

Nemzeti
Közzolgálati
Egyetem
Víz tudományi Kar

Szerkesztette
Karches Tamás

KIS KAPACITÁSÚ SZENNYVÍZTISZTÍTÓ LÉTESÍTMÉNYEK



SZÉCHENYI 



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények

Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények

Szerkesztette
Karches Tamás



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Budapest, 2020

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap (ESZA) társfinanszírozásával valósul meg (támogatási szerződés száma: EFOP-3.6.1-16-2016-00025, projekt címe: A vízgazdálkodási felsőoktatás erősítése az intelligens szakosodás keretében).

Szerzők
Bognár Ferenc
Dalkó Ilona
Karches Tamás
Orgoványi Péter
Papp Tamás
Török László
Vadkerti Edit

Lektor
Németh Zsolt

Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.
Székhely: 1089 Budapest, Orczy út 1.
Kapcsolat: kiadvanyok@ludovika.hu

A kiadásért felel: Koltányi Gergely ügyvezető igazgató
Felelős szerkesztő: Inzsöl Kata
Olvasószerkesztő: Kutas Éva
Korrektor: Bíró Csilla
Tördelőszerkesztő: Kőrösi László

Nyomdai kivitelezés: Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.

ISBN 978-963-531-354-9 (nyomtatott)
978-963-531-356-3 (elektronikus PDF) | ISBN 978-963-531-355-6
(ePub)

DOI: https://doi.org/10.36250/00880_00

© A szerkesztő, 2020
© A szerzők, 2020
© Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020

Minden jog védve.

Tartalom

Előszó

A szennyvíztisztítás alapjai

(Orgoványi Péter, Dalkó Ilona, Vadkerti Edit, Bognár Ferenc)

Mechanikai előkezelés	13
<i>Rácsok és aprítók</i>	14
<i>Homokfogó</i>	18
<i>Hidrociklon</i>	21
<i>Úsztatóberendezések</i>	21
<i>Zsír- és olajfogók</i>	22
<i>Flotációs berendezések</i>	22
<i>Ülepítő</i>	22
<i>Sűrítők</i>	24
<i>Oldómedencék</i>	25
A szennyvíztisztítás biológiai folyamatai	25
<i>A prokarióták anyagcseretípusai</i>	26
<i>A lebontás biokémiai folyamatai</i>	30
<i>Az eleveniszap életközössége</i>	32
<i>Az eleveniszap biokémiai folyamatai</i>	36
<i>Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések biológiai folyamatai</i>	39
Kémiai szennyvíztisztítás	40
<i>Kémiai foszforeltávolítás</i>	40
<i>Alumíniumsók</i>	42
<i>Vassók</i>	42
<i>Mész</i>	43
<i>CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment) eljárás</i>	43
<i>Elő-, szimultán és utókicsapás</i>	43
<i>Előkicsapás</i>	44
<i>Szimultán kicsapás</i>	45
<i>Utókicsapás</i>	45
<i>Kémiai nitrogéneltávolítás</i>	46
Iszapkezelés	46
<i>Térfogatcsökkentési és -stabilizálási eljárások</i>	49
<i>Iszapok szállítása</i>	68
<i>Iszapok elhelyezése és hasznosítása</i>	70
Felhasznált irodalom	73
Szabványok, előírások, rendeletek	73
Ajánlott irodalom	73
Fejezetzáró kérdések	74

Decentralizált szennyvíztisztítás
(Orgoványi Péter, Karches Tamás, Vadkerti Edit)

Centralizáció vs. decentralizáció	75
Decentralizált szennyvízkezelés	77
A hazai szabályozás elemei	79
A decentralizált szennyvíztisztítás jelene és jövője Magyarországon	81
Decentralizált szennyvízkezelő rendszer (DEWATS) a fejlődő országokban	83
<i>CBS-programok</i>	83
<i>A DEWATS-modulok technológiai konfigurációi</i>	84
Felhasznált irodalom	86
Jogszabályok	87
Ajánlott irodalom	87
Fejezetzáró kérdések	87

Szennyvíztisztító kisberendezések, szennyvízelhelyező kislétesítmények
(Török László)

Szennyvíztisztító kisberendezések létesítésének, üzemeltetésének jogszabályi háttere	89
<i>A szennyvíztisztítás és -elhelyezés jogszabályi fejlődése</i>	89
<i>A szennyvíztisztítás és -elhelyezés aktuális jogszabályi helyzete</i>	91
<i>A kisberendezésekre vonatkozó német jogszabályok</i>	94
Kisberendezésekre vonatkozó szabványok, műszaki előírások, irányelvek	95
Kis szennyvíztisztítók működése és műszaki kialakítása	101
<i>Rácsok</i>	101
<i>Úsztató és flotáló műtárgyak</i>	102
<i>Egyszerű és bővített oldómedencék</i>	102
<i>Folyamatos átfolyású eleveniszapos kisberendezések</i>	104
<i>SBR-kisberendezések</i>	107
<i>Csepegtetőtestes kisberendezések</i>	109
<i>Merülőtárcsás csepegtetőtest</i>	110
<i>Bemerülőtestes és lebegőágyas tisztítási technológia</i>	111
<i>Membrán bioreaktorok (MBR)</i>	113
<i>Szennyvíztavak</i>	116
<i>Homokszűrő mezők és árkok</i>	117
<i>Növényágyas, gyökérzónás szennyvíztisztítók</i>	119
<i>Fertőtlenítés</i>	122
A szennyvíztisztító kisberendezések méretezésének sajátos aspektusai	124
<i>A szennyvizek mennyisége, mértékadó értéke</i>	125
<i>A szennyvizek sajátos minőségi jellemzői</i>	131
<i>A szennyvíztisztító kisberendezések szennyezőanyag-terhelései</i>	131
<i>Ülepítők méretezése</i>	136
<i>Oldómedencék méretezése</i>	137
<i>Eleveniszapos kisberendezések méretezése</i>	138
<i>Csepegtetőtestes és merülőtárcsás biológiai tisztítóberendezések méretezése</i>	138
<i>Membránbiológiai berendezések méretezése</i>	139
<i>Tavas szennyvíztisztítók méretezése</i>	139

<i>A szűrőrendszerek szennyezéseliminációs mechanizmusai</i>	140
<i>Homokszűrő árok és mező</i>	141
<i>A növényágyas szennyvíztisztítók méretezése</i>	142
<i>UV-fertőtlenítés</i>	142
A tisztított szennyvíz elhelyezése	142
<i>A szikkasztórendszerek kialakítása</i>	143
<i>Szennyvízelhelyező létesítmények méretezése</i>	145
A szennyvíztisztítás melléktermékeinek elhelyezése	147
A kisberendezések létesítésének, telepítésének szabályai	147
Üzemeltetés, karbantartás	147
<i>Általános előírások</i>	147
<i>Az egyedi szennyvíztisztító létesítmények mintázása</i>	148
<i>Az egyedi szennyvíztisztító létesítmények üzemeltetési feladatai</i>	149
Gazdaságossági vonatkozások	151
Felhasznált irodalom	154
Jogszabályok	154
Szabványok	154
Ajánlott irodalom	155
Fejezetzáró kérdések	155
Szennyvíztisztítási folyamatok modellezése	
(Karches Tamás)	
Szennyvíztisztítás modellezése, szimulátorok	157
<i>Szimulációs protokollok</i>	159
Anyagforgalmi modellek felépítése	159
<i>Biológiai növekedés</i>	160
<i>Hidrolízis</i>	160
<i>Pusztulás</i>	161
<i>Eleveniszapos modellek</i>	164
<i>Biofilmes modellek</i>	168
<i>Hibrid biofilmes rendszerek</i>	172
Segédmodellek	172
<i>Szennyvíz-frakcionálás modell</i>	172
<i>Levegőztetési modell</i>	173
<i>Ülepítőmodell</i>	176
<i>Folyamatirányítási modell</i>	180
Reaktormodellek	181
<i>Ideális és reális reaktormodellek</i>	181
<i>Recirkuláció hatása a reaktormodellre</i>	186
<i>Levegőztetés hatása a reaktormodellre nézve</i>	188
<i>Izapcsökkentés kaszkádolással</i>	190
Egyedi szennyvíztisztító kisberendezések anyagforgalmi modellje	191
<i>A nyers szennyvíz karakterizálása, modellbeállítások</i>	191
<i>Elvégzett szimulációk és eredmények</i>	192
Felhasznált irodalom	197

Internetes források	197
Szabvány	197
Ajánlott irodalom	197
Fejezetzáró kérdések	200

Döntéstámogató rendszerek és adaptáció (Karches Tamás)

Döntéstámogató rendszerek	201
<i>Adattárházak (Data warehouse)</i>	203
<i>OLAP- (On Line Analytical Processing) rendszerek</i>	203
<i>Oszlopalapú adatbázis-kezelők</i>	203
<i>Adatbányász-technológiák</i>	203
<i>Riportkészítő eszközök</i>	204
Döntési folyamat	205
<i>Lineáris programozás</i>	205
<i>Simplex módszer</i>	206
A döntéstámogató rendszer felépítése	208
Döntéstámogató rendszer alkalmazása	209
<i>Adatbázis</i>	209
<i>Döntési algoritmus</i>	210
<i>Felhasználói felület</i>	211
Ajánlott irodalom	215
Fejezetzáró kérdések	216

Melléklet. Szennyvíztisztító kisberendezések bemutatása (Papp Tamás)

Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés	219
<i>A Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés felépítése</i>	220
<i>A Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés működése</i>	220
<i>A szennyvíztisztító berendezés telepítési helyének kiválasztása</i>	221
<i>A szennyvíztisztító berendezés tartályának elhelyezése</i>	222
<i>A szennyvíztisztító berendezés elektromos vezérlőszekrényének telepítése</i>	222
<i>Üzemeltetési feltételek</i>	223
<i>Karbantartási utasítás</i>	224
Polydox-30 és Polydox-50 típusú biológiai szennyvíztisztító kisberendezés	224
<i>A Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés felépítése</i>	225
<i>A Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés működése</i>	226
<i>A szennyvíztisztító berendezés telepítési helyének kiválasztása</i>	226
<i>A szennyvíztisztító berendezés tartályának elhelyezése</i>	227
<i>A szennyvíztisztító berendezés elektromos vezérlőszekrényének telepítése</i>	228
<i>Üzemeltetési feltételek</i>	228
<i>Karbantartási utasítás</i>	229
Öko Tech Home Kft.	230
<i>A.B. Clear típusú biológiai szennyvíztisztító kisberendezések</i>	231
<i>A gyártó által ajánlott felhasználási területek</i>	231

<i>Az A.B. Clear 6-os, 8-as és 10-es típusú szennyvíztisztító kisberendezés működési elve</i>	234
<i>A szennyvíztisztító berendezés ellenőrzése, karbantartása</i>	235
GRAF szennyvíztisztító kisberendezés	238
<i>A One2Clean szennyvíztisztító alkalmazási területe</i>	239
<i>A szennyvíztisztító berendezés telepítése</i>	239
<i>A szennyvíztisztító berendezés üzembe helyezése, beüzemelése</i>	240
<i>A One2Clean szennyvíztisztító kisberendezés működése</i>	240
<i>A szennyvíztisztító berendezés ellenőrzése és annak gyakorisága</i>	242
<i>Szennyvíztisztító berendezés egységeinek karbantartása</i>	243
ASIO AS-VARIOcomp szennyvíztisztító család	245
<i>Az AS-VARIOcomp K alkalmazási területei</i>	247
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés telepítése</i>	248
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító üzembe helyezése</i>	249
<i>A próbaüzem célja, feladatai</i>	250
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés működése</i>	251
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztítók sorba kapcsolása</i>	251
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezésben lejátszódó folyamatok</i>	252
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító tisztítási fokozatai</i>	252
<i>Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés kezelése és karbantartása</i>	255
BV-I szennyvíztisztító kisberendezés	258
<i>A BV-I szennyvíztisztító technológiai leírása</i>	258
<i>A BV-I tisztítási folyamata</i>	259
<i>A BV-I szennyvíztisztító műszaki leírása</i>	260
<i>A BV-I szennyvíztisztító berendezés telepítése</i>	261
<i>Beüzemelés</i>	261
<i>Üzemeltetési és karbantartási utasítás</i>	262

[This page intentionally left blank]

Előszó

A csatornázatlan településeken, agglomerációkban keletkező szennyvizet a befogadó környezeti elem tehermentesítése és a közegészségügyi kockázatok elkerülése érdekében kezelni szükséges. Mivel ezekben a régiókban a folyékony hulladékok szállítása meglehetősen költséges, a helyi megoldások kerülnek előtérbe. Régóta ismert az egyedi szennyvíztisztítás tervezési módszertana és az üzemeltetéssel kapcsolatos összefüggések, azonban széles körű alkalmazásuk mégsem terjedt el ott, ahol nem megoldott a központosított szennyvízkezelés.

A *Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények* című tankönyv célja, hogy az olvasót megismertesse az egyedi szennyvíztisztítás kérdéskörével, annak specialitásaival. Általános szennyvíztisztítási fogalmak és műveletek után a decentralizált szennyvíztisztítási koncepciót és jogi hátterét mutatjuk be, majd ezt követően az egyedi szennyvízkezelők széles és színes palettájáról számos technológiával ismerkedhet meg az olvasó. Az érdeklődőbbek a szennyvíztisztítási folyamatok numerikus modellezésébe is betekinhetnek. Reményeink szerint nemcsak a hallgatók, hanem gyakorló mérnökök a tervezésből és üzemeltetésből, a szennyvíztisztítás iránt érdeklődők és a környezetükért tenni akarók is találnak hasznos információkat.

A tankönyv a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karának kiadásában, az EFOP-3.6.1-16-2016-00025 a vízgazdálkodási felsőoktatás erősítése az intelligens szakosodás keretében; döntéstámogatói és szakértői rendszer fejlesztése egyedi (kis) szennyvíztisztító berendezések hazai bevezetéséhez projekt keretében készült.

Baja, 2020

A szerkesztő

[This page intentionally left blank]

A szennyvíztisztítás alapjai

Mechanikai előkezelés

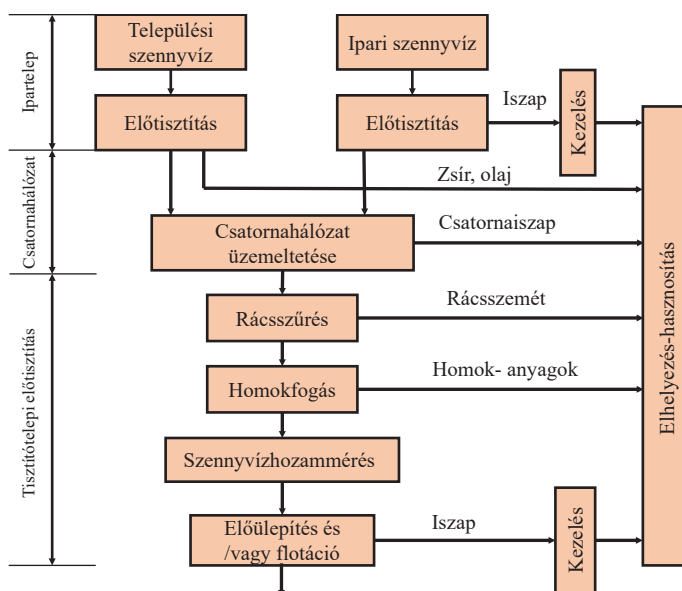
Az elsődleges szennyvíztisztítási fokozatot napjainkban nagyon ritkán vagy egyáltalán nem alkalmazzák önállóan, mert a tisztításból kikerülő víz nem, vagy csak részben felel meg az előírásoknak. A kiindulási nyers szennyvíz összetétele és koncentrációja jelentős eltéréseket mutathat a szennyvíz eredetétől 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 ₅ [%]	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 csatornahálózatból 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

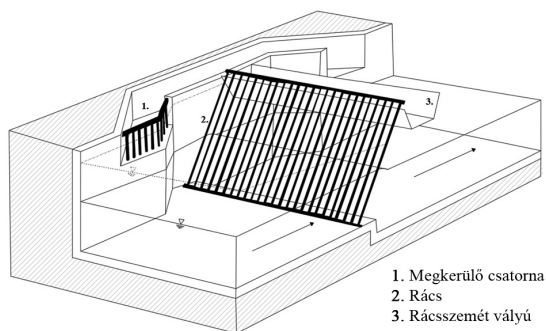
A tisztítási technológia általánosan alkalmazott mechanikai berendezései közé sorolható a rács, alkalmazása fontos például az eltömődést okozó anyagok leválasztása, a következő technológiai berendezések védelme és tehermentesítése céljából. A rácsok kialakításánál figyelembe kell venni az áramlási sebességet, 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 szennyvíztisztító telepen	Kis kapacitású	Kis és közepes kapacitású	Közepes és nagy 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).

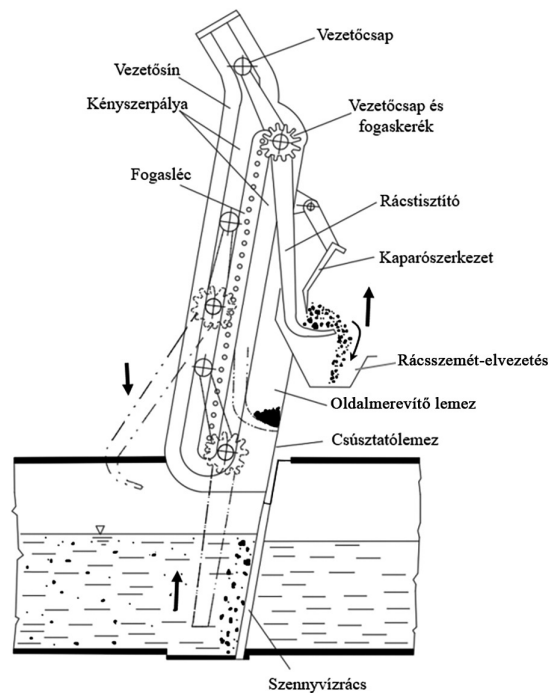
c) Elhelyezés szerint (hajlásszöge 20–75°):

- ferde,
- függőleges.

d) Kialakításuk szerint

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

A síkrácsok alkalmazása inkább nagyobb kapacitású telepeken gyakoribb. Durva és finom rácscoknál 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 rácscok),
- folyamatos tisztítású (mozgó rácscok).

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]

α : a rácsnak a vízszintessel bezárt szöge

β : 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 m³/d alatti szennyvíztisztító telepeken a legegyszerűbben alkalmazott megoldások közé tartozik a kézi vagy gépi kiemeléssel periodikusan kiürített rácsszemétkosár.

1500 és 3000 m³/d között az íves rácsok és a kézi tisztítású síkrács alkalmazása egyaránt elterjedt. A 3000 m³/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 örlőkerekes 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 kiülepedésre 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 ülepedés megakadályozása (telepi összekötő vezetékekben),
- további medencék szervesanyag-terhelésének csökkentése,
- a kotróberendezés túlterhelődésének csökkentése.

A homokfogók lényegében ülepítőknak tekinthetők, ezért a Stokes-féle ülepedésre 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 ülepedési képlet:

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

ahol

- $v_{\text{ü}}$: ülepedési sebesség [m/s]
- ν : az áramló közeg kinematikai viszkozitása [m²/s]
- g : gravitációs gyorsulása [m/s²]
- d : az ülepedő szemcse átlagos átmérője [mm]
- ρ_{sz} : az ülepedő részecske átlagos sűrűsége [kg/m³]
- $\rho_{\text{víz}}$: a víz sűrűsége [kg/m³]

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.) kiülepednek, de a nehezebben ülepedő 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 kiüledszik (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 kiüledését 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 kiülededés. 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 kiüledése 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.

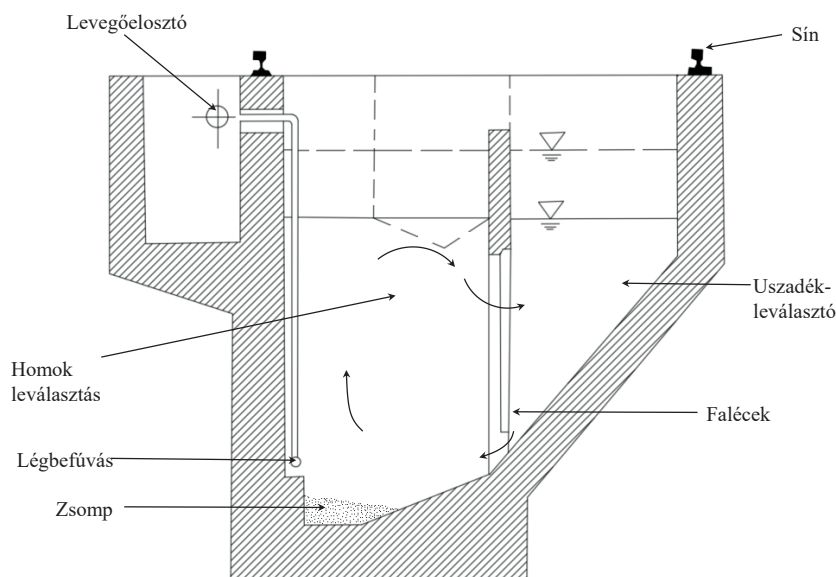
Ha az ideális levegőbevitelhez képest:

- 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.

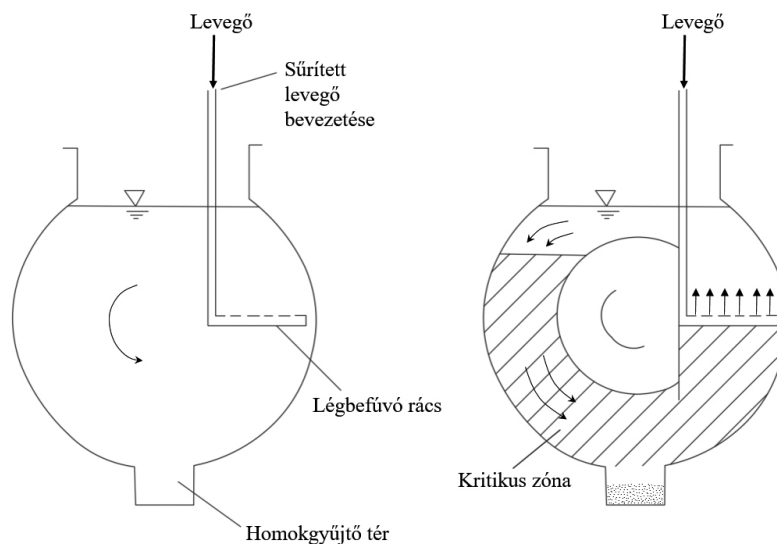
A homokfogó műtárgy méretezésénél a főbb méretezési paraméterekhez tartozik a tartózkodási idő, amelyet a gyakorlati alkalmazásoknál többnyire 3–10 perc közötti érték jellemez.

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]

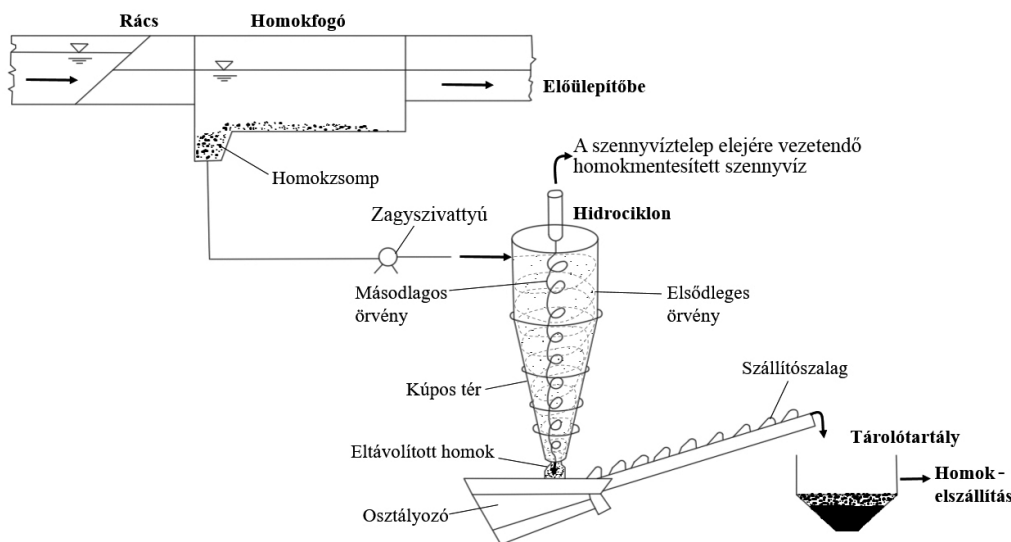


1.5. ábra

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/m³-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 (m³/d),
- szükséges elméleti tartózkodási idő (h),
- felületi lebegőanyag-terhelés (kg/m²×h),
- függőleges, illetve vízszintes átfolyási sebesség (cm/s),
- bukóélterhelés (m³/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]:

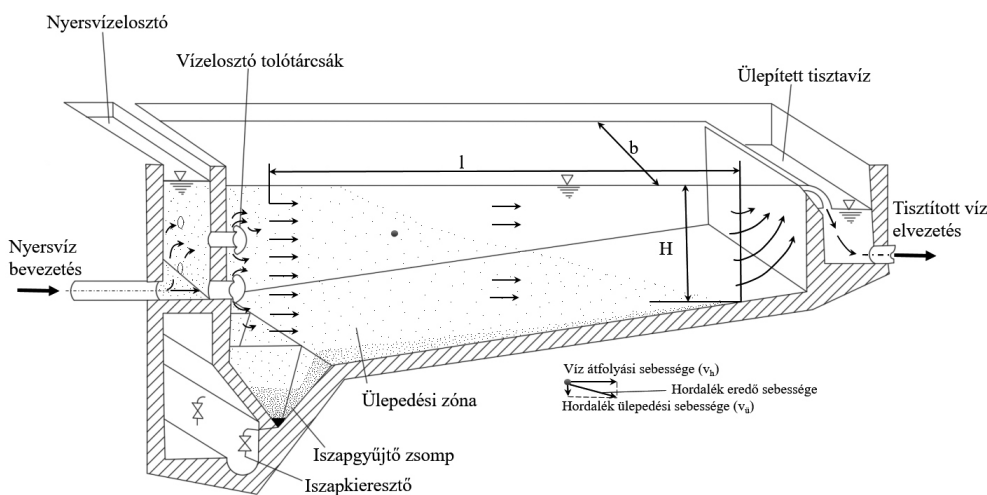
- téglalap (lipcei, Uniflow),
- négyzet (dortmundi),
- kör (dortmundi, Dorr, hidrociklon).

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.

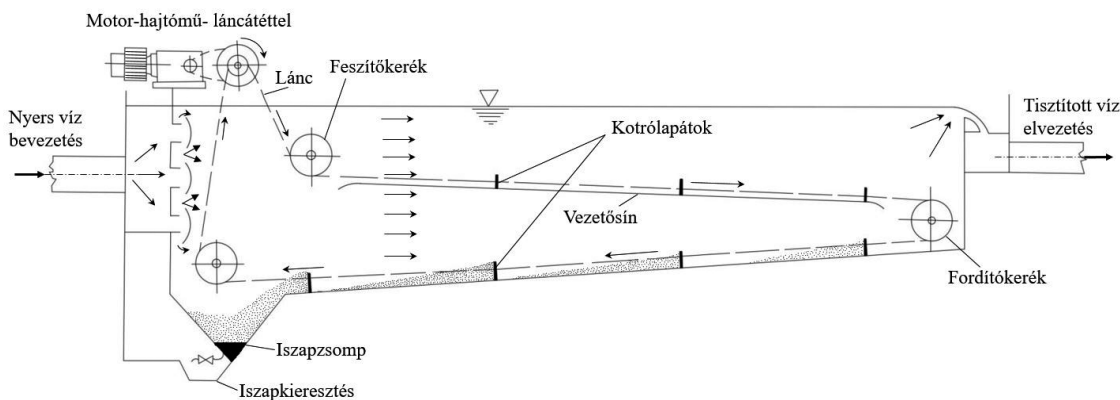
Főbb bevezetési megoldásai:

- 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 ülepedhetnek le az alsó iszaprétegbe. Ezen műtárgyak viszonylag kis szennyvízhozamok (1–25 m³/d) fogadására és kezelésére alkalmasak. Egyszerűségüknel 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.
- *lebontó folyamatok* (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 (CO_2 , HCO_3^- , 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. CO_2)	Elnevezés
Fény Foto-	Szerves -organo-	-heterotróf	1. Foto-organo-heterotróf
		-autotróf	2. Foto-organo-autotróf
	Szervesetlen -lito-	-heterotróf	3. Foto-lito-heterotróf
		-autotróf	4. Foto-lito-autotróf
Kémiai kötések Kemo-	Szerves -organo-	-heterotróf	5. Kemo-organo-heterotróf
		-autotróf	6. Kemo-organo-autotróf
	Szervesetlen -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 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 CO_2 , CO , 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 mV). A szulfát redukciójához -200 mV , a foszfátéhoz -700 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 fölősiszap 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 méretüknek 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 sejtanyagainak 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 házaskor (héjas) amőbákat. A házaskor amőbák sejtfelépítése teljesen azonos a csupasz amőbákéval, de ők egy külső héjat építenek maguk köré vasból és mangánból. A házaskor 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 házaskor amőbák a házaskoron 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 µm 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 µl) 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 szervetlen 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

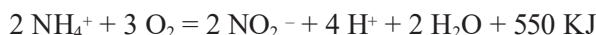
A nitrogén eltávolítása a nitrogéntartalmú szerves vegyületek lebontásával történik, amely során szerves nitrogénvegyületek, végső soron nitrogéngáz (N_2) képződik. A folyamat három egymást követő bioreakcióból áll: ammonifikáció, nitrifikáció és denitrifikáció. A felszíni befogadókba kerülő nitrogéntartalom 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.

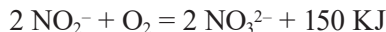
Nitrifikáció

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 nitríté alakítják, majd a második lépésben a *Nitrobacter sp.* fajok pedig a nitrítet nitráttá.

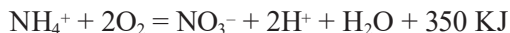
A nitrifikáció első lépése (az ammónia nitríté alakítása, *Nitrosomonas sp.*):



A nitrifikáció második lépése (nitrít 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 mikroflóra 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.

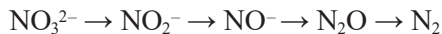
Zavart a nitrifikáció, ha a környezeti feltételek nem minden esetben adottak a nitrifikációhoz, akkor a nitrifikáló baktériumok oxidálóképessége csökken. A nitrifikálás folyamatában a *Nitrosomanas sp.* fajok által az ammóniának nitríté történő oxidálása a leglassúbb és legérzékenyebb folyamat, így a 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 játszódásának 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 fertőtlenítőszeres 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 keletkezhet). 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.

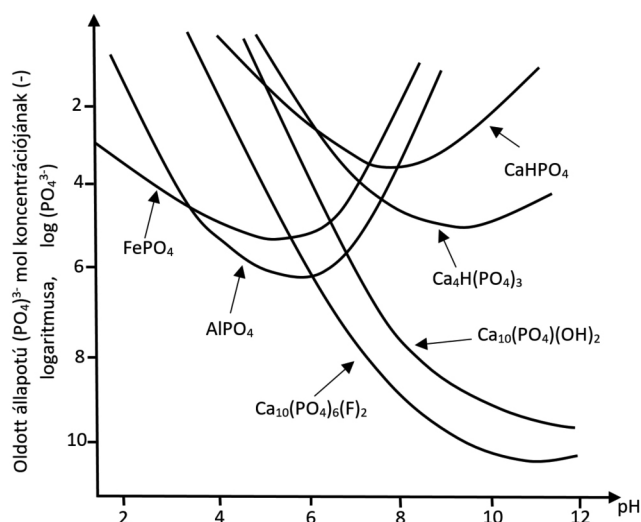
Az ortofoszfát különböző formái egymással egyensúlyban vannak, ami a pH függvénye. A pH függvényében a rendszer foszfátkoncentrációja kiszámolható az oldhatósági konstans figyelembevételével, amelyet az 1.10. ábra szemléltet. A fémek esetében eltérő az optimális pH-tartomány. A FeSO_4 és az AlPO_4 stabil 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 HPO_4^{2-} ion fordul elő, aminek következtében az összes foszfort detektáljuk (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 [HCO_3 , CO_3], Ca, Mg stb.),
 - keverési intenzitás,
 - kontaktidő.

Magyarországon a szennyvizek foszfortartalma átlagosan 7–20 g/l. Az ortofoszfáttal (PO_4^{3-}) a legtöbb kétértékű fémion rosszul oldódó csapadékot képez. A legelterjedtebb kémiai kicsapási módszer, amikor alumíniumsót adagolnak.

Gyakorlati foszforkicsapás az alumínium (Al_3^+), vas (Fe_3^+), előpolimerizált fémsó és a kalcium-ion (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 (AlPO_4) képződik.

Vassók

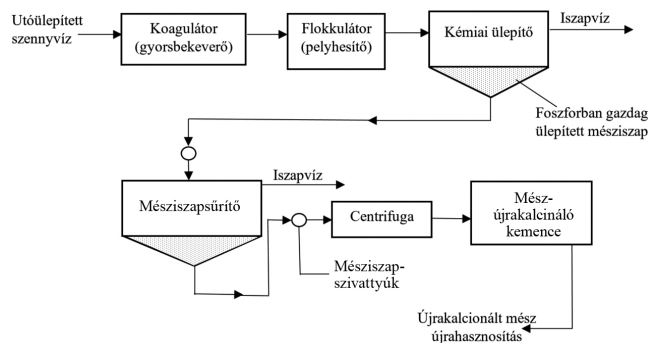
A foszforeltávolítás például vas (II)-szulfát, vas (III)-szulfát, vas (III)-kloriddal történhet, ezek a vegyületek mind csökkentik a szennyvíz pH-ját. Alkalmazásuk általában pH 7–8 közötti tartományban történik, a pH-emeléshez meszet vagy nátrium-hidroxidot kell adni.

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 méshidrátot alkalmaznak, ami során nagyobb mennyiségű csapadék és kezelendő iszap keletkezik. A mésszagadás 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 mésszakcsapáson alapuló foszforeltávolító rendszer üzemeltetési elvét mutatja be.



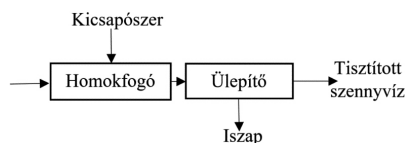
1.11. ábra

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 (FeCl_3) a homokfogó műtárgyba adagolják.



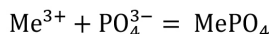
1.12. ábra

CEPT-eljárás (saját szerkesztés)

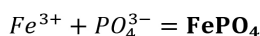
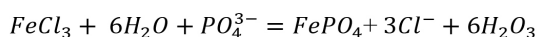
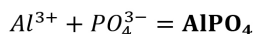
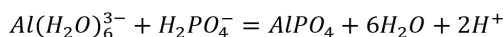
Elő-, szimultán és utókicsapás

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:



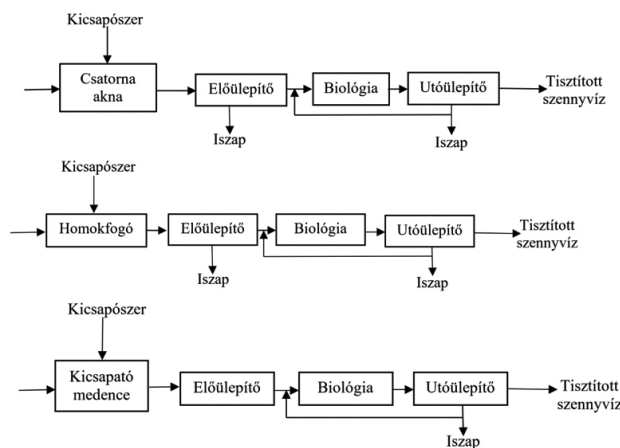
A pH függvényében a rendszer mindenkor foszfátkoncentrációja kiszámolható az oldhatósági konstans figyelembevételével. Foszforkicsapás fémsók alkalmazása esetén: az oldott foszfor a hozzáadott vegyszer hatására szilárd anyaggá alakul, amely utána a fázissztétválasztás elvén eltávolítható.



A sztöchiometria-egyenletek alapján tehát 1 mol foszforhoz elegendő 1 mol kicsapószer. A gyakorlatban azonban a vegyszermennyiséget növelni kell, mert a koloidok 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 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.



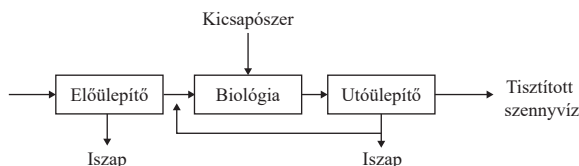
1.13. ábra

Az előkicsapás adagolási helyei [2]

A fent említett vegyszerek közül mindegyik alkalmazható, a vas (II)-sókat viszont előzetesen oxidálni kell, hogy az előülepítő 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.

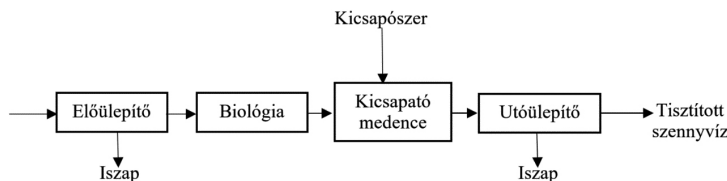


1.14. ábra

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 nitrogéneltávolítás

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:

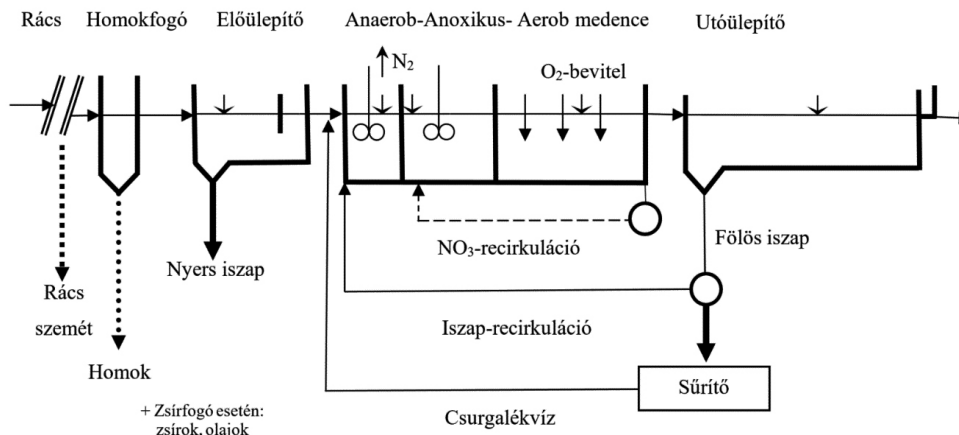
- a tisztított szennyvíz terhelésétől, tehát a szennyvíz mennyiségétől és az alkotó anyagok fajtájától, illetve azok tulajdonságaitól,
- az alkalmazott tisztítási folyamatoktól, azok hatásfokától és az átalakult komponensektől,
- a tisztítási folyamatokban felhasznált anyagoktól és energiától.

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

- primer iszap: az előlepipítőben 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]

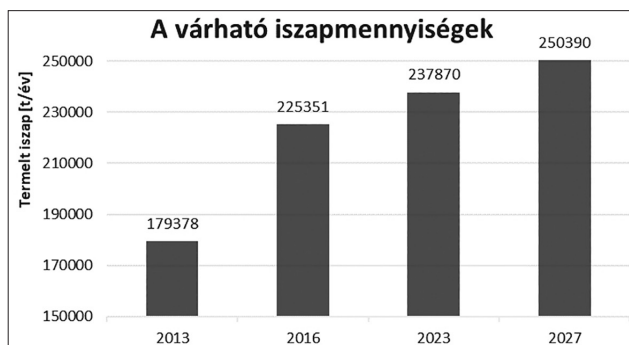
Jellemző paraméterek	Dimenzió	Iszapfajta					
		Nyersiszap a mechanikai tisztításból	Főlősiszap a biológiai tisztításból	Rosszul kirothadt iszap	Mérsékelten kirothadt iszap	Jól kirothadt iszap	Nagyon jól kirothadt iszap
pH	–	5,0–7,0	6,0–7,0	5,6–7,1	6,8–7,3	7,2–7,5	7,4–7,8
Szárazanyag	%	5–10	4–8	4–12	4–12	4–12	4–12
Izzítási veszteség	%	60–75	55–80	55–70	50–60	45–55	30–45
Savfogyasztás	mg/l CaCO ₃ mmol/l	500–1000 20–40	500–1000 20–40	1000–2500 40–100	2000–3500 60–140	3000–4500 120–180	4000–5500 160–220
Illó savak	mg/l ecetsav mmol/l	1800–3600 30–60	1800–3600 30–60	2500–4000* 40–70*	1000–2500 15–40	100–1000 2–15	<100 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 ¹¹ –10 ¹³	10 ¹² –10 ¹³	5,10 ¹¹ –5,10 ¹²	10 ¹¹ –10 ¹²	5,10 ¹⁰ –5,10 ¹¹	10 ¹⁰ –10 ¹¹
Fűtőérték	kJ/g m _r	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.

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

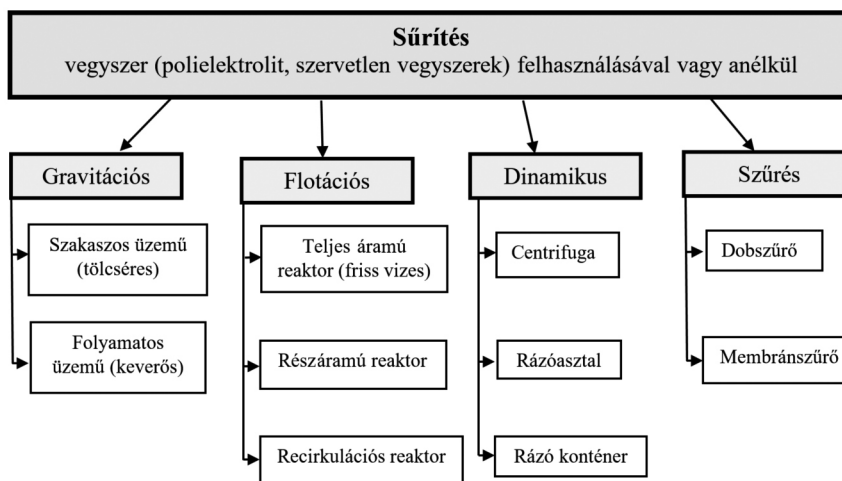
1.7. táblázat

Iszapok sűrítetősége és vízteleníthetősége [11]

Iszaptulajdonosság a víztartalom függvényében	Vízteleníthetőség határa							
	Sűrítetőség kondicionálószer nélkül		Szalagszűrő prés		Kamrás prés			
			Kondicionálás polimerrel		Kondicionálás vassóval vagy polimerrel			
					mészszel		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

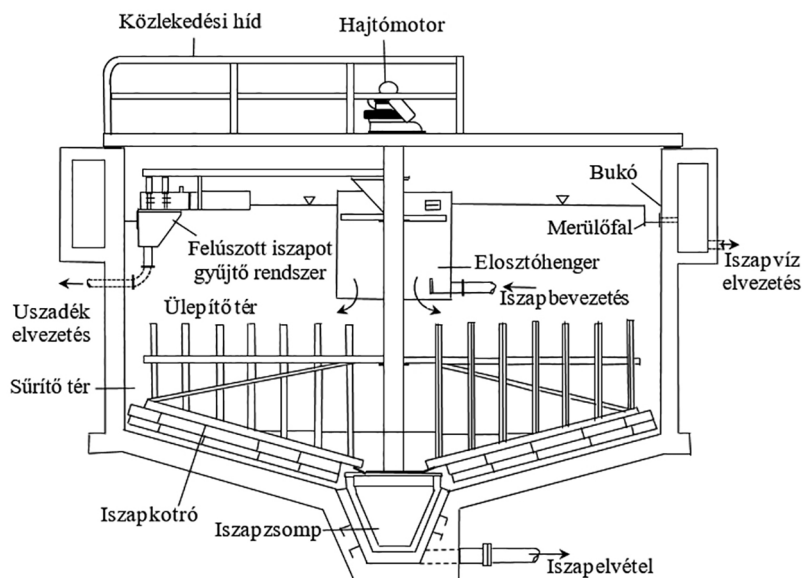
A gravitációs sűrítés gyakorlatilag az ülepités egy további fázisa. Nyers, fölös- és kevert iszapok sűrítéséhez egyaránt alkalmazható. Szerkezeti kialakítás szerint megkülönböztetünk:

- 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, négyszög 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 hídyszerű 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 m³/d iszap mennyiségig (< 5000 LE) iszapszikasztó 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 méshidrátot 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.

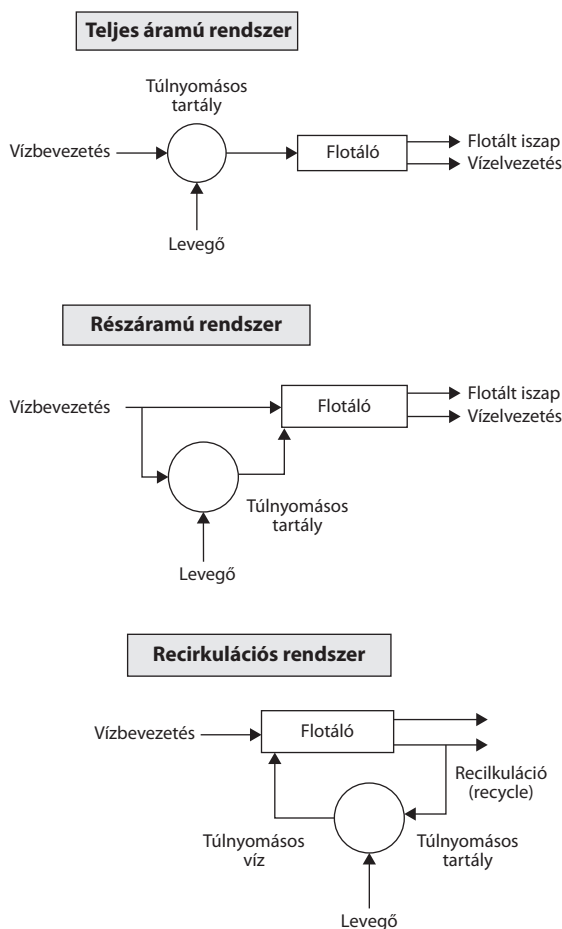
Flotálás

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 tulajdonságai 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 sűrítéskor 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.

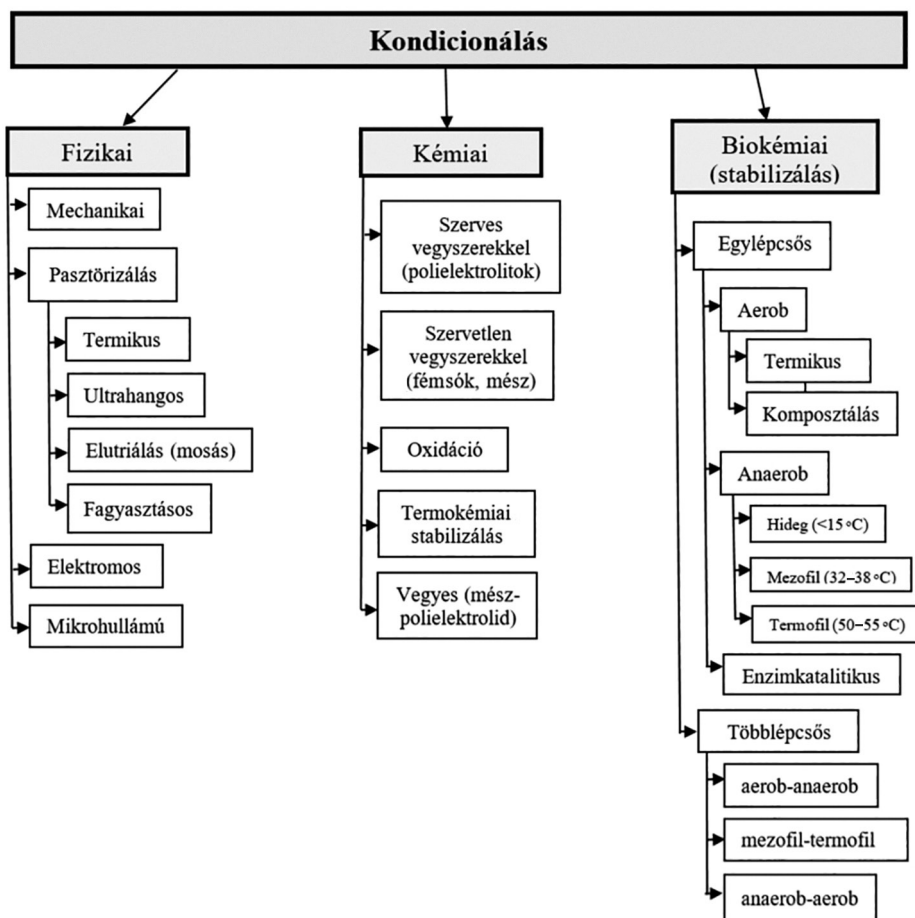
1.8. táblázat

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, feltárési 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 feltérítési/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 feltérítési 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 enzimek 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 továbblevegőztetése. A sejtanyagoknak csak 75–80%-a oxidálható, a maradék 20–25% inert anyag és nem bontható. Alkalmazása elsősorban a kis, közepes kapacitású (2000–7500 m³/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]

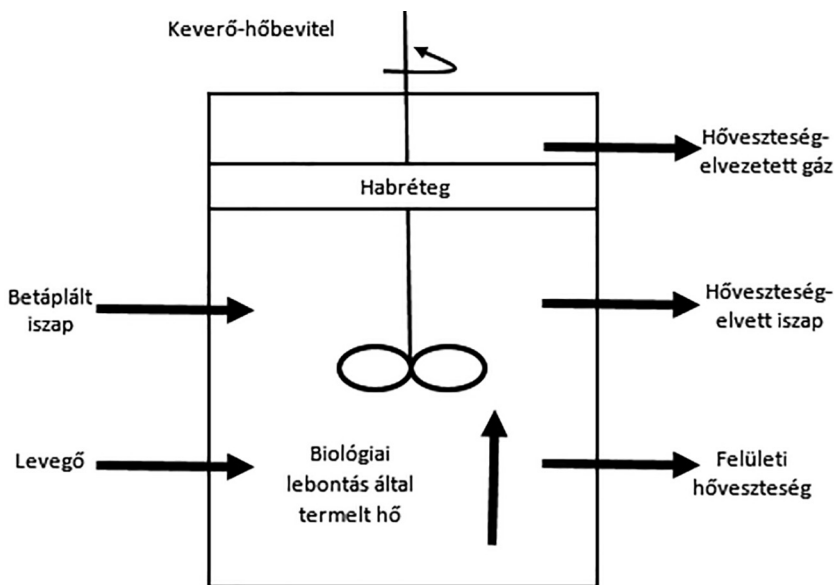
Jellemzők ($\text{g} \times 100 \text{ g}^{-1}$ szárazanyag)	Előfordulási tartomány
Nedvesség	30–50
Inert anyag	30–70
Szervetlen tartalom	10–30
pH (1:10 vízkeverék)	6–9
Lúgosság (mint CaO)	(1–20)
Összes só (mint KCl)	(0,5–2,0)
Maximális részecskeméret (mm)	2–10
Elemek ($\text{g} \times 100 \text{ g}^{-1}$ szárazanyag)	Előfordulási tartomány
Nedvesség	0,1–1,8
P (P_2O_5)	0,1–1,7 (0,2–3,8)
K (K_2O)	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 hatások,
- 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 CO₂.

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. β -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.

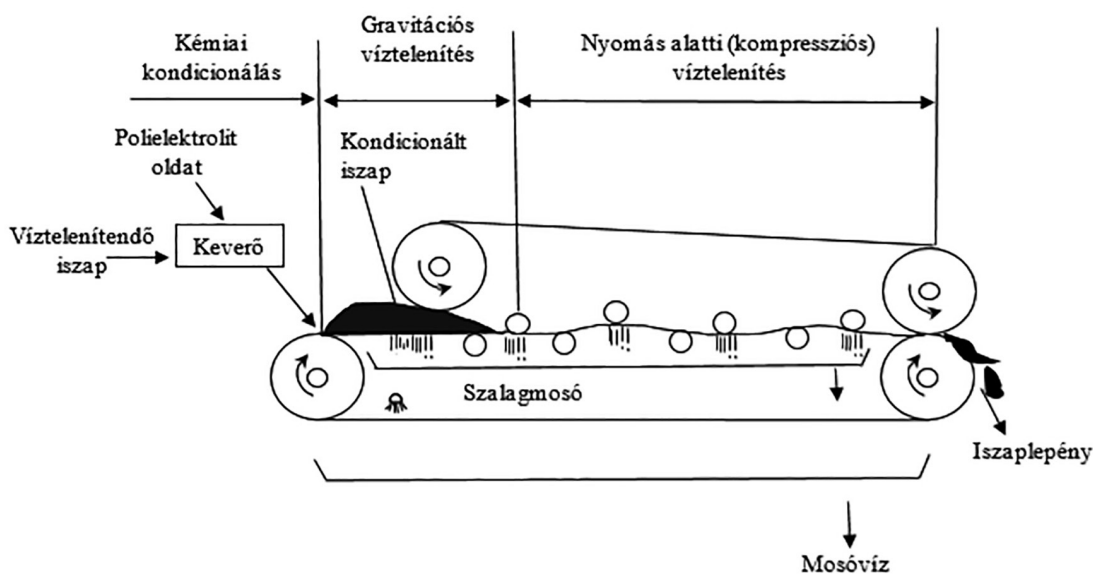
A „természetes úton” működő víztelenítők a felesleges nedvességtartalom $\frac{1}{4}$ -ének elpárologtatásával, $\frac{3}{4}$ részének elszivárogtatásával működnek. A klímaviszonyoknak erősen kitett szikkasztóágyakat ma már csak nagyon ritkán alkalmazzák, helyettük a vákuumágyat és a mobil gépi víztelenítőket 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/m³ 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), 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/m² 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 (m^3/d),
- a közlekedési viszonyok (forgalom, burkolat, hidak teherhordó képessége, sebességkorlátozás stb.),
- klímaviszonyok,
- domborzat, talajvíz (nyomóvezetékek 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, kíséző 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 nyomóvezetékekkel 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 erőkkel 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

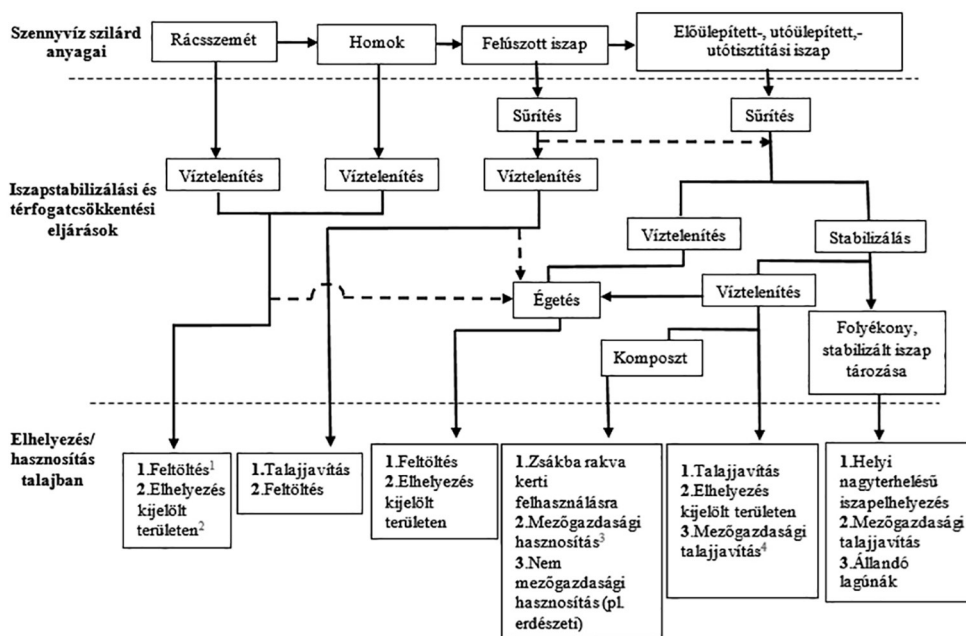
A deponálás a szennyvíziszap lerakással történő tartós tárolása, hogy az iszapelhelyezés során elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vízre, illetve a környezetre gyakorolt káros hatások. A szabályozott körülmények közötti deponálást a hulladéklerakás, valamint a hulladéklerakók 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: ¹ Víztelenített iszaplepleny vagy hamu. ² Folyékony vagy víztelenített. ³ Folyékony, iszaplepleny, komposzt. ⁴ 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, Szilávik 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?

Decentralizált szennyvíztisztítás

Centralizáció vs. decentralizáció

A vízkészletek fenntartható menedzselése iránti igény egyre erősebb a növekvő szennyezések és kialakuló vízkészlethiányok miatt. Környezetünk ismétlődő és nagy stressznek van kitéve a nem megfelelő használtvíz-kezelés következtében. A megfelelő megoldások alkalmazásával csökkenthető azon népesség aránya, akik nem juthatnak hozzá a tiszta vízkészletekhez, valamint elérhető, hogy növekedjen a használtvíz-kezelés hatékonysága. A környezeti fenntarthatóság célja, hogy maximalizálja a kezelt használt víz újrafelhasználását és a melléktermékek ki- vagy visszanyerését. A kezelési technológiának hatásosnak és megbízhatónak kell lennie, alacsony beruházási és fenntartási költséggel olyan területeken is, ahol a központosított szennyvíz összegyűjtése és kezelése nem megoldott.

A centralizáció sajátosságai:

- A beruházási költség 80–90%-ban az összegyűjtéssel kapcsolatban merül fel (csatornahálózat).
- A rendszeres karbantartásokon felül az egész gyűjtőrendszert fel kell újítani 50–60 évenként, ezzel zavarva a forgalmat és az egyéb közműszolgáltatásokat.
- A koncentráltan történő nagy mennyiségű kezelt használt víz bevezetése a befogadó víztestben eutrofizációt okozhat.
- A nagy mennyiségű csapadék vagy az ipar által egyenlőtlenül bevezetett használtvíz-mennyiség a kezelő telep hidraulikai túlterhelését jelentheti.
- A hígított használt víz költségesebb kezelést igényel.
- A haváriaesetek megzavarhatják a rendszert, ami súlyos szennyezőst okozhat a befogadó víztestben.
- A tisztítótelep tekintetében méretgazdaságosság ott érhető el, ahol nagy vízmennyiségeket kell kezelni, és a szennyvízkezelési pontok sűrűn helyezkednek el.
- Erősen függ az elektromos energia áráról, ami gazdasági és politikai kitettséget jelent.

A decentralizáció sajátosságai:

- Az egyénitől a különböző közösségi szintekig alkalmazható.
- Külvárosi, vidéki, ipari, kereskedelmi és lakóövezetknél megfelelő.
- Segíti az elszigetelt közösségek fejlesztésének tervezését.
- Izolált vagy szórt települések esetében, vagy ahol kevés hely áll rendelkezésre, megfelelően alkalmazhatók a kis szennyvíztisztító telepek.
- Mérsékeli vagy megszünteti a befogadóba történő bevezetéssel kapcsolatos nehézségeket, sokkal kisebb és rövidebb csővezetékekkel megoldható a centralizált rendszernél tapasztalt méretekhez képest.
- A kis szennyvíztisztító telepek járható útnak bizonyulnak, amennyiben kivitelezésük és üzemeltetésük megfelelő módon valósul meg.
- A kis szennyvíztisztító telepeket a menedzsment megkönnyítése érdekében távvezérelhetővé kell tenni!
- Egységnyi kezelt szerves szennyezést tekintve a decentralizációs technológiák költsége egyre jobban felveszi a versenyt a centralizáltéval.

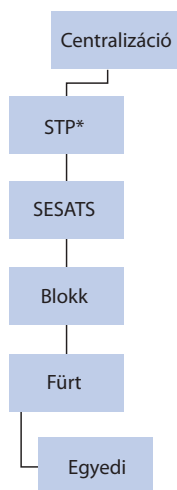
- A kis használtvíz-kezelő telepek jobb környezeti fenntarthatóságot biztosíthatnak úgy, hogy elősegítik a kezelt használt víz potenciális újrafelhasználását és a tápanyag-visszanyerést.
- Megoldható a háztartási használt víz és az esővíz szétválasztása, elkerülve így a hígulást.
- Megoldható a szennyező anyagok szétválasztása a forrásuknál, megkönnyítve így a kezelésüket; a lehetséges újrafelhasználásukat; valamint javítva a kezelés hatékonyságát és az energiafelhasználást.
- Lehetséges az, hogy megszűnjön a lakossági használt víz ipari használt vízzel való szennyezése.
- Lehetővé teszi a hatékonyabb szürkevíz-hasznosítást a külön gyűjtés és esetleges részleges tisztítás alkalmazásával.

Látható, hogy mindkét rendszernek vannak egyaránt előnyei és hátrányai. Az, hogy az adott szennyvízkibocsájtó vagy -kibocsájtók szennyvizének kezelését melyik megoldással oldjuk meg, mindig egyedi elbírálást követel meg. Ilyenkor a jogszabályi, természeti, gazdasági és műszaki szempontok együttes figyelembevétele szükséges a helyes mód megválasztásához.

Ezen szempontok felsorolása:

- helyi feltételek,
- befogadó és annak terhelhetősége,
- a szennyvíz mennyisége, összetétele és azok ingadozása,
- környezeti és egészségügyi feltételek,
- tisztítási rendszerrel elérhető hatékonyság,
- a keletkező szennyvíziszap mennyisége és összetétele, elhelyezési lehetősége,
- a beruházás műszaki kivitelezhetősége,
- a beruházási és üzemeltetési költségek, elérhető (pályázati) források.

A használtvíz-kezelés decentralizációja egy vagy több rendszerből épül fel: az egyedi helyi rendszertől a nagyobb fűrtökig vagy félig centralizált telepekig.

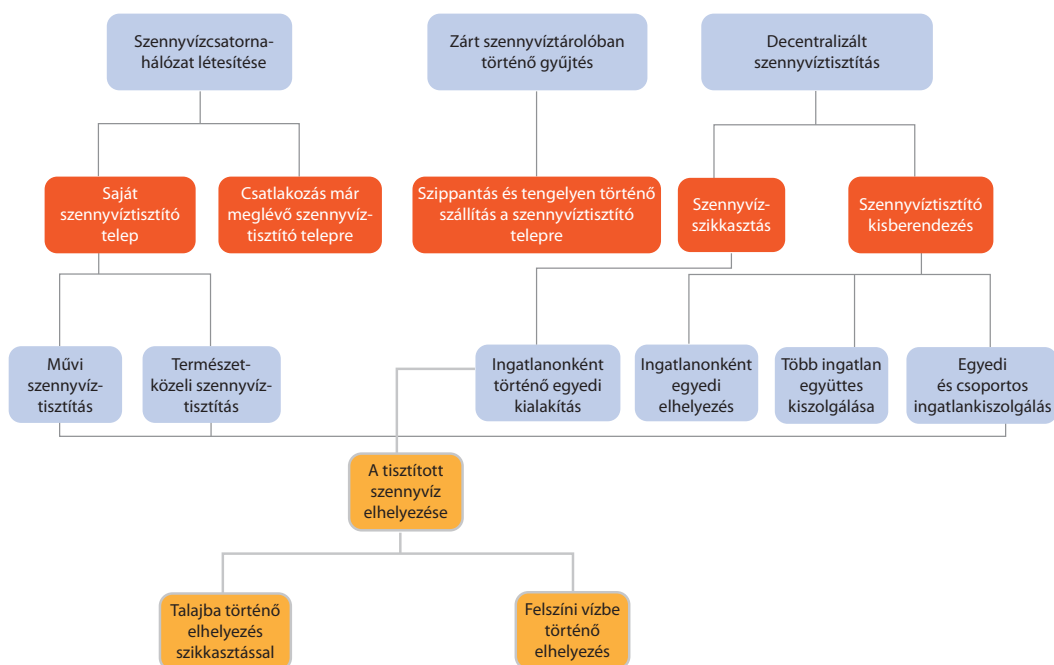


2.1. ábra

Centralizált és egyedi rendszerek közötti átmeneti rendszerek (saját szerkesztés [2] alapján)

Megjegyzés: STP – „Satellite treatment plant” – Az ilyen kezelőtelep a hagyományos telepektől függetlenül működik. A csatornahálózatból kivéve kezelik a használt vizet és az iszapot, a visszamosatott vizet és a kezelt használt vizet visszajuttatják a hálózatba. SESATS – Félig centralizált kezelőrendszerek. Blokk – Egyedi épületek használt vizét kezeli (például iskolák). Fűrt – Általában 4–12 vagy több ház alkot egy fűrtöt. Egyedi – Egy háztartás, az általánostól eltérő kezelőrendszerrel.

A centralizált és decentralizált megoldások mellett beszélhetünk vegyes vagy más néven hibrid megoldásokról is. Ilyen esetekben adott területen előfordul a terület nagyobb részének szennyvizét kezelő telep, viszont ez mellett decentralizált megoldásokat is alkalmaznak. Ez jellemzően olyan agglomerációkban fordulhat elő, ahol az újonnan megjelenő szennyvízkibocsátó vagy a népességnövekedésből adódó többletterhelésű terület a már korábban létesült centralizált tisztítótelepre valamilyen okból nem csatlakozik. Ezen kibocsátók csatlakoztatása a meglévő rendszerhez több okból is megfontolandó. Egyrészt a meglévő telep újratervezése válhat szükségessé, aminek következtében bővítésének igénye is felmerülhet. Másrészt a már meglévő csatornahálózathoz csatlakozó új szakaszok kiépítését meg kell tenni. Ez jelentős költségeket von maga után, valamint a szintén eredetileg kisebb kapacitásra tervezett meglévő csatornarendszer számára jelent többletterhelést. Ilyen esetben célszerű, ha a megnövekedett kapacitásigényt nem a központi telep és a hozzá vezető csatornarendszer elégíti ki, hanem egyéb megoldásokat alkalmazunk.



2.2. ábra

Szennyvíztisztítás típusai (saját szerkesztés)

Decentralizált szennyvízkezelés

A decentralizált kezelés abból az elvből indul ki, hogy a használt vizet a forrás mellett kell kezelni. A használt vizet ugyanúgy össze kell gyűjteni, de hosszú csővezetékek nélkül, így kihagyva a jelentős mennyiségű földmunkát és üzemeltetési költségeket. Általánosságban elmondható, hogy tervezéskor figyelembe kell venni a jelenleg hatályos:

- felszíni vizek minőségi védelméről szóló szabályozást,
- a felszín alatti víz és földtani közeg minőségi védelméről szóló szabályozást,
- a szennyvizek kibocsátási határértékeiről szóló szabályozást.

Bár jelenleg már nincs hatályban, 2003-as megjelenésekor nagyon jó csoportosítási és fogalmi meghatározást nyújtott a 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet, a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Programja, amelyre azóta is számos hivatkozást találhatunk a téma hazai írásos anyagaiban.

A rendelet azokra a területekre, ahol a decentralizált szennyvízkezelés gazdaságosan alkalmazható, az alábbi három megoldáslehetőség-csoportot állapítja meg:

- kislétesítményekkel történő kezelés,
- szennyvíztisztító kisberendezés alkalmazása,
- települési folyékony hulladékként való kezelés (gyűjtés, majd elszállítás).

A rendelet tisztázza a decentralizált szennyvízkezelés témakörében felmerülhető létesítmények fogalmait:

- *Egyedi szennyvízkezelés:* az egyedi szennyvízkezelésre lehatárolt területeken olyan egyedi szennyvízkezelési létesítmények (építmények) alkalmazása, amelyek 1–25 lakosegységnek (főnek) megfelelő települési szennyvíz tisztítását és/vagy végső elhelyezését, illetve átmeneti gyűjtését, tárolását szolgálják. Ezek a környezetvédelmi és vízgazdálkodási szempontoktól, illetve a beépítési szokásoktól függően lehetnek: az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmények, az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések és az egyedi zárt szennyvíztárolók. Az egyedi szennyvízkezelési létesítmények (építmények) karbantartása során keletkező folyadék, iszap és építőanyag-hulladékok elszállítását és kezelését külön jogszabály szerint kell végezni.
- *Egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmény:* olyan létesítmény (építmény), amely a környezeti elemek terhelését csökkentve a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére-tisztítására és elhelyezésére szolgál, a közműves szennyvízelvezetéssel és -tisztítással egyenértékű környezetvédelmet és életminőséget biztosít. Az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmény a szennyező anyagok lebontását energiabevitel nélkül végzi. Technológiai elemei: az oldómedence, a kavics/homokszűrő(k), amelyek összességében lehetővé teszik – a földtani közegbe történő végső kibocsátás esetén – a növényzet és a talaj élővilága számára a tisztított szennyvizek maradék tápanyagtartalmának hasznosítását vagy a felszíni vizekben történő ártalommentes elhelyezést.
- *Egyedi szennyvíztisztító kisberendezés:* olyan létesítmény (építmény), amely a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére-tisztítására és elhelyezésére szolgál, a közműves szennyvízelvezetéssel és -tisztítással egyenértékű környezetvédelmi megoldást biztosít. A szennyező anyagok lebontását energiabevitel segítségével végző egyedi szennyvíztisztító kisberendezésnek biztosítani kell a szennyvizek szennyezőanyag-tartalmának külön jogszabályban előírt mértékű eltávolítását, akár felszíni víz, akár a földtani közeg a befogadó.
- *Egyedi zárt szennyvíztároló:* olyan létesítmény (építmény), amely egy vagy több, zártan és víz-záróan kialakított medencéből áll; a szennyvizek ártalommentes gyűjtésére és a szennyvízből keletkező települési folyékony hulladék időszakos tárolására szolgál. Az ebben gyűjtött települési folyékony hulladék ártalommentes elhelyezése a rendszeres elszállítás, a hulladékgazdálkodásra vonatkozó külön jogszabályok szerinti további kezelés után biztosított.

A hazai szabályozás elemei

A szakszerű egyedi szennyvízkezelés és szennyvízelhelyezés alkalmazásának jogszabályi feltételei:

- A szakszerű egyedi *szennyvízelhelyezés* alkalmazására és engedélyezésére vonatkozó fő szabályokat a következő két kormányrendelet tartalmazza:
 - A közműves szennyvízelvezető és -tisztítóművel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Programjáról szóló 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet, valamint a
 - A vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról szóló 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet.
- A 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet 2. § *b)* pontja alapján egyedi szennyvízkezelésnek számít az olyan egyedi *szennyvízkezelési* létesítmények (építmények) alkalmazása, amelyek 1–25 lakosegyenértéknek (főnek) megfelelő települési szennyvíz tisztítását és/vagy végső elhelyezését, illetve átmeneti gyűjtését, tárolását szolgálják. Ezek lehetnek:
 - egyedi *szennyvízelhelyezési* kislétesítmények (oldómedence és kavics- vagy homokszűrő, ideértve az épített vízinövényes megoldásokat is, ahol lehetővé válik a tisztított szennyvizek maradék tápanyagtartalmának hasznosítása a növényzet és a talaj élővilága számára, energiabevitel nélkül),
 - egyedi szennyvíztisztító *kisberendezések* (többségében előregyártott kisberendezések, ahol a szennyező anyagok lebontása energiabevitel segítségével történik),
 - egyedi zárt *szennyvíztárolók* (zártan és vízzáróan kialakított medencék, amelyek a szennyvizek ártalommentes gyűjtésére és a szennyvízből keletkező települési folyékony hulladék (TFH) időszakos tárolására szolgálnak).
- Az egyedi szennyvízkezelésre jogszabályok által lehatárolt területek:
 - azok a települések, amelyek nem tartoznak a nemzeti települési szennyvízelvezetési és -tisztítási megvalósulási programról szóló 25/2002. (II. 27.) Korm. rendeletben szereplő szennyvízelvezetési agglomerációkba,
 - a 25/2002. (II. 27.) Korm. rendelet szerinti szennyvízelvezetési agglomerációba tartozó települések területének azon részei, ahol a 26/2002. (II. 27.) Korm. rendelet szerinti vizsgálatok alapján nem indokolt szennyvízelvezető művek létesítése.
- Az egyedi szennyvíztisztítás és -elhelyezés során biztosítani kell az egyes szennyező anyagok legalább olyan mértékű eltávolítását, akár felszíni víz, akár földtani közeg (talaj) a befogadó, hogy azok minőségi romlása ne, inkább javulása következzen be. Ennek érdekében figyelembe kell venni a következő hatályos jogszabályok előírásait:
 - a felszíni vizek minősége védelmének egyes szabályairól szóló 203/2001. (X. 26.) Korm. rendelet,
 - a használt és szennyvizek kibocsátási határértékeiről és alkalmazásuk szabályairól szóló 9/2002. (III. 22.) KöM-KöViM együttes rendelet,
 - a felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról szóló 33/2000. (III. 17.) Korm. rendelet, valamint
 - a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről szóló 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet.
- Az egyedi szennyvízelhelyezés létesítménye (építménye) csak külön jegyzői engedéllyel létesíthető. A környezetvédelmi és vízgazdálkodási szakhatóságok bevonása – csoportos megvalósítás esetén – a 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet szerinti Települési Szennyvízkezelési

Program jóváhagyásával, egyéni megvalósítás esetén pedig a 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet 24. és 25. §-ai szerint szükséges.

- Az engedélyezési eljárás során külön meg kell vizsgálni az egyedi szennyvízelhelyezés alkalmazhatóságát, tekintettel az érzékeny és védett területekre.
- A vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről szóló 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet 5. sz. melléklete szerint *tilos* az egyedi szennyvízelhelyezés alkalmazása (házi szennyvíz szikkasztása) a felszíni és a felszín alatti vízbázisok *belső, illetve külső* védőövezeteiben.
- A következő területeken *külön vizsgálat* szükséges az egyedi szennyvízelhelyezés alkalmazhatósága tekintetében:
 - a felszín alatti vizek védelmének érdekében a 33/2000. (III. 17.) Korm. rendelet 2/1. számú melléklete alapján az „A” Fokozottan érzékeny területek c) pontja szerinti olyan karsztos területeken, ahol a felszínen vagy a felszín alatt 10 méteren belül mészkő, dolomit, mész- és dolomitmárga képződmények találhatók,
 - a felszín alatti vizek védelmének érdekében a 33/2000. (III. 17.) Korm. rendelet 2/1. számú melléklet alapján az „A” Fokozottan érzékeny területek d) pontja szerinti, illetve a „B” Érzékeny területek c) pontja szerinti üzemelő és távlati ivóvízbázisok, ásvány- és gyógyvízhasznosítást szolgáló vízbázisok A és B hidrogeológiai védőövezeteiben,
 - a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtő területük kijelöléséről szóló 240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet szerint környezetvédelmi szempontból kijelölt érzékeny felszíni vizek partvonalától számított 250 méter szélességű területein,
 - a 9/2002. (III. 22.) KöM-KöViM együttes rendelet alapján az egyéb védett területek között szereplő felszíni vizek partvonalától számított 250 méter szélességű területein, és
 - a magas talajvízállású területeken (ahol a talajvíz szintje tartósan – legalább 10 évig – 2,0 m mélység fölötti).
- A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény 6. § (4) bekezdés *d)* pontja értelmében az ingatlan határain belül lévő és saját célt szolgáló vízellátási létesítmények, tehát az egyedi szennyvízkezelési létesítmények is az ingatlan tulajdonosának a tulajdonában vannak.
- A 174/2003. Korm. rendelet 4. §-a alapján a központi támogatás megszerzéséhez Települési Szennyvízkezelési Programot (TSZP) kell benyújtani. (A referencia támogatásához ez nem szükséges, ezt az első jelentés során kell elkészíteni.) A TSZP-nek tartalmaznia kell – többek között – a következőket:
 - a településen belül a szakszerű egyedi szennyvízkezelésre lehatárolt területrészeket,
 - az alkalmazni kívánt létesítmények típusait és az egyes típusokkal érintett településrészeket, indoklással,
 - a településen belül azokat a területrészeket, ahol a szakszerű egyedi szennyvízkezelés nem alkalmazható,
 - az egyedi szennyvízkezelési létesítményekre vonatkozó helyi környezetvédelmi követelményeket, fő műszaki adatokat és szabályokat,
 - a természettudományos és műszaki szempontok alapján szükséges monitoringrendszer (megfigyelő kutak stb.) kialakítását.

A Települési Szennyvízkezelési Programot részletes környezeti vizsgálatokra kell alapozni.

- Az egyedi szennyvízkezelési létesítmények vízjogi engedély-kötelesek (1995. évi LVII. törvény). A vízjogi engedélyezési eljáráshoz szükséges kérelemről és mellékleteiről szóló

18/1996. (VI. 13.) KHVM rendelet 6. § i) pontja alapján egyedi szennyvízelvezetés esetén a *vízjogi üzemeltetés* iránti kérelemnek vagy annak mellékletének tartalmaznia kell az alkalmazott technológiával összefüggő kezelési és karbantartási utasítást, a kárelhárítási felkészülésre vonatkozó műszaki és szervezeti adatokat, valamint a működési szabályzatot.

- Az egyedi szennyvízkezelési létesítmények karbantartása során keletkező szennyezett víz, zagy, iszap és építőanyag-hulladékok elszállítását és kezelését a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény és a települési szilárd és folyékony hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről szóló 16/2002. (IV. 10.) EüM rendelet előírásai alapján kell végezni.

A 379/2015. (XII. 8.) Korm. rendelet Magyarország települési szennyvízelvezetési és -tisztítási helyzetét nyilvántartó Településsoros Jegyzékről és Tájékoztató Jegyzékről, valamint a szennyvízelvezetési agglomerációk lehatárolásáról kimondja, hogy Magyarország valamennyi településére vonatkozóan a szennyvízelvezetéssel és -tisztítással, az egyedi szennyvízkezelő berendezéssel, az egyedi zárt szennyvíztárolóval, valamint a szennyvíziszappal kapcsolatos adatokat – a 2. mellékletben meghatározott adatszolgáltatás szerinti tartalommal – Településsoros Jegyzékben (a továbbiakban: Településsoros Jegyzék) kell nyilvántartani. Az agglomerációs központ jegyzője és az egyetlen települést kiszolgáló rendszer (szigetüzem), az egyedi szennyvízkezelő berendezés, valamint az egyedi zárt szennyvíztároló esetén a települési önkormányzatok jegyzője a 2. melléklet szerinti adatokat a területileg illetékes vízügyi igazgatóságnak a tárgyévet követő év április 30-ig küldi meg.

A decentralizált szennyvíztisztítás jelene és jövője Magyarországon

2019. március 21-én megrendezték a Nemzeti Községi Szolgálati Egyetem Víztudományi Karán a *Decentralizált szennyvíztisztítás* című konferenciát, amelynek eredményeit ajánlásokba foglalták a résztvevők, ezek a következők.

Jogszabályi, gazdasági környezetet, szennyvízstratégiát érintő javaslatok:

- Minden esetben részletes gazdaságossági, hatékonysági vizsgálatok szükségesek, amelyek keretében figyelembe kell venni a beruházási, a későbbi üzemeltetési és fenntartási költségeket, illetve a lakosság díjfizető képességét is.
- Felül kell vizsgálni a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programot, és ahol a program leállt, ott alternatív megoldást kell javasolni a program folytatására.
- Ki kell jelölni azokat a településeket, településrészeket, ahol a hagyományos szennyvízgyűjtés és tisztítási technológia helyett az egyedi szennyvízkezelést lehet/kell alkalmazni.
- Jogszabályban kell rendelkezni az ilyen módon ellátott ingatlanok üzemeltetési módozatairól, egyidejűleg be kell illeszteni a víziközműves szolgáltatás rendszerébe.
- A Vidékfejlesztési Operatív Programban futó pályázati rendszert felül kell vizsgálni, hogy még hatékonyabbá és vonzóbbá lehessen azt tenni a kistelepülések számára.
- A projektek ágazatok közötti és állami irányítását egy kézbe, adott esetben egy kormánybiztos/miniszteri biztos kezébe adná a projektért felelős szakminisztérium.
- Javasoljuk a települések csoportokba rendezését az átlagos laksűrűség, az ingatlanonkénti átlagos lakószám és korösszetétel szerint. A pályázatok kiírásánál előnyben kell részesíteni a korösszetétel szerint fiatalabb és a nagyobb laksűrűségű településeket, a településen belül pedig a nagyobb lakószámú ingatlanok ellátását. A pályázó településeken az önkormányzatok a programban részt vevő lakosok ingatlanán élők számát is adják meg.

- A kisberendezés, kislétesítmény és a természetközeli tisztítás alkalmazási feltételeit ingatlanspecifikusan kell szabályozni, figyelembe véve, hogy a decentralizált szennyvíztisztítás tervezési egysége – még a csoportos kiszolgálású berendezések alkalmazása esetén is – az ingatlan, nem a település.
- Minden tervnek tartalmaznia kell összehasonlító alapváltozatként a csatornázásos szennyvízelvezetés becsült beruházási költségét. Az egy lakosra jutó beruházási és üzemeltetési költség képezi az összehasonlítási alapot a megvalósításra benyújtott decentralizált szennyvíztisztítás költségével.
- A pályázatban ki kell mutatni a beruházási költség mellett az üzemelési költséget is, az alkalmazott műszaki megoldások mindegyikére. A költségtelek között szerepelnie kell az (i) energiaköltségnek, (ii) a keletkező iszap/tárolt szennyvíz gyűjtésével és a foga-dóhelyre szállításával kapcsolatos szállítóeszközök beruházási és amortizációs költségének, (iii) az üzemeltető munkabérének és (iv) a fogyóeszközök (liofilizált baktériumkultúra, fer-tőtlenítő anyag, a levegőztető membránja) pótlásának is. Az így keletkező összes költségből az egy lakosra jutó költséget kell összevetni a csatornázásos megoldás fajlagos költségével.
- Javasoljuk a beépített szennyvíztisztítók felügyeletének és karbantartásának jogszabályi környezetét kidolgozni.

Technológiai megoldások:

- Az egyedi, ingatlanonkénti megoldásoknál az ingatlan burkolatlan felületének legfeljebb 25 (30)%-át foglalhatják el a tisztításra és elhelyezésre szolgáló egységek. (Oldómedencénél a tartalék szikkasztómezővel együttesen!) Ha ez nem biztosítható, a háztartási szennyvíz szétválasztásán alapuló megoldások valamelyikét kell alkalmazni. Például száraz WC és szűr-keszennyvíz-szikkasztás.
- A csoportos kiszolgálásos decentralizált megoldást (legfeljebb 50 LE kapacitású egységgel) előnyben kell részesíteni az egyedi elhelyezéshez képest.
- A hektáronként legfeljebb 6 fő laksűrűségű településeken (ebbe a kategóriába tartozik az érintett települések 60%-a), ha az ingatlan állandó lakóinak száma 1 fő, vagy már nem repro-duk-tív korban lévő (50 év fölött) 2 fő, egyedi megoldásként csak az oldómedence-talajszűrés vagy vízzáróan kialakított, zárt szennyvíztároló és tengelyen történő elszállítás pályázható. Alternatíva: a tárolóba csak a fekete szennyvíz (a WC és mosogató vize) vezetendő, a szürke szennyvíz helyben elszikkasztható.
- A 250 lakosnál kisebb, legfeljebb 6 fő/ha laksűrűségű településeken elsődleges alternatíva-ként a zárt szennyvíztároló és a tengelyen tisztítótelepre szállítás alkalmazását javasoljuk azzal a kiegészítéssel, hogy a tárolóra csak a WC és a mosogató vizét kell rákötni, a többi vizet pedig szikkasztásra kell vezetni. A pályázható költségek közé be kell venni a belső épületgépészeti kivezetés átalakítását a helyreállítási munkák költségei nélkül.
- A 6 fő/ha-nál nagyobb laksűrűségű településeken a tervezőnek minden esetben vizsgálni kell azokat a települési részterületeket, ahol az egyedi tisztítás helyett a csoportos kiszol-galású kisberendezés alkalmazható. Ha a berendezéshez vezető csatornák és kisberendezés összköltsége legfeljebb 20 (25)%-kal nagyobb, mint az egyedi elhelyezéssel kisberendezések összköltsége, a csoportos kiszolgálásos változatot kell alkalmazni. (Csatornának legfeljebb 150 mm-es csövek alkalmazhatók, és az ingatlanhatáron kialakított aknát/tisztító idomot szűrőkosárral kell ellátni.)
- A pályázati kiírás műszaki-szakmai tartalmának elvárásai közül módosítani kell azt, amely szerint a fejlesztésnek legalább 50 LE összes kapacitásúnak kell lennie, településmérettől

függetlenül. A legfeljebb 500 lakosú településeken a korlátot 25 LE-re célszerű csökkenteni, egyébként az eredeti kapacitás meghagyható.

- A légbefúvással működő kisberendezések műszaki specifikációjában elő kell írni a levegőtisztítást, annak működését ellenőrző és meghibásodás esetén hibajel küldésére alkalmas elektronikával.
- Az oldómedence-talajszűrés esetén is elő kell írni a műszaki specifikációnál a mintavételi lehetőség biztosítását a tisztított szennyvízre, és a fertőtlenítés lehetőségének biztosítását.
- Ki kell dolgozni a decentralizált szennyvíztisztítás műszaki megoldásainak teljes spektrumát a felhasználói kapcsolódó előnyökkel és hátrányokkal, az önkormányzatok, a lakosság és a tervezők számára egyaránt hasznosítható tartalommal.

Decentralizált szennyvízkezelő rendszer (DEWATS) a fejlődő országokban

Az ebben a részben bemutatott rendszer a fejlődő országok szennyvízkezelési megoldásait hivatott egy integrálható és rendszerszemléletű tervezési segédleten keresztül összegezni. Bár nem hazai viszonyokra készült, szemléletmódja és a fenntarthatóság előtérbe helyezése követendő példa lehet bármilyen decentralizált rendszer kiválasztásánál és megtervezésénél. A fenntartható szociális és gazdasági fejlődés elengedhetetlen eleme a víz. Az urbanizációnak, az ipari fejlődésnek és a mezőgazdasági termelés kiterjedésének jelentős hatása van a vízkészletek mennyiségére és minőségére. A világ nagyobb folyóinak több mint fele kimerült és szennyezett, tönkretéve a környező ökoszisztémákat, fenyegetve az egészséget és a megélhetését azoknak, akik tőle függnek. A becslések azt mutatják, hogy körülbelül a népesség fele van kitéve szennyezett vízkészletnek, ami növeli a betegségek elterjedését; a legtöbb ilyen ember Afrikában és Ázsiában él.

Nemzetközi szinten az 1990-es években felismerték a decentralizált szennyvíztisztítás területén jelentkező fejlettség hiányát, és erre reagálva megalkották a DEWATS-ot (Decentralised Wastewater Treatment System). A DEWATS-rendszerek mind háztartási, mind ipari szennyvizek kezelésére alkalmasak 1–1000 m³/nap szennyvízhozam között. Egy ilyen átfogó rendszer csak akkor lehet megfelelő, ha sokféle helyi körülmény között és sokoldalúan alkalmazható, megbízható és hatékony kezelést biztosít a lakossági és a technológiai használt vizekre, rövid tervezést és kivitelezést igényel, közepes befektetési költségei jelentkezők, valamint a karbantartási és üzemeltetési követelményei limitáltak.

CBS-programok

A program alapvetően a közösségi alapú szennyvízkezelésen, más néven CBS-en (Community-Based Sanitation) nyugszik. Minden CBS-nek környezetspecifikusnak kell lennie. Az elsődleges cél a hosszú távú fenntarthatóság. Az eredményes, költséghatékony és fenntartható megvalósításhoz szükség van az érintettek csoportjainak szisztematikus bevonására. A csoportok között az alábbi szintek különíthetők el:

- Elsődleges érintettek: lakók és a megvalósult beavatkozás közvetlen felhasználói.
- Másodlagos érintettek: a programban közvetett vagy közvetlen felelősséggel bíró csoportok. Ideértendők a beruházó, tervező, hatóságok, egészségügyi és környezetvédelmi intézmények.

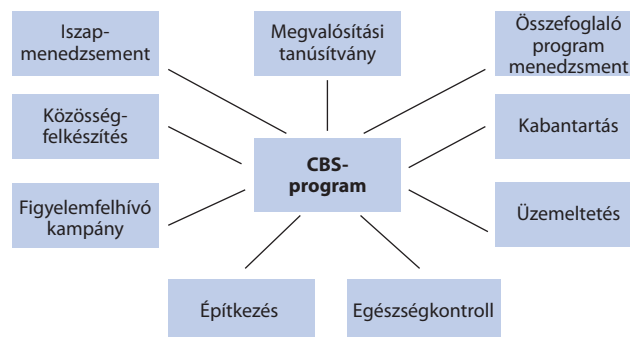
- Harmadlagos érintettek: a szolgáltatók – építkezést lebonyolítók, karbantartást és iszapkezelést végző szervezetek.

Ezek a programok egy bizonyos területen lakók igényeire felelnek. A legtöbb esetben a programok szegényebb területek lakóit célozzák. Mint elsődleges érintettek, ők fogják használni a szennyvízkezelő létesítményt, tehát annak illeszkednie kell a felmerülő igényekhez, szokásokhoz. Ezenfelül jelentősen hozzájárulnak a rendszerhez, akár a kivitelezés anyagi részére gondolunk, akár a kivitelezés utáni üzemeltetésre, fenntartásra, karbantartásra.

A kivitelezés és a későbbi fenntartás sikeressége a munka koordinált megvalósításán és az összes érintett folyamatba történő integrálásán alapszik. A folyamat megtervezésének kezdetén tisztázni kell a program célját, értékelni szükséges a jelenlegi helyzetet, össze kell gyűjteni a hasonló területen szerzett tapasztalatokat, azonosítani kell a releváns érintettek csoportjait, és meg kell tervezni azok bevonását a projektbe.

A kulcsfeladatoknak az alábbiakat kell tartalmazniuk:

- Programmenedzsment, ideértve a folyamatmonitoringot is.
- Megvalósíthatósági tanulmány.
- Az érintett területen lévők megfelelő tájékoztatása, ideértve a későbbi üzemeltetéssel és fenntartással jelentkező feladatokat is.
- Kivitelezési folyamat megtervezése.
- Üzemeltetési és karbantartási feladatok.
- Iszapkezelés.
- Környezeti monitoring megtervezése.



2.3. ábra

A CBS-program fő feladatai (saját szerkesztés [1] alapján)

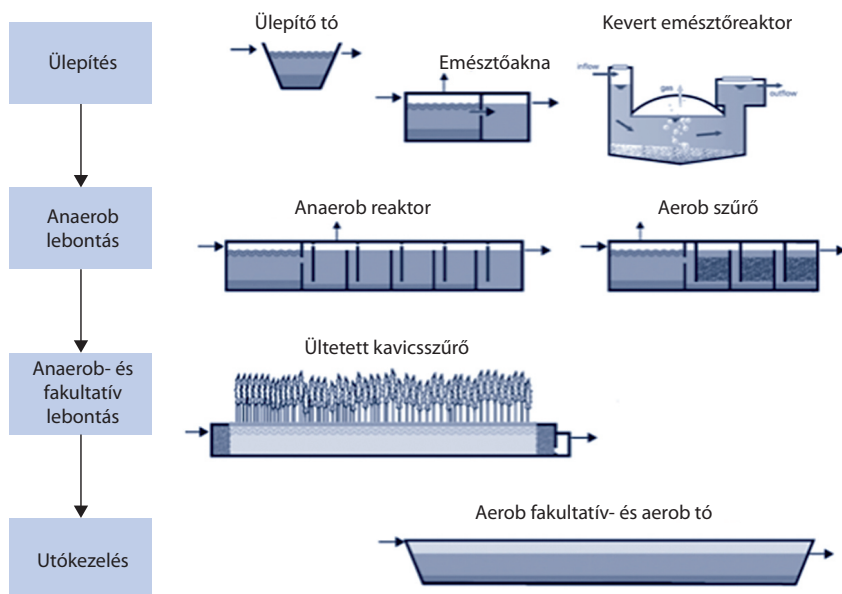
A DEWATS-modulok technológiai konfigurációi

A DEWATS egy moduláris megközelítés a hatásos szennyvízkezelés biztosítására. A megközelítés ötvözi a centralizált és decentralizált szennyvízkezelő rendszerek tapasztalatait, ezáltal hozzájárul a növekvő decentralizált szennyvízkezelési igények megoldásához. Nem szimplán egy technológiai csomag, hanem egy megközelítést is magába foglal a technikai és mérnöki megközelítéseken túl, a helyi gazdasági és szociális helyzetet is figyelembe veszi. Képes kezelni a lakossági és az ipari szennyvizet, biztosítani tudja igény szerint az első, második és harmadik tisztítási fokozatot egyaránt. A rendszerre mindezek mellett úgy kell tekinteni, mint egy átfogó szennyvízkeze-

lési stratégia részére. A technológia alkalmas a modulok megfelelő megválasztásával megújuló energiaforrás biztosítására is a keletkező szennyvíziszap hasznosításának kiépítésével. Célja az üzemeltetés közbeni külső energiabevitel minimalizálása. A moduláris koncepció lehetővé teszi a hatásfokigény, a költségek, valamint a rendelkezésre álló terület alapján történő optimális tervezést. A DEWATS kritériuma, hogy olyan egységeket építsenek be, amelyek magas minőségi szabványnak felelnek meg, a kivitelezést és a tervezést szakemberek végezzék, ezzel is biztosítva a használtvíz-kezelő rendszerek jogszabályi kritériumoknak való megfelelését.

Egy tipikus DEWATS-rendszer technológiai konfigurációja moduláris rendszerben:

- Elsődleges kezelés: ülepítőtavakban, ülepítőőkben, emésztőaknáknakban.
- Másodlagos kezelés: anaerob reaktorokban, anaerob szűrőkben vagy anaerob vagy fakultatív tórendszerekben.
- Másodlagos aerob/fakultatív kezelés: vízszintes kavicszűrők.
- Utókezelés: további kezelés aerob tavakban.



2.4. ábra

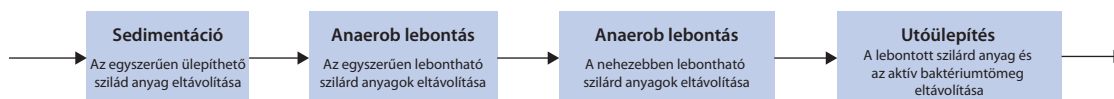
DEWATS konfigurációs séma (saját szerkesztés [1] alapján)

A megfelelő technológiai konfiguráció megválasztásánál az alábbiakat kell figyelembe venni:

- szennyvíztérfogó,
- szennyvízminőség,
- hőmérséklet,
- talaj-, talajvízviszonyok,
- rendelkezésre álló terület,
- felmerülő költségek,
- jogi háttér,
- elvezetési és felhasználási lehetőségek,
- szociális feltételek.

A beérkező szennyező anyag mennyiségének és minőségének meghatározásához, a kezelés megvalósíthatóságának megállapításához, a környezetre gyakorolt hatás megállapításához és hogy a használt víz megfelelő-e biogáz-előállításához, laboratóriumi elemzések szükségesek. Mivel a használt víz minősége idővel folyamatosan változik (például évszakos változás), így az elemzés sosem teljes. Sokkal fontosabb a tervezés során az egyes paraméterek jelentőségének megértése, mint az egzakt képletek ismerete. Általában véve $\pm 10\%$ -os tervezési pontosság elegendő ezen rendszerek esetében.

A DEWATS a fent említett természetes biológiai és fizikai kezeléseket alkalmazza annak érdekében, hogy csökkentse és eltávolítsa a szennyvízben lévő szennyező anyagokat. A külső energiaforrás használatát, a vegyszeradagolást, valamint a mozgatható alkatrészek alkalmazását kerüli, hogy minimalizálja a fenntartás és üzemeltetés során felmerülő lehetséges hibákat. Kezelőegységek sorozatát alkalmazza, hogy a különböző természetes kezelési folyamatokra jellemző határfeltételek teljesülni tudjanak, és biztosított legyen a hatékony működés. A rendszer stabilizálása többek között azzal is biztosított, hogy mindegyik kezelési lépcsőben, csak az arra a lépcsőre meghatározott, az adott technológiai lépcső által könnyen bontható szennyeződések távolítják el.



2.5. ábra

Több lépés szükséges a teljes kezelés érdekében (saját szerkesztés [1] alapján)

A DEWATS esetében gyakran az a legegyszerűbb, ha nagyobb visszatartási időt biztosítunk, így a lassabb mikroorganizmusok „megtalálják” a tápanyagukat, miután a gyorsabbak esetében megtörtént a szükséges lebontás.

A beérkező szennyvízhozam tekintetében és a környezeti körülményekre a DEWATS-technológiák viszonylag rugalmasan reagálnak. Mindazonáltal a helytelen üzemeltetés, helytelen, nem megfelelő karbantartás vagy szerkezeti hibák problémát okozhatnak. Egy rosszul működő rendszer kockázatot jelent a környezetre és az emberi egészségre egyaránt. A felmerülő lokális problémák kezelése fontos, hogy idővel ne jelentsen veszélyt az egész rendszer működésére. Mindezek értelmében a DEWATS-rendszernek is szüksége van kezelőszemélyzetre, akik fel tudják mérni az üzemzavarok tüneteit még korai stádiumban, azonosítani tudják a problémák okait, és a megfelelő beavatkozásokkal helyre tudják állítani a rendszer működését.

Felhasznált irodalom

- [1] Ulrich A, Reuter S, Gutterer B. Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide. Bremen Overseas Research and Development Association; 2009.
- [2] Libralato G, Ghirardini AV, Avezzi F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. Journal of Environmental Management. 2012; 94(1):61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.010>

Jogszabályok

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról
72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról
123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízilétesítmények védelméről
33/2000. (III. 17.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról
240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről
203/2001. (X. 26.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének egyes szabályairól
25/2002. (II. 27.) Korm. rendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programról
26/2002. (II. 27.) Korm. rendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programmal összefüggő szennyvízelvezetési agglomerációk lehatárolásáról
174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Programjáról
379/2015. (XII. 8.) Korm. rendelet Magyarország települési szennyvíz-elvezetési és -tisztítási helyzetét nyilvántartó Településsoros Jegyzékről és Tájékoztató Jegyzékről, valamint a szennyvíz-elvezetési agglomerációk lehatárolásáról
18/1996. (VI. 13.) KHVM rendelet a vízjogi engedélyezési eljáráshoz szükséges kérelemről és mellékleteiről
10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről
9/2002. (III. 22.) KöM-KöViM együttes rendelet a használt és szennyvizek kibocsátási határértékeiről és alkalmazásuk szabályairól
16/2002. (IV. 10.) EüM rendelet a települési szilárd és folyékony hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről

Ajánlott irodalom

- Gajdov G. A nádgyökérteres szennyvíztisztítási technológia vizsgálata és környezetvédelmi értékelése. Dolgozat. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, Talajtani és Vízgazdálkodási Tanszék; 2004.
Marcziasák V, Márk E, Szél S, Zóka B. Egyedi szennyvízelhelyezési létesítmények, környezetvédelmi és műszaki irányelvek. Budapest: Vituki Consult Kft., Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2005.
Segédlet a korszerű egyedi szennyvízkezelés és a természetközeli szennyvíztisztítás alkalmazásához. Budapest: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium; 2005. december.

Fejezetzáró kérdések

1. Hasonlítsa össze a centralizált és decentralizált szennyvíztisztítás sajátosságait!
2. Mit jelent a szatellit szennyvízkezelő telep?
3. Határozza meg az egyedi szennyvíztisztító kisberendezés fogalmát!
4. Milyen feltételek mellett alkalmazhatunk egyedi szennyvíztisztító kisberendezést?
5. Egyedi szennyvíztisztító létesítmények esetében milyen engedélyt kell beszerezni?
6. Mit fednek le a CBS-programok?
7. Mely technológiai lépésekből áll az egyedi szennyvízkezelés?

Szennyvíztisztító kisberendezések, szennyvízelhelyező kislétesítmények

Szennyvíztisztító kisberendezések létesítésének, üzemeltetésének jogszabályi háttere

A szennyvíztisztítás és -elhelyezés jogszabályi fejlődése

Az első vízügyi törvény és végrehajtási rendelete a háború után 1964-ben született, amelyben külön fejezetet kapott a vizek mennyiségi és minőségi védelme. A jogszabály szennyvíztisztító létesítésének és üzemeltetésének kötelezettségét csak az üzemekkel – valószínűleg ide nem értve a szennyvíztisztítókat – kapcsolatban nevesítette. A befogadók, ideértve a talajvizet is, szennyvezetésének szankcionálásaként a törvénybe került a szennyvízbírság intézménye – lényegében az üzemi szennyvízkibocsátásokra vonatkozóan –, amelynek alapja a kibocsátott szennyező anyagok mennyisége volt amellet, hogy a bírság összegének megállapításánál figyelembe kellett venni a szennyvíznek a befogadó minőségére és öntisztulására gyakorolt hatását is.

A káros szennyezés határértékeit és a bírság mértékét csak az öt év késéssel, 1969-ben kibocsátott jogszabályok konkretizálták és módosították – utoljára 1978-ban. Az OVH 1/1973 majd a 2008-ban hatálytalanított 4/1981 számú rendelkezésével tette közzé az Országos Vízgazdálkodási Szabályzatot, mintegy a vízgazdálkodással kapcsolatos tevékenységek minimálkövetelmény-gyűjteményét. A szabályzat rögzítette, hogy a befogadóba bevezethető tisztított szennyvíz mennyiségét és minőségét a befogadó terhelhetősége alapján kell meghatározni. A tisztított szennyvíz szikkasztásának feltételeként szabta, hogy a talaj legyen alkalmas a szikkasztásra, a talajvíz használatát a szikkasztás ne korlátozza, és a talajvízháztartást kedvezőtlenül ne befolyásolja.

A befogadók terhelhetőségét szem előtt tartva 1978-tól az ország területét hat vízminőség-védelmi kategóriába (I–VI.) sorolták. A kiemelt vízminőség-védelmi terület (I–V.) kategóriába került prioritásként a Balaton (I.), az ivóvízbázisok és az üdülőterületek (II.), az ipari területek (III.), az öntözővízbázisok (IV.), a Duna és Tisza nem kiemelt szakaszai (V.). A többi terület a nem kiemelt (VI.) kategóriába került. Az egyes kategóriákra eltérő szigorúságú határértékeket állapítottak meg, összesen 31 szennyező anyagra vonatkozóan. A szennyező anyagok közé a szerves szennyezők összegző paramétereként csak a KOI került be (a BOI nem), az eutrofizációt okozók közül az ammónium, a nitrát és az összes foszfor, a mérgező anyagok közül pedig a cianidok, valamint tíz nehézfém.

Új fogalmakat, elveket hozott a környezet védelmének általános szabályairól szóló törvény 1995-ben, például a környezetterhelési díj rendszerét.

A törvénybe a szennyvíztisztítással kapcsolatban bekerült új fogalmak:

- környezetterhelés: valamely anyag vagy energia közvetlen vagy közvetett kibocsátása a környezetbe;
- igénybevételi határérték: „a környezet vagy valamely eleme jogszabályban vagy hatósági határozatban meghatározott olyan mértékű igénybevétele, melynek meghaladása – a mindenkori tudományos ismeretek alapján – környezetkárosodást idézhet elő”;

- elérhető legjobb technika: „a korszerű technikai színvonalnak, és a fenntartható fejlődésnek megfelelő módszer, üzemeltetési eljárás, berendezés, amelyet a kibocsátások, környezet-terhelések megelőzése és – amennyiben az nem valósítható meg – csökkentése, valamint a környezet egészére gyakorolt hatás mérséklése érdekében alkalmaznak, és amely a kibocsátások határértékének, illetőleg mértékének megállapítása alapjául szolgál”.

Ugyanebben az évben lépett hatályba a vízgazdálkodásról szóló törvény, amely leváltotta a 30 évvel korábbi vízügyi törvényt. A törvény többek között az európai uniós 91/271/EGK tanácsi irányelvnek való megfelelés jegyében jött létre. A törvény már használta az „egyedi szennyvízkezelés” kifejezést a szennyvízkezelés utáni, befogadóba nem vezetett szennyvíz begyűjtésére vonatkozóan, és deklarálta a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Program elkészítésének igényét.

2000 óta a felszíni vizek minőségét érintő szennyezőanyag-terhelések csökkentése érdekében vannak „érzékeny felszíni víznek” nevesítve az eutrofizált vagy eutrofizációval veszélyeztetett felszíni vizek, a Balaton, a Velencei-tó és a Fertő tó [240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet]. Ugyanettől az évtől 2008-ig volt hatályban a felszín alatti vizek, illetve a földtani közeg védelméről szóló jogszabály [33/2000. (III. 17.) Korm. rendelet], amely többek között több új fogalmat definiált, például a kockázatos anyagét, amely „olyan emberi tevékenységből származó anyag, amely a földtani közegbe, illetve a felszín alatti vízbe kerülve a környezetre, az emberi egészségre, a környezethasználatokra kockázatot jelent mérgező, rákkeltő, teratogén, mutagén, szervezetben való felhalmozódása vagy egyéb kedvezőtlen hatása miatt”.

A korábbi, a befogadók, állapotát, terhelhetőségét figyelembe vevő immissziós szemlélet változott meg 2001-től, és előtérbe került az emissziós szemléletű vízvédelem. A felszíni vizek védelmére – az európai uniós szennyvízkezelési irányelvnek (91/271/EGK) megfelelés érdekében – a technológiákból származó anyagokat veszélyességük szerint kategorizálták, és a veszélyességtől függően egyrészt egyes anyagok technológiából kibocsátását jogszabály [203/2001. (X. 26.) Korm. rendelet] megtiltotta, másrészt egyes anyagok kibocsátásának csökkentését írta elő, harmadrészt a felszíni vízbe bocsátható anyagok jelentős körére technológiai határértékeket állapított meg, továbbá feljogosította a vízvédelmi hatóságot, hogy a befogadó érzékenységtől függően egyedi vízgyűjtő területi határértéket állapítson meg.

A 2010-ben visszavont 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelet a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Programjában több fogalmat definiált:

Egyedi szennyvízkezelésnek nevezte a jogszabály a nem közüzemi szolgáltatás keretében a „települési szennyvíz tisztítását és/vagy végső elhelyezését, illetve átmeneti gyűjtését, tárolását szolgáló” létesítmények alkalmazását, ha kapacitásuk 1–25 lakosegyenértéknek (főnek) megfelelő.

Ilyen létesítmények:

- az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmények,
- az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések és
- az egyedi zárt szennyvíztárolók.

A három létesítmény közül az első kettő közös ismérve volt, hogy a „közműves szennyvízelvezetéssel és -tisztítással egyenértékű környezetvédelmet és életminőséget biztosít”, de az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmény a szennyező anyagok lebontását energiabevitel nélkül, a kisberendezés pedig energiabevitel segítségével végzi. A jogszabály nevesítette is az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítményeket: az oldómedencét és a kavics-/homokszűrő(ke)t.

Az emissziós vízvédelmi szemlélet fejlődésének következő lépcsőjében a jogszabályalkotó a szennyvíztisztításra mint technológiai kibocsátási tevékenységre is megállapított határértékeket a BOI5, KOI, öLA, öN és öP paraméterek vonatkozásában, a szennyvíztisztító kiépítési kapacitásának nagyságától függő mértékben. A határértékek kialakításának fő elve az volt, hogy a kisebb kapacitású tisztítóknak magasabb, a nagyobb tisztítóknak alacsonyabb határértékeknek kell megfelelniük [28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet].

Az egyedi szennyvízkezelő létesítményekre vonatkozóan csak 2012 végétől születtek meg kibocsátási határértékek [30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet].

A szennyvíztisztítás és -elhelyezés aktuális jogszabályi helyzete

A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény a települési önkormányzat közszolgáltatási feladatai közé utalta a nem csatornával elvezetett, „más módon összegyűjtött” szennyvíz begyűjtésének, elhelyezésének és a begyűjtés ellenőrzésének megszervezését. Alapelveként fogalmazódott meg, hogy a csatornahálózatba nem vezetett szennyvizet tisztítani kell, majd vagy befogadóba kell vezetni, vagy gyűjteni és begyűjtésre feljogosított közszolgáltatónak kell átadni. A szennyvíztisztító kisberendezésből származó iszap elhelyezésére ugyanez vonatkozik.

A törvény a fogalommeghatározások között definiálja a „közcélú vízilétesítményt” mint a „vízi-közművekkel nyújtott szolgáltatás” eszközét. A nem közműves szolgáltatást biztosító létesítményekre a „saját célú vízilétesítmény” fogalmát használja, idesorolva a „közcélú vízilétesítménynek nem minősülő szennyvíz gyűjtését, tisztítását, hasznosítását és elhelyezését szolgáló művet”.

2004 óta a felszíni vizek védelmére irányulóan és az Európai Tanács különböző irányelveinek történő megfelelés érdekében van hatályban a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet. A vízvédelemre tekintettel a jogszabály a tisztított szennyvízre – a megelőző szabályozás elveihez is hasonlóan – hármas határértékrendszerrel állapított meg, ötvözve az emissziós és az immissziós szemléletet. A különböző tevékenységekből – ez alá besorolva a háztartási és a településüzemeltetési tevékenységeket is – származó szennyező anyagok kibocsátására, emisszióira technológiai határértékek vonatkoznak. A befogadók védelme oldaláról, a vízszennyező anyagok befogadására, immissziójára vonatkozóan a vízminőség-védelmi területi kategóriáktól függő területi határértékeket kell betartani. Harmadik védelmi elemként a vízvédelmi hatóság sajátos vízvédelmi érdekekből egyedi határértékeket állapíthat meg.

Amennyiben a tisztított szennyvizet felszíni vízbe vezetik, a 2000 LE-nél kisebb kapacitású szennyvíztisztítóknál a 3.1. táblázat szerinti technológiai kibocsátási határértékeket kell betartani. Ebben a település nagyságrendben foszforra és nitrogénre határérték nincs, legfeljebb egyedi határértékek szabhatók ki ezekre a létesítményekre.

A 2000 LE-nél kisebb szennyvízelvezetési agglomerációk és felszíni víz befogadó esetén a 3.1. táblázat szerinti határértékek:

- a természetközeli szennyvíztisztítás,
- a kis szennyvíztisztító telepen végzett szennyvíztisztítás,
- az egyedi szennyvíztisztító kisberendezéssel végzett szennyvíztisztítás

után kibocsátott tisztított szennyvíz minőségére vonatkoznak, ám ugyanezen jogszabály a fenti szabályok alól rögtön ki is vonta az egyedi házi szennyvízkibocsátásokat.

3.1. táblázat

Technológiai kibocsátási határértékek felszíni víz befogadó esetén (saját szerkesztés)

Kiépített terhelési kapacitás [Le]	Szennyező komponensek határértékei ⁽¹⁾ koncentrációban (mg/l) vagy minimális eltávolítási hatásokban (%) megadva									
	Dikromátos oxigénfogyasztás (KOI ₅) ⁽³⁾		Biokémiai oxigénigény ^{(2) (3)} (BOI ₅)		Összes lebegőanyag (δLA) ⁽³⁾		Összes foszfor (δP)		Összes nitrogén (δN)	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	V. 1-jétől XI. 15-ig	XI. 16-tól IV. 30-ig
<600	300	70	80	75	100	–	–(4)	–(4)	–(4)	–(4)
601–2000	200	75	50	80	75	–	–(4)	–(4)	–(4)	–(4)

Megjegyzés: (1) A koncentrációban megadott határérték (napi átlagérték) és az eltávolítási hatások alapján meghatározott határérték közül csak az engedélyben előírt egyik kritériumnak kell megfelelni. A százalékos csökkentést a tisztítótelepre bevezetett nyers szennyvíz koncentrációjához képest kell értelmezni. (2) A BOI₅ más paraméterrel helyettesíthető: összes szerves szén (TOC) vagy teljes oxigénigény (TOD), ha összefüggés állapítható meg a BOI₅ és a helyettesítő paraméter között. (3) Tavasz szennyvíztisztítás után vett vízmintákat – KOI₅, BOI₅ komponensekre – a vízminőségi vizsgálatokat megelőzően szűrni kell, azonban a szűretlen víz összes lebegőanyag-koncentrációja nem haladhatja meg a 150 mg/l-t. (4) A hatóság vízvédelmi érdekek alapján egyedi határértéket állapíthat meg.

E jogszabály szerint természetközeli szennyvíztisztító az 1. vízminőség-védelmi területi kategóriában nem telepíthető, 2. vízminőség-védelmi területi kategóriában, valamint a nitrátérzékeny területeken pedig csak a hatóság egyedi engedélye alapján.

A decentralizált szennyvíztisztító létesítményekkel kapcsolatos fontos fogalmakat, a létesítési és üzemeltetési feltételeket a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet tartalmazza. A jogszabály leváltotta a korábbi egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmények és az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések fogalmát, és ismert szakkifejezések jogszabályi meghatározását adta meg:

- *egyedi szennyvíztisztítás* az 1–50 LE szennyvízterhelésnek megfelelő mennyiségű települési szennyvíz tisztítása, elhelyezése, sőt átmeneti gyűjtése és tárolása is;
- az *egyedi szennyvíztisztító berendezés* olyan vízlétesítmény, amely a települési szennyvizek nem közműves, biológiai tisztítását energiabevitel segítségével végzi;
- a *természetközeli szennyvíztisztítás* olyan biológiai szennyvíztisztítási eljárás, amely során a szennyező anyagok lebomlását a hordozó talajhoz, homokhoz, kavicsához, növények gyökerének felületéhez kapcsolódó mikroorganizmusok végzik aerob vagy anaerob módon, valamint a tavasz szennyvíztisztítási megoldások;
- a *tisztítómezővel ellátott oldómedencés létesítmény* olyan oldómedencéből és tisztítómezőből álló vízlétesítmény, amely a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére és elhelyezésére szolgál, és amely a szennyező anyagok lebontását energiabevitel nélkül végzi.

A jogszabály mennyiségi korlátot állít a tisztítómezős oldómedence és az egyedi szennyvíztisztító létesítése elé, ha a tisztított szennyvíz befogadója a földtani közeg. Ilyen létesítmények csak 500 m³/d feletti kibocsátás esetén létesíthetők. Ez a mennyiség kb. 1,37 m³/d, azaz kb. 10 lakosnyi átlag szennyvízmennyiség kibocsátását jelenti. A jogszabály szerint tehát ennél kisebb kibocsátás esetén a tisztított szennyvizet csak felszíni víz befogadóba lehetne vezetni, vagy gyűjteni és tengelyen elszállítani lehetne, vagy természetközeli szennyvíztisztítási technológiát kellene alkalmazni.

Ugyanezen jogszabály szerint „a szennyvíz mennyiségének nagyságától függően törekedni kell a természetközeli szennyvíztisztítási megoldások alkalmazására”. Ebből konklúzióként az vezethető le, hogy 8–10 fő (kb. ugyanennyi LE) alatt a jogszabályalkotó a természetközeli tisztítók létesítését kívánja előtérbe helyezni.

2012 végétől az egyedi szennyvízkezelő létesítmény által kibocsátott tisztított szennyvízre a jogszabály [30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet] eltérő határértékeket állapított meg attól függően, hogy felszíni vízbe vagy a talajba kerül a tisztított szennyvíz. Ez a jogszabály felfogható úgy is, hogy felszíni víz befogadó esetén a helyzet bonyolultabb lett a decentralizált szennyvíztisztítók kibocsátásai szempontjából, pedig a jogszabály megjelentetésének a szándéka nem ez lehetett.

3.2. táblázat

Egyedi szennyvízkezelő létesítmény által kibocsátott tisztított szennyvíz határértékei (saját szerkesztés)

Szennyező anyagok	Felszíni vízbe történő bevezetés esetén határérték (mg/l)
Dikromátos oxigénfogyás KOI_k	150
Ammónia-ammónium-nitrogén NH_4-N	40

3.3. táblázat

Egyedi szennyvízkezelő létesítményből földtani közegbe történő bevezetés esetén a tisztított szennyvíz határértékei (saját szerkesztés)

Szennyező anyagok	Mintavétel típusa	Földtani közegbe történő bevezetés esetén határérték felszín alatti víz szempontjából	
		fokozottan érzékeny és magas talajvízállású területen mg/l	nem fokozottan érzékeny területen ⁽¹⁾ mg/l
Dikromátos oxigénfogyasztás KOI_k	minősített pontminta	–	150
	24 órás átlagminta	75	100
Ammónia-ammónium-nitrogén NH_4-N	minősített pontminta	–	–
	24 órás átlagminta	10	–
Összes szervesetlen nitrogén ΣN_{szv}	minősített pontminta	–	–
	24 órás átlagminta	25	–

Megjegyzés: ⁽¹⁾ A mintavétel típusa vagylagosan írható elő, egy-egy paraméterre mindkettő együtt nem alkalmazható.

A jogszabály szerint egyébként a felszín alatti víz szempontjából fokozottan érzékeny területen vagy a magas talajvízállású területen csak denitrifikációt is megvalósító egyedi szennyvízkezelő berendezést lehet telepíteni.

Az egyedi szennyvíztisztítók létesítése lehet programszerű abban az esetben, ha egy szennyvízelvezetési agglomerációban a település a decentralizált szennyvíztisztításról programot fogad el, és abban lehatárolja a település azon részét, ahol közcatorna helyett ilyet kíván kialakítani. Programszerű telepítés esetén az érintett területre monitoringrendszer kell kiépíteni és üzemeltetni [147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet].

A decentralizált szennyvíztisztítók létesítésének, üzemeltetésének, fennmaradásának és megszüntetésének engedélyezése az éves szennyvízkibocsátás nagyságától függ. Az engedélyező, ha a kibocsátás az 500 m³/év mennyiséget nem haladja meg, a település jegyzője, más esetekben az elsőfokú vízügyi hatóság [72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet].

A kisberendezésekre vonatkozó német jogszabályok

A kisberendezések létesítése, üzemeltetése és fenntartása a német vízgazdálkodásról szóló törvény (Wasserhaushaltsgesetz) szerint a szennyvíz tisztítására és elhelyezésére vonatkozó előírások figyelembevételével történhet. Alapelvként fogalmazódik meg, hogy a tisztított szennyvíz mennyiségét és szennyezettségét felszíni vízbe vezetésnél olyan szinten kell tartani, ami a hozzáférhető legjobb technika szerinti módszerekkel elérhető. Az elvi megfogalmazás mellett a szennyvízrendelet (Abwasserverordnung) a hozzáférhető legjobb technikával elérhető követelményeket is megállapítja. A rendelet felszíni víz befogadó esetén a szennyvíztisztítókat a BOI_5 -terhelés nagyságától függően öt osztályba sorolja. A legfeljebb 8 m³/d kapacitású kisberendezések a 60 kg/d-nél (azaz 1000 LE egyenértékűnél) kisebb szennyvíztisztítók kategóriájába esnek, ezért a kibocsátásukra az arra vonatkozó határértékek vonatkoznak, azaz 150 mg/L KOI és 40 mg/L BOI_5 . Amennyiben a befogadó állapotára a bevezetés okozta többletterhelés kedvezőtlen lenne, szigorúbb követelményeket kell előírni, különösen érzékeny vízfolyásszakaszokon a kisberendezésekből történő bevezetés megtiltható.

A decentralizált szennyvíztisztítással érintett területeken az ingatlanokon keletkező házi szennyvizet kisberendezésekkel kell az ingatlan hasznosítójának tisztítani. A kisberendezésekben és szennyvíztárolókban keletkező iszap elhelyezésének kötelezettsége a tartományi törvényalkotások szerint általában az önkormányzatoknál van.

A decentralizált szennyvíztisztítás és -elhelyezés kereteiben csak biológiai szennyvíztisztító kisberendezések létesíthetők. A régi berendezéseket a tartományi törvényalkotók által meghatározott időpontig lehetett biológiai tisztítóra átalakítani.

A tisztított szennyvíz minőségi követelményeire a tartományok alkot(hat)nak jogszabályt a talajban történő elhelyezésre.

Ezek többnyire az alábbiak:

BOI_5	25 mg/l
KOI	90 mg/l
TOC	max. 30 mg/l
30 perces ülepedés	0,3 ml/l
$\text{NH}_4\text{-N}$ (12 °C felett)	max. 10 mg/l

A készre szerelt szennyvíztisztítókra speciális előírások vonatkoznak. 2005 óta a Deutsche Institut für Bautechnik (Német Építéstechnikai Intézet) forgalombahozatali engedélyének megszerzéséhez a biológiai szennyvíztisztító kisberendezések öt osztályba sorolandók (lásd 3.4. táblázat). A szervesanyag-lebontásra mindegyik berendezésnek alkalmasnak kell lennie. A C osztályú tisztítóberendezéseknek csak a KOI- és BOI -határértékeket kell teljesítenie. Ha a befogadóba vezetés feltételei miatt szükséges, akkor a nitrogén vagy foszfor csökkentésére alkalmas berendezések alkalmazhatók (N és D osztály). A foszforeltávolításra alkalmas technológiával kiegészített berendezések a +P osztályúak, a fecál coliformok csökkentését fokozottan biztosító berendezések +H jelűek.

A harmadfokú tisztítási követelményeket teljesítő berendezések általában üzemben előregyártott konstrukciók, amelyeket az Intézetnek kell jóváhagynia. Emellett a technológiai kibocsátásukat egyéves, üzemi körülmények között végzett vizsgálatokkal kell igazolni.

A svájci vízgazdálkodási szakszövetség (VSA) irányértékeket adott ki a 200 LEÉ alatti aerob üzemű kisberendezések szennyvízkibocsátására. Ezek a németországi szabályozással szemben ugyan kevésbé szofisztikált, de néhány paraméter tekintetében szigorúbb követelményeket állítanak fel a kibocsátásokra.

3.4. táblázat

A különböző kisberendezés-osztályok kibocsátási követelményei (saját szerkesztés)

Osztály	KOI mg/L	BOI ₅ mg/L	NH ₄ -N mg/L	N _{anorg.} mg/L	P mg/L	fekál coliformok i/100 mL	δLA mg/L
C	150 ^I / 100 ^{II}	40 ^I / 25 ^{II}					75 ^I
N	90 ^I / 75 ^{II}	20 ^I / 15 ^{II}	10 ^{II}				50 ^I
D	90 ^I / 75 ^{II}	20 ^I / 15 ^{II}	10 ^{II}	25 ^{II}			50 ^I
+P					2 ^{II}		
+H						100 ^{II}	

Megjegyzés: ^I minősített pontmintából, fekál coliformhoz egyszerű pontmintából; ^{II} 24 órás átlagmintából; NH₄-N és N_{anorg.} T ≥ 12 °C szennyvízhőmérséklet esetén

3.5. táblázat

Aerob üzemű kisberendezések kibocsátási irányértékei (VSA) (saját szerkesztés)

Paraméter	Nitrifikáció nélküli kisberendezés	Nitrifikációs kisberendezés
δLA (mg/L)	30	20
BOI ₅ (mg/L)	30	20
KOI	90	60
DOC (mg/L)	20	10
Átlátszóság (Snellen-féle) (cm)	>30	>30
NH ₄ -N (mg/L)	–	3
δP (mg/L)	–	–

Kisberendezésekre vonatkozó szabványok, műszaki előírások, irányelvek

A szennyvíztisztítás hazai szabványosítása, műszakiirányelv-alkotása és a szakmai gyakorlat tradicionálisan a német (német–osztrák) szemlélettel, gyakorlattal függ össze, gyakran azt követi. A házi szennyvíztisztító kisberendezésekre Németországban az első szabvány 1942-ben jelent meg. A szabvány inkább segédletként volt értelmezhető, a tisztítóegységekre vonatkozóan már méretezési szabályokat írt le. Házi szennyvíztisztító alatt egyszerű ülepítőt, illetve az iszap tartós tárolására és rothasztására is alkalmas oldómedencét, az altalajöntözést, a csepegtetőtestet és szikkasztóaknát értették. A méretezéshez 150 L/fő.d „normatív” szennyvízkibocsátást tartalmazott a szabvány. A háború utáni szabvány a legfeljebb 500 lakos kiszolgálására alkalmas tisztítóegységeket értette kisberendezés alatt.

A DIN 4261-1 szabvány 1970-es kiadásának címében megjelent a „szennyvíz levegőztetése nélküli berendezések” pontosítás, ami egyrészt utalt arra, hogy a kisberendezéseknél is eljött az ideje a levegőztetési technológiáknak, másrészt pedig arra, hogy új szabványlap megjelenésére lehetett számítani. A szabvány (DIN 4261-2) meg is jelent, igaz, 14 évet várni kellett.

A házi szennyvíztisztító létesítményekre 1952-ben az Építésügyi Minisztérium műszaki előírásként funkcionáló, azaz kötelezően alkalmazandó Csatornatervezési és méretezési szabályzatot adott ki, jól láthatóan az idehaza szakmailag már régóta elfogadott német szabályozási minták

alapján. A szabályzat a házi szennyvíztisztító kis berendezésekkel foglalkozott, még nem használta a kisberendezés vagy ezzel kapcsolatos gyűjtőfogalmat. A szabályzat mechanikai tisztítóberendezések alatt a két, illetve háromkamrás műtárgyat és a kétszintes ülepítőt értette. A biológiai tisztító műtárgyak között a bővített oldómedence, a szikkasztó, a csepegtetőtest említett. A szabályzat a műtárgyak kialakítására minimális szerkesztési szabályokat állított fel, és mintarajzokat is közölt. A tisztított szennyvíz felszíni vízbe vezethetőségeként a tisztító műtárgy fajtájától függően, irányadó értéként különböző mértékű (100–500-szoros) hígítást, illetve „utóülepítővel” rendelkező biológiai tisztítás esetében 50-szeres hígítást adott meg a szabályzat. A talajba történő elhelyezéssel kapcsolatban a szabályzatba került, hogy szikkasztás csak akkor tervezhető, ha a szikkasztás alsó síkja és a legmagasabb talajvízszint között legalább 1 m különbség van. Ugyanakkor ellentmondásosan viszont nevesítette a „szikkasztókutat” mint a biológiailag tisztított szennyvíz „mélyebb talajrétegekbe” elhelyezésének létesítményét, igaz, azzal a megjegyzéssel, hogy a talajvíz veszélyes elszennyeződését nem okozhatja.

1962-ben az MSZ 15302 „Csatornatervezés és -méretezés – Szennyvíztisztítás” szabvány a kis házi szennyvíztisztítókra vonatkozóan még mindig visszautalt a korábbi szabályzatra. A szabvány tárgya az elszikkasztás műtárgyai, méretezése és műszaki kialakításuk szabályai, valamint elhelyezésük szabályai. A szabvány szerint a talajszűrő alatt valójában mezőgazdasági területen elhelyezést kellett érteni. Először (és utoljára) tűnik fel szabványban a talaj „oxidálóképessége” fogalom, amely az áteresztőképesség mellett a szűrő méretezésének alapja. A homokszűrővel eltávolítandó BOI_5 -re vonatkozó $\text{g O}_2/\text{m}^2$ mértékegységben kifejezett oxidálóképességre és a m^3/d . ha-ban kifejezett kibocsáthatóságra a különböző talajokhoz az alábbi értékeket a 3.6. táblázat tartalmazza.

3.6. táblázat

Különböző talajok oxidálóképessége és terhelhetősége (saját szerkesztés)

	Oxidálóképesség g/m^2	Terhelhetőség $\text{m}^3/\text{d}.\text{ha}$
Homok	4–8	100–300
Iszap	2–4	50–100
Vályog	1–2	25–50
Agyag	0,5–1,0	15–25

A szabvány a tisztított szennyvíz befogadókba vezetéséhez, az oxigénfogyasztás vizsgálatán alapuló terhelhetőség számítására adott módszert, illetve egyszerűsítő módszerként a tisztítási technológiákhoz különböző hígítási mértékeket és becslési módszert rendelt.

Az OVH házi szennyvízkezelő kisműtárgyakról 1971-ben ágazati műszaki irányelveket adott ki, az oldómedencék, kétszintes ülepítők, a biológiai csepegtetőtestek és homokszűrők tervezéséről és műszaki kialakításukról. A homokszűrőt még az oldómedence alternatívájaként említi. Az irányelvben megjelent a „lakosegyenérték” fogalom (léé), de vízhozamra vonatkoztatva ($1 \text{ LEÉ} = 100 \text{ l/fő}$).

Befogadóként tavat is megfelelőnek tartottak, ha a szennyvíz biológiailag tisztított (értsd: oldómedence utáni homokszűrőn), és legalább 10 m²/leé vízfelszínű, amennyiben a terhelhetősége ezt egyébként lehetővé teszi.

1976-ban lépett hatályba *A szennyvíztisztítás és szennyvíztisztítási építmények tervezési előírásai* című építésügyi ágazati szabvány, amelyben külön fejezetet kaptak a legfeljebb 1250 m³/d kapacitású kis szennyvíztisztító berendezések, amelyben a $Q_{\text{dmax}} \leq 15$ m³/d nagyságúak házi szennyvíztisztító berendezések, a 3–75 m³/d tartományba esők törpe szennyvíztisztító berendezések, a 75–1250 m³/d nagyságúak pedig kis szennyvíztisztítók néven szerepeltek. A szabványban ismét felbukkan a talajszűrés, immár a gyorszűrőkkel és mikrodobszűrőkkel együtt a fizikai utótisztítás kategóriájában. A talajszűrő méretezésével kapcsolatban korábban alkalmazott talajoxidáló képesség kikerült a szabványból, a terhelhetőség irányértékei pedig a korábbi szabványhoz képest jelentősen megnöttek: homoktalajra 400–1200 m³/d.ha, iszapos homoktalajra 200–400 m³/d.ha. A kötött talajokra már irányadó értékeket nem találunk, viszont alagcsövezett homok talajszűrő esetére 4000 m³/ha.d nagyságú terhelhetőség bukkan fel. A szabványban megjelentek a biológiai tisztítás teljes oxidációs technológiájú létesítmények és a merülőtárcsás műtárgyak fogalmai. Ezekkel összefüggésben a biológiailag tisztított szennyvíz kritériumának a 25 mg/L BOI₅-koncentrációt kellett alkalmazni.

A települések szennyvíztisztító telepei műszaki irányelv sorozatban 1984-ben külön lap készült a szennyvíztisztító kislétesítményekről, amely a korábbi ágazati műszaki irányelv átdolgozása. Az irányelv a házi szennyvizek tisztítására szolgáló kisműtárgyak és kisberendezések alkalmazhatóságának felső határát 75 m³/d-ben adta meg. Az irányelv tárgya lényegében az egyszerű és bővített oldómedence, valamint a szikkasztás és a homokszűrő árok és mező méretezése és kialakítása volt, a már akkor alkalmazott gyártmányos kisberendezésekre csak halvány utalás volt.

A Magyar Szabványügyi Testület 2000-ben adott ki szabványt *Településekről származó szennyvizek tisztítótelepei. Szennyvíztisztító kisműtárgyak és kisberendezések* címmel, amely a kézirat készítésének időpontjában is érvényben van. A szabvány alkalmazási területe a 75 m³/d mennyiséget meg nem haladó házi szennyvizek tisztítása. A szabványban a(z) (egyszerű) oldómedencét, a bővített oldómedencét a zsír- és olajfogóval együtt sorolja be az előtisztító műtárgyak közé. A *Szennyvíz tisztítása* fejezetcím előtt nem szerepel ugyan 'biológiai' jelző, de a fejezetben a biológiai tisztítási módszerekről van szó, megjelölve, hogy a lebegőanyag-tartalmat, az oldott szennyező anyag mennyiségét kell csökkenteniük, illetve a szennyvíz anaerob jellegét kell megszüntetniük. A biológiai tisztítási technológiák közül a homokszűrő árkot és mezőt hagyományos tisztítási eljárás alatt tárgyalja. A szabvány körülírja az eleveniszapos, a csepegtetőtestes és merülőtárcsás berendezések alkalmazási helyét, de méretezésük, kialakításuk sajátosságai nem része a szabványnak. A szabvány nevesíti a „természetes technológiákat”, lényegében a gyökerteres, „teraszos-kazettás” és a tavas tisztítást. A gyökerteres technológiát „zárt kivitelű” technológiának aposztrofálja, a teraszos-kazettás és tavas tisztítást pedig csak nagyobb terhelések esetén tartja alkalmazhatónak. A talajba szikkasztás létesítményei a korábbi műszaki kiadványok szellemében és intencióit átvéve jelentek meg. Az ún. „szikkasztási együtttható” kapcsán lényeges változásnak tekinthető, hogy a befogadó talaj szikkasztóképesége alapján a kedvezőtlenebb talajokat is alkalmazhatónak jelölte meg. (A szikkasztási együtttható a talaj helyszíni szikkasztási próbával megállapítható víznyelő képességét jelenti.)

3.7. táblázat

A szikkasztási tényező változása az egykori magyar műszaki szabályozási kiadványokban (saját szerkesztés)

Szikkasztási tényező min/cm	OVHMI 146/7-71	MI 10-127/9-84	MSZ 15287:2000
	1 m ³ /d szennyvízterheléshez szükséges szikkasztófelület m ²		
1-ig	14	14–15	14–15
1–2	18	16–17	16–17
2–4	25	18–26	18–26
4–12	28 (4–6 min/cm) 37 (6–12 min/cm)	Lehetőleg kerülni kell!	27–39
12 felett	45 (12–18 min/cm) 50 (18–24 min/cm) szikkasztásra nem alkalmas (> 24 min/cm)	Lehetőleg kerülni kell!	

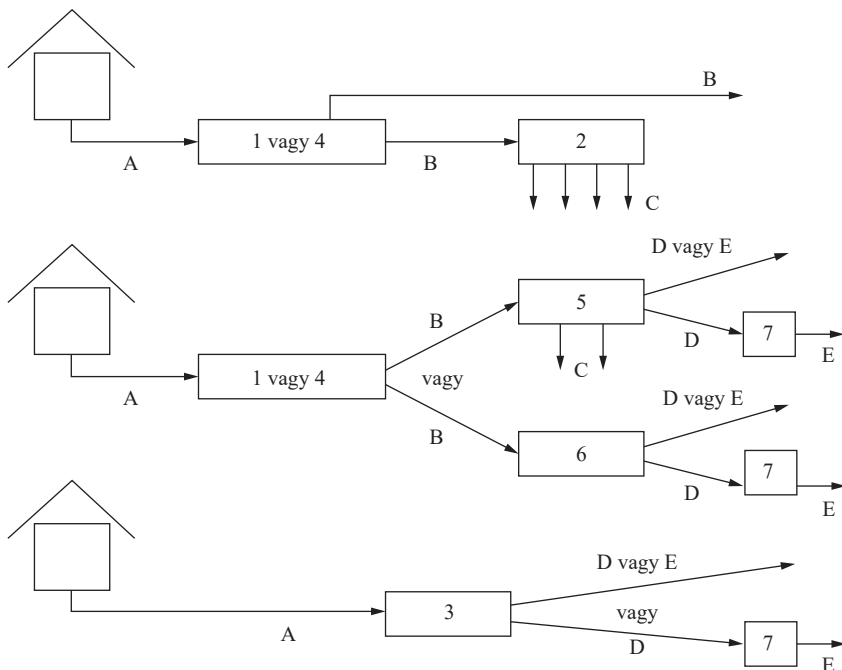
A szabvány előírása szerint felszíni vízbe csak biológiailag tisztított szennyvíz vezethető. 2000-től kezdve Magyarországon bevezettük a kisberendezésekre vonatkozó EU-s szabványokat. A folyamat 2013-ig tartott, amikor az utolsó szabványrész is megjelent, miközben a már megjelent lapok – akár többször is – megváltoztak. A *Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig* főcímmel közzétett, EU-harmonizált szabvány öt részből áll:

1. rész: Előregyártott oldómedencék
3. rész: Készre gyártott és/vagy helyszínen összeszerelt házi szennyvíztisztító berendezések
4. rész: Előregyártott elemekből a helyszínen összeszerelt oldómedencék
6. rész: Előregyártott tisztítóegységek az oldómedencékből elfolyó szennyvízhez
7. rész: Előregyártott harmadik fokozatú tisztítóegységek

Ezek MSZ EN jelzettel jelentek meg, de angol nyelvűek. Mivel fordításuk – számos más szabványhoz hasonlóan – nem készült el, jogi relevanciájukat sok mérnök és jogász megkérdőjelezi, különösen arra hivatkozva, hogy az angol nyelv Magyarországon nem hivatalos nyelv.

A szabványsorozat az előregyártott vagy előregyártott egységekből a helyszínen összeszerelt kisberendezések vizsgálataira vonatkozó előírásokat mellékletekben tartalmazza. A kötelezően elvégzendő vizsgálatok a vízzáróságra, a szerkezeti-erőtani jellemzőkre, tartósságra, tűzállóságra, a veszélyes anyagokkal szembeni megfelelésre, valamint a technológiai működési hatások ellenőrzésére irányulnak. Az oldómedencék esetében a szabvány a „hidraulikai hatások” vizsgálatát írja elő, ami alatt az ülepedési hatások vizsgálatát érti. A szabványsorozat harmadik részének B függelék tartalmazza az előregyártott vagy helyszínen összeszerelt kisberendezések technológiai működési vizsgálatának körülményeit. A szabvány részletesen leírja a vizsgálat helyszíne kiválasztásának szempontjait, a berendezésre vezethető szennyvíz minőségi paramétereinek alsó-felső határait, a vizsgálatok időtartamát különböző terhelések mellett (a névleges mellett a terhelés alsó és felső határait), a szennyvízbetáplálás napon belüli menetrendjét, a mintavételek módját, darabszámát és a vizsgálandó paramétereket. Különleges üzemi körülményként vizsgálandó csúcs-terhelésként a fürdőkád egy- vagy többszöri leengedésének megfelelő terhelés melletti, a névleges terhelés melletti 24 órás áramkimaradás és a terhelés nélküli működés.

A termék szabványnak való megfelelését a gyártó CE-tanúsítvánnyal igazolja, amely az alábbi adatokat tartalmazza: a gyártó megjelölése, a CE-megfelelés éve, a vonatkozó szabvány jele, a termék általános jellemzője, a tisztítási hatásokra vonatkozó adatok, a méret, illetve kapacitás, a vízzáróságra, az állékonyságra, a tartósságra és a tűzállóságra, valamint a veszélyes anyagokkal szembeni ellenálló képesség megfelelésére vonatkozó adatok.



Jelmagyarázat

A Házi szennyvíz

B Oldómedencéből elfolyó szennyvíz

C Tisztított szennyvíz elszikkasztása

D Tisztított szennyvíz

E Szennyvíz harmadfokú tisztítása

1 Előregyártott oldómedence

2 Talajszikkasztó rendszer

3 Készre gyártott és/vagy helyszínen összeszerelt házi szennyvíztisztító berendezés

4 Előregyártott elemekből helyszínen összeszerelt oldómedence

5 Szikkasztóberendezés előkezelte házi szennyvízre

6 Előregyártott tisztítóegységek az oldómedencéből elfolyó szennyvízhez

7 Előregyártott harmadik fokú tisztítóegységek

3.1. ábra

Az EN 12566 szabványsorozat alkalmazási sémája (saját szerkesztés)

CE 9876	
Any Co Ltd, P.O. Box 21, B-1050	
16	
0012014-09-30	
EN 12566-6:2016 Prefabricated treatment units for septic tank effluent — - Product's reference code: "BWV 41" — - Material: CONCRETE To be used outside buildings for septic tank effluent	
Effectiveness of treatment:	
Treatment efficiency (at tested organic daily load BOD ₅ = 0,9 kg/d)	COD: 80 % BOD₅: 80 % SS: 70 % P NPD KN NPD
Number of desludging during CE test	0
Power consumption	0,2 kWh/d
Microorganism reduction	E. Coli: 1 000 cfu/100 ml
	2 log unit
Microorganism reduction	Intestinal enterococci: 1 000 cf/100 ml
	1,5 log unit
Treatment capacity (nominal designation):	4 PT
Watertightness: (water test)	Pass
Crushing resistance:	
Load bearing capacity	Height of backfill 0,5 m WET 1,20 m

3.2. ábra

Példa CE-megfelelőségi tanúsítványra (saját szerkesztés)

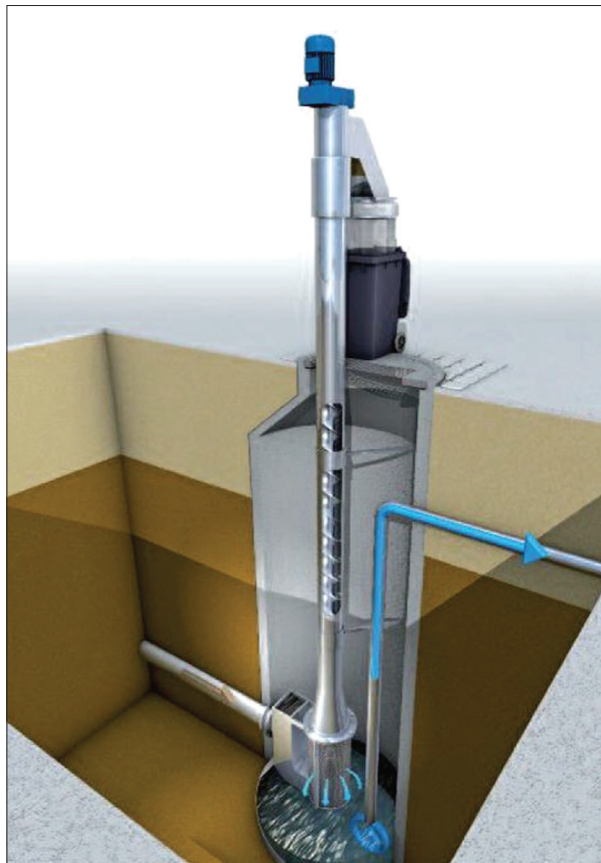
A szabvány részeinek számozásából látszik, hogy lyukak vannak a rendszerben. A szabványt megalkotó bizottság két, hézagokat kitöltő dokumentumot tett közzé, a talajszikkasztó rendszerekre (2. rész) és az előtisztított szennyvizek szűrőrendszereire (5. rész), amelyek gyakorlati útmutatónak (Code of Practices) tekinthetők.

Kis szennyvíztisztítók működése és műszaki kialakítása

Rácsok

A kisberendezésekbe külön rács funkciójú egységet nem építenek be. Azok az anyagok, amelyek a nagyobb települési szennyvíztisztítóknál a rácstról lekerülnek, a kisberendezések ülepitő egységében az iszapba vagy az uszadékba kerülnek és maradnak vissza, illetve a szennyvíziszappal közösen kerülnek ki a tisztítóból. Az 50 LE-t meghaladó nagyságú kis szennyvíztisztítóknál megfontolandó külön rácsegység létesítése, illetve a rács kialakításának és üzemeltetésének módja.

A gépi rács létjogosultsága az 50–500 LE kapacitású létesítményeknél a felső határ közelében a mai technikai lehetőségek és üzemeltetői attitűdök mellett vitathatatlan. Praktikus olyan gépi rácst választani, amely kompakt kialakítású, és alkalmas a rácsszemét víztelenítésére és tömörítésére is. Az alsó kapacitáshatár közelében az egyszerűbb, rácskosaras vagy kézi tisztítású rács megoldások is szóba jöhetnek.



3.3. ábra

Aknába telepíthető gépi finomrács (Huber-katalógus)

Úsztató és flotáló műtárgyak

Az úsztató és flotáló műtárgyak a zsírok, olajok, viaszok, szappan, szabad zsírsavak, fa- és parafadarabok, zöldségmaradványok stb. eltávolítására szolgálnak. Ilyen anyagok nagyobb mennyiségben a konyhákból, éttermekből kerülnek ki. Az úsztató műtárgyat úgy kell kialakítani, hogy a víznél könnyebb anyagok a felszínre úszhassanak, az ülepedőképes anyagok a fenékre leülepedhessenek, a szennyvizet pedig a fenékiszap feletti térből vagy terelőfal, vagy uszadékviszatarató stb. fal alatt kell kivezetni. Ilyen műtárgy létesítése az 50 LE feletti kis tisztítóknál lehet indokolt, de ekkor is a keletkezés közelében, a külső alapcsatornába vezetés előtti előtisztító egységként.

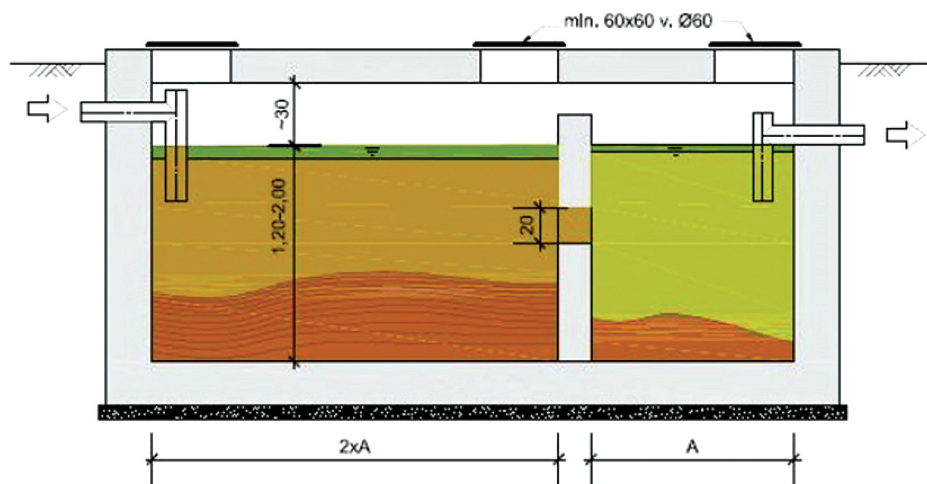
Egyszerű és bővített oldómedencék

A kisberendezéseknél a rács, zsírfogó, valamint az előülepítő egy többkamrás műtárgyba kerül. Az oldómedencékben a szennyvíz ülepezhető fázisa a fenékre süllyed, a víznél kisebb sűrűségű anyagok pedig a felszínre úsznak. A kiülepedett, nagyrészt szervesanyag-tartalmú iszap a jelentős tartózkodási idő miatt rothadásnak indul. A bővített oldómedencében az áramlási sebesség 0-ra is csökken. A durva anyagok az első kamrában maradnak. Az ülepedés és felúszás eredményeként iszap – fenékiszap – képződik a bővített oldómedencében. A fenékiszap az oxigénellátottságnak megfelelően két zónát képez: a felső réteg oxigénnel ellátott (aerob), a mélyebb rétegek anaerob rétegek.

A felső rétegben az oxigénben gazdag szennyvízben lévő szerves anyagok igen csekély része bomlik le. Az anaerob iszapban lévő tápanyagok rothadással bomlanak le. A keletkező gáz a levegőbe kerül. A bővített oldómedencében képződő iszapot fekál iszapnak is nevezik, utalva fekáliás eredetre. Az oldómedence kifejezésben az 'oldó' szó arra utal, hogy az ülepezhető lebegőanyag formában lévő szerves anyag a tartózkodási idő alatt jelentős részben hidrolizál, átalakul oldott formájú szerves anyaggá. A kiülepedett iszap részben kirothad, ami biokémiai értelemben a szerves anyag anaerob körülmények közötti lebomlását jelenti. A szerves anyag lebomlása, az iszap stabilizálódása, azaz rothadóképességének csökkenése a bővített oldómedencékben nem teljes. A szerves anyag részleges stabilizálódása a BOI_5 csökkenésében mérhető is. A BOI -csökkenés a hosszú – akár fél, egy évet meghaladó – tartózkodási időnek köszönhető. A rendelkezésre álló hosszú rothadási idő ellenére a szervesanyag-lebontás mégis részleges, aminek fő oka az alacsony hőmérséklet ($<25\text{ }^{\circ}\text{C}$) és az iszap homogenitásának hiánya, amelyek együtt a szerves anyagok lebomlását gátló folyamatok és miliő (például savasodás) kialakulásához vezetnek. Mindezek következtében nem tud kialakulni az az anaerob baktériumkultúra, amely jó hatásfokkal tudná a szerves anyagok lebontását végezni.

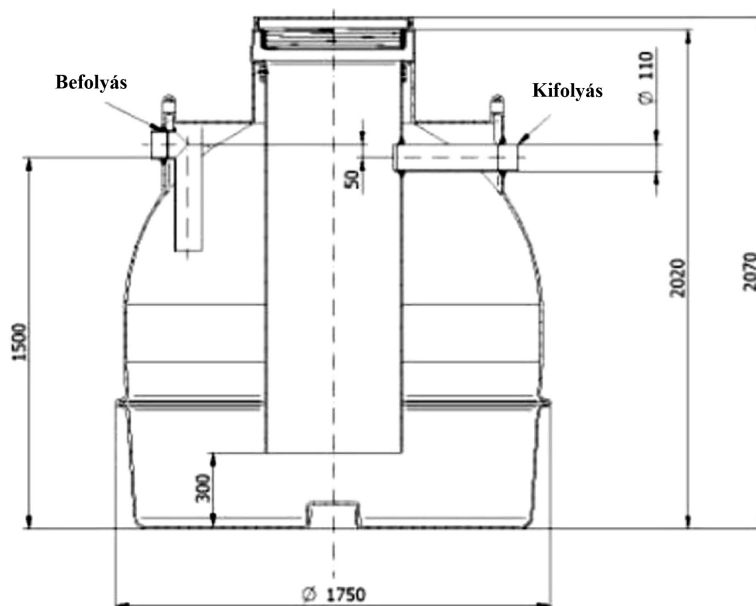
Az oldómedencék alkalmazásának előnye még a lebegő és uszadékanyagok jó hatásfokú csökkentése mellett, hogy üzembiztosak, mennyiségi és minőségi kiegyenlítő hatásuk a következő tisztítási fokozat üzemére is kedvező. A bővített oldómedencéket alkalmazták a homokszűrők mint biológiai tisztítók, szennyvíztavak előtt; ma továbbra is alkalmazhatók a természetközeli tisztítók (tavak, növényágyas), valamint a teljes biológiai tisztítást nyújtó aerob kisberendezések előtt.

Az egyszerű oldómedencék viszonylag rövid tartózkodási idejük (elméletben három nap). Az iszapelúszás csökkentése érdekében két kamrára osztott műtárgy, az első kamra a műtárgy hasznos térfogatának kétharmadát, a második kamra pedig egyharmadát adja.



3.4. ábra

Hagyományos egyszerű oldómedence kialakítása (saját szerkesztés)



3.5. ábra

Egyszerű oldómedence polietilénből (Polyduct)

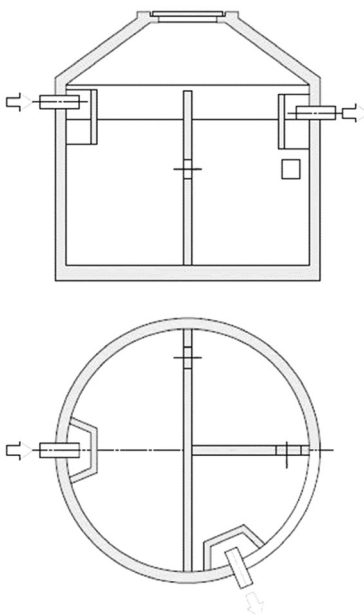
A bővített oldómedencében a tartózkodási idő lényegesen nagyobb (6–10 nap), ami jobb lebegőanyag- és szervesanyag-eltávolítási hatásfokot ígér. Többnyire háromkamrás kialakításúak, az első kamra a teljes hasznos térfogat felét, a másik kettő pedig negyedét-negyedét teszi ki.

A bevezetésnek a műtárgybeli vízszint fölött kell lennie legalább 5 cm-rel, hogy a vízszint esetleges megemelkedése ne duzzasson vissza a csatornába. Továbbá a szennyvizet merülőfallal vagy függőleges T-csővel kell a vízszín alá, a hasznos magasság felső harmadába irányítani. A kamrák

közti kb. 20 cm méretű átvezető nyílás a vízmagasság felső harmada körül legyen. A szennyvizet az utolsó kamrából, az uszadék elúszásának megakadályozása céljából szintén T-csővel vagy merülőfal mögött kell kivezetni úgy, hogy a szennyvíz a felső, legkisebb lebegőanyag-tartalmú vízrétegből legyen elvéve. Amennyiben az oldómedencéből elfolyó szennyvizet homokszűrőre vezetik, célszerű a kivezető csőre – az oldómedencén belül vagy kívül – 1,5–2 mm résméretű szűrőt szerelni.

A hasznos vízmélység a megszokott gyakorlat szerint 1,2–2,0 m közötti, a vízszint felett minimum 30 cm légtér mellett. Ezen paraméterek mellett, ha a bevezető házi szennyvízcsatorna fektetési mélysége kedvezően 80 cm körüli, a műtárgy többnyire a talajvízszint felett telepíthető. A vasbeton műtárgyakat a kezelhetőség érdekében (uszadék leszedése, iszaptalanítás) legalább 60 × 60 cm-es, de inkább 80 × 80 cm-es nyílásokkal kell kialakítani a be- és kivezetéseknél, illetve a kamrák közötti átvezető nyílásoknál. A nyílások a műtárgy telepítési helyén várható terhelésnek megfelelő teherbírású (általában könnyű) öntöttvas vagy bordázott lemez fedlappal zárhatók le.

A műtárgyakat szakszerű csatornakialakítás mellett nem szükséges külön szellőzővel ellátni, a műtárgy az épületen belül a csatorna függőleges szakaszán kialakított, tető fölé kivitt csövön át szellőztethető ki.



3.6. ábra

Bővített oldómedence konstrukciója (saját szerkesztés)

Folyamatos átfolyású eleveniszapos kisberendezések

A berendezések két fő egysége a levegőztetett biológiai tér és az utóülepítő. A biológiai kamrába a szennyvíz egyszerű szűrés után (például rácskosár) gravitációsan vagy szivattyúsan jut. Az eleveniszap működéséhez, a szerves anyagok lebontásához, esetleg a nitrifikáció vagy az eleveniszap stabilizálásához szükséges levegőztetést többnyire finombuborékos levegőztetők végzik. A leve-

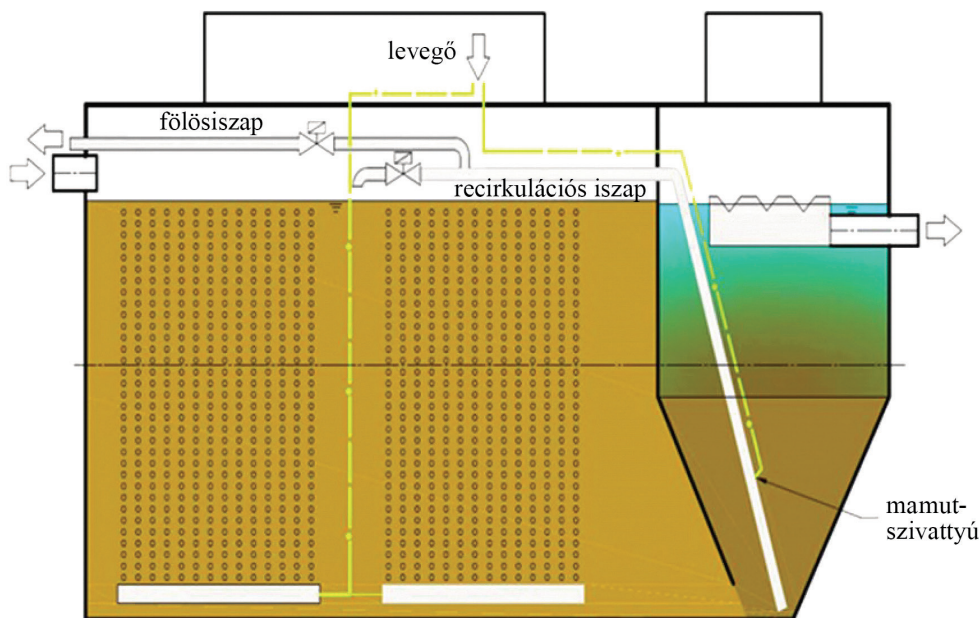
gőztetés alatt nemcsak a biomassza működéséhez szükséges aerob viszonyok fenntartása történik, hanem a szennyvíz-eleveniszap elegy homogenizálása, „keverése” is, hogy az eleveniszap ne tudjon a reaktortérben kiüledni.

A levegőztetett térből a szennyvíz-eleveniszap elegy gravitációsan folyik át az utóülepítő térbe, ahol az eleveniszap és a szennyvíz szeparálása gravitációsan megy végbe. Az ülepítőtér hidraulikailag függőleges átfolyású. Ez a leghelytakarékosabb ülepítő kialakítás, az eleveniszap gravitációs ülepedéséhez szükséges feltételek kedvezőek, és a kiüledett iszap is kedvező feltételekkel (kellő szárazanyag-tartalom) vehető el.

A kiüledett iszap legnagyobb részét vissza kell vezetni a biológiai reaktortérbe, hogy a kellő mennyiségű működő biomasszatömeg folyamatosan rendelkezésre álljon a biológiai lebontási folyamatokhoz. A biomassza működése során a szennyvízben lévő szennyező anyagok a lebontásukkor részben beépülnek a biomasszába, megnövelve annak mennyiségét. A stabil üzem szempontjából célszerű az eleveniszap koncentrációját kvázi állandó értéken tartani, tehát a keletkező iszaptöbbletet (iszapszaporulatot) el kell venni.

A biológiai térből az utóülepítő térbe az átvezetés felső vagy alsó lehet. Felső átvezetéskor a viszonylag legkisebb oldotttoxigén-tartalmú elegy kerül az utóülepítőbe, és a felszínre flotálódott habanyagok is lefölozödnek.

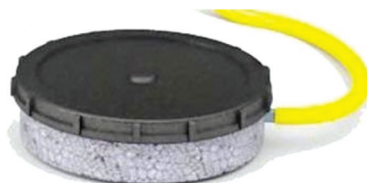
Alsó átvezetésnél a biológiai reaktor és az utóülepítő közti válaszfal alsó részét megnyitva jut át a szennyvíz-eleveniszap elegy az utóülepítőbe. Ekkor nincs szükség áramlásterelőre (például csillapítóhengerre), a szennyvíz rögtön függőlegesen felfelé áramlik, miközben az iszappelyhek kiülednek. Az utóülepítő alján kialakuló nagyobb iszapsűrűség miatt sajátos egyensúly alakul ki az utóülepítő és az eleveniszapos reaktor alsó része között, aminek eredményeként nincs szükség gépi iszaprecirkulációra, autorecirkuláció alakul ki.



3.7. ábra

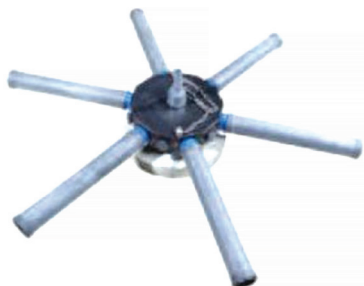
Eleveniszapos kisberendezés alsó átvezetéssel, auto-iszaprecirkulációval (saját szerkesztés)

Az iszapszaporulatot, a fölősiszapot az előülepítő műtárgyba lehet vezetni, és a primer iszappal együtt tárolható. Amennyiben előülepítő fokozat nem készül, a fölősiszapnak külön tároló térfogatot kell kialakítani vagy önálló műtárgyegységben, vagy a kisberendezés dedikált rekeszében. A biomassza levegőztetésére a légbefúvásos technológiák a legcélszerűbbek, amelyeket fúvók táplálnak kisnyomású levegővel. A finombuborékos membránlevegőztetők többnyire paneles, tányéros, csöves és tömlős kialakításúak.



3.8. ábra

Tányéros levegőztetőmembrán (Lausitzer-katalógus)



3.9. ábra

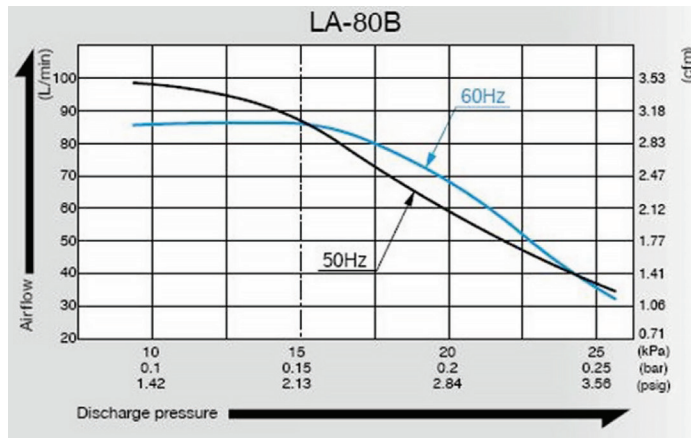
Csillag elrendezésű csőmembrán levegőztető (Lausitzer-katalógus)

A legkisebb berendezéseknél a kisberendezéseknél is jól alkalmazható, csendes üzemű membránfúvók alkalmazhatók. A kis membránfúvók légszállítása típustól függően kb. 30 l/min és 250 l/min között van, nyomástartományuk 10–20 kPa, teljesítményfelvételük 30–130 W. A levegőcsonkjuk kis méretű tömlő csatlakoztatására alkalmas. Méretük $\sim 200 \times 200$ mm – 200×400 mm, tömegük 10 kg alatt van.



3.10. ábra

Membránfúvó (Nitto Kohki)

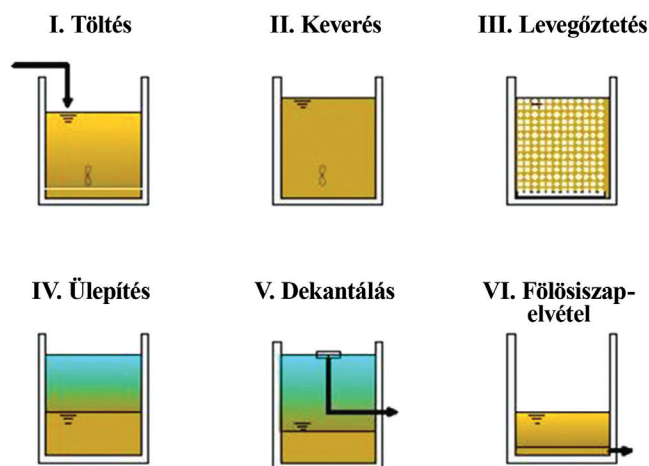


3.11. ábra

A membránfúvó légszállítása (Nitto Kohki)

SBR-kisberendezések

Körülbelül a 90-es évekig az eleveniszapos szennyvíztisztító kisberendezések közül a folyamatos üzeműeket építették, telepítették, és hidraulikailag gravitációs működésűek voltak (az iszaprecirkulációtól eltekintve). A berendezésben rendelkezésre álló reaktortérfogat jobb kihasználásához a nagy szennyvíztisztító létesítményekben is alkalmazott SBR-rendszerek megjelentek a kisberendezések világában is. Az SBR rövidítés a Sequencing Batch Reactor rövidítéséből származik, és az ugyanazon reaktortérben egymást követő különböző technológiai folyamatokra utal. A biológiai egység ciklikus üzeme miatt nincs szükség az eleveniszap-szennyvíz elegyből az iszapfázis leválasztását végző utóülepítőre.



3.12. ábra

Az SBR-rendszer üzemciklusai (saját szerkesztés)

Az SBR-reaktor ciklikus üzeme a szennyvízhozamok ingadozásainak mérséklése szempontjából is kedvező. Ez a hatás elsősorban a szennyvíz-előkezelő (ülepítő) fokozatban érvényesül, miközben az előkezelő tér szennyvíztároló is. Az SBR-technológiájú kisberendezések többnyire napi három vagy négy idővezérelt ciklussal üzemelnek.

Ezenbelül a szennyvízfeladás több változatban is lehetséges.

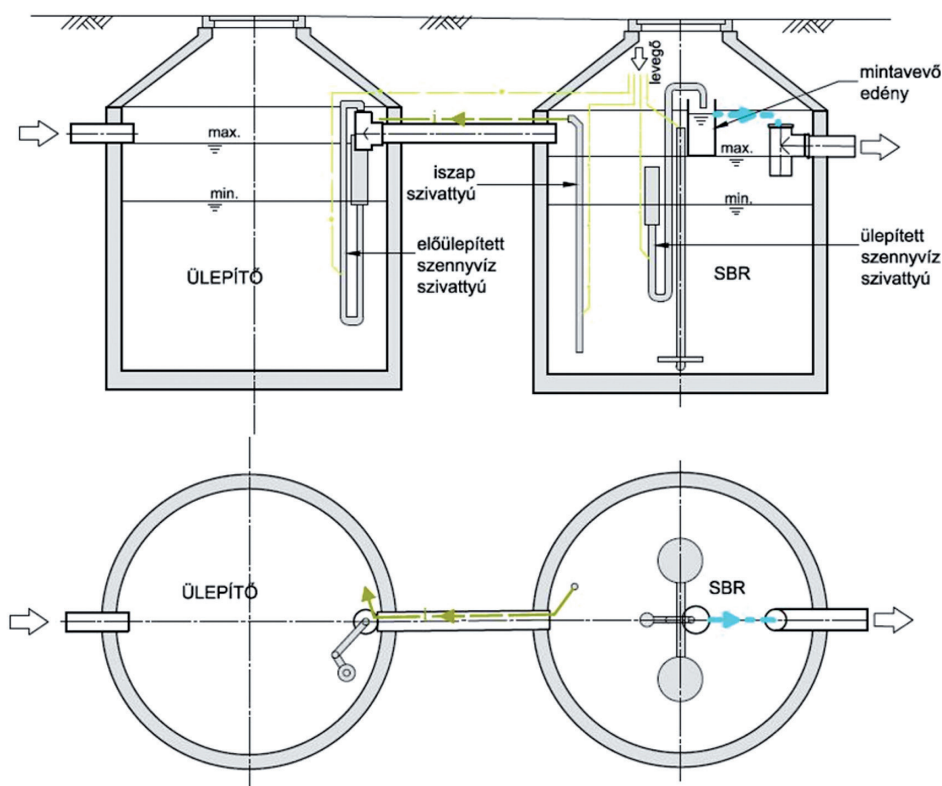
a) Az előkezelőből (ülepítőből) az SBR-reaktorba az ülepített szennyvíz elvétele után ciklusonként egyszer kerül sor a szennyvíz feladására.

b) Ciklusonként többször is sor kerül szennyvíz feladására, több belső levegőztetési fázis között. A ciklusidőkön alapuló működtetés mellett létezik még az állapotvezérléses üzem, illetve az idő- és állapotvezérlés kombinációja. Az állapotvezérlés tipikus esete, amikor a szennyvíz feladása az előkezelőből egy maximális szintig folyamatos.

Ebből három dolog is következik:

1. a tartózkodási idők a reaktortérben mindig változók lesznek, kisebb szennyvízhozam mellett hosszabbak lesznek a tartózkodási idők, a nagyobb szennyvíz-kibocsátású napokon pedig fordítva;
2. a tisztított szennyvíz minősége ebből adódóan is változó lesz;
3. célszerű bőséges kiegyenlítő kapacitásra tervezni az előkezelő reaktorteret.

Ilyen típusú üzemeltetéshez a berendezést szintkapcsolóval vagy szintérzékelővel, vagy a levegőztető rendszerbe épített nyomásérzékelővel kell szerelni.



3.13. ábra

SBR-kisberendezés kialakítása két műtárgyegységgel (saját szerkesztés)

Az SBR-rendszerű kisberendezések két részből állnak: az (elő)ülepítőből és az SBR-reaktorból. A legkisebb berendezéseknél egy műtárgyban alakítják ki a két egységet, a nagyobbaknál külön műtárgyba kerül az előülepítő és az SBR-egység. Az ülepítő egyúttal puffertér is változó vízszinttel, ezért az ülepített szennyvíz szivattyúval adható fel az SBR-egységre. Innen az (utó)ülepített szennyvizet szivattyúval lehet dekantálni a mintavevő edénybe, ahonnan gravitációsan vezethet el az utótisztítóba vagy a befogadóba. A fölősiszapot időként szivattyú emeli vissza az előülepítőbe. A kis SBR-berendezéseknél alkalmazott szivattyúk, miként a folyamatos átfolyású eleveniszapos kisberendezéseknél is, praktikusán mamutszivattyúk, a levegőztetőelemek és a fúvók hasonlóak a folyamatos átfolyású eleveniszapos kisberendezéseknél alkalmazottakhoz.

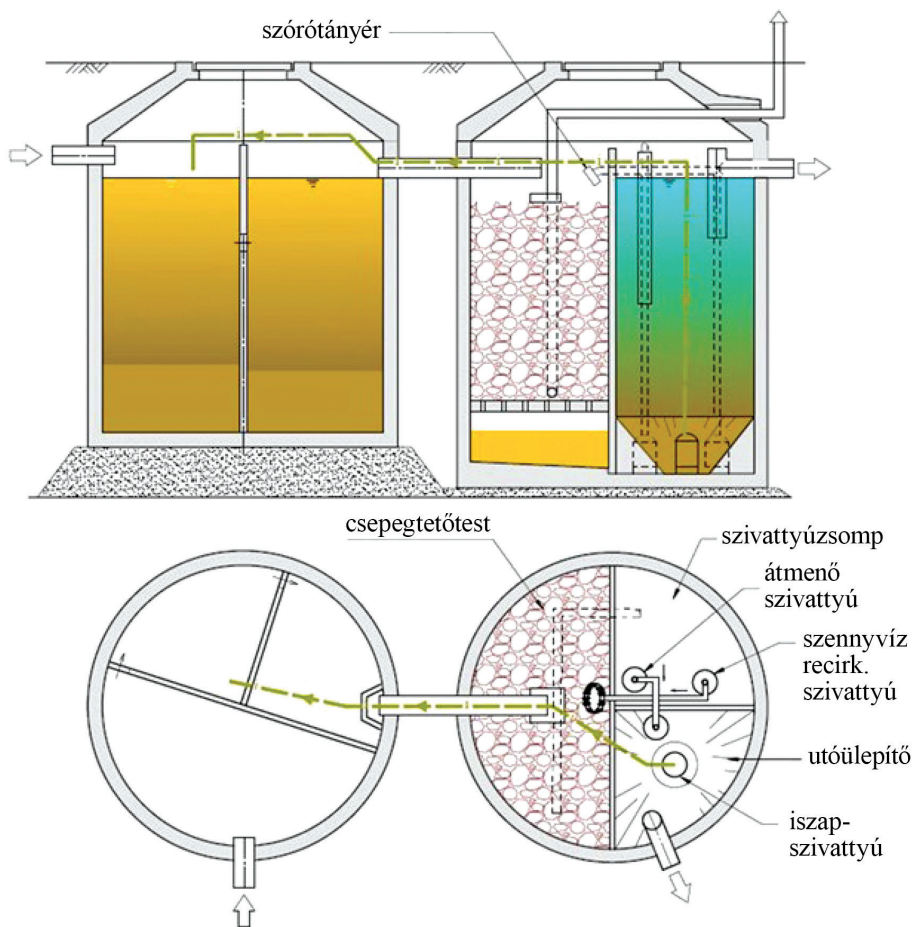
Csepegtetőtestes kisberendezések

A csepegtetőtestes tisztítás aerob tisztítási folyamat, ahol a biológiai bontást végző mikroorganizmusok felülethez kötődve biológiai hártát alkotnak. A biológiai hártát hordozó töltet közetanyag vagy gyűrű alakú műanyag elemek. A kisberendezéseknél többnyire bazalt, láva és hasonló közeteket alkalmaznak. A mechanikailag előtisztított szennyvíz egyenletesen elosztva vezethető a töltet felületére. A tölteten átcsőrgedező szennyvíz érintkezik a biológiai hártával, miközben a hézagokban áramló levegőből oldott oxigént vesz fel. A biológiai hártia mikroorganizmusai elsősorban a szerves szennyező anyagokat bontják le és építik be testükbe. E folyamatok során a biológiai hártia vastagodik, a biofilm belső, oxigénnel kevésbé jól ellátott rétegei lassan elhalnak, a hártia időnként leszakad. Ezt a leszakadási folyamatot elősegíti a szennyvíz lemosó hatása is. A leszakadt biomassa a csepegtetőtest utáni ülepítőbe átszivattyúzva kiülepedhet. A zsompba kiülepedett iszapot (és ülepített szennyvizet) a zsompba telepített, szakaszos üzemű szivattyú emeli át a mechanikai előtisztító egységbe. A szennyvíz recirkuláltatásával a hidraulikai terhelés nő, a szennyvíz hígul, és a lökészerű terhelések is mérséklődnek. Az iszap a kiülepedett nyersiszappal együtt tárolódik. A recirkuláció szofisztikáltabb módjánál a csepegtetőtest után a szivattyútérből külön szivattyú váltakozva emeli vissza a szennyvizet a csepegtetőtestre és az előülepítőbe.

A töltetet réselt fenék támasztja alá, amely áteresztja a levegőt és a szennyvizet is a leszakadt biológiai hártával. A kürtőhatás révén a töltetet a fenék alá bevezetett levegő áramolja át. Az áramlási irány a külső térben és a töltetben előálló hőmérséklettől függ. A kisebb berendezéseknél (8–10 LE-ig) a csepegtetőtesteket az utóülepítővel együtt egy műtárgyban alakítják ki, a nagyobbaknál külön műtárgyba kerül a két technológiai egység.

A csepegtetőtest felületén a szennyvizet egyenletesen kell elosztani. A néhány méter átmérőjű kisberendezések egyik kamrájában a nagy csepegtetőtesteknél megszokott forgókaros vízelosztó szerkezetek nem helyezhetők el. Helyette egyszerűbb vízelosztókat alkalmaznak, táányeros elosztót, billenővályút, elosztó csövet stb.

A tölteten átfolyó szennyvizet szivattyú adja fel az utóülepítőre, ahonnan az ülepített szennyvíz gravitációsan vehető el. A kiülepedett iszapot szivattyú emeli az előtisztító egységbe (például bővített oldómedencébe), amely elengedhetetlen része a csepegtetőtestes technológiának.



3.14. ábra

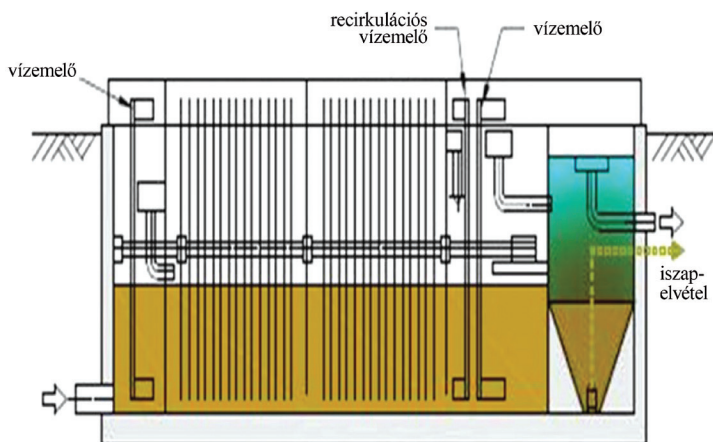
Csepegtetőtestes kisberendezés kialakítása két műtárgyegységgel (saját szerkesztés)

Merülőtárcsás csepegtetőtest

A merülőtárcsás csepegtetőtestek közös tengelyre, egymástól 15–20 mm-re szerelt tárcsákból vagy klaszterezett műanyag töltőtestekből állnak. A merülőttestek tengelye a vízfelszín fölött van, hogy legalább egyharmad részük a szennyvízbe merüljön. Forgás közben a tárcsák váltakozva merülnek a szennyvízbe, és kerülnek a víz fölé. Szennyvízbe merülve a felületeken megtelepedett biológiai hártya oldott szerves anyagokat vesz fel, kiemelkedve és a levegővel érintkezve pedig a biológiai bontáshoz szükséges oxigént vesz fel. A működés közben vastagodó biofilm időnként leszakad, részben a reaktortérben marad aktív biomasszaként, részben az utóülepítőbe átkerülve kiülepedik, és kvázi humifikálódott biomasszaként elvehető. Az iszapot az előülepítőbe lehet visszaszivattyúzni.

A nyers szennyvíz elsőször az előülepítőbe kerül, ahol a lebegőanyagok jelentős része kiülepedik, és az ülepített szennyvíz – általában gravitációsan – a merülőtárcsás egységre folyik.

A szennyvizet a műtárgy előkamrájából serleges átemelő egyenletes terheléssel juttatja a biológiai reaktortérbe, ahol a szerves anyagok lebontása megy végbe. A merülőtárcsás csepegtetőtesteket a kisberendezések felső kapacitástartományában, illetve az 50 LE feletti kis szennyvíztisztítóknál kétlépcsősen alakítják ki. A második biológiai fokozatban elsősorban a nitrifikációnak kell végbe-mennie. A technológiai sor utolsó eleme az utóülepítő, amely a kis berendezéseknél a tárcsatér utáni kamra, nagyobb berendezéseknél pedig külön utóülepítő műtárgy épül. A 3.15. ábra szerinti megoldásnál a szennyvizet serleges vízemelő juttatja az előülepítőbe, illetve a recirkulációs vályúba. A recirkulációval a tisztított szennyvíz és az uszadékreszecskek visszakerülnek az előülepítőbe. Erre a terhelés nélküli időszakokban a biológiai folyamatok folyamatos működéséhez, valamint a szennyvízkibocsátás egyenletlenségeinek kiegyenlítése miatt van szükség.



3.15. ábra

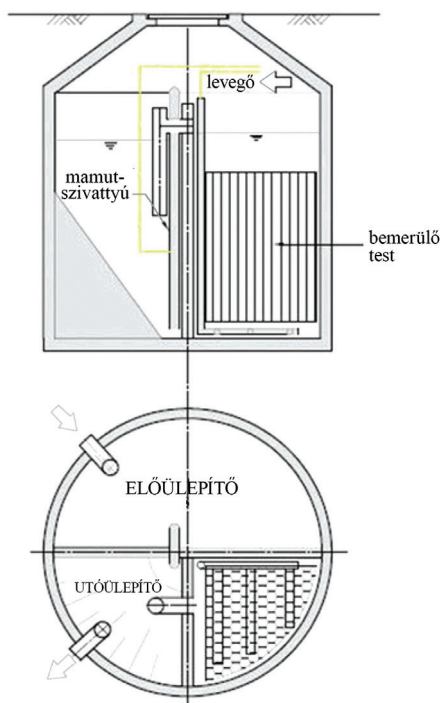
Merülőtárcsás csepegtetőtestes berendezés technológiai kialakítási sémája (saját szerkesztés)

Bemerülőtestes és lebegőágyas tisztítási technológia

Ezeknél a biológiai kisberendezéseknél a szennyvízbe bemerülő, nagy fajlagos felületű, nagy hézagterefogatú műanyag elemeken megtelepedő mikroorganizmusok végzik a szennyvíz biológiai tisztítását. A műanyag blokkok belül járatos kialakításúak, így a szennyvíz át tud áramlani, miközben az elemek felületén megtelepedő mikroorganizmusokkal érintkezik.

A levegőztetést a bemerülő test alatt elhelyezkedő finombuborékos levegőztetőelemek végzik. Folyamatos üzemű levegőztetés és nagy iszapkor mellett a technológia szerves anyag lebontására, nitrifikációra alkalmas. Szakaszos üzemű levegőztetéssel alkalmassá tehető denitrifikációra is. A levegőztetés nélküli periódusokban a denitrifikációhoz szükséges anoxikus állapot alakul ki.

Mikrobiológiailag hasonló működési elvű a lebegőágyas technológia. Ebben az esetben a strukturált felületű, többnyire gyűrű alakú műanyag elemek lebegnek az előülepített szennyvízben. A műanyag elemek is nagy fajlagos felületűek, nagy mennyiségű biofilmmanyag alakul ki rajtuk. A lebegőágyat képező műanyag testek elúszását az utóülepítőbe átvezető csőnél elhelyezett szűrő akadályozza meg. A technológia része mind a fix-, mind a lebegőágyas reaktornál az utóülepítő és az iszaprecirkuláció.



3.16. ábra

Bemerülőtestes kisberendezés technológiai kialakítási sémája (saját szerkesztés)



3.17. ábra

Merülőtest (saját szerkesztés a Deutsche Dewatek katalógus alapján)

Membrán bioreaktorok (MBR)

A membrán bioreaktorok a folyamatos átfolyású eleveniszapos technológia és a membránszűrés kombinációi. A biológiai reaktor elvileg bármilyen eleveniszapos technológiát jelenthet – például szimultán iszapstabilizációs levegőztetett, elő- vagy utódenitrifikációs, biológiai többletfoszfóreltávolításos stb., de a tradicionális biológiai fokozat utolsó egységként alkalmazott utóülepítőt membránszűrő váltja fel. Miután utóülepítő egységre nincs szükség, a helytakarékos technológia kiválóan alkalmas a kisberendezésekben történő megvalósításra is. A membránok tömeges gyártása pedig kedvező a kisberendezésekben alkalmazásához. Az előregyártott kisberendezéseket gyártó cégek nagy része felvette kínálatába a membrán bioreaktoros műtárgyakat is, és technikailag sem jelent különösebb problémát, hogy a több műtárgyegységből vagy több kamrából álló kisberendezésbe utólag membránszűrő egységet építsenek be.

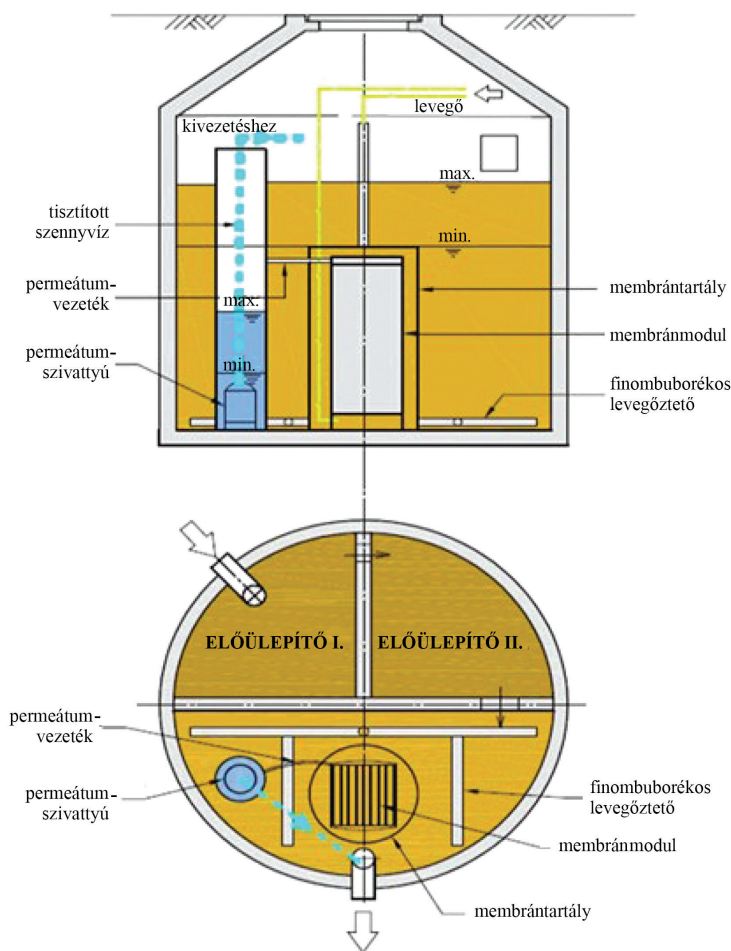
Az MBR-kisberendezések létjogosultsága a vízvédelem mai követelményei és jogszabályi előírásai miatt a tisztított szennyvíz rekreációs hasznosítású felszíni víz befogadóba bocsátása, egyes vízhasznosítási vagy újrahasználati célok elérése esetén kézenfekvő.

A membrántechnológiát alkalmazó berendezések négy technológiai egységből állnak: mechanikai szűrőből, ülepítőből, eleveniszapos biológiai reaktorból és a membránszűrő térből. A kisberendezéseknél e négy technológiai egység egy műtárgyban alakítható ki, a kis szennyvíztisztítóknál pedig akár három különálló műtárgyegységbe kerülhet. A mechanikai szűrő a néhány milliméter nagyságrendű, fizikailag könnyen kiszűrhető darabos és szálás szennyezések visszatartását végzi. A szűrő a bevezető cső végéhez, az ülepítőegységbe kerül. Az ülepítőben a gravitációsan könnyen kiülepíthető, jobbra szerves iszap ülepedik ki, illetve a felúszó anyagok maradnak vissza. A következő eleveniszapos reaktorba a szennyvíz gravitációsan folyik át. Működési elve szerint lehet konvencionális, lebegőágyas, fixágyas reaktor is. A szennyvíz-biomassza elegy levegőztetéséhez fúvót alkalmaznak, a sűrített levegőt a membránlevegőztető finombuborékosan juttatja be. A következő egység a membránszűrő tér, amelybe a szennyvíz-biomassza szintén gravitációsan folyik át. A membránszűrő térbe kerül(nek) a szennyvíz és biomassza szétválasztását végző be-merülő membrán szűrőegység(ek). A szűrőfelületen maradó és arról folyamatosan leváló biomassza visszamarad a reaktortérben, így a hagyományos eleveniszapos technológiákhoz képest lényegesen nagyobb – többnyire 8–12 g/l-es – eleveniszap-koncentráció alakul ki, ami a nitrifikációhoz, illetve megfelelő reaktorkonfiguráció esetén a denitrifikációhoz is kedvező.

A membránokat a pórusméretük alapján mikro-, ultra-, nanoszűrő, illetve a fordított ozmózis kategóriába soroljuk. Az eleveniszapos biológiai tisztításnál az ultraszűrő membránok alkalmazhatók, amelyek alkalmasak a szennyvízben lévő anyagok széles spektrumának kiszűrésére.

A mikro- és ultraszűrők pórustartományja kb. 0,1 és 5 μm között helyezkedik el, ami nemcsak a pelyhes szerkezetű eleveniszap szűrését, de a baktériumok és vírusok jó hatásfokú leválasztását is lehetővé teszi. A szeparáció megfelelőségét alapvetően a névleges pórusméret határozza meg, de a folyamatos üzem alatt a membránfelületen kialakul az eleveniszapból egy időben – a kvázi folyamatos membrántisztítás miatt – dinamikusan változó nagyságú, de nagyon vékony lepényréteg (fouling), ami a szűrés hatásfokát javítja.

A membrán kialakítása nemcsak a szeparáció szempontjából érdekes, de a membránon átjutó folyadékmennyiség (fluxus) és a membrán működését biztosító energiafelhasználás szempontjából is. Az energiaigény a membrán két oldala – az eleveniszap-koncentrátum és a szűrlet, avagy permeátum közti nyomás különbségétől, a transzmembránnyomástól függ. A mikro- és ultraszűrők esetében a szükséges működtető nyomás elvileg 0,1 és 10 bar között van, de az eleveniszap-szeparációnál az alkalmazott fluxus az alsó érték közelében van.



3.18. ábra

Membrán bioreaktoros kisberendezés (saját szerkesztés)

A membránok geometriailag szál- vagy síkmembránok. A kisberendezéseknél a legtöbb gyártó a síkmembránokat preferálja. A membránlapokat függőlegesen építik össze, közöttük 2–6 mm távolságot tartva. Az összeépített membránlapok képeznek egy szűrőmodult, amely lábakra állítva merül be az eleveniszapos reaktorba. A szennyvíz-eleveniszap elegy a modulban a lapok között alulról felfelé áramlik át. A szennyvíz a szűrőlapokban kívülről befelé áramlik. A membránlapon belül fekvő permeátumcsatornából a szűrt szennyvíz egy modult körbefogó gyűjtőcsatornába kerül, ahonnan szivattyú szívja el, vagy a membránreaktor vízszintje és a gyűjtőcső vége közti hidrosztatikus nyomáskülönbség hatására kerül a permeátumgyűjtő térbe.

A membrán felületén a biomasszából gyorsan kialakul egy vékony, a membrán fluxusát csökkentő lepényréteg. A membrán permeát teljesítményét folyamatos és intenzív levegőbefúvással lehet fenntartani. A befúvott levegőbuborékok feláramlás közben a szennyvíz-eleveniszap elegyet is áramlásban tartják, a membránfelületet a turbulencia folyamatosan tisztítja, szálmembránok esetében pedig a membránszálak hullámzó mozgást is végeznek, ami a membrán tisztulását segíti.



3.19. ábra

Membránmodul (Huber-katalógus)

Az átmenetileg az eleveniszapos reaktorban tárolódó eleveniszap-szaporulatot itt is időnként el kell venni. A fölősiszap visszavezethető a mechanikai előkezelőbe.

A tisztított szennyvíz BOI_5 -, KOI -koncentrációja jóval a jogszabályok előírta határértékek alatt maradhat, és mikrobiológiailag érzékeny felszíni víz befogadóba is vezethető vagy újrahasznosítható. A mikrobiális szennyezettség mértékét jelző összes coliformszám csökkenésével jellemezhető a membránszűrők mikrobiológiai hatékonysága. A pórusmérettől függően a coliformcsökkenés 5–10 nagyságrendű, a hatékonysága különösen az alkalmazott membrán pórusméretétől függ.

A membránszűrők összes coliformeltávolító képessége a befogadóra megállapítható terhelhetőségtől vagy a tisztított szennyvíz felhasználási céljától függően minősíthető. A felszíni vizeknél vagy az összes coliformszámot, vagy az *E. coli* számot vizsgálják az igénybevétel céljától függően. Felszíni víz befogadó esetén, ha azt fürdőzés céljára használják, a 2006/7/EK fürdővíz irányelvben, illetve az ennek megfelelő kormányrendeletben foglalt minőségi követelmények tekinthetők irányadónak.

3.8. táblázat

A természetes fürdővíz vízminőségi követelményei (saját szerkesztés)

Paraméter	Kiváló minőség	Jó minőség	Tűrhető minőség
Fekális <i>Enterococcus</i> (100 ml-ben)	200 ^I	400 ^I	330 ^{II}
<i>Escherichia coli</i> (100 ml-ben)	500 ^I	1000 ^I	900 ^{II}

Megjegyzés: ^I 95-percentilis, ^{II} 90-percentilis

Szennyvíztavak

Természetközeli szennyvíztisztítás alatt olyan biológiai jellegű szennyvíztisztítást értünk, amelynek során a talajhoz, szemcsés összlethez, növények gyökerének felületéhez kötődő mikroorganizmusok végzik a biológiai (akár aerob, akár anaerob) tisztítást, továbbá idesorolhatók még a tavas szennyvíztisztítási megoldások is. A tavas szennyvíztisztítás a hazai viszonyok között a 2000 lakosegyenérték alatti agglomerációknál szóba jöhető megoldás.

A tavas szennyvíztisztítók típusai:

- ülepítőtó,
- levegőztetés nélküli szennyvíztó,
- levegőztetett szennyvíztó,
- szépítő tó.

Az ülepítő szennyvíztavak a levegőztetett vagy levegőztetés nélküli szennyvíztavak előtt alkalmazott tó a nyers szennyvíz ülepíthető anyagainak kiülepítésére. A levegőztetés nélküli szennyvíztavakat fakultatív, illetve természetes levegőzésű tavaknak is nevezik, mert csak a vízfelszín irányából juthat be levegő. Elvileg alkalmasak a szerves anyagok biológiai bontására is. A felszínközeli vízrétegben aerob és anaerob mikroorganizmusok, a fenék közelében túlnyomórészt anaerob mikroorganizmusok végzik a szennyvíz tisztítását. Az oxigénbevitel és a fotoszintézis természetes úton a vízfelszínen keresztül megy végbe, az átkeveredést a szél és a hőmérsékleti rétegződés válthatja ki.

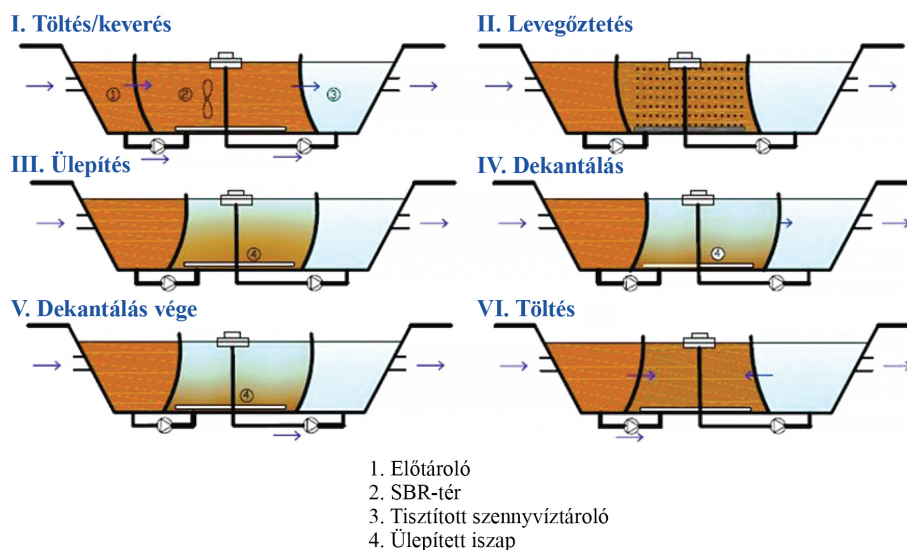
A levegőztetett szennyvíztavak elvileg a nyers, de célszerűbben a mechanikailag tisztított, ülepített szennyvíz biológiai tisztítására alkalmas létesítmények. A szépítő tavak a biológiai szennyvíztisztítás utótisztító fokozataként alkalmazhatók. Decentralizált szennyvíztisztító létesítményekként gyakorlatilag a levegőztetett, illetve szépítő tavak alkalmazása jöhet szóba, az előzőek 50 LE felett, az utóbbiak 50 LE alatt is.

A szerves anyag lebontásában a víz-fenékiszap találkozási zónájában, a fenéken, illetve a rézsűkön megtelepedett, valamint a lebegő mikroorganizmusok vesznek részt. A levegőztetéssel a biológiai bontás jelentősen javítható a levegőztetés nélküli tavakhoz képest. A levegőztetés lehet vezérelt is, ezzel a tisztított szennyvíz minősége is szabályozható bizonyos mértékig.

A szennyvíztavakat szigetelni kell, amihez megfelel a legalább 30 cm vastag, jó vízzáró, legalább $\leq 10^{-9}$ m/s vízáteresztő képességű helyi talaj is. Ennek hiányában legegyszerűbben vastag (legalább 1 mm), UV- és gyökérálló fólia alkalmazható. A fóliaszigetelést finomszemcsés ágyazó rétegre vagy vastag szűrőszövetre kell fektetni. A szigetelő fóliát a vízszint felett, illetve a partélen a talajba kell rögzíteni.

A szennyvízbevezetés vízszint feletti, a partéltől lehetőleg távolabbra benyúló, hogy a bebukó víz átlegegőzhessen. A szennyvíz be- és elvezetését olyan ponton kell kialakítani, hogy rövidre zárás ne tudjon kialakulni, a vízcsere a tó minden részében minél egyenletesebb legyen. A szennyvízkivezetést úgy kell kialakítani, hogy a felszín alóli vízrétegből legyen a vízkivétel, a felszínen lévő uszadék ne úszhasson el, növényes felszínnél a kivezetés ne tömődhessen el. A vízkivétel után mintavételi helyet kell kialakítani.

A szennyvíztavak levegőztetett tavakká alakításának egyik lehetősége az állandó szintű SBR-technológia (Constant Waterlevel Sequencing Batch Reactor) kialakítása. A technológia az SBR technológiai megvalósítása szennyvíztóban. A technológia szerint az állandó vízszintű tavat függőlegesen beépített, úszókra rögzített fóliafüggönyök elótározóra, SBR-reaktorra és kiegyenlítő térre osztják. A szennyvízbevezetés nagyságától, illetve az egyes terek közti szivattyús töltés-ürítés vezérlésétől függően a fóliafüggönyök horizontálisan mozognak, és a különböző funkciójú terek nagysága változik, miközben a vízszint kvázi állandó marad mindegyik térben.



3.20. ábra

Állandó szintű SBR-technológia elvi megvalósítása levegőztetett szennyvíztóban (saját szerkesztés)

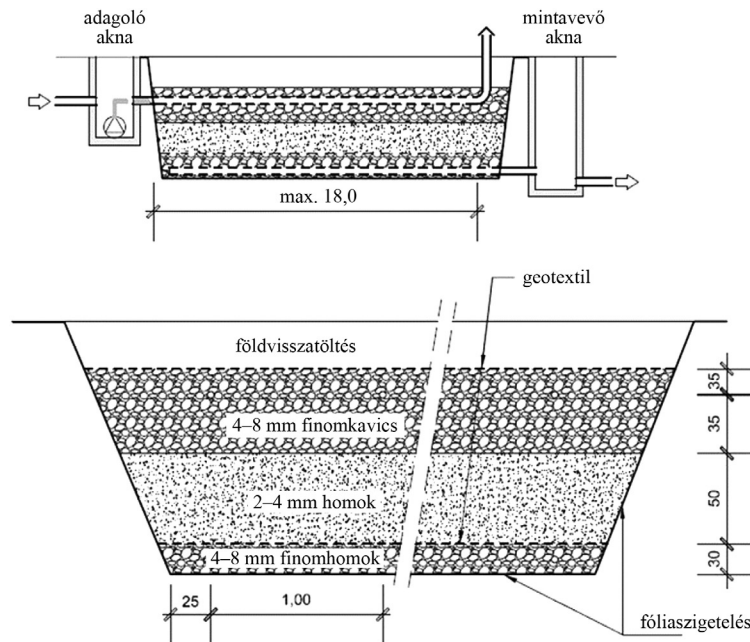
A szépítő tavak feladata a legalább biológiailag tisztított szennyvíz minőségének javítása. A várható minőségjavulás a megelőző fokozatokban nem eliminálható szerves anyagokat reprezentáló maradék BOI és KOI, a vízinövények által felvehető növényi tápanyagok és a zavarosságot okozó szűrhető lebegőanyagok csökkenésével jellemezhető.

A szépítő tó jó működéséhez elsősorban a növényi és állati mikroorganizmusok diverzitása, másodsorban kedvező térfogati és geometriai kialakítás szükséges, ami alatt azt kell érteni, hogy lehetőleg legyen nagy térfogatú és nagy felületű, a vízmélysége a fényviszonyoknak kedvezően kicsi legyen.

Homokszűrő mezők és árkok

Az oldómedencéből elfolyó, alapvetően mechanikailag tisztított, illetve anaerob úton biológiailag részlegesen tisztított szennyvíz befogadóba vezetéséhez, a felszíni víz vagy talaj, talajvíz minimális védelme érdekében szükség volt a szennyvíz lebegőanyag- és szervesanyag-tartalmának további csökkentésére, amihez a természetben a talajban történő átszivárgáshoz hasonló folyamatok gyorsítása és intenzívebbé tétele érdekében a talajba mesterségesen kialakított homokszűrőket építettek. A homokszűrőknek tulajdonképpen az anaerob fokozat után második aerob biológiai tisztítási funkciót is el kell látniuk a lebegőanyag csökkentése mellett. Oldómedence után alkalmazva biológiai tisztítást végző bioszűrő funkciót látnak el.

A környezet fokozottabb védelme érdekében, a legjobb elérhető technikák alkalmazása jegyében ma már biológiai tisztító rendszereket kell alkalmazni. Az ezekről elfolyó tisztított szennyvízben lévő maradék BOI, KOI és lebegőanyag koncentrációjának további csökkentéséhez ma is alkalmazhatók a már említett mesterséges, térszín alatti homokszűrők, amelyeknek most már nem második biológiai fokozatként kell működniük, hanem dedikált utótisztító feladataik vannak.



3.21. ábra

Homokszűrő mező (saját szerkesztés)

A drénárok lehet függőleges és rézsús kialakítású. A drénárok legkisebb felső szélessége 1,8 m, fenékszélessége 0,5 m. Az árkok hossza a jó szellőzés érdekében legfeljebb 18 m.

A dréncsövet úgy kell beépíteni, hogy a szennyvizet minél egyenletesebben ossza el az alatta lévő szikkasztóttestbe. Ezért a drénvezeték 2% körüli lejtéssel kell fektetni. A dréncső ajánlott mérete DN 100. Az egyenletes elosztás feltétele, hogy a szennyvizet úgy kell a szikkasztóra terhelni, hogy a csövet legalább negyedéig töltsse ki. Ez a feltétel akkor teljesíthető, ha a szennyvíz feladása szakaszos. A szakaszos feladás azért is célszerű, hogy a szikkasztóttest a szennyvízfeladások közti időben átlevégőzhessen. A szellőzéshez a dréncsövek végét a térszín fölé kell felhozni.

Egyes gyártók a szellőzőcső végére telepíthető széllal működő, tehát külön energiát nem igénylő ventilátorokat kínálnak.



3.22. ábra

Szélenergiával működtetett szellőztető ventilátor (saját szerkesztés az LKT katalógus alapján)

A szűrőárkok és -mezők kialakításához a változó hazai szabályozási dokumentumok szerinti tervezési adatokat a 3.9. táblázatban foglaltuk össze, kiegészítve a DIN-szabvány szerinti értékekkel.

3.9. táblázat

A szűrőárkok és -mezők tervezési adatai a különböző irányelvek szerint (saját szerkesztés)

	MSZ 15302:1962	OVHMI 146/1-71	ÉSZ 511-75	MI-10-127/9-84	MSZ 15287:2000	Német ajánlások
Homok-szűrő árok szélessége	–	1,20–1,50 m	–	–	1,20 m	0,5/1,8 m
Szűrőréteg vastagsága	–	0,65–0,70 m	–	0,55–1,0 m	0,75–1,0 m	1,0 m
Szemcse-méret	–	0,5–2 mm	–	1–3 mm	1–3 mm	4–8 mm (0,5 m) 2–4 mm (0,5 m)
Max. árokhossz	–	25 m	–	–	25 m	18 m

A szűrő rendszerek az aerob biológiai utótisztítás, a szűrőrétegek eltömődésének és anaerobrá válásának csökkentése érdekében szakaszos üzeműek. Ehhez adagolóakna készül, ami az előtisztított szennyvizet szakaszosan vezeti a szikkasztó-szűrő egységre. Az adagolást a műtárgyba telepített szivattyú, esetleg szifon vagy billenővályú végzi. Ma a legkisebb karbantartási igényű, megbízható üzemű megoldás a szivattyús feladás.

Növényágyas, gyökérzónás szennyvíztisztítók

A növényágyas, gyökérzónás tisztító természetes anyagú bioszűrő, mikro és makro élő szervezeteket, esetenként növényeket és napfényt is igénybe vevő szennyvíztisztítási eljárás, amely a természet öntisztulási folyamataira alapoz a szennyező anyagok lebontásához szükséges oxigén mesterséges bevitele nélkül.

A növényes szennyvíztisztítók a természetközeli szennyvíztisztítók közé tartoznak. A természetközeli tisztítás két fő jellemzője, hogy szemcsés közegben átszivárgás közben, a növények, illetve gyökérrendszerük által is meghatározó módon megy végbe a szennyvízben lévő szennyező anyagok nagy részének lebontása.

A mesterséges kialakítású növényes szennyvíztisztítókat három csoportba lehet sorolni:

- Horizontális átfolyású, amikor a szennyvíz a növényágy felszíne alatt hosszirányban áramlik a bevezetés és a kivezetés között.
- Függőleges átfolyású, amikor a növényágy felszínére elosztva vezetik a szennyvizet, ami a gyökérzónán függőlegesen áramlik át, és az átszivárgott szennyvizet a növényágy fenék-részen összegyűjtve vezetik ki.
- Idesorolhatók még az elárasztott, tehát szabad vízfelszínű rendszerek is.

Ezen főbb megoldások még különbözhetnek egymástól a növényágy geometriai kialakításában, az alkalmazott szemcsés anyagokban, a telepített növények összetételében és üzem módjukban (például szakaszos elárasztás, töltő-ürítő üzem) is.

A növényágyas rendszereket legalább jó hatásfokú mechanikai és részbiológiai tisztítás után célszerű alkalmazni. Jó működésük alapfeltétele a kolmatáció elkerülése érdekében az alacsony lebegőanyag-tartalmú szennyvíz rávezetése. Biológiai szennyvíztisztító után, utótisztítóként jól működtethető. Mechanikai előkezelés nélküli tisztítóként a növényágyas rendszerek nem ajánlhatók, de számos példát látunk arra, hogy mechanikai előkezelés után biológiai tisztítónak alkalmazzák őket.

A vízszintes áramlású rendszerek alkalmasak az oldott szerves anyagok lebontása mellett nitrifikációra is. Táplálásuk lehet folyamatos is, ám ha lehetséges, célszerű a szakaszos szennyvízrávezetés.

A növényágyas szűrőket alulról és oldalt szigetelten kell kialakítani. A szigetelési munkákhoz előnyös a rézsús falú medence. A szigetelés bevált módja az UV-álló, legalább 1 mm vastag, az át-szűrődés ellen kellő mechanikai ellenállású fólia. Kedvező, ha a fóliaszigetelés széles tekercsből, illesztésmentesen készíthető el. Keskeny fóliatekercseknél a gyártó előírása szerinti átlapolással, gondosan kell a hegesztést elkészíteni. A fóliát a rézsúkon az ágy felett 20–30 cm-rel kell a környező talajba bekötni, sérülés ellen földdel takarni. A szigetelés készíthető ásványi szigetelőanyagokból is. A szigeteléstől legfeljebb akkor lehet eltekinteni, ha a telepítés helyén a talaj legalább 1 m vastagságban igazoltan 10^{-8} m/s-nál kisebb vízáteresztő képességű. A szigetelés megfelelőségét víztartási próbával kell igazolni. Külön szigetelésre nincs szükség, ha a növényágy előregyártott műanyag tartályba kerül, ami néhány lakosegyenértéknyi szennyvízmennyiség mellett jól alkalmazható.

A vízszintes átfolyású növényágyas tisztítóknál a növényágy egyik oldalánál alakítanak ki bevezető-elosztó részt, többnyire durva szemcsés anyagból, elosztó drénnel vagy anélkül. Az ágy átellenes oldalán a tisztított szennyvizet drénezett kavics gyűjtőtest szedi össze, és vezeti ki a mintavételi aknába, majd a tisztított szennyvíz talajba szikkasztható vagy felszíni vízbe vezethető.

A növényágy hasznos töltésének hosszát 3–6 m között célszerű megválasztani. A növényágyas tisztítókban legalább 50 cm vastagságú, hatékony biológiai tisztítást nyújtó szűrőrétegre van szükség. A 0,5–1,0 m vastagságú rétegbe megfelelő a szűk szemcseméret tartományú, finom kavics vagy közepes szemcseméretű, mosott homok. A szűrőtest legyen jó vízáteresztő képességű, megfelelőnek tekinthető, ha szivárgási tényezője 10^{-3} – 10^{-4} m/s között van. A szűrőréteg megfelelően alakítható ki 1–4 mm közötti homokból, 4–16 mm közötti kavicsból, ha mindegyik frakciónál, az $U = d_{60} / d_{10}$ egyenlőtlenségi együttható 5-nél kisebb. Beépítés előtt a szemeloszlás a geotechnikában alkalmazott szítálási vizsgálatral ellenőrizendő.

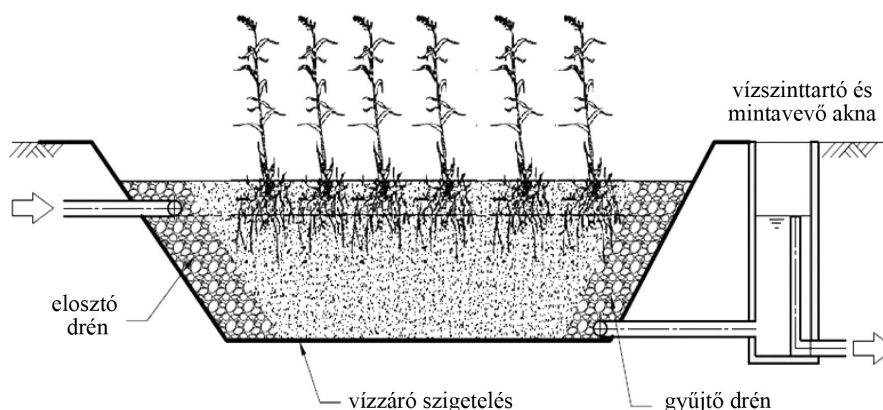
A vízszintes áramlású, vízszintesen két- vagy többretegű növényágyas szűrőknél az áramlási irányban alakíthatók ki a rétegek, a szennyvízelosztó kavicsrétegtől indulva először a kavicsfrakcióból, majd az elvezető-gyűjtő réteg előtt homokból.

A vízszintes átfolyású növényágyaknál a tisztított szennyvizet a legalább 1:3 oldalarányú szűrőágy teljes szélességében kialakított kavicsréteggel kell szétosztani. A nyújtott téglalap alaprajz kedvezőbb az egyenletesebb átáramlás, a rövidere zárás kialakulása ellen.

A vízszintes átfolyású növényágyaknál a tisztított szennyvizet a szűrőágy teljes szélességében kialakított, kavics (például 32/64 mm) gyűjtőréteggel kell összegyűjteni és dréncsővel kivezetni.

A vízszintes átfolyású növényágyak esetében a fenéken 20 cm vastag drénrétegbe kell fektetni hossz-, illetve keresztirányban a réselt gyűjtőcsöveket. Az elvezető rendszernek alkalmasnak kell lennie a fölötte lévő szűrőrétegből a szennyvíz maradéktalan elvezetésére, visszaduzzasztás nem alakulhat ki.

A függőleges átáramlású növényágyaknál a szűrőágyat a vízelosztó rendszertől a gyűjtő drénrendszerig hasonló elvek alapján kell kialakítani, hogy a szűrőtestben ne alakulhasson ki pangás, a szűrő le tudjon ürülni.



3.23. ábra

Vízszintes áramlású növényágyas rendszer (saját szerkesztés)

A függőleges átáramlású növényágyakat vagy kisebb mennyiségekkel szakaszosan kell táplálni, vagy ha teljes elárasztású a rendszer, kellő időt kell biztosítani a leürítés utáni átlevégőzéséhez. A rendszerrel a nitrifikáció megvalósítása még nyári időszakban is nehezebb, denitrifikációra a növényágyban kialakuló környezet kevésbé alkalmas.

A növényágyat szakaszos üzem mellett egyenletesen elosztva kell a szennyvízzel terhelni. A tápláló rendszer a töltettest felszíne közelében fektetett elosztó drénrendszer. Az elvezető rendszer az ágy alatt a fenékre fektetett dréncsöves gyűjtőhálózat.

A drénrendszert a táplálással, illetve elvezetéssel átellenes végén függőleges szellőzőcsővel kell kialakítani, hogy a szemcsés anyagú szűrőben természetes légsere alakulhasson ki.

A vízszintes áramlású növényágyas szűrőknél a bevezetést a téli befagyástól védetten kell kialakítani, egyszerű felszíni elosztócsatorna alkalmazása nem célszerű. A legalább 8–10 mm-es réseltségű dréncsövet a durva szemcsés elosztó kavicságyba kell fektetni.

A függőleges átáramlású növényágyas szűrőknél a felszín közelébe fektetett réselt elosztó csöveket több hossz-, illetve keresztirányú ággal alakítják ki úgy, hogy egy kilépő nyílásra ne jusson 5 m²-nél nagyobb ágyfelület. A függőleges átáramlású növényágyas szűrőt szakaszosan, nagy szennyvízadagokkal kell táplálni.

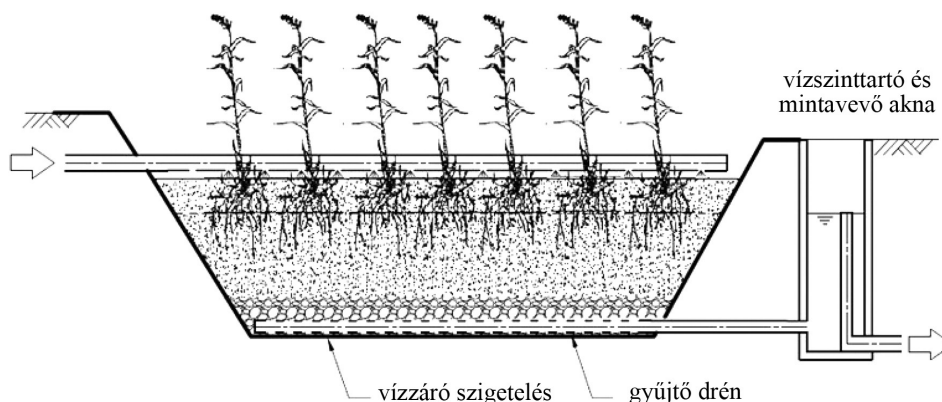
A növényágyak szakaszos, lökészerű táplálásához jó megoldás az adagolóakna (szivattyús, szifonos). Szivattyús feladás esetén a szivattyú szintvezérelt. A szivattyú meghibásodásának jelzéséhez a bevezető csatorna visszaduzzasztási szintje alatt további szintkapcsoló is beépítendő. Ha lehetséges, az adagolóaknát túlfolyóval, és a túlfolyó szennyvizet befogadó véstárolóval is el lehet látni (nagyobb tisztítónál). A szivattyú nyomócsövét emelkedő magassági vonalvezetéssel kell kialakítani, és a nyomócsövön nem lehet visszaáramlást gátló szerelvény, hogy a szivattyú leállása után a vezeték visszaürülhessen az adagolóaknába (fagyvédelem).

A növényágyból kivezető csőre mintavevő aknát kell telepíteni. A mintavevő aknába a mintavételezéshez a cső legalább 10 cm-rel a fenék felett csatlakozzon be. A nagyobb létesítményeknél célszerű lehet az aknát vízhozam mérésére is alkalmasan kialakítani.

A szűrőágy növényegyütteséhez a vizes élőhelyeket kedvelő, rizómás és gyökerüket mélyre eresztő helofita növények a legalkalmasabbak. A növények nagy gyökérzetükkel, hajszálgyökereikkel akár nagyobb mélységig (~1 m) átszöve a szűrőtestet, képesek a szennyvizet tisztítani.

A biológiai alapú tisztítást a gyökérzetén élő mikroorganizmusok végzik. Az alpnövényzet közönséges nádból (*Phragmites australis*) telepíthető. A közönséges nád mellett más kiegészítő növények is előnyösek: sárga nőszirm (*Iris pseudacorus*), széleslevelű gyékény vagy bodnározó gyékény (*Typha latifolia*), vízi menta (*Mentha aquatica*), békaszittyó (*Juncus effusus*) stb.

A szervesanyag-eltávolítás mérsékelt BOI- (vagy KOI-) terhelés esetén jó hatásfokú. A foszfor-eltávolítás a növényágyas rendszerekben adszorpció útján is végbemehet. A rendszerek mikrobiológiai hatékonysága jó, a coliformok egy-két nagyságrenddel csökkennek, többfokozatú rendszerekben ennél is nagyobb mértékű csökkenés is várható.



3.24. ábra

Függőleges átláramlású növényágyas tisztító (saját szerkesztés)

Fertőtlenítés

Ha a szennyvíztisztítási technológiának nemcsak a szervesanyag-eltávolításra, nitrifikációra, denitrifikációra kell alkalmasnak lennie, hanem a felszíni víz befogadó vízminőségi viszonyai miatt a tisztított szennyvíznek vízhygiénés követelményeknek is meg kell felelnie, a szennyvíz fertőtlenítési igénye is felmerülhet.

Fertőtlenítésre, illetve a tisztított szennyvíz fertőzőképességének csökkentésére akkor lehet szükség, ha a szennyvíz fertőzőképesség szempontjából kritikus (az egészségügyi intézményekben keletkező kifejezetten fertőzőképes szennyvizek), ha a befogadó fürdésre alkalmas vízfolyás vagy állóvíz, illetve ivóvíz kivételére igénybe vett, továbbá ha a tisztított szennyvizet hasznosítani kívánják, például használati vízként vagy öntözésre.

Mechanikai-biológiai tisztítás után is – felszíni víz befogadó esetén – még mindig nagy számban fordulhatnak elő releváns mikroorganizmusok. A fekális szennyezést jelző coliformok még mindig akár 10^4 – 10^6 telepképző egység/100 mL nagyságrendben fordulhatnak elő, amelyek a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről szóló jogszabály szerinti határértéket meghaladják.

Különböző szakirodalmi adatok alapján az egyes kis szennyvíztisztító rendszerek tisztított szennyvizében előforduló *E. coli* baktériumok számát telepképző egység/100 mL mértékegységben kifejezve a 3.10. táblázatban foglaltuk össze.

3.10. táblázat

E. coli baktériumok száma (telepképző egység/100 mL mértékegységben kifejezve) (saját szerkesztés)

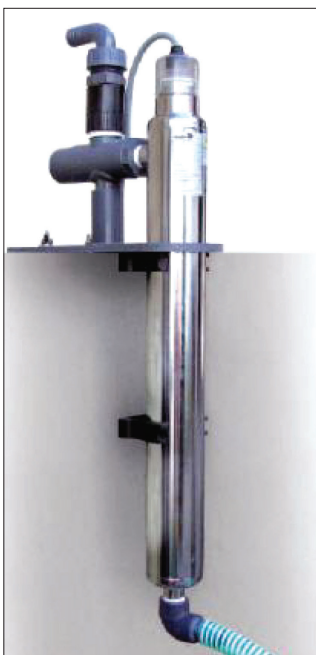
Szennyvíztisztító	<i>E. coli</i> baktérium (TKE/100 ml)
Függőleges átfolyású növényágyas	30 – >4000
SBR	>20000 – > 30000
Rögzített ágyas	>10000 – > 30000
Csepegtetőtest	> 30000
Membrán biológia	< 100
Szépítő tó	0 – > 4000

Megjegyzés: Ahol a > jel szerepel, a szám pontos számlálás hiányában becsült érték.

A szennyvízben lévő patogének eltávolítására a különböző technológiák eltérő mértékben alkalmasak. A művi szennyvíztisztítók a membrántechnológiájuk kivételével, amelyeknél a hatásfok akár a 99,9%-ot is elérheti, fekális baktériumok eltávolítására szerény mértékben alkalmasak. A jól működő növényágyas szennyvíztisztítók viszont a coliformok visszatartásában jól teljesítenek.

Amennyiben szükséges, a tisztított szennyvíz fertőtlenítésére különböző módszerek alkalmazhatók. A kémiai szerek közül a kisberendezések esetében a nátrium-hipokloritos, a klórmeszes fertőtlenítés jön szóba. Alkalmazásukra jellemzően csak eseti módon kerül sor.

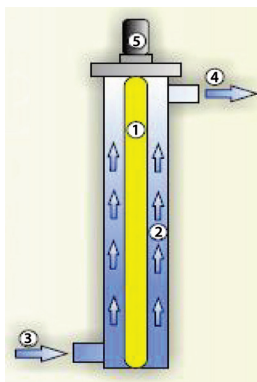
A fizikai elven működő fertőtlenítők közül az UV-fényt használó berendezések jöhetnek szóba a kisberendezések esetében. Az UV-berendezések alkalmasak a szennyvíz folyamatos fertőtlenítésére, így különösen védendő felszíni vizekbe vezetésnél lehet indokolt alkalmazásuk, emellett a klóros fertőtlenítőszer maradványai sem terhelik a befogadót.



3.25. ábra

UV-fertőtlenítő (Lausitzer-katalógus)

A biológiailag is tisztított szennyvizet 254 nm hullámhosszon működő UV-lámpás berendezésen keresztülvezetik. Az alkalmazott UV-lámpák általában kisnyomású UV-sugárzók. Amennyiben a szennyvízkibocsátