív mozgásukkal, táplálkozásukkal akadályozhatják a pehelyképződést, rongálhatják a pelyhek struktúráját.

A környezeti hatásokra (főleg a mérgező anyagokra) általában érzékenyen reagálnak, egyedszámuk csökkenéséből az iszapkor csökkenésére vagy toxikus anyagok jelenlétére következtethetünk.

### *Az eleveniszap biokémiai folyamatai*

A települési szennyvíztisztítás funkciója a lakossági fogyasztás során beszennyezett ivóvíz megtisztítása. Három fő komponens eltávolítása kulcsfontosságú: a szerves anyag, a nitrogén, valamint a foszfor.

#### A foszfor eltávolítása

A foszfor biológiai úton történő eltávolítása az úgynevezett bio-foszforelimináció, amely során a poli-P baktériumok sejtjeikbe zárják a foszfort. A biológiai foszforeltávolítás mellett a szennyvíztisztító telepek gyakran alkalmazzák a kémiai foszforeltávolítást szervesen koaguláns segítségével.

Az eleveniszapos rendszer iszapjának ciklikusan aerob, majd anaerob körülmények közötti kezelése esetén bizonyos mikroorganizmus-csoportok (ún. poli-P baktériumok) lényegesen nagyobb mennyiségű foszfor felvételére, s így fölösizzappal történő eltávolítására ösztönözhetők. Az aerob fázisban a megfelelően kifejlődő, többletfoszfor-eltávolításra alkalmas poli-P baktériumok nagy koncentrációban képesek foszfor betárolására a sejtközi állományban polifoszfát formájában.

Anaerob környezetben ugyanakkor a betárolt polifoszfátot depolimerizálják, oldatba engedik, miközben az ebből nyert energiával egyszerű szerves tápanyagot tudnak felvenni a sejtjeikbe. Az anaerob közeg a poli-P baktériumok számára ugyanúgy stresszállapotot jelent, mint a „normál” aerob baktériumoknak, viszont szelekciós előnyben vannak az említett tápanyagfelvétel miatt. A sejtek az akkumulált polifoszfátot mint foszforforrást és energiaforrást is hasznosítják az energiaszegény anaerob közegben. A foszfor ilyen nagymértékű tárolására csak a poli-P baktériumok képesek, és csak a felvázolt üzemiállapot mellett. A polifoszfát akkumulációjára képes baktériumközösség összetétele nagymértékben függ az üzemeltetéstől és a tisztítandó szennyvíz összetételétől.

A hatékony bio-foszforelimináció feltételei az eleveniszapos rendszerben:

- legyen elegendő, könnyen felvehető tápanyag az anaerob rendszerben,
- a recirkulációs iszap mentes legyen oldott oxigéntől és nitráttól,
- ne legyen túl nagy az iszap tartózkodási ideje az utóülepítőben, mert a kialakuló anaerob viszonyok miatt a sejtek leadhatják a felvett foszfátot.

A bio-foszforeltávolítás a legalacsonyabb költséggel járó formája a szennyvízben található foszfor-koncentráció eltávolításának.

### Nitrogén eltávolítása

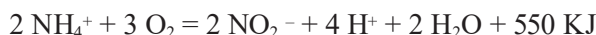
A nitrogén eltávolítása a nitrogéntartalmú szerves vegyületek lebontásával történik, amely során szerves nitrogénvegyületek, végső soron nitrogéngáz (N<sub>2</sub>) képződik. A folyamat három egymást követő bioreakcióból áll: ammonifikáció, nitrifikáció és denitrifikáció. A felszíni befogadókba kerülő nitrogéntartalom több módon is jelentősen károsítja az élővizek ökoszisztémáját (például az ammónia mérgező a halakra, a nitrát pedig részt vesz az eutrofizációs folyamatokban), ezért a szennyvizek nitrogéntartalmának hatékony eltávolítása a korszerű szennyvíztisztítási technológiák elengedhetetlen követelménye.

Az ammonifikáció a szerves nitrogéntartalmú vegyületek bomlása során képződik, szennyvízben jellemzően bakteriális enzimek katalizálják a folyamatot.

### Nitrifikáció

Az ammónia oxidációja nitráttá a nitrogéntartalmú szerves vegyületek lebontásának második lépése, amelyet a kemo-auto-litotróf nitrifikáló baktériumok (*Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*) végeznek. A nitrifikáció folyamata két lépésben megy végbe: az első lépésben a *Nitrosomonas sp.* baktériumfajok az ammóniumot nitráttá alakítják, majd a második lépésben a *Nitrobacter sp.* fajok pedig a nitráttá nitráttá.

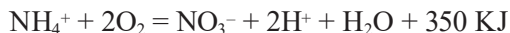
A nitrifikáció első lépése (az ammónia nitráttá alakítása, *Nitrosomonas sp.*):



A nitrifikáció második lépése (nitráttá átalakítása nitráttá, *Nitrobacter sp.*):



Az összesített reakció (*Nitrosomanas sp.* és *Nitrobacter sp.*):



Zavartalan a nitrifikáció, ha a környezeti feltételek adottak. Ebben az esetben a nitrifikáló baktériumok teljesen megvalósítják az ammónium oxidációját nitráttá. A hatékony, messzemenő nitrifikáció feltételei:

- Megfelelő tartózkodási idő: a nitrifikáló baktériumok maximális fajlagos növekedési sebessége kb. egy nagyságrenddel kisebb, mint a jól biodegradálható szerves anyagot hasznosító mikroflórára jellemző érték. 15–20 °C-os vízhőmérséklet esetén 5–7 nap iszapkor tartása szükséges, míg téli időszakban, 10–15 °C-os víz mellett a megadott érték legalább háromszorosára kell növelni.
- Megfelelő pH-érték: a pH 8–8,5 optimális, mert a tiszta kultúrában nézve az említett pH-tartományon túl drasztikusan csökken a nitrifikáció hatékonysága.
- Megfelelő mennyiségű oldott oxigén álljon rendelkezésre. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a hatékony nitrifikációhoz legalább 1 mg/l oldott oxigén szükséges, és maximum 3 mg/l, amivel fokozható a nitrifikációs hatékonyság.
- Megfelelő hőmérséklet: a nitrifikáció szempontjából az optimális hőmérséklet 20 °C. Ennél alacsonyabb és magasabb hőmérséklet mellett csökken a nitrifikációs hatásfok. Az alsó határérték a 12 °C, ez alatt már a nitrifikáló baktériumok nem képesek szaporodni.

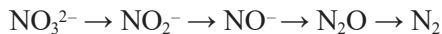
Zavart a nitrifikáció, ha a környezeti feltételek nem minden esetben adottak a nitrifikációhoz, akkor a nitrifikáló baktériumok oxidálóképessége csökken. A nitrifikálás folyamatában a *Nitrosomanas sp.* fajok által az ammóniának nitríté történő oxidálása a leglassúbb és legérzékenyebb folyamat, így a tisztított szennyvízben a nitrít sohasem akkumulálódik, mert a *Nitrobacter sp.* fajok gyorsan nitráttá oxidálják.

### Denitrifikáció

Más néven nitrátlégzés, nitrátredukció. A nitrátion elemi nitrogéngázzá alakulásának folyamata, a nitrogéntartalmú szerves vegyületek lebontásának harmadik, utolsó fő lépése, amelyet a fakultatív anaerob és heterotróf denitrifikáló baktériumok végeznek. A denitrifikáció a légzés egy speciális formája, amelyben az oxigén helyett a nitrátion az elektronakceptor. A denitrifikálást végző szervezetek sem morfológiailag, sem biokémiaiilag nem tartoznak egységes csoportba. Denitrifikációra képes baktériumok például a *Bacillus* genus, a *Micrococcaceae* család egyes genusai, a *Pseudomonas aeruginosa* vagy a *Thiobacillus denitrificans*.

A denitrifikáció az eleveniszapos tisztítás esetén az ún. anoxikus medencékben, reaktorokban valósul meg, és anoxikus körülményeket igényel. Az anoxikus medence a nyers szennyvízben található magas szervesanyag-tartalom lebontásának egyik legalacsonyabb költséggel járó módja. Az anoxikus medence energiaigénye jelentősen kisebb a levegőztetőmedence energiaigényénél, ezért a szennyvíztelepeket üzemeltető technológusoknak elsődleges célja az anoxikus fokozat hatékony működésének biztosítása.

A denitrifikáció folyamata röviden:



A denitrifikáció egyenlete:



A denitrifikáció lejátszódásának feltételei:

- a nitrogén nitrát (vagy nitrit) formában legyen jelen,
- oldott oxigéntől mentes környezet (a gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az oldott oxigén koncentrációja elenyésző a reaktor betáplálási oldalán, maximum 0,1–0,2 mg/l),
- legyen lebontható szerves anyag mint szénforrás.

A denitrifikációt gátolhatja a levegőztetőmedencéből visszavezetett iszap magas oldottoxigén-koncentrációja. Ilyenkor ugyanis nem alakul ki az anoxikus körülmény, a fakultatív anaerob baktériumok a szabad oldott oxigént fogják hasznosítani, a nitrát oxigénjének ellélegzése helyett. Ebben az esetben a tisztított szennyvíz nitrátkoncentrációja túllépheti a környezetvédelmi határértékeket. A denitrifikáció rossz működésének gyakoribb oka a szerves szén hiánya az anaerob részben, amelyet korábban metanollal pótoltak, de ez a drágasága mellett sok iszapot (iszapduzzadás) eredményezett. Ma inkább a primer iszap vagy a roncsolt fölösiszap egy részét használják szénforrásul.

### Szerves anyagok eltávolítása

A szerves anyagok eltávolítása aerob, anoxikus vagy anaerob úton történhet. A levegőztetőmedencében aerob úton, az anoxikus medencében pedig anoxikus úton oxidálásra kerülnek az organotróf baktériumok életfunkciói során. Technológiai szempontból kívánatosabb az anoxikus úton történő bontás megvalósítása, hiszen ez jelentősen alacsonyabb üzemeltetési költséggel valósítható meg, és csökkenti a tisztított szennyvíz nitrátkoncentrációját is. A biológiai foszforeltávolításban részt vevő poli-P baktériumok az anaerob közegben sejttejikbe építik a szerves anyagot.

### *Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések biológiai folyamatai*

A szennyvíztisztító kisberendezésekben is hasonló folyamatok játszódnak le, mint azt az előző fejezetekben olvashattuk, és a mikrobiális közösség is hasonló. A legnagyobb különbséget a kisberendezések és a szennyvíztisztító telepek működése között pont az okozza, ami a hétköznapi ember számára is egyértelmű, ez pedig a méretük. Egy nagy telepen is előfordulhatnak olyan technológiai körülmények, amelyek megzavarhatják az eleveniszap működését, emiatt szükséges, hogy folyamatos, napi szintű vizsgálatok, ellenőrzések történjenek. A hőmérséklet változása, a bejövő szennyvíz összetétele, a szennyvíz oxigéntartalma rövid idő alatt radikális változást okozhat az eleveniszap összetételében. A szennyvíztelepeken a szennyvíz mennyisége viszonylag nagy volumenű egy kisberendezéshez képest, emiatt például a bejutó mérgező anyagok hatása a hígulás miatt kevésbé drasztikusan jelentkezhet. A kisberendezéseknél viszont a bejutó gyógyszer-maradványok, a mosogató-, tisztító- és fertőtlenítőszeresek már kisebb mennyiségben is gátolhatják a baktériumok szaporodását, ezáltal a lebontás hatékonyságát. Kerülni kell minden olyan anyag szennyvízbe való jutását, amely biológiailag nem bontható le. Semmi olyan anyagot nem önthetünk a lefolyókba, amit józan ésszel élővízekbe sem öntenénk.

## Kémiai szennyvíztisztítás

A múlt század első évtizedétől a század közepéig fejlesztett biológiai tisztítást végző eleveniszapos szennyvíztisztító telepeket a befogadók oxigéntülerhelését okozó szerves anyagok eltávolítására tervezték. A befogadókba vezetett foszfor- és nitrogéntartalmú tisztított vizek azonban általános gondot jelentettek és jelentenek napjainkban is, hiszen a mikroorganizmusok a tápanyagoknak csak egy részét képesek felvenni (ideális aránya  $C : N : P = 106 : 16 : 1$ ). A túlzott szerves és szervetlen nitrogén és foszfor tápanyagterhelés pedig az eutrofizációt gyorsítja. A komponensek eltávolításánál figyelembe kell venni a meglévő tápanyagforrások koncentrációit és limitáló tényezőit. A szükséges tápanyagok közül elsősorban a foszfor mennyisége szabályozható a szennyvízből történő kémiai kicsapással vagy biológiai többletfoszfor-felvétellel. A befogadók védelme érdekében a kommunális tisztítási technológiákat ki kell egészíteni olyan technológiai fokozatokkal, amelyek biztosítani tudják a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet szerinti határértékeket.

A biológiai lépcső mellett ezért a legtöbb esetben kémiai tisztítást is alkalmaznak (például ipari szennyvíztisztításnál, nehézfém-szennyezések, ülepedési tulajdonságok javítására, foszforeltávolításnál stb.). A kémiai tisztítás célja a foszfor eltávolítása (szennyezésre érzékeny befogadók védelme érdekében), de emellett a szulfid kicsapása, lebegő és szerves anyag eltávolítása is bekövetkezik. A környezeti elemekben, víztestekben foszforakkumuláció, majd a belső terhelés időzített bombaként rontja a vízminőséget. Befogadóink foszforterhelése elsősorban a mezőgazdasági művelésben használt műtrágyákból származik.

### *Kémiai foszforeltávolítás*

A kémiai kezelést elsősorban foszforeltávolításnál alkalmazzák, amely költséghatékonyabb a biológiai tisztításnál. A biológiai tisztítást követően a szerves anyagok lebomlanak, és a foszfor nagy része oldható formában van jelen (kis mennyiségben található a lebegőanyagban is).

A természetes vizekben igen kis koncentrációban van jelen a foszfor (kőzetek mállásterméke, és a gerinces állatok csontszövetéből is keletkezik). Legnagyobb mennyiségben antropogén hatással kerül a szennyvizekbe például mosószerekből, emberi anyagcseretermék során. A foszfor a befogadóba kerülhet műtrágyabemosódás következtében, csapadékból, illetve más mellékvízfolyásokból. Lakosonként változó a foszforleadás, amelynek mennyiségét táplálkozási szokásaink befolyásolják, de átlagosan 0,6–3,7 g/d koncentrációra tehető.

A nyers szennyvízben három formában található foszfor: ortofoszfátion, kondenzált (poli-, meta-, ultra-) foszfátok és szerves foszforvegyületek. A foszfor átalakulási formáit az 1.9. ábra mutatja be.

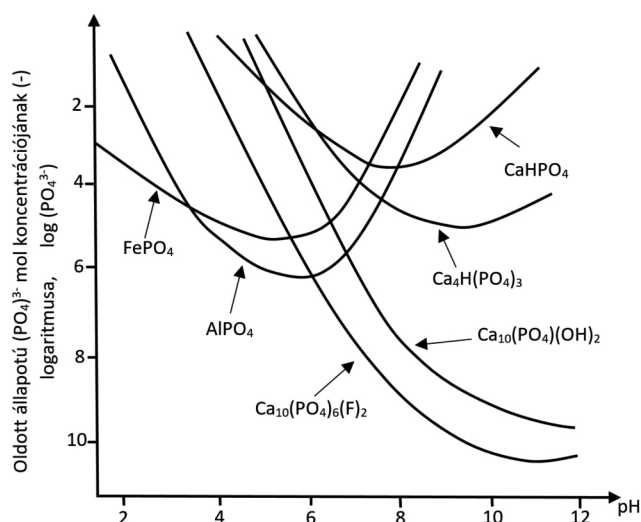
Az ortofoszfát különböző formái egymással egyensúlyban vannak, ami a pH függvénye. A pH függvényében a rendszer foszfátkoncentrációja kiszámolható az oldhatósági konstans figyelembevételével, amelyet az 1.10. ábra szemléltet. A fémek esetében eltérő az optimális pH-tartomány. A  $\text{FeSO}_4$  és az  $\text{AlPO}_4$  stabil szilárd fázisok (egyensúlyi számítások alapján), a foszfátot alacsony pH-tartományban csapjuk ki, ezzel szemben a kalcium többféle oldhatatlan fázist képez a foszfáttal. Kalciumvegyület adagolásakor figyelembe kell venni a szükséges vegyszermennyiséget és a rendszer pH-ját egyaránt (tervezéskor a pufferkapacitására ügyelve).

Szennyvizekben a  $\text{HPO}_4^{2-}$  ion fordul elő, aminek következtében az összes foszfort detektáljuk ( $\text{gP/m}^3$ ), az érték független a foszforformától.



1.9. ábra

Foszforformák és átalakulásai [8]



1.10. ábra

Különböző foszfátok oldhatósági diagramjai [9]

A szerves foszforvegyületekből ortofoszfát keletkezik, ebben a foszforformában csapható ki legkönnyebben. A kicsapásnál fontos figyelembe venni a huminanyagok mennyiségét is, mert nagymértékben Fe(III)-at kötnek meg, és ezzel a foszforkicsapódást késleltethetik.

A fémfoszfátok keletkezésének folyamata több lépésből tevődik össze:

- A vegyszer szennyvízbe történő adagolását követően néhány perces gyors keverés szükséges a fémfoszfátok keletkezéséhez, illetőleg fémhidroxidok keletkezésének megakadályozására. A fémfoszfátok és fémhidroxidok kialakulása mellett karbonátok is keletkeznek.
- A negatív felületi töltésű kolloid részecskék semlegesítése (destabilizációja) és a részecskék nagyobb egységekké történő tömörülése (koagulációja).
- Kisebb részecskék összetapadása nagyobb részecskévé (makroflokkulátumok), a hidraulikus tartózkodási idő korábban 20–30 perc volt. Manapság vegyszeres intenzifikálással, kisebb medencetérfogat alkalmazásával rövidebb tartózkodási idő érhető el, ami körülbelül 5 perc.

- Flokkulált részecskék ülepítése, eltávolítása a vizes fázisból.
- A foszforkicsapást befolyásoló tényezők:
  - vegyszer minősége és mennyisége,
  - pH-érték,
  - nyers szennyvíz összetétele ( $\text{PO}_4\text{-P}$ , KOI, oldott KOI, TSS, lúgosság [ $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ], Ca, Mg stb.),
  - keverési intenzitás,
  - kontaktidő.

Magyarországon a szennyvizek foszfortartalma átlagosan 7–20 g/l. Az ortofoszfáttal ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a legtöbb kétértékű fémion rosszul oldódó csapadékot képez. A legelterjedtebb kémiai kicsapási módszer, amikor alumíniumsót adagolnak.

Gyakorlati foszforkicsapás az alumínium ( $\text{Al}_3^+$ ), vas ( $\text{Fe}_3^+$ ), előpolimerizált fémsó és a kalcium-ion ( $\text{Ca}_2^+$ ) alkalmazásával történik. A vegyszerek együttes alkalmazásával is hatékony eltávolítás érhető el, például a polimereket alumínium-szulfáttal és a mésszel kombinálva.

Vegyszerek kiválasztásának főbb szempontjai:

- befolyó szennyvíz koncentrációja,
- lebegőanyag-tartalom,
- lúgosság,
- vegyszerköltségek,
- iszapkezelő berendezések,
- végső iszapelhelyezés,
- egyéb tisztítási folyamatokkal való összeegyeztethetőség.

### *Alumíniumsók*

Az alumíniumsók közül a leggyakrabban alkalmazott az alumínium-szulfát. A vegyszer szennyvízbe adagolása során a pH-érték csökken a lúgosság semlegesítése és a szén-dioxid eltávolítása miatt. A foszforeltávolítás optimális pH-ja 5,5–6,5 között van. Az alumínium a foszfáttal reakcióba lép, és alumínium-foszfát ( $\text{AlPO}_4$ ) képződik.

### *Vassók*

A foszforeltávolítás például vas (II)-szulfát, vas (III)-szulfát, vas (III)-kloriddal történhet, ezek a vegyületek mind csökkentik a szennyvíz pH-ját. Alkalmazásuk általában pH 7–8 közötti tartományban történik, a pH-emeléshez meszet vagy nátrium-hidroxidot kell adni.

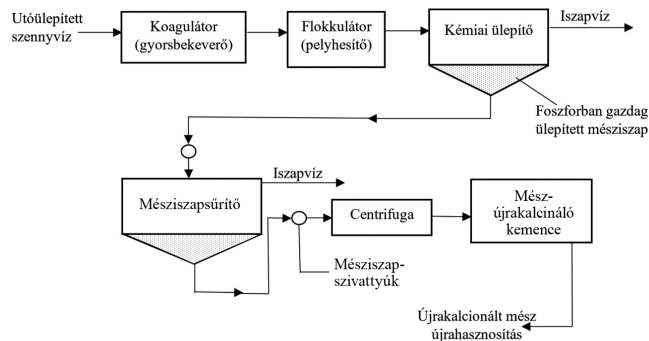
A vassók és az alumínium-klorid adagolásának előnyei:

- az összes foszforkoncentráció a tisztított vízben határértéken belül tartható,
- a tisztítás hatásfoka és a szervesanyag-lebontás hatékonyabb,
- akadályozza a fonalas baktériumok elszaporodását,
- növeli az iszap szárazanyag-tartalmát, javítja az ülepedési tulajdonságát és a víztelenítési hatásfokát.



## Mész

A leggyakrabban mészhidrátot alkalmaznak, ami során nagyobb mennyiségű csapadék és kezelendő iszap keletkezik. A mészadagolás esetén figyelembe kell venni a foszforeltávolítás hatékonyságát és a szennyvíz lúgosságát is. A beadagolás helyét tekintve az előülepítőben és az utóülepítő után alkalmazható. Az 1.11. ábra a mészkicsapáson alapuló foszforeltávolító rendszer üzemeltetési elvét mutatja be.



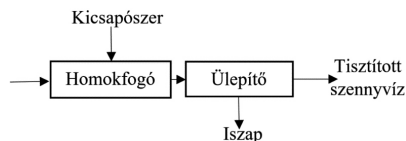
1.11. ábra

Meszes kicsapás technológiája [10]

A meszes kicsapás utolsó lépése a rekarbonálás, amely egy- vagy kétfokozatú lehet. Annak függvényében, hogy a szennyvíztisztítási technológia rendelkezik biológiai fokozattal, vagy nem, több beadagolási lehetőséget különböztethetünk meg.

## CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment) eljárás

A biológiai fokozattal nem rendelkező technológiák esetén alkalmazzuk ezt a közvetlen kicsapási módszert. Elsősorban az ülepítők lebegőanyag-eltávolítási hatásfokának növelésére alkalmazzák. A vegyszert ( $\text{FeCl}_3$ ) a homokfogó műtárgyba adagolják.



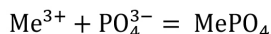
1.12. ábra

CEPT-eljárás (saját szerkesztés)

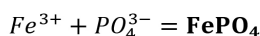
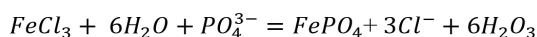
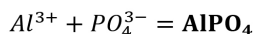
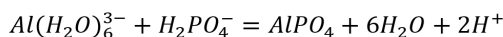
## Elő-, szimultán és utókicsapás

A vegyszeres (kémiai) szennyvízkezelés önmagában vagy biológiai tisztítási eljárásokkal kombinálva elterjedtebb megoldás. A technológiák megvalósításának lehetőségei annak függvényében, hogy hol adagoljuk bele a vegyszert, lehet elő-, szimultán és utókicsapás. Fontos a beadagolásnál figyelembe venni a vegyszer megfelelő elkeveredését.

A foszfátkicsapás a következő egyenlettel jellemezhető:



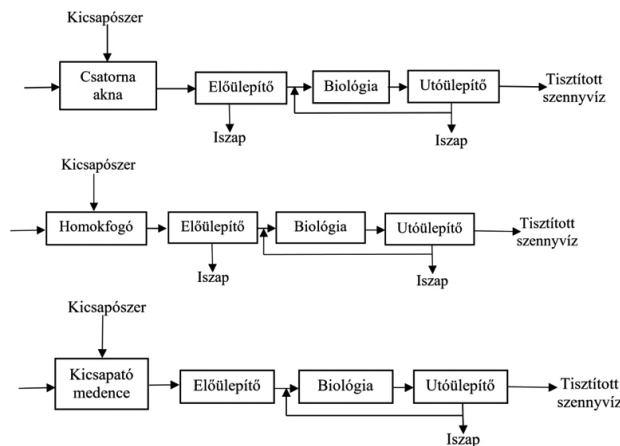
A pH függvényében a rendszer mindenkor foszfátkoncentrációja kiszámolható az oldhatósági konstans figyelembevételével. Foszforkicsapás fémsók alkalmazása esetén: az oldott foszfor a hozzáadott vegyszer hatására szilárd anyaggá alakul, amely utána a fázissztétválasztás elvén eltávolítható.



A sztöchiometria-egyenletek alapján tehát 1 mol foszforhoz elegendő 1 mol kicsapószer. A gyakorlatban azonban a vegyszermennyiséget növelni kell, mert a kolloidok reakcióba lépnek a fémsókkal, és vas-hidroxid képződik.

### Előkicsapás

A vegyszer adagolása a homokfogó után, az előlevegőztetőbe és közvetlenül az előülepítő előtt is történhet (1.13. ábra). Az előülepítő előtt adagolt vegyszer esetén figyelembe kell venni a biológiai lépcsőt, mert a denitrifikáció folyamatát nagyban befolyásolhatja, ugyanis kevesebb tápanyag maradhat a szennyvízben, az eleveniszapos medence  $\text{BOI}_5$ -értéke (akár 50%-kal) csökkenhet. A vegyszeres iszapot az előülepítőben a nyersiszappal együtt ülepítjük, amelynek hatásfoka így javulhat (akár ~25%-kal). Előfordulhat az iszapindex növekedése és az utóülepítőben felúszás történhet. Az ülepedési tulajdonságok romlását a flokkulens szervezetek elszaporodása okozhatja.



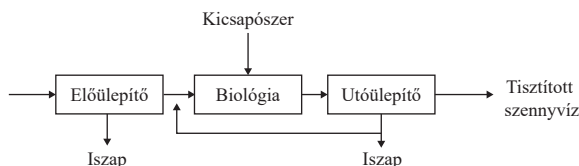
1.13. ábra

Az előkicsapás adagolási helyei [2]

A fent említett vegyszerek közül mindegyik alkalmazható, a vas (II)-sókat viszont előzetesen oxidálni kell, hogy az előüleptető medencében megfelelő hatékonysággal eltávolíthatók legyenek. Az előkicsapást a túlterhelt vagy fejlesztést megelőző állapotban lévő, települési szennyvíztisztító telepeken vagy ipari szennyvíz-előkezelés esetén alkalmazzák.

### *Szimultán kicsapás*

A legáltalánosabban alkalmazott módszer, amely során a vegyszer adagolása közvetlenül a biológiai lépcsőbe történik (esetlegesen a recirkuláltatott iszapba adagolják). A folyamat előnye, hogy a vegyszeradagolókon kívül nem szükséges kiegészítő műtárgyat építeni (alacsony beruházási költség), kicsi helyigény, jól ülepedő és jó adszorpcióképességű eleveniszap keletkezik. A folyamat hátránya, hogy a vegyszer nem nyerhető vissza, és az elfolyó kezelt víznek nagyobb a foszforkoncentrációja. Egyszerűsége miatt a leggyakrabban alkalmazott technológia, 1 mg/l-es foszforkoncentráció tartható vele. A felsorolt vegyszerek a kalcium kivételével alkalmazhatók a szimultán kicsapásnál.

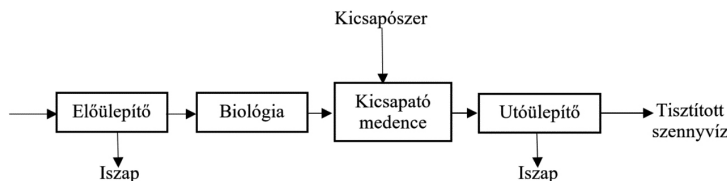


1.14. ábra

*Szimultán foszforkicsapás [2]*

### *Utókicsapás*

Az adagolás a biológiai lépcső után történik. A kicsapás következtében iszap keletkezik, amelynek mennyisége függ a vegyszeradagolástól (az iszap 2/3 kémiai csapadék, 1/3 felületén adszorbeálódott szerves kolloid). A módszer ingadozó hidraulikai terhelés esetén is megbízhatóan működik.



1.15. ábra

*Az utókicsapás lehetséges beadagolási helyei [2]*

A foszforeltávolítás hatásfoka változik a technológiai fázisokban:

- a mechanikai, biológiai és előkicsapás 89% (a bejövő szennyvíz 8 mg TP/l, az elfolyó 0,9 mg TP/l),
- a mechanikai, biológiai és szimultán kicsapás 86% (a bejövő szennyvíz 8 mg TP/l, az elfolyó 1,1 mg TP/l),

- a mechanikai, biológiai és utókicsapás 92% (a bejövő szennyvíz 8 mg TP/l, az elfolyó 0,6 mg TP/l),
- a mechanikai, biológiai és szimultán kicsapás, koagulációs gyorszűrés 96% (a bejövő szennyvíz 8 mg TP/l, az elfolyó 0,3 mg TP/l).

A megfelelő pH-tartomány tartása fontos szempont a jó hatékonyságú kicsapás és pelyhesítés miatt. A szabályozás mértéke függ az alkalmazott vegyszertől is. A kívánt pH-érték beállításához adagolhatunk savakat (például  $H_2SO_4$ ) is, ami nem okoz iszapképződést. A fölös mennyiségű fémsó adagolása is hatékony szabályozás lehet, hátránya a nagyobb mennyiségű iszapképződés.

### *Kémiai nitrogéntávolítás*

A szennyvizek nitrogén- (ammónia-) többletének eltávolítására több módszert is alkalmazhatunk, amelyek a következők:

- Kicsapás: az ammónia  $MgNH_4PO_4$  formában történő kicsapása, optimális pH = 8 (jó hatásfokkal lehetséges), kicsapószerként MAP-ot (magnézium-ammónium-foszfátot) alkalmaznak.
- Ioncserével történő kivonása a szennyvízből (a folyamat hátránya, hogy szennyező anyag kerülhet a mosóvízbe, a biológiailag tisztított szennyvíz lebegő és oldott szerves szennyezőire is érzékeny, azok mechanikai rendszerét is eltömítheti, sőt kémiai is elszennyezheti).
- A víz lúgosítását (pH mintegy 10) követő ammóniasztrippelés, kifúvás.

A fent említett módszerek fajlagos költsége nagy, ezért a kevésbé elterjedt eljárások közé tartoznak.

### **Iszapkezelés**

Az utóbbi néhány évtizedben a szennyvíztisztítás igen nagy fejlődésen ment keresztül. A változással azonban nem tartott lépést a szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkező szennyvíziszap kezelése és elhelyezése. A szennyvízelvezetési és -tisztítási program előrehaladtával a szennyvíz-iszap mennyisége hazánkban várhatóan a következő években emelkedni fog. A szennyvízkezelés különböző műveleti egységeiben maradék anyagok keletkeznek (homok, rácsszemét, felúszó anyagok, iszapok), amelyek közül a legnagyobb tömegű és térfogatú az iszap.

A maradék anyagok fajtája, mennyisége és tulajdonsága függ:

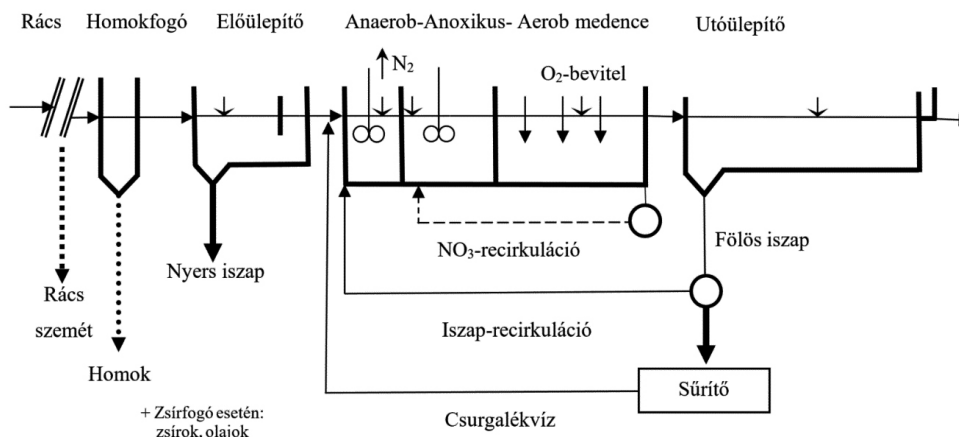
- a tisztított szennyvíz terhelésétől, tehát a szennyvíz mennyiségétől és az alkotó anyagok fajtájától, illetve azok tulajdonságaitól,
- az alkalmazott tisztítási folyamatoktól, azok hatásfokától és az átalakult komponensektől,
- a tisztítási folyamatokban felhasznált anyagoktól és energiától.

A kiválasztási helyük és állapotuk szerint a következő iszapokat különböztetjük meg:

- primer iszap: az előlepitőben leválasztott iszap, szárazanyag-tartalma 2–3%, nitrogén- és foszfortartalma a szekunder iszaphoz képest alacsonyabb,
- fölösizap (szekunder iszap): a biológiai tisztítás során kinyert iszap, legnagyobb része víz, emellett szilárd részecskékből, valamint az eltávolított biomasszatöbbletből származik,
- kémiai tisztításból származó vegyszeres iszap (terciér iszap): a vegyszeres szennyvíztisztítás során leválasztott iszap,

- kevert iszap: az előülepítőből kivett, primer és más (főlös- és vegyszeres) iszap keveréke,
- stabilizált (kirothadt) iszap: a rendszerből a stabilizálás után kivett iszap, amelynek csökkentett a szervesanyag-tartalma és a fertőzőképessége,
- iszapvíz: a víztelenítéskor az iszaptól leválasztott, szárazanyagot is tartalmazó víz.

A szennyvíziszap keletkezési helyeit az 1.16. ábra, az elődenitrifikációs eleveniszapos tisztítás technológiai hossz-szelvénye szemlélteti.



1.16. ábra

Az iszapkeletkezés helyei a kommunális szennyvíztisztításban (saját szerkesztés [11] alapján)

A szennyvíztisztítási eljárások a szennyvíz összetétele mellett meghatározzák a maradék anyagok tulajdonságait is. A szennyvíziszap döntő része víz, amely három különböző formában van jelen az iszapban (szabad vízként, kötött vízként, valamint a sejtek belső víztartalmaként). A szennyvíziszap az összetétele alapján két csoportra osztható, hasznosítható és hasznosítást gátló anyagokra (1.5. táblázat). A szennyvíziszapfajták általános tulajdonságait az 1.5. táblázat szemlélteti.

1.5. táblázat

A szennyvíziszap általános összetétele [11]

|                       |                                     |                                            |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| Hasznosítható anyagok | Iszapvíz                            | Szabad vagy könnyen eltávolítható iszapvíz |
|                       |                                     | Kapilláris víz (20%)                       |
|                       |                                     | Pehelyrészesecske nedvességtartalma (2%)   |
|                       |                                     | Sejtben kémiaiilag kötött víz (8%)         |
|                       | Aprított, őrlött ásványi részecskék | Finom és durva homok                       |
|                       |                                     | Egyéb szemcsés anyagok                     |
|                       | Szerves anyagok                     | Széntartalmú maradék anyagok               |
|                       | Tápanyagok                          | N                                          |
|                       |                                     | P                                          |
|                       |                                     | K                                          |
|                       | Nyomelemek                          | Fémes elemek, szerves vegyi anyagok        |

|                                                          |                 |                                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| Hasznosítást gátló (kockázati tényezőket növelő) anyagok | Méregző anyagok | Nehézfémek (Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn, Cr) |
|                                                          |                 | Egyéb toxikus anyagok (As, Mo, Se stb.) |
|                                                          | Patogének       | Baktériumok                             |
|                                                          |                 | Vírusok                                 |
|                                                          |                 | Paraziták                               |
|                                                          |                 | Gombák                                  |
|                                                          | Antropogének    | Gyógyszermaradványok, kozmetikumok stb. |

### 1.6. táblázat

A szennyvíziszapfajták általános összetétele [12]

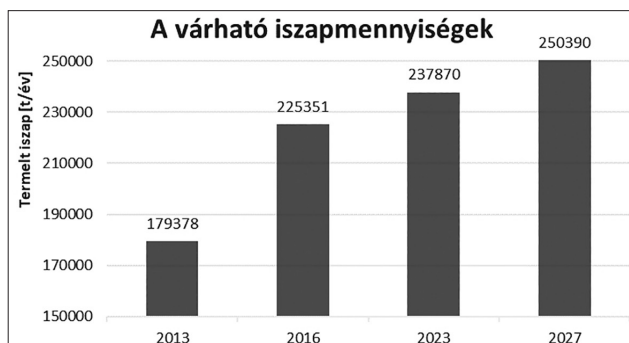
| Jellemző paraméterek     | Dimenzió                         | Iszapfajta                           |                                     |                                        |                                    |                                        |                                    |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
|                          |                                  | Nyersiszap a mechanikai tisztításból | Főlősiszap a biológiai tisztításból | Rosszul kirothadt iszap                | Mérsékelten kirothadt iszap        | Jól kirothadt iszap                    | Nagyon jól kirothadt iszap         |
| pH                       | –                                | 5,0–7,0                              | 6,0–7,0                             | 5,6–7,1                                | 6,8–7,3                            | 7,2–7,5                                | 7,4–7,8                            |
| Szárazanyag              | %                                | 5–10                                 | 4–8                                 | 4–12                                   | 4–12                               | 4–12                                   | 4–12                               |
| Izzítási veszteség       | %                                | 60–75                                | 55–80                               | 55–70                                  | 50–60                              | 45–55                                  | 30–45                              |
| Savfogyasztás            | mg/l CaCO <sub>3</sub><br>mmol/l | 500–1000<br>20–40                    | 500–1000<br>20–40                   | 1000–2500<br>40–100                    | 2000–3500<br>60–140                | 3000–4500<br>120–180                   | 4000–5500<br>160–220               |
| Illó savak               | mg/l ecetsav<br>mmol/l           | 1800–3600<br>30–60                   | 1800–3600<br>30–60                  | 2500–4000*<br>40–70*                   | 1000–2500<br>15–40                 | 100–1000 2–15                          | <100<br>2                          |
| Összes nitrogén          | szárazanyagra vonatkoztatott %   | 2–7                                  | 1,5–5,0                             | 1–5                                    | 1–3,5                              | 0,5–3,0                                | 0,5–2,5                            |
| Összes foszfor           |                                  | 0,4–3,0                              | 0,9–1,5                             | 0,8–2,6                                | 0,8–2,6                            | 0,8–2,6                                | 0,8–2,6                            |
| Összes kálium            |                                  | 0,1–0,7                              | 0,1–0,8                             | 0,1–0,3                                | 0,1–0,3                            | 0,1–0,3                                | 0,1–0,3                            |
| Fajlagos szűrőellenállás | M/kg                             | 10 <sup>11</sup> –10 <sup>13</sup>   | 10 <sup>12</sup> –10 <sup>13</sup>  | 5,10 <sup>11</sup> –5,10 <sup>12</sup> | 10 <sup>11</sup> –10 <sup>12</sup> | 5,10 <sup>10</sup> –5,10 <sup>11</sup> | 10 <sup>10</sup> –10 <sup>11</sup> |
| Fűtőérték                | kJ/g m <sub>r</sub>              | 16–20                                | 15–21                               | 15–18                                  | 12,5–16                            | 10,5–15,0                              | 6,3–10,5                           |

A szennyvíziszap fizikai sajátosságait csoportosítani lehet a víztartalom függvényében:

- folyékony (85–100%),
- viszkózus, nem szivattyúzható (75–85%),
- pépszerű-plasztikus, viszkózus (70–75%),
- morzsálékos, gyakran szilárd anyagú (40–70%),
- laza, nagyon kemény (10–40%),
- poralakú (10%).

A szennyvíziszap minősége jellemző az adott településre, a tisztítási technológiára, így településenként változhat. A hazai 599 db agglomeráció (602 db szennyvíztisztító) távlati terhelését a 25/2002 Korm. rendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programról és a VGT határozza meg. Az agglomerációk összesített távlati terhelése a kormányrendelet 2014. 11. 21-től hatályos állapota szerint 12 041 042 LE (lakosegyenérték) lesz. Ehhez jön még a ma ismert 236 db 2000 LE alatti telep távlati terhelése, amely 173 082 LE-re becsülhető. A kettő összege adja meg a települési szennyvíztisztító telepek távlati szennyvízterhelését.

A szennyvíziszap-kezelési és -hasznosítási stratégiai program által számított várható iszapmennyiségeket tartalmazza az 1.17. ábra.



1.17. ábra

*Iszapmennyiségek várható keletkezése a következő években (saját szerkesztés a Szennyvíziszap-kezelési és hasznosítási stratégia 2014–2023 alapján)*

### *Térfogatcsökkentési és -stabilizálási eljárások*

Az iszapot elhelyezése előtt számos műveleti egységen kell átvezetni (sűrítés, víztelenítés, stabilizálás, fertőtlenítés, hőkezelés, szárítás), hogy víztartalmát, biológiai bonthatóságát javítani, fertőzőképességét csökkenteni lehessen.

Szennyvíziszap-kezelésnek nevezzük mindazokat a műveleteket, amelyeket a keletkező iszappal a szennyvíztisztító telepen végeznek a térfogat és a fertőzőképesség csökkentése, illetve a kezelhetőség, a hasznosíthatóság vagy az elhelyezhetőség javítása céljából.

Az iszapok kezelésének módját megszabja a további felhasználás vagy elhelyezés, valamint szükségessé teszi a kezelést:

- iszapok víztartalma,
- a szennyvíztisztító telepeken különböző kezelési folyamatok során a hasonló típusú iszapok viselkedése eltérő,
- fertőző (férgek, patogének, baktériumok) és mérgező anyagok jelenléte.

Az iszapkezelés legfontosabb lépései:

- iszapsűrítés,
- iszapkondicionálás és -stabilizálás,
- fertőtlenítés,
- víztelenítés,
- elhelyezés.

### Sűrítés

A primer, illetve szekunder iszap első technológiai kezelésének lépcsője a sűrítés. A sűrítés feladata a szennyvíziszap térfogatának csökkentése, amelynek célja az iszapégetés és -elhelyezés során kedvezőbb feltételek biztosítása. A technológia hatékonyságának növelése érdekében poli-



elektrolitot vagy fémsót adagolnak, amivel akár 6–10%-ra is növelhető a szárazanyag-tartalom. Az iszap sűrítetősége alapján három fajtát különböztethetünk meg, amelyet az 1.7. táblázat szemléltet. Az üzemeltető a sűrítéssel elérhető iszaptérfogat-csökkenést a következőképpen számolhatja ki, amihez az előüleptített iszap napi térfogatát (l/d) és szárazanyag-tartalmát (%) kell ismerni.

$$\begin{aligned} \text{napi szárazanyag mennyisége } \left( \frac{kg}{d} \right) \\ = \text{kivett előüleptített iszap térfogata (l)} \\ \cdot \frac{\text{kivett előüleptített iszap szárazanyag-tartalma (\%)}}{100 \%} \end{aligned}$$

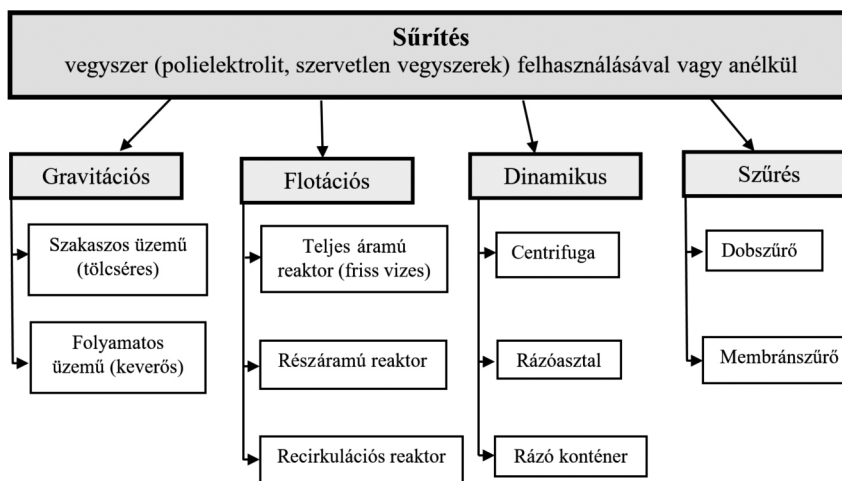
1.7. táblázat

Iszapok sűrítetősége és vízteleníthetősége [11]

| Iszaptulajdonosság a víztartalom függvényében                                                          | Vízteleníthetőség határa            |       |                          |       |                                        |       |             |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------------------|-------|-------------|-------|
|                                                                                                        | Sűrítetőség kondicionálószer nélkül |       | Szalagszűrő prés         |       | Kamrás prés                            |       |             |       |
|                                                                                                        |                                     |       | Kondicionálás polimerrel |       | Kondicionálás vassóval vagy polimerrel |       |             |       |
|                                                                                                        |                                     |       |                          |       | mészsel                                |       | mész nélkül |       |
|                                                                                                        | SZ %                                | W %   | SZ %                     | W %   | SZ %                                   | W %   | SZ %        | W %   |
| Jól sűrítendő/vízteleníthető, például kommunális eredetű szennyvíziszap egyesített csatornából         | >7                                  | <93   | >30                      | <70   | >38                                    | <62   | >45         | <55   |
| Közepesen sűrítendő/vízteleníthető, például kommunális primer iszap elválasztott rendszerű csatornából | 4–7                                 | 96–93 | 18–30                    | 82–70 | 28–38                                  | 72–62 | 35–45       | 65–55 |
| Rosszul sűrítendő/vízteleníthető, például kommunális szekunder iszap                                   | <4                                  | >96   | <22                      | >78   | <28                                    | >72   | 30–35       | 70–65 |

Megjegyzés: Sz – szárazanyag-tartalom; W – víztartalom

A települési szennyvíztisztítóknak elterjedtebb technológiai megoldás a gravitációs sűrítő, de egyre több helyen alkalmaznak már mechanikus sűrítőt is. A technológia előnye az alacsony fajlagos beruházási költség. A szennyvíziszap-sűrítés technológiai elemeit az 1.18. ábra mutatja be.



1.18. ábra

A szennyvíziszap-sűrítés technológiai elemei [11]

### Gravitációs sűrítés

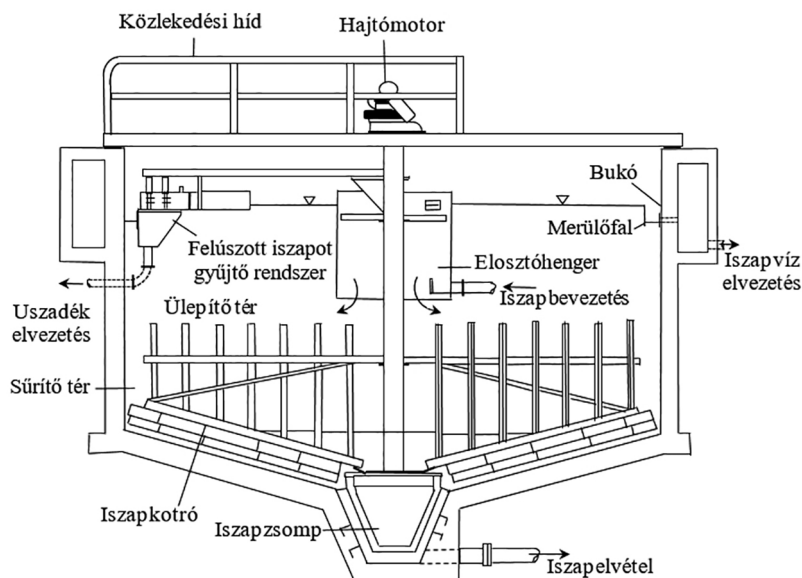
A gravitációs sűrítés gyakorlatilag az ülepités egy további fázisa. Nyers, fölös- és kevert iszapok sűrítéséhez egyaránt alkalmazható. Szerkezeti kialakítás szerint megkülönböztetünk:

- szakaszos üzemi: természetes úton működő „tölcsérés sűrítőt” (csak gravitációs erő hatására működik, iszapkotró nélkül vagy iszapkotróval és keverővel ellátott, 5000 LE-ig, minimum 2 db párhuzamos műtárgy kialakítása szükséges),
- folyamatos üzemi: mesterséges „gépi” működésű (pálcás sűrítők, keverővel vannak ellátva, a radiális átfolyású ülepitőkhöz szerkezetileg hasonló kialakításúak, legfőképp 5000–6000 LE feletti terhelésű telepeken alkalmazzák, elsősorban a szekunder iszapot sűrítik vele).

A gravitációs ülepités és sűrítés folyamata közötti különbség általában kevésbé értelmezett, pedig szorosan egymáshoz kapcsolódó folyamatok. Sűrítéskor a lebegőanyag koncentrációja nő, miközben a szilárd részecskék egymáshoz közelebb kerülnek. A sűrítés a műtárgy fenékszámájában jön létre. A folyamat közben a szilárd részecskék a felettük lévő részecskék súlyából származó nyomás hatására tömörödnek. Az iszap betáplálásának helye függ a műtárgy alakjától (kör alapúnál középen, négyyszög alapúnál a medence egyik végén). A sűrített iszapot a fenékről folyamatosan vagy időszakosan távolítják el. A kör alapú sűrítő elterjedtebb, ennek kialakítását az 1.19. ábra szemlélteti.

Az iszapbevezető cső az iszapot a sűrítőtér feletti zónába vezeti, a bevezetett iszap az elosztóhenger alatt radiális irányba áramlik az ülepitőtérbe, ahonnan a folyadéknál nagyobb szilárd részecskék az alul lévő sűrítőtérbe, illetve fenékszámájába ülepednek. A lassan forgó iszapkotró a sűrített iszapot az iszapzsombba tereli. A pálcák lassú forgatásával a leülepedett iszap lassú mozgásban tartható, az iszapszemcsék hídszerű pelyhesedése akadályozható és az iszap rétegződése elkerülhető. Üzemeltetési tapasztalatok alapján az elfolyócső a sűrítés kritikus eleme, mivel nagy koncentrációjú iszapot kell az iszapzsombból elszívnia. A gravitációs sűrítőket 40 m<sup>3</sup>/d iszap mennyiségig (< 5000 LE) iszapszikkasztó vagy víztelenítők előtt javasolt alkalmazni. Az elérhető szárazanyag-tartalom szakaszos üzemi sűrítő esetén 2,5–4%, míg folyamatos üzemi esetén

3–6% vegyes. A műtárgyban az iszap tartózkodási ideje kb. 6 h. A gravitációs sűrítők üzemeltetését leginkább a felületi terhelés befolyásolja.



1.19. ábra

Kör alapú gravitációs sűrítő [10]

A vegyszeradagolás hatására az iszap gravitációs sűríthetősége néhány %-kal javul, a kondicionálószer-  
rek közül vas- és alumíniumsókat, valamint mészhidrátot alkalmaznak. Az első kettő erősebb hatású,  
az utóbbi gyengébb koaguláns. A töltéssel rendelkező szerves polimerek hatékonyabbak a disszociált  
csoportjaik miatt, hiszen nemcsak a hidrogénhíd-kötéssel tartják össze a pelyheket, hanem a polimer-  
lánc kovalens kötésével is. A beadagolt vegyszer mennyiségét laboratóriumi körülmények között  
határozzák meg, mivel a vegyszer jelentősen befolyásolja az iszap kémiai és fizikai tulajdonságait.

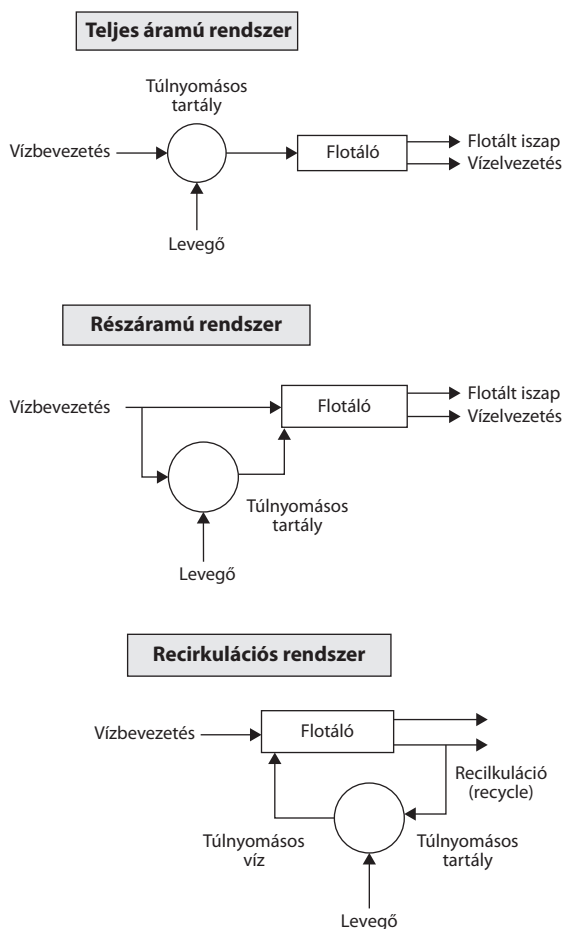
## Flotálás

A flotációs eljárást a víznél kisebb sűrűségű (vagy kisebb sűrűségűvé tett) anyagok leválasztására  
alkalmazzák. A szennyvíziszap szeparálását a szuszpendált részecskékhez tapadó levegőbuborékok  
felfelé irányuló mozgásával, flotálásával valósítja meg. A buborékok kapcsolódását, a pehelyké-  
pződést az iszaphoz kevert vegyszerrel is javítják.

Csoportosíthatjuk működési elv alapján:

- gravitációs elven működő (üzemeltetése olcsó, viszont gyengébb hatásfokú, és nagy reaktor-  
térfogatot igényel),
- légbefúvásos,
- túlnyomásos,
- vákuumos,
- elektroflotálás (szennyvíziszap sűrítésére nem alkalmazzák).

Utóbbi négy típusról összességében elmondható, hogy jobb hatásfokúak, kis reaktortérfogat-igényűek, viszont üzemeltetésük költségesebb, és komolyabb szakértelmet igényel. A flotáló egység túlnyomásos tartály – flotáló reaktor –, tápszivattyú és levegőkompresszor egységekből tevődik össze, amelyet gazdasági szempontból különböző kombinációkban építenek be, amit az 1.20. ábra szemléltet.



1.20. ábra  
Flotálási variációk [13]

A flotáció hatékonyságát befolyásoló tényezők:

- iszap típusa,
- levegőnyomás (a buborékok átmérőjét, a szárazanyag-koncentrációt és a sűrítőből távozó iszapvíz minőségét is egyaránt befolyásolja),
- a betáplált iszap típusa (az előülepített iszapok az utóülepített iszapokénál általában súlyosabbak, ezért flotációs sűrítésük nehezebb),
- iszap kora (kisebb mértékben befolyásolja, a magas korú iszapok gázképző tulajdonságaik miatt természetes flotálódásra hajlamosak),
- recirkuláció mértéke (a recirkulációs folyadék szállítja a levegőt a sűrítőbe vezetés helyére),

- hidraulikai és iszapterhelés (hidraulikai terhelés esetén az elfolyó iszapvíz minősége gyengébbé, a flotált iszap koncentrációja kisebbé válik),
- közeg hőmérséklete,
- levegő (A) és szilárd anyag (S) aránya (A/S, amely eleveniszap flotációs sűrítésekor 0,02),
- flotálódott iszapréteg vastagsága és szárazanyag-tartalma (a kaparóberendezés mozgási sebességének növelése hígabb, sebességsökkentése koncentráltabb iszapot eredményez),
- vegyszeradagolás.

A flotálás kevésbé elterjedt eljárás a bonyolultabb és igényesebb kezelést kívánó gépészeti elemei miatt. Alkalmazási területek: szennyvíz-előkezelők, igen jelentős szerepe van az élelmiszeripari vízelőtisztításban, a szennyvíztisztító telepeken (zsírok, olajok, szálas anyagok leválasztásában), a szennyvíziszap sűrítésében (ritkán). Elérhető hatásfok: ~6 % szárazanyag.

### Mechanikus sűrítés

A települési szennyvíztisztítás során elsősorban gravitációs sűrítőket alkalmaztak, újabban viszont igen gyakori a dinamikus sűrítők használata. A dinamikus sűrítők teljesítményük optimális kihasználásához vegyszerek felhasználását igénylik. Kevés vegyszer adagolásával is már 5–8%-os sűrített iszap nyerhető, amely a további kezelésnél kedvező. A sűrítési eljárás előnyei közé tartozik, hogy kis területet igényel, zárt térben elhelyezhető, időjárástól független az üzemeltetése, és nagyobb a sűrítés hatásfoka. Hátrányai közé tartozik a magas üzemeltetési költség, speciális, drága gépészet és a vegyszerigény. Főként a nagyobb telepeken alkalmazhatók a nagy, változtatható „áteresztő” képességű következtében.

A leggyakrabban alkalmazott berendezések között említhetők:

- sűrítő centrifugák (iszapok sűrítéséhez és víztelenítéséhez is alkalmazzák),
- különböző rázó sziták (sűrítő asztalok),
- sűrítő szeparátorok,
- mobil sűrítő (rázó) konténerek,
- dobsűrítők (szűrési elven működnek).

A leggyakrabban alkalmazott dinamikus eljárás a dobsűrítők használata, kis, közepes telepeken rácsként is használják, de általában nagy telepeken a fölősiszap sűrítésére alkalmazzák őket a szárazanyag-tartalom növelése céljából rothasztás/stabilizálás előtt.

### Szűrés

A szűréssel történő iszapsűrítések berendezéseinek beépítése egyelőre csak nagy telepeken és csak speciális igények esetén javasolható (karbantartása, a szűrőelemek magas ára miatt). Elérhető szárazanyag-tartalom a szűréstől függően 10–15% között várható. A legelterjedtebb eljárások a dob- és membránszűrés.

A membrántechnikát az ipar részben elválasztás, részben sűrítés szempontjából számtalan területen alkalmazza. Az eljárás alapja a felületén történő szűrés, amely lehet mikroszűrés, ultra-

szűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis. A szennyvíztisztítás területén a membránszűrés az utó-  
 ülepítést hivatott kiváltani, de speciális esetekben a szennyvíziszap sűrítésére is felhasználható.  
 A membránokon átjutó víz bakteriális szennyezést nem tartalmaz, így a költséges fertőtlenítő  
 rendszer is megtakarítható. A sűrítési eljárások hatékonyságát, alkalmazási gyakoriságát az 1.8.  
 táblázat ismerteti.

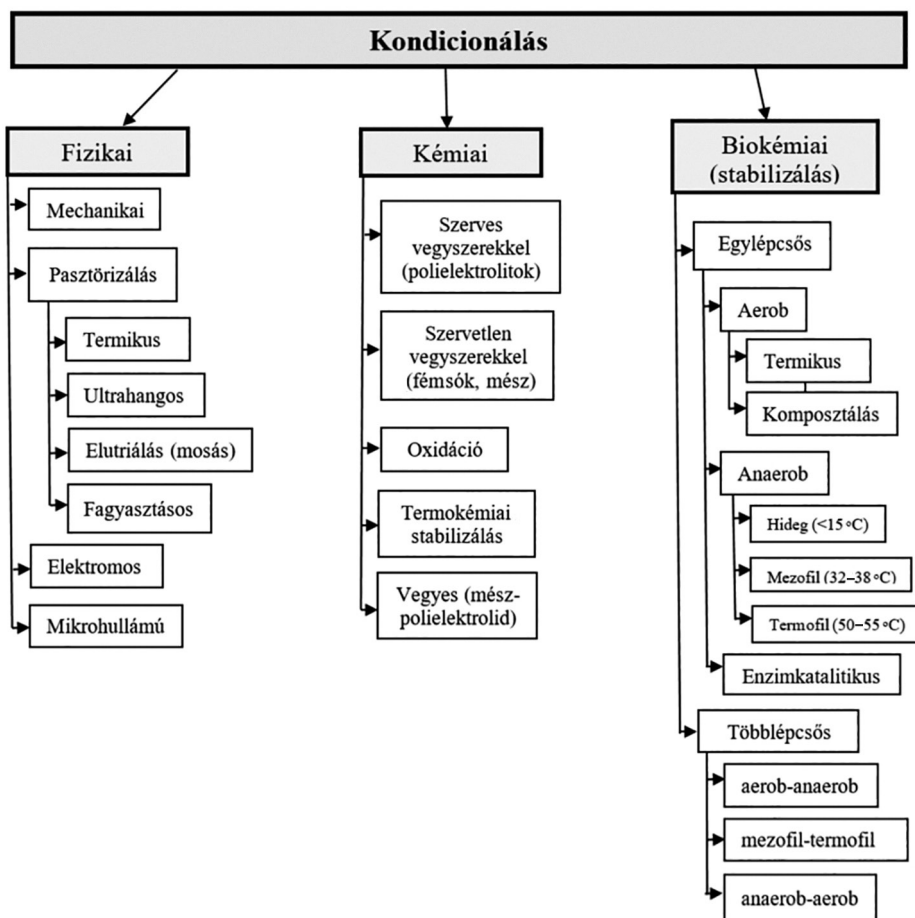
#### 1.8. táblázat

*Sűrítési eljárások, relatív hatékonyságuk [10]*

| Eljárás                   | Iszapfajta           | Alkalmazás gyakorisága és relatív hatékonyság                                                                                                    |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gravitációs sűrítő        | Primer iszap         | Általánosan alkalmazott. Néha (például ipari szennyvizeknél) a hidrociklonnal együttesen az iszap homoktartalmának eltávolítására is használják. |
|                           | Primer és fölösiszap | Gyakran alkalmazott. Kis telepeken 4–6%-os szárazanyag-tartalom érhető el.                                                                       |
|                           | Fölösiszap           | Ritkán alkalmazott. Elérhető szárazanyag-tartalom 2–3%.                                                                                          |
| Sűrített levegős flotáció | Primer és fölösiszap | Korlátozottan alkalmazott. Hatékonysága a gravitációs sűrítőhöz hasonló.                                                                         |
|                           | Fölösiszap           | Általánosan alkalmazott. 3,5–5% szárazanyag-tartalom.                                                                                            |
| Dekantáló centrifuga      | Fölösiszap           | Korlátozottan alkalmazott. Jó hatásfok: 8–10%-os szárazanyag-tartalom.                                                                           |
| Tálcás centrifuga         | Fölösiszap           | Alkalmazása fokozódó. 4–6%-os szárazanyag-tartalom.                                                                                              |
| Szalagszűrő prés          | Fölösiszap           | Alkalmazása fokozódó. Hatásfok: 3–6% szárazanyag-tartalom.                                                                                       |
| Forgódobos víztelenítő    | Fölösiszap           | Korlátozottan alkalmazott. Jó hatásfok: 5–9% szárazanyag-tartalom.                                                                               |

## Kondicionálás

A kondicionálás feladata az iszap felhasználásának (hasznosítás vagy lerakás) előkészítése vagy a további kezelési lépések hatékonyságának növelése. A kondicionálás célja a víztelenítési sajátosságainak kedvezőbbé tétele, a könnyen bomló szerves anyagok stabilizálása, a patogének, baktériumok előpusztítása, csökkentése és a sűrítettség, vízteleníthetőség javítása. A kis méretű iszap-szemcsék kondicionálást igényelnek, mert hidratáltak (vízzel kötődnek), és felületükön rendszerint elektrosztatikus töltést hordoznak. A kondicionálási, feltárási eljárásokat az 1.21. ábra szemlélteti.



1.21. ábra

A főbb kondicionálási eljárások [11]

### Mechanikai kondicionálás

A kemény vagy szálas anyagok aprítását, folyadékok homogenizálását, szivattyúk és egyéb berendezések védelmét biztosítják, ami a rendszer megbízhatóságát javítja. A mechanikai feltérési/kondicionálási eljárások közé sorolhatók az aprítók (macerátor), malmok, nagynyomású ütköztetőberendezések, rotoros eljárások, nagynyomású homogenizátorok és a centrifugák (iszap viszkozitásának csökkentése kb. 6%, metánkihozatal növekedése a rothasztóban 30–40%).

A mechanikai feltérési eljárások előnyei közé sorolható:

- egyszerű üzemeltetés és beruházási költség,
- növeli az enzimaktivitást és gázkihozataalt,
- a vízteleníthetőséget javítja,
- csökkenti a habképződést a rothasztóban,
- iszap viszkozitásának csökkentése.



## Pasztörözés vagy pasztörizálás

A folyamat során a nyers vagy rothasztott iszap mezőgazdasági elhelyezésekor a patogén baktériumok számának csökkentése a cél (eljárás 60–80 °C között, 15–30 perc tartózkodási idő alatt végzik). A folyamatos üzemnél általában kétlépcsős ellenáramú hőcserélőt alkalmaznak, ahol az első lépcső a pasztörözött és a nyersanyag előmelegítésének hőkihasználását, míg a második lépcső a tulajdonképpeni pasztörözést szolgálja. A nagyobb telepeken a reaktorok szakaszos üzemben működnek, a hőmérséklet növelésével a pasztörözési idő csökkenthető. Az eljárást az utóbbi időben egyre kevésbé használják, mivel az iszap bedolgozási idejének esetleges elhúzódásával a visszafertőződés lehetősége fokozottan fennáll, emellett nagy beruházási- és működésköltség-igényű.

## Termikus eljárás

Célja az iszap sejtanyagának feltárásával a sejtben kötött víz eltávolítása. A kezelés magas hőmérsékleten (180–220 °C) és nyomás alatt történik, ami után az iszap kamrás préssel 40–50% szárazanyagra vízteleníthető, majd égetőműben hőtermelés céljából hasznosítható.

Előnyei:

- költséghatékony az üzemeltetése, ha hulladékhő-hasznosításra épül,
- javítja a gázkihozatalt a rothasztóban,
- a patogéneket inaktiválja,
- javítja az iszap vízteleníthetőségét (akár 50% szárazanyag-tartalom érhető el gépi víztelenítéssel),
- csökkenti az illó szerves hányadot.

Hátrányai:

- a fűtőfelületen nagy mennyiségű mérgező dioxin keletkezik (rontja a rothasztás hatékonyságát és maradék anyagként az iszapban halmozódik fel),
- az eljárás során a biomassza enzimeit is megsemmisülnek (külön szabályozott recirkulációs visszaoltás szükséges),
- eróziós problémák,
- szagproblémák (a levegő tisztítást igényel),
- a csurgalékvíz szervesanyag-tartalma igen nagy (többletterhelést jelent a folyadékfázis-kezelésben),
- magas beruházási költség.

A rothasztáshoz kapcsolódó ismert eljárások a Cambi és a BioThelys.

## Ultrahangos eljárás

Az ultrahangos eljárás a víztelenítés számára kedvezőbb szűrési ellenállású anyagot produkál, a kondicionálási technológiák intenzív fejlesztései közé sorolható. Előnye a könnyű telepíthetőség és üzemeltetés, ezenkívül javítja a biodegradálhatóságot (ezáltal a biogáz-kihozatalt). Az eljárás hátránya a magas beruházási és üzemeltetési költség.

### Iszap mosatása (elutriálás)

A mosatás a finom kolloidok kimosását, illetve kioldását eredményezi. Hatása a felhasználandó vegyszer csökkenését is eredményezi (csak nagy telepek alkalmazzák).

A mosás célja:

- a bikarbonát-lúgosság csökkentése az iszapban, amellyel csökkenthető a savasfém-só-igény,
- a rothasztott iszap mosatása az iszapot hígítja, és a lúgosságot csökkenti,
- az iszaplúgosság csökkentése a pH-szabályozáshoz igényelt mézheménység csökkentését eredményezi.

Az iszapmosatás legfontosabb hatása, hogy a finom, nehezen vízteleníthető iszapszemcsék 10–45%-a kimosódik, ezáltal az iszap vízteleníthetősége javul, bár a tisztítótelep elejére visszavezetve a finomfrakció nehezebben távolítható el.

### Fagyasztásos eljárás

A jégkristályok a sejtfalat szétroncsolják, a víztelenítést akadályozó kolloidok elbomlanak. A természetes téli fagyasztást alkalmazzák, mert a mesterséges hűtés nem gazdaságos.

### Elektromos kondicionálás

Az iszapot pulzáló elektrosztatikus térbe vezetik (20–30 kV), és ezzel érik el az iszap feltárását. Előnye a rövid kontaktidő, hátránya pedig, hogy a nagyüzemi alkalmazása még nem kiforrott, és nagy az elektromos igénye az eljárás során alkalmazott szivattyúzási módszernek. Az eljárás hatékonysága nem bizonyított, alkalmazása ezért nem elterjedt.

### Mikrohullámú kondicionálás

A mikrohullámú kezelés során az iszap szerkezeti és pehelyképzési tulajdonságai is megváltozhatnak.

Mikrohullámú energiaközléssel járó kezelés során, a termikus hatás következtében a következő folyamatok mennek végbe:

- iszappelyhek szétesése,
- sejtmembrán felszakadása,
- nagy molekulájú anyagok hidrolízise.

Flokkulálószeret alkalmazó szennyvíztisztítási technológiából származó iszapoknál a kezelési időtartam első részében az iszappelyhek szétesnek (fragmentálódnak), de a flokkulálószer jelenléte miatt „újrapelyhesedési” mechanizmusok játszódnak le, az így létrejött pelyhek tömörebbek, ezáltal a kötött víztartalom aránya az eredetinel alacsonyabb. A mikrohullámú eljárások során a 2450 MHz-es, illetve egyes esetekben 918 MHz-es frekvenciát használnak. Nagyüzemi alkalmazása a magas beruházási és energiaigénye miatt nem elterjedt.

## Kémiai kondicionálás

A vegyszerek (flokkulálószer) hatására a víztelenítés javul, az iszap rothadóképessége csökken.

Az alkalmazott vegyszerek:

- szerves vegyszerek (polielektrolitok, prestol, zetag, hercoflock stb.),
- szervetlen vegyszerek (vas-szulfát, vas-klorid, alumínium-szulfát, alumínium-klorid, ongroflock, mész, szénpor stb.).

Fontos meghatározni a beadagolt vegyszerek megfelelő mennyiségét, mert a túladagolás különösen a polielektrolitoknál rontja a hatékonyságot. A vegyszerek kiválasztásánál pedig figyelembe kell venni a hasznosítás-elhelyezés szempontjait is.

## Szerves vegyszerrel történő kondicionálás

Az iszapok víztelenítéséhez a gravitációs sűrítésnél jelentősen nagyobb térfogatcsökkenést és szárazanyag-tartalmat érhetünk el a polielektrolitokkal történő kondicionálással. A polielektrolitok hosszú láncszerkezetűek, amelyek a pehelyrészeket hídszerűen, jó hatásfokkal kötik meg. A polielektrolitok valamennyi iszapkondicionálási feladathoz alkalmazkodtak, mivel

- kis mennyiségű (15–30%) többletiszap keletkezik,
- a víztelenített iszap fűtőértékét nem csökkenti,
- a kondicionáló anyagkezelési műveletek tisztábbak,
- az üzemeltetési és fenntartási problémák csökkennek.

A kondicionálószer területén a fejlődés folyamatos, az ionok töltése szerint a polielektrolitok három típusát különböztetjük meg:

- anionos (negatív töltésűek, és a pozitív töltésű alumínium-szulfáttal és vas-kloriddal együttesen alkalmazzák),
- nem ionos (azonos mennyiségű kationos és anionos polimert tartalmaznak, töltésüket az oldat pH-ja befolyásolja),
- kationos (pozitív töltésűek, önállóan vagy alumínium-szulfáttal kombinálva alkalmazzák).

A leggyakrabban kationos polimereket alkalmazzák a szennyvíziszap víztelenítésére. A legáltalánosabban alkalmazott szervetlen kondicionáló vegyszer a vas-klorid, önállóan vagy mésszel kombináltan használják.

- Vas-klorid: Iszaphoz adagolása után a vas-klorid pozitív töltésű oldható vas komplexeket képez, amelyek a negatív felületi töltésű iszapszemcsék felületét igyekeznek semlegesíteni, ezáltal a pehelyképződés feltételei adottak.
- Meszes kondicionálás: A mész a kolloidokra dehidratáló hatású, kondicionáláshoz elsősorban pH-szabályozó, szagcsökkentő, fertőtlenítő hatása miatt választják. A mész beoltásával jelentkező hő fertőtlenítő hatású, akár 2–3 hónapig (elbomlásáig) gátolja az iszap további rothadóképességét (bűzhatás). Kis és közepes tisztítótelepen az iszap átmeneti tározásánál alkalmazzák, illetve nagyobb telepeknél a kamrás-szűrős iszap-víztelenítés esetén szintén előszeretettel használt flokkulálószer. A mész oltatlan formában (CaO) és hidratált formában  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  áll rendelkezésre. A hidratált mész rendszerint vas-kloriddal együtt alkalmazott.
- Oxidálószerekkel: Az alkalmazott oxidálószer az ózon, hidrogén-peroxid, oxigén. Az oxidációs eljárás előnye, hogy csökkenti a rothasztó terhelését. Hátránya a magas beruházási költség és a jelentős pH-eltolódás, amely nem kívánt környezeti hatásokat eredményezhet.

## Biokémiai kondicionálás

Az aerob és anaerob rendszerre általánosan jellemző, hogy a baktériumok az iszapot a kezelés során stabilizálják, egyszerűbb formákká alakítják. Az előülepitőkből, a kötött biomasszát alkalmazó és az eleveniszapos rendszerekből kikerülő keverékiszapot általában további stabilizálás céljából stabilizációs műtárgyba szivattyúzzák.

Az aerob stabilizálás az iszap „teljes oxidációja”, azaz továbbkeverés. A sejtanyag csak 75–80%-a oxidálható, a maradék 20–25% inert anyag és nem bontható. Alkalmazása elsősorban a kis, közepes kapacitású (2000–7500 m<sup>3</sup>/év) telepek esetében ajánlott. A technológiai sor: elősűrítő, légbefúvásos kevert reaktor, majd utósűrítő.

A reaktortér megválasztása szerint különbséget kell tenni egyesített és elválasztott rendszer között. Az egyesített medence jelentős térfogatigényű medence, viszonylag magas energiaráfordítással történik az oldott fázis kezelése és az iszap (rész-) vagy teljes stabilizálása. Az elválasztott rendszerben a folyadékfázis kezelése során leválasztott iszapokat (nyers és fölös eleveniszap) az előzőekhez hasonló technológiai folyamat szerint, de lényegesen kisebb reaktortérben külön stabilizálják.

Az aerob iszapstabilizáló reaktor szakaszos (batch) táplálású vagy folyamatos betáplálású lehet. Alakja szerint kör vagy négyszögletes, az időjárási viszonyoktól függően pedig nyitott vagy zárt.

Alkalmazási feltételei:

- az elegy hőmérséklete az év minden időszakában +10 °C felett tartható,
- a terhelés időszakos változása az 1:2,5–1:3,0 arányt meghaladja,
- az iszap szerves szárazanyag-tartalma nem haladja meg az 50%-ot,
- a toxikus ipari szennyvíz az anaerob rothasztó jó hatásfokú működését gátolja,
- az energetikai vizsgálat eredménye kedvező.

## Komposztálás

Termikus aerob folyamat, amelynek fő célja a stabilizálás, vízleadás és fertőtlenítés. Az iszapvonalon általában a víztelenítés után következik.

A komposztálás három fő részre osztható:

- mezofil időszak: mezofil baktériumok megjelenése (élesztőgombák és egyéb gombák), 50 °C-ig emelkedik a hőmérséklet, pH = 4–5-ig csökken, időigény: 0,5 nap, amely során zsírok, proteinek és szénhidrátok lebontása történik;
- termofil időszak: termofil baktériumok, 70 °C-ig is emelkedhet a hőmérséklet, pH 8–8,8-ra nő, időigény: 2–3 nap, 60–70 °C-ok körül már minden patogén mikroorganizmus néhány spóráképző kivételével pár órán belül elpusztul;
- érlelési szakasz: a hőtermelés lelassul, mert a termofil baktériumok a rendelkezésre álló tápanyagot lebontották, a komposzt fokozatosan lehűl, időigény: 2–3 hónap.

Enzimadagolással, beoltással rövidíthető a komposztálási folyamat, azonban alkalmazása nagyüzemben nem költséghatékony. A komposztálás során mérni kell az oxigéntartalmat, nedvességtartalmat és a szerves anyagban lévő nitrogénhányadot (C/N arány, a szakirodalom a 20:1–30:1 arányt találja megfelelőnek). A jó komposzt olyan mértékben stabilizált, hogy a szagképződés valószínűsége nagymértékben lecsökken, tárolható és szállítható.

Iszap komposztálására elterjedt töltőanyagok lehetnek:

- mezőgazdasági hulladék (tőzeg, szalma, forgács, aprított nád stb.),
- települési szilárd hulladék (szemét),
- ipari hulladék (szerves, nem mérgező anyagok).

A komposzt kedvező tulajdonságai között kiemelhető a tárolás, szállítás, bedolgozhatóság, a kedvező tápanyagtartalom és az egészségügyi követelményeknek való megfelelése. A kész komposzt általános összetételét az előfordulási tartomány függvényében az 1.9. táblázat tartalmazza.

1.9. táblázat

A kész komposzt általános jellemzői [8]

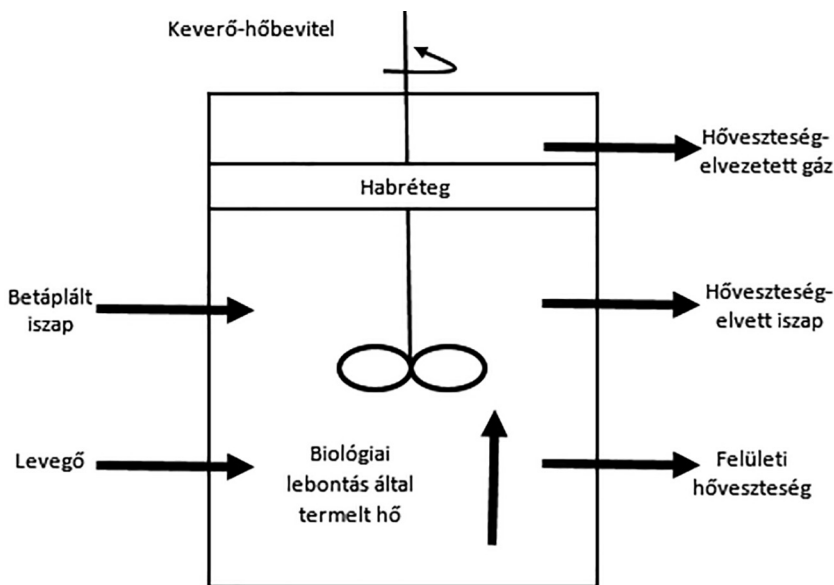
| Jellemzők ( $\text{g} \times 100 \text{ g}^{-1}$ szárazanyag) | Előfordulási tartomány |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|
| Nedvesség                                                     | 30–50                  |
| Inert anyag                                                   | 30–70                  |
| Szervetlen tartalom                                           | 10–30                  |
| pH (1:10 vízkeverék)                                          | 6–9                    |
| Lúgosság (mint CaO)                                           | (1–20)                 |
| Összes só (mint KCl)                                          | (0,5–2,0)              |
| Maximális részecskeméret (mm)                                 | 2–10                   |
| Elemek ( $\text{g} \times 100 \text{ g}^{-1}$ szárazanyag)    | Előfordulási tartomány |
| Nedvesség                                                     | 0,1–1,8                |
| P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )                                  | 0,1–1,7 (0,2–3,8)      |
| K ( $\text{K}_2\text{O}$ )                                    | 0,1–2,3 (0,1–2,8)      |
| S                                                             | 0,5–3,0                |
| Elemek ( $\text{mg} \times \text{g}^{-1}$ szárazanyag)        | Előfordulási tartomány |
| B                                                             | 60–360                 |
| Cd                                                            | 15–40                  |
| Cu                                                            | 90–260                 |
| Fe                                                            | 8000–15000             |
| Hg                                                            | 1–5                    |
| Mn                                                            | 300–1300               |
| Mo                                                            | 10                     |
| Pb                                                            | 200–400                |
| Zn                                                            | 800–1200               |

Kialakításuk alapján a komposztrendszerek lehetnek:

- prizmás, nyílt rendszer (szakaszos üzemű, amely lehet kézi vagy gépesített [gépi keverés és gépi levegőbevitel kialakítású eljárás]),
- komposzt, depóniákban (keverés helyett levegőztetés a komposzt alatt perforált csőrendszeren keresztül, folyamatos üzemű),
- tartályos, zárt (kis területigényű, jól ellenőrizhető folyamat, beruházási költsége viszont nagy, kialakítása: kör, négyszög, torony vagy alagútszerű lehet).

## Autotermikus termofil aerob iszapstabilizáció (ATAD)

Az elmúlt évtizedekben az aerob iszapstabilizáció jelentős mértékben fejlődött. Az ATAD (Auto-thermal Thermophilic Aerobic Digestion) folyamatban az elősűrített szennyvíziszap levegőztetett, hőszigetelt reaktorokba kerül (a szerves anyagok, mikroorganizmusok által végzett aerob lebontás során hő keletkezik). Az eljárás során a szakaszosan levegőztetett, 35 °C körüli hőmérsékleti tartományban üzemelő mezofil reaktorok az ammóniumkoncentrációt is csökkentik. Az ATAD-reaktor energiabevitelét és -vesztését az 1.22. ábra szemlélteti.



1.22. ábra

Az ATAD energiabevitel és -vesztése (saját szerkesztés)

Az ATAD-technológia előnyei a mezofil rothasztással összehasonlítva:

- hatékony iszapstabilizáció,
- magas szervesanyag-lebontási hatásfok,
- fedett, szagmentes reaktor,
- pasztörizált végtermék, a mezőgazdaságban további kezelés nélkül használható,
- alacsony beruházási költség,
- jól vízteleníthető stabilizált iszap,
- a mikrobakultúra jól viseli a terhelésbeli és a táplálék összetételében mutatkozó ingadozásokat.

Hátrányai:

- magas villamosenergia-felhasználás,
- nem keletkezik használható biogáz, csak hő és CO<sub>2</sub>.

A technológia autotermikus, ezért külső hőenergia felhasználása nélkül is képesek a termofil hőmérsékleti tartományban (55–70 °C) üzemelni. A folyamat közben vékony habréteg alakul ki, amely elősegíti a hőszigetelést. A reaktorokba mechanikus vagy hidraulikus habtörőt építenek.

## Anaerob stabilizálás

Az eljárás célja az iszap szerves vegyületeinek stabilizált anyagokká alakítása, csökkentve az iszap mennyiségét, térfogatát, és hogy a folyamat közben hasznosítható végtermék (metán) képződjön. Csak a 100 ezer LE feletti telepek esetében alkalmazzák a hőveszteség és a korlátozott feltételek miatt.

## Rothasztás

A folyamat hőmérsékletfüggő, amely szempont alapján megkülönböztethető:

- Hideg rothasztás ( $T < 15\text{ °C}$ ): A stabilizálás a kétszintes ülepítők iszapterében történik, tartózkodási idő 60–120 nap, az iszaptároló földmedencékben  $t \cong 6$  hónap, kis telepeken alkalmazzák, biogáz-hasznosítás nincs.
- Mezofil rothasztás ( $T = 30\text{--}38\text{ °C}$ ): A leggyakrabban alkalmazott és legkönnyebben kezelhető eljárás, rothasztás során a baktériumok állandó hőmérsékletet igényelnek, amelyet folyamatos „fűtéssel” oldanak meg (például külső hőcserélő). A folyamat tartózkodási ideje 18–25 nap. A reaktor védelme érdekében a darabos kemény anyagok leválasztására ún. „macerátort” építenek be, hasznosítják a biogázt, lehet egy- vagy kétlépcsős folyamat, a legszélesebb körben alkalmazott rothasztási eljárás.
- Termofil rothasztás ( $t = 50\text{--}55\text{ °C}$ ): A tartózkodási idő 8–15 napra csökken, alkalmazása többek között a kedvezőtlen hőmérséklet és a terhelésváltozásra való érzékenység miatt kevésbé javasolt, előnye az iszap jobb vízleadásában, a fertőző anyagok hatékonyabb pusztításában jelentkezik. Általános jellemzői közé tartozik például:
  - hosszú tartózkodási időt és nagy reaktortérfogatot igényel,
  - a keletkező biogáz metántartalma magas,
  - az iszap vízteleníthetősége javul,
  - a patogének pusztulása jelentős,
  - szervesanyag-tartalma csökken,
  - a visszamaradt iszap mennyisége csökken.

Az anaerob rothasztás négy részfolyamatra választható szét:

1. Főleg fakultatív baktériumok vesznek benne részt (fehérjék, szénhidrátok és zsírok enzimikus úton, a hidrolízis során kisebb vegyületekre, aminosavakra, zsírsavakra, glicerinre és monoszacharidokra hasítódnak).
2. Többségében anaerob baktériumok, az előző fázis termékeiből főként alkoholokat és savakat képeznek, pH-csökkenéssel jár.
3. Magasabb rendű zsírsavakból oxidáció révén keletkezik ecetsav, szén-dioxid és hidrogén.
4.  $\beta$ -oxidáció, metánképző baktériumok metánt (50–70%) és szén-dioxidot (30–50%) állítanak elő. A folyamatban keletkező gáz még vízgőzt is tartalmaz.



A szennyvíziszap-komposztálás és -rothasztás előnyeinek és hátrányainak összefoglalását az 1.10. táblázat szemlélteti.

1.10. táblázat

*Aerob-anaerob iszapstabilizálás előnyei, hátrányai [14]*

| Kezelési ideje          | Komposztálás                                                   |                                                                                 | Rothasztás                                                          |                                                                                                 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | előny                                                          | hátrány                                                                         | előny                                                               | hátrány                                                                                         |
|                         |                                                                | min. 60 nap                                                                     | kb. 20 nap                                                          |                                                                                                 |
| Szerves anyag lebontása | gombák segítségével a lignin vegyületek is lebontásra kerülnek |                                                                                 |                                                                     | lignintartalmú vegyületek nem kerülnek lebontásra, alacsonyabb szervesanyag-degradáció          |
| Lebontás folyamata      | kevésbé érzékeny a hulladék minőségének változására            |                                                                                 |                                                                     | a mikrobiális populáció érzékeny a környezeti tényezőkre, a hulladék minőségére                 |
| Energiaellátás          |                                                                | a levegőztetés energiaigénnyel jár                                              | a képződött biogáz hasznosítható a reaktorok fűtéséhez, keveréséhez |                                                                                                 |
| Fertőzőképesség         | nem fertőzőképes                                               |                                                                                 |                                                                     | mezofil hőmérsékleti tartományú kezelés esetén patogén szervezeteket tartalmazhat               |
| Végtermék mennyisége    |                                                                | a végtermék mennyisége nő a struktúraanyagok, egyéb hulladékok hozzáadása miatt | az iszap tömege és térfogata csökken (sza. tartalom 25–50%-ban)     |                                                                                                 |
| Végtermék minősége      | jó minőségű, közvetlenül hasznosítható                         |                                                                                 |                                                                     | hasznosítás előtt aerob utókezelés vagy tárolás szükséges                                       |
| Területigény            |                                                                | nagy                                                                            | kisebb                                                              |                                                                                                 |
| Beruházási költség      | alacsony                                                       |                                                                                 |                                                                     | nagy méretű zárt tartályokat igényel, keverés, hőcserélés, gáztárolás, gázhasznosítás kiépítése |
| Üzemeltetés             |                                                                | levegőztető rendszer                                                            |                                                                     | keverés, reaktorok fűtése                                                                       |

Kétlépcsős stabilizálási eljárásokat igen magas vagy nehezen bontható szervesanyag-tartalom esetén alkalmaznak. Az összetételtől függően az első reaktor szerepe rendszerint a gyorsabban leépíthető anyagok ásványosítása, egyben a második lépcső reaktortérének csökkentését is elősegíti.

A kétlépcsős rendszerek gyakoribb kialakítása:

- anaerob termofil – anaerob mezofil rothasztók egymás utáni kapcsolása,
- anaerob mezofil – aerob stabilizálók egymás utáni kapcsolása.

Az anaerob rendszereket előszeretettel alkalmazzák igen nagy szervesanyag-tartalmú szennyvizek (borászat, citromsavgyártás stb.) tisztításánál is. A települési szennyvíziszapok stabilizálása során egyre szélesebb körben használnak a rothasztást követően komposztálást, kihasználva ezzel az aerob és az anaerob eljárások együttes alkalmazásának előnyeit.

## Víztelenítés

A kondicionált iszap nedvességtartalmának csökkentése a hasznosítás, illetve az elhelyezés szempontjainak megfelelő mértékben (például a szárazanyag-tartalom alakulása, injektálás: 5–8%, beszántás: 25–40%, komposztálás: 15–45%, szárítás, égetés: 40–50%). A víztelenítés előnye a gazdaságos szállítás, és a későbbi kezelési technológiáknak optimális víztartalmat tud biztosítani.

A víztelenítési berendezések megválasztását elsősorban az iszap fajtája, a rendelkezésre álló terület és a víztelenített iszap tulajdonságai befolyásolják.

A víztelenítési eljárások csoportosítása:

- Természetes eljárások:
  - szikkasztóágyak,
  - iszap nádágyak.
- Mesterséges eljárások:
  - dinamikus víztelenítők (centrifugák, szeparátorok, vibrációs víztelenítő, csavarprés),
  - statikus nyomóerő elvén működő berendezések (szalagszűrők prések, kamrás szűrőprések),
  - vákuum hatására működő berendezések (vákuumágyak, vákuum dobszűrők),
  - membráneljárások,
  - egyéb kombinált eljárások.

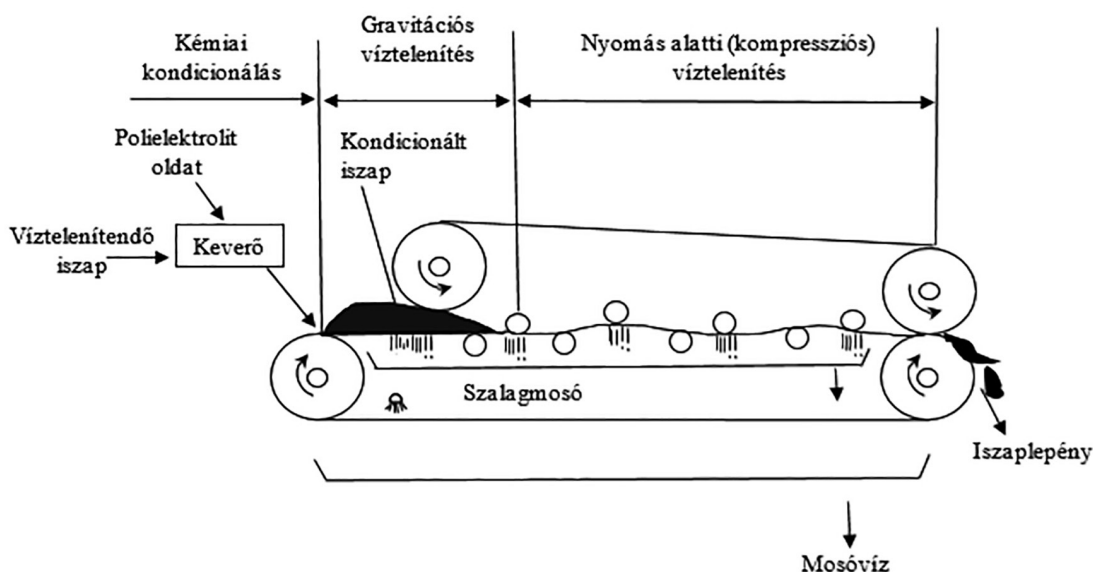
A „természetes úton” működő víztelenítők a felesleges nedvességtartalom  $\frac{1}{4}$ -ének elpárologtatásával,  $\frac{3}{4}$  részének elszivárogtatásával működnek. A klímaviszonyoknak erősen kitett szikkasztóágyakat ma már csak nagyon ritkán alkalmazzák, helyettük a vákuumágyat és a mobil gépi víztelenítőket használják. Az iszapvíztelenítő ágyak alternatívái lehetnek iszapvíztelenítő lagúnák, ha elegendő földterület áll rendelkezésre.

A mesterséges gépi iszapvíztelenítők a teljes iszapkezelési kapacitástartományt lefedik. Előnyben részesítik az alkalmazásukat, ahol például a földterület drága, és az iszapágyak környezeti ártalmat jelentenek, az időjárási körülmények a gépi eljárást helyezik előtérbe, és a folyékony iszap elszállítása költséges a helyben történő víztelenítéshez képest.

A centrifugákkal elérhető szárazanyag-tartalom vegyszeradagolással 20–45%, vegyszeradagolás nélkül 18–23%. A centrifugák kiválasztásának főbb szempontjai:

- az iszap felhasználása, elhelyezése szerinti minimális szárazanyag-tartalom,
- a centrifugába bevezetendő szükséges szárazanyag-tartalom,
- az elválasztási hatások,
- a fajlagos energiafelhasználás (átlagosan 3,0 kWh/m<sup>3</sup> iszap).

A szalagszűrők valamennyi iszapfajta víztelenítésére kis és közepes kapacitású szennyvíztisztító telepen alkalmazhatók. Az üzemeltetése háromlépcsős (1.23. ábra) kémiai kondicionálás (rendszerint elektrolitokkal), gravitációs víztelenítés és a nyomás alatti víztelenítés (nyomószalagok között).



1.23. ábra

A szalagszűrés alapfolyamatai [10]

Kamrás szűrőpréseket akkor alkalmaznak, ha nagy szárazanyag-tartalmú (~40%) iszaplepleny előállítása a cél (égetés, lerakás). Csak nagyobb telepeken (50 ezer LEÉ felett) alkalmazzák, szakaszos működésű (töltés, szűrés, ürítés).

A vákuumágys víztelenítés hidraulikai elve azonos a hagyományos iszapvíztelenítő ágyak homokrétegének szerepével, az iszapvíz mindig porózus közegben dréneződik. A centrifugák hatékonysága az iszap előkezelésétől, valamint a belépő szárazanyag-tartalom mértékétől erősen függ, az elérhető szárazanyag-tartalom 15–20% között változik, a hatásfokjavítás érdekében polielektrolit adagolása szükséges.

A membránszűrőkre a magas szárazanyag-tartalom és a nagy elválasztási hatékonyság a jellemző. A membránok eltömődésre érzékenyek (például zsíros iszap) viszonylag nagy szűrőfelületet kívánnak, energiaigényük magas, itthon még nem terjedtek el.

### Szárítás

A iszapban található víz eltávolításának fázisai rendszerint a sűrítés, a mechanikai víztelenítés és a szárítás. A szennyvíziszap szárítása nemcsak az égetés előkezeléseként, de mint a korábbiakban már láthattuk, a komposztálás előszárításaként is szóba jöhet. A folyamat célja a termék tárolási, zsákolási, szállítási és kedvezőbb felhasználási lehetőségeinek biztosítása. A szárítás egyben fizikai kondicionálást is jelent, ami a szárítási hőmérséklettől (65–300 °C) függően a patogének jelentős mértékű elpusztítását is eredményezheti, ami főleg a mezőgazdasági hasznosítás szempontjából kívánatos. Az eljárás segédanyag nélkül történik, az átalakulásoknál felszabaduló ammónia a légtérbe kerül, és onnan a szárítógázzal együtt távozik, ezért a szárítógáz utólagos tisztítása elengedhetetlen. A végtermék szemcsés anyag (granulátum, por) formájában jelenik meg, az elérhető szárazanyag-tartalom 65–85%.

Az alkalmazott szárítóberendezések leggyakoribb típusai:

- etage (emeletes) kemence (ma már kevésbé használják),
- forgó csökemence (különböző változatokban),
- örvénykemence,
- szalagszáritó,
- csigás száritó,
- szolár száritó (napenergia).

A napenergiát gazdaságosan felhasználó úgynevezett szolár száritók terjedtek el. Ezek abban különböznek a szolár víztelenítőkötől, hogy gépi eljárással az iszapot elővíztelenítik (centrifuga, szalagprés, kamrás prés stb.). A szolár száritók esetében az iszap hőmérsékletét, a belső tér és a környezet levegő-hőmérsékletét, a légtér nedvességtartalmát és a napsugárzás erősségét, valamint a szél irányát és sebességét ellenőrzik. Ezen paraméterek alapján a vezérlő üzemelteti a száritóberendezést, és szabályozza a száritógáz elvételét. Biológiai folyamatok hatására ammónia, kénhidrogén és egyéb szagos vegyületek is keletkeznek, az elszívott gázból ezért speciálisan kiépített tisztítólépcsőkben kell azokat visszatartani, eltávolítani. Hazai viszonylatban télen nem működik, így átmeneti tárolás szükséges. Beruházási költsége magas. Számos előnye van a szolár száritásnak, például, hogy csökken az iszap tömege és térfogata, a kimenő szárazanyag-tartalom mértéke megválasztható, csökken a szaghatás, a különböző paraméterek széles tartományban összeegyeztethetők, és az üzemköltség alacsony.

A természetes száritók közé sorolható az aerob termikus kondicionálási feltételeknek is megfelelő komposztálás. A komposztálásnál a keverék nedvességtartalmát mintegy 50%-ra kell csökkenteni, míg a száritásnál ez a mindenkori igény függvénye. A száritógáz hőmérséklete valamivel magasabb, és telítettsége is nagyobb, ezért a komposztálásnál a száritáshoz szükséges levegőmennyiség kevesebb.

A mesterséges hőátadással működő száritóberendezések közül a forgó csökemencés berendezések a legelterjedtebbek. Ezek között a száritási hőmérséklet, a hőtermelés, a direkt vagy indirekt hőátadás, a pára és füstgáz kezelésének számos megoldásával lehet találkozni.

## Fertőtlenítés

Az iszapok fertőtlenítése elengedhetetlen, ha mezőgazdasági területen szeretnénk hasznosítani, illetve ha fennáll a mikrobiológiai szennyezettsége. Fertőtlenítési eljárásként alkalmazzák a hőkezelést, a meszes kezelést, a komposztálást is. Eredményes eljárásnak tekinthető az aerob-termikus kondicionálás. A hazai viszonylatban bevezetett komposztálás kedvező fertőtlenítő hatást is biztosít. (A komposztok vizsgálatát és minősítését az MSz-10-509 szabályozza.) A különböző iszapkezelési eljárások fertőzőképesség-csökkentő hatását az 1.11. táblázat tartalmazza.

### 1.11. táblázat

*Iszapkezelési eljárások fertőzőképesség-csökkentő hatása [11]*

| Kezelési eljárások                                                                    | Behatási idő | Fertőzőképességet jellemző humán patogén csoportok csökkentése (%) |                                  |                          |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                                                                       |              | Vírusok                                                            | Baktériumok                      | Paraziták                | Gombák                   |
| Anaerob iszapkezelés:                                                                 |              |                                                                    |                                  |                          |                          |
| mezofil (30–35 °C)                                                                    | 14–30 d      | > 90                                                               | 1–3 nagyságrenddel csökken: > 90 | Majdnem teljes pusztulás | Majdnem teljes pusztulás |
| mezofil (30–35 °C),<br>a kezelt iszap hosszú idejű tárolása (20 °C-on)                | 6 hónap      | –                                                                  | 99,9                             | Nincs hatással           | –                        |
| termofil (50 °C)                                                                      | 6–15 d       | > 95                                                               | 2–4 nagyságrenddel csökken: > 90 | Majdnem teljes pusztulás | Teljes pusztulás         |
| Aerob iszapkezelés                                                                    | 6 d          | Nincs hatással                                                     | ~20                              | ~10                      | Részleges pusztulás      |
| Kémiai meszes kezelés:                                                                |              |                                                                    |                                  |                          |                          |
| szűrés előtt (pH = 11,5–12,5)                                                         | 12 h         | –                                                                  | 2–4 nagyságrenddel csökken: > 90 | Majdnem teljes pusztulás | –                        |
| víztelenített iszap (pH = 12,5)                                                       | 14 d         | –                                                                  | 2–4 nagyságrenddel csökken: > 99 | Teljes pusztulás         | –                        |
| Folyékony iszap termikus kezelése (177–240 °C és 6000–12000 kN/m <sup>2</sup> nyomás) | 15–40 min    | Teljes pusztulás                                                   | Teljes pusztulás                 | Teljes pusztulás         | Teljes pusztulás         |
| Fertőtlenítés (70 °C-on)                                                              | 30–60 min    | Teljes pusztulás                                                   | Teljes pusztulás                 | Teljes pusztulás         | Teljes pusztulás         |
| Iszapszáritás (300–500 °C-on)                                                         | 20 min       | Teljes pusztulás                                                   | Teljes pusztulás                 | Teljes pusztulás         | –                        |
| Komposztálás (65 °C-on)                                                               | 5 d          | Majdnem teljes pusztulás                                           | Teljes pusztulás                 | Teljes pusztulás         | Teljes pusztulás         |
| Önálló égetés (930 °C-on)                                                             | 20 min       | Teljes pusztulás                                                   | Teljes pusztulás                 | Teljes pusztulás         | Teljes pusztulás         |

### *Iszapok szállítása*

Az elhelyezés módja befolyásolja a szállítás megválasztását (távolság, elhelyező hely befogadó-képessége, élettartama, bedolgozás, lerakás szárazanyagtartalom-igénye, szállítandó mennyiség) és a kettő együtt visszahat a tisztítótelepi kezelési technológia mértékére (sűrítés, kondicionálás, víztelenítés). A szállítás alapeszközei közé sorolható a tengelyen történő szállítás, a csővezetéken történő szállítás és a kettő kombinációja (vegyes: csővezeték-tengely). Az iszap szállítási módjának megválasztását meghatározó tényezők:

- az elhelyezési/felhasználási technológia (mezőgazdasági művelés),
- az iszap keletkezési és felhasználási vagy lerakási helyének távolsága (km),
- a szállítandó iszap mennyisége ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),
- a közlekedési viszonyok (forgalom, burkolat, hidak teherhordó képessége, sebességkorlátozás stb.),
- klímaviszonyok,
- domborzat, talajvíz (nyomóvezeték esetén),
- a felhasználási hely befogadóképességének tervezett időtartama,
- környezeti és közegészségügyi tényezők (védőterület stb.),
- közbenső tároló kialakítási feltételei,
- gazdasági tényezők (villamos energia, folyékony üzemanyag, jármű beszerzése, személyzet, eszközteljesítmény kihasználása stb.),
- rekultivációhoz vagy takaráshoz anyagszállítás igénye,
- egy műszak alatt elvégezhető fordulók száma,
- a keletkező csurgalék- (depónia) víz kezelendő mennyisége,
- a járművek karbantartása, mosatása és fertőtlenítése.

Az iszap tengelyen történő szállítását csak erre a célra engedélyezett zárt rendszerű, gépi üzemeltetésű, csepegés- és szóródásmentes, bűz- és szaghatást, legyeket és bármilyen egyéb rovarokat kizáró járművekkel lehet végezni. Szállítási útvonalat kell készíteni (hatóságokkal engedélyeztetni kell), amelynél a lakott területeket lehetőség szerint minimális mértékben szabad keresztezni, télen-nyáron járható, szilárd burkolatú utak legyenek. Gondoskodni kell a szállító járművek tisztítási-fertőtlenítési lehetőségéről. A kezelőszemélyzet (gépkocsivezető, kísérő stb.) kötelező orvosi ellenőrzésére vonatkozó előírások a szennyvíztisztító telep más dolgozóira előírtakkal megegyeznek.

Szennyvíztárolás és -szállítás közben az esetleges metánképződés miatt tűz- és robbanásveszély lehetősége áll fenn. Ennek kapcsán az érvényben lévő 35/1996. (XII. 29.) BM rendelet 1. mellékletét képező Országos Tűzvédelmi Szabályzat előírásainak betartása kötelező érvényű. (Mérsékelt tűzveszélyes osztály „D” kategória.) Zárt vezetéken történő iszapszállítás egyformán alkalmazható akár mezőgazdasági hasznosítás, akár lerakás esetén. Az iszapvezeték a tisztítótelep tartozékaként engedélyköteles.

A szennyvíziszap nyomóvezetékkel történő szállítása akkor javasolt, ha:

- az iszap fogadása a végpont térségében legalább 15 éven keresztül biztosított,
- az iszap konzisztenciája – adott távolságra – lehetővé teszi a dugulásmentes szállítást,
- az iszap csővezetékben történő tartózkodási ideje lerakódást, veszélyes metánkiválást nem eredményez (az újbóli indításnál az ún. iszapfelszakító erő energiaigénye jelentős többletet kíván),
- a vezeték kapacitáskihasználása az I. ütemben is már eléri az 50%-ot ( $t/24\text{h}$ ),
- a fogadás folyamatosan biztosított,
- a vezeték építésével, karbantartásával kapcsolatos előírások (védőtávolságok, szabad megközelítés stb.) biztosíthatók,
- a vezeték anyagát tekintve a dinamikus erőkkal és a felületi kopással (csőerózió) szemben a meghatározott élettartamig biztonsággal ellenáll,
- a vezeték meghibásodása a nyomvonal mentén visszafordíthatatlan károsodást nem okoz, vízbázist és egyéb környezeti, tájvédelmi stb. elemet nem veszélyeztet.

### *Iszapok elhelyezése és hasznosítása*

Magyarországon a szennyvíziszap elhelyezését és felhasználását tekintve 60%-ban lerakás (főként hulladéklerakóban) és 40%-ban egyéb hasznosítás (mezőgazdasági, anaerob rothasztás, tájrehabilitáció) történik. A lerakás nem minősíthető végleges megoldásnak, mert a lerakók befogadóképessége egyre jobban csökken. Az elsődleges szempont a hasznosítás során, hogy a szennyvíziszapot elsősorban nem hulladékként kell tekinteni, hanem hasznosítható másodlagos nyersanyagként.

A szennyvíziszap hasznosításának főbb lehetőségei:

- mezőgazdasági hasznosítás (komposztálás, injektálás),
- termikus, energetikai hasznosítás,
- tájrehabilitáció, rekultiváció,
- biogáz-előállítás (anaerob rothasztás).

Az elhelyezés módjainak feltételrendszere különböző konzisztenciájú anyagösszetételt, különböző stabilizálhatósági fokot és fertőtlenítési szintet igényel. Különösen az elhelyezés feltételei azok, amelyek a központi szabályozás következtében időszakonként megváltoznak (iszap mennyisége, összetétele, kezelése). A telepen belüli kezelést úgy kell megválasztani, hogy a külső feltételek mennyiségi és minőségi változásaihoz rugalmasan illeszkedni tudjanak.

### *Mezőgazdasági hasznosítás*

Az iszap mezőgazdasági hasznosításának fő célja a növényi tápanyagigény (N és P) biztosítása, talajművelési tulajdonságainak javítása. A műtrágyákkal szemben fontos makro- és mikroelemeket is tartalmaz. A területigényt célszerű foszfor- és szervesanyag-terhelésre is méretezni az 59/2008. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről szóló rendeletet figyelembe véve.

A szennyvíziszap hasznosítása során a legnagyobb veszélyt a benne található nehézfémek (például Pb, Zn, Cu, Ni, Cd) jelentik, amely nehézfémek megkötődhetnek és felhalmozódhatnak a talajban, és a növényekbe kerülve akkumulálódhatnak. A nehézfémek mellett a második problémát a gyógyszermaradványok jelentik, amelyeknek hatásait még jelenleg is vizsgálják. Ezen szennyező anyagok miatt elkerülhetetlen a szennyvíziszapok analitikai vizsgálata a felhasználást megelőzően.

A vizsgálatokat csak mintavételre és vizsgálatokra akkreditált laboratóriumok végezhetik. A talajtani hatóság a talaj, talajvíz, a szennyvíz, illetve szennyvíziszap vizsgálatát a 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM (a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről) együttes rendeletében meghatározott jellemzőkre is kiterjesztheti az abban megfogalmazott egyedi határértékek megállapításával. Az ilyen módon előírt paraméterek vizsgálata és határértékeinek kötelező alkalmazása a talajtani szakvélemény részét képezi. A kihelyezhető iszap főbb előírásait az 50/2001. (IV. 3.) kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól tartalmazza [3. § b) pontja rögzíti a mezőgazdasági területen felhasználható kezelt iszap fogalmát, de kizárólagosan a csak mezőgazdasági célú termelést szabályozza].



Az iszap mezőgazdasági területen történő elhelyezése engedélyhez kötött tevékenység, amit

- talajtani szakvélemény,
- közegészségügyi szakhatósági,
- környezetvédelmi szakhatósági,
- vízügyi szakhatósági vélemények,
- önkormányzati (jegyzői) hozzájárulás birtokában lehet végezni.

Az illetékes növényegészségügyi és talajvédelmi állomás mint talajvédelmi hatóság határozatban engedélyez.

Az engedély legfeljebb 5 éves időtartamra adható. Szennyvíziszap nem használható fel olyan talajon,

- amely a kormányrendeletben megadott talajokra vonatkozó határértékeknél rosszabb tulajdonságokkal rendelkezik,
- amelynek pH-értéke 5,5-nél kisebb (ha a talaj pH-értéke 5,5–6,2 között van, a felhasználás csak meszezés egyidejű alkalmazásával lehetséges),
- amely szélsőséges mechanikai összetételű durva homok,
- amelynek termőréteg-vastagsága 60 cm-nél kevesebb,
- amelyben a talajvíz évi átlagos szintje 150 cm-nél magasabb.

Szennyvíziszap nem helyezhető el:

- folyékony iszap esetén ott, ahol a felület lejtése 6%-nál nagyobb,
- víztelenített iszap esetén (szárazanyag > 20%) 12% feletti tereplejtés felett.

A szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezése esetén szükséges védőterület:

- lakott területtől,
- lakóépületektől,
- erdőművelési ágba tartozó területektől legalább 300 m.

A szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása esetén kedvező fertőtlenítési hatást eredményez az úgynevezett aerob termofil stabilizálás. Mezőgazdasági felhasználásnál savanyú talajok esetében elsősorban a mész felhasználása tekintendő a legkedvezőbbnek.

### Iszapok ipari hasznosítása

A szennyvíziszap ipari területen történő hasznosítására számos speciális lehetőség kínálkozik. Valamennyi felhasználási mód sajátos egyedi követelményrendszert kíván meg, amelynek kielégítése az iszapkezelő telepen csak igen korlátozott mértékben valósítható meg. Ez elsősorban a szárazanyag-, nedvességtartalom-igény kielégítésére szorítkozik. Minden más igényhez a tisztító-kezelő telepet arra alkalmas eljárással és berendezéssel, technológiai utasítás szerint ki kell egészíteni.

A felhasználási technológiák környezetvédelmi korlátozásait eljárásonként, egyedileg kell meghatározni, amelynek előkészítését a környezetvédelmi hatástanulmányok támasztják alá.

Az ismertebb eljárások közül megemlíthető:

- tüzelőanyagként (kazánokban elégetés) felhasználás,
- útépitések során a „szárított” anyagot betonadalék-anyagként a legalsó rétegbe dolgozzák be,
- speciális anyagot vonnak ki belőle (például B12-gyártás).

## Deponálás

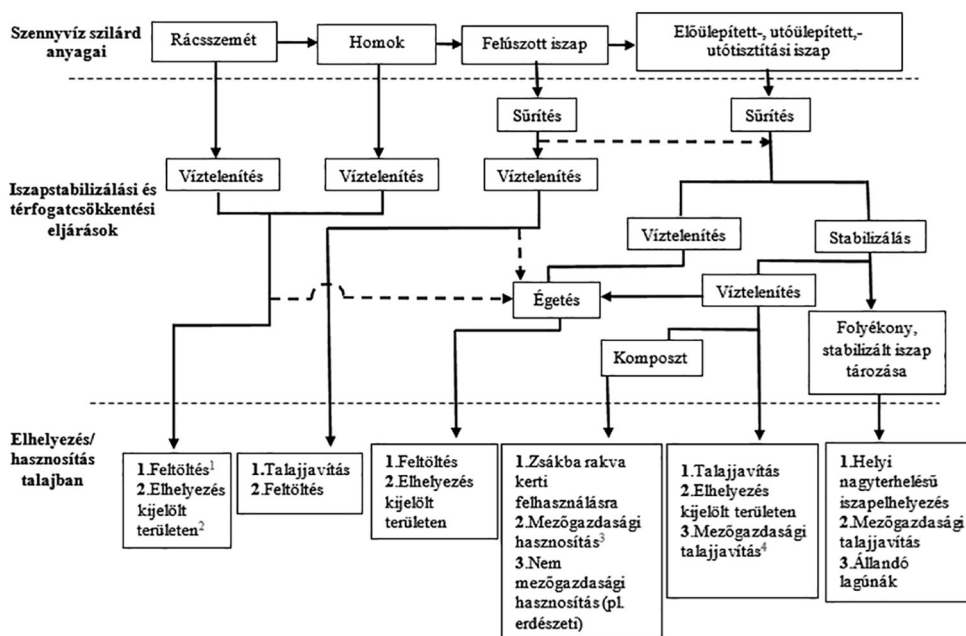
A deponálás a szennyvíziszap lerakással történő tartós tárolása, hogy az iszapelhelyezés során elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vízre, illetve a környezetre gyakorolt káros hatások. A szabályozott körülmények közötti deponálást a hulladéklerakás, valamint a hulladéklerakók lezárásának és utógondozásának szabályairól és egyes feltételeiről szóló 22/2001. (X. 10.) KöM rendelet alapján kell megoldani.

Lerakó abban az esetben létesíthető és engedélyezhető, ha megfelel a rendelet 1. sz. mellékletében meghatározott feltételeknek (a szennyvíziszap-lerakók létesítésével kapcsolatos eljárás megegyezik a hulladéklerakásra meghatározott feltételekkel).

A deponálást a hazai gyakorlatban kétféleképpen alkalmazzák, amelyekkel nagyobb távlatban is számolni kell:

- önálló lerakás helyi vagy regionális depóniába: üzemi lerakás, amikor csak a szennyvíziszap lerakása történik (ez az ún. monodeponálási mód),
- települési szilárdhulladék- (szemét-) lerakón történő helyi vagy regionális deponálás (ez az ún. vegyes deponálási mód).

Összefoglalásként a szennyvíztisztító telepekről származó, a szennyvízből eltávolított szilárd anyagok lehetséges elhelyezési és/vagy hasznosítási módjait, visszamaradt anyagait és kezelési lehetőségeit mutatja be az 1.24. ábra.



1.24. ábra

A szennyvíztisztítás visszamaradt anyagi és kezelési lehetőségei [10]

Megjegyzés: <sup>1</sup> Víztelenített iszaplepleny vagy hamu. <sup>2</sup> Folyékony vagy víztelenített. <sup>3</sup> Folyékony, iszaplepleny, komposzt. <sup>4</sup> Folyékony vagy víztelenített.

## Felhasznált irodalom

- [1] Simándi P. Szennyvíztisztítási technológiák I. Egyetemi jegyzet. Szarvas: Szent István Egyetem; 2011.
- [2] Benedek P, Valló S. Vízisztítás-szennyvíztisztítás zsebkönyv. Budapest: Műszaki; 1990.
- [3] Tamás J. Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap-elhelyezés. Egyetemi jegyzet. Debrecen: Debreceni Agrártudományi Egyetem; 1998.
- [4] Thajudeen A. Wastewater Screening & Classification of Screens. 2017 [letöltve: 2020. 01. 05.]. Elérhető: <https://engineeringcivil.org/articles/environmental-engineering/wastewater-screening-classification-screens-complete-list-wastewater-treatment>
- [5] Öllös G. Szennyvíztisztítás I. Kézirat. Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem; 1992.
- [6] Horváth I. Mechanikai szennyvíztisztítás. Budapest: Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda; 1973.
- [7] Török S. Vízellátás és szennyvízkezelés. Egyetemi jegyzet. Gödöllő: Szent István Egyetem; 2011.
- [8] Öllös G. A vízellátás-csatornázás értelmező szótár. Budapest: Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény; 2002.
- [9] Dobolyi E. Tápanyag (P és N) eltávolítás a szennyvíztisztítás harmadik lépcsőjében. Budapest: Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató Iroda, 39. sz., 1972, 72–118.
- [10] Öllös G. Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése II. Budapest: Akadémiai; 1995.
- [11] Juhász E. Útmutató a települési szennyvíziszap telepi előkezeléséhez. Budapest; 2002.
- [12] Dittrich E. Iszapszerű hulladékok kezelése és biogáz-hasznosítás. Előadás, Pécs: PTE-PMMK Környezetmérnöki Tanszék; 2015.
- [13] Barótfi I. Környezettechnika. Budapest: Mezőgazdasági Lap- és Könyvkiadó Kft.; 2003.
- [14] Kárpáti Á. Szennyvíziszap-rothasztás és -komposztálás. Ismeretgyűjtemény 6. Veszprém: Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék; 2002.

## Szabványok, előírások, rendeletek

- 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről
- 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
- ATV-Arbeitsblatt A 202: Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V
- MSZ EN 12255-3-2001 Szennyvíztisztító telepek, 3. rész: Előtisztítás
- Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014–2023; „Stratégia 2014” konzorcium (2013): Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízásából, KEOP-7.9.0/12-2013-00 09 számú projekt – „Vállalkozási szerződés keretében stratégiai felülvizsgálat, szennyvíziszap-hasznosítási és -elhelyezési projektfejlesztési koncepció készítés”; Budapest

## Ajánlott irodalom

- Ábrahám F. Szennyvíztisztítás és iszapkezelés I. Egyetemi jegyzet. Baja: Eötvös József Főiskola; 2006.
- Ábrahám F, Bardóczy Székely E, Kárpáti Á, László Zs, Szilágyi F, Thury P, Vermes L. Szennyvíztisztítás alapjai. Budapest; 2007.
- Bacsiszta A. A Kazincbarcikai szennyvíztisztító telep technológiájának bemutatása, értékelése. Szakdolgozat. Miskolc: Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar; 2013.
- Beszédes S, Kovács R, Keszthelyi Szabó G, Hodúr C. Szennyvíziszapok biológiai lebonthatóságának és dielektromos jellemzőinek kapcsolata. Keszthely: LVIII. Georgikon napok konferenciaanyag; 2016.

Beszédes S. Szennyvíziszapok biológiai lebonthatóságának növelése mikrohullámú előkezeléssel. PhD-értekezés. Szeged: Környezettudományi Doktori Iskola, Szegedi Tudományegyetem; 2014.

Czermann M. Települési szennyvíziszap hasznosításának lehetőségei. Előadásanyag. Budapest: BME; 2016.

Juhász E. Települési szennyvíziszapok kezelése. Budapest: KSZGYSZ; 2013.

Kárpáti Á, Fazekas B, Kovács Zs. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. 12. fejezet – Szennyvíziszap szárítás, égetés és egyéb hasznosítás. Veszprém: Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet; 2014.

Kocsis I. Hígtrágya és szennyvíziszap kezelése. 4. fejezet – Iszapkondicionálás és stabilizálás, fertőtlenítés. Gödöllő: Szent István Egyetem; 2011.

László Zs, Simon E, Hodúr C, Fenyvessy J. A mikrohullámú technika alkalmazásának újabb lehetőségei az élelmiszer- és környezetiparban. Agrártudományi Közlemény. 2005;18.

Oláh J, Szlávik I, Szőnyi I. Települési szennyvíziszap-kezelési technológia fejlesztése. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató 147. Budapest; 1984.

Patziger M. Közepes és kis szennyvíztisztító telepek hatékony üzemeltetése. Magyar Víziközmű Szövetség; 2018.

Román P. Víz- és szennyvíziszap-kezelés. Előadásanyag. Baja: Eötvös József Főiskola Vízellátási és Környezetmérnöki Intézet; 2015.

Rózsáné Szűcs B. Anaerob előkezelés hatása a szennyvíziszapok komposztálására. Doktori értekezés. Gödöllő; 2013.

Takács J. Kommunális szennyvizek tápanyagtartalmának csökkentési lehetősége. Hulladék. 2013;4(1).

Tömösy L. Víz tisztaságvédelem – szennyvíztisztítás. Oktatási segédlet. Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem; 2004.

Urbanovszky I. Eljárások, műveletek, berendezések a víz- és szennyvíz-technológiában, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet; 2007.

Vermes L. Vízgazdálkodás. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás; 1997.

## **Fejezetzáró kérdések**

1. Mi a szerepe a szennyvíz előkezelésének?
2. Hogyan csoportosítaná a rácsokat?
3. Milyen típusú homokfogókat alkalmaznak a szennyvíztisztításban?
4. Milyen típusú ülepítőket alkalmaznak a szennyvíztisztításban?
5. Sorolja fel a kémiai foszforeltávolítás lépéseit!
6. A szennyvízkezelési technológia mely műveleti egységébe adagolhatjuk a koagulánst?
7. Magyarázza el a CEPT-technológia lényegét!
8. Szennyvízből a nitrogén milyen módszerekkel távolítható el?
9. Melyek a szennyvíziszap keletkezési helyei a kommunális szennyvíztisztításban?
10. Melyek az iszapkezelés legfontosabb lépései?
11. Milyen iszapsűrítési eljárásokat ismer?
12. Milyen kondicionálási eljárásokat ismer?
13. Milyen kémiai kondicionálószereket ismer?
14. Mi a különbség az anaerob és aerob stabilizálás között?
15. Hogyan csoportosítjuk a víztelenítési eljárásokat?
16. Soroljon fel legalább három szárítóberendezést!
17. Az iszapkezelési eljárások milyen hatással csökkentik a fertőzőképességet?
18. Milyen tényezők határozzák meg az iszapszállítási módokat?
19. Milyen szennyvíziszap-hasznosítási lehetőségeket ismer?
20. Milyen főbb jogszabályok határozzák meg a mezőgazdasági hasznosítást?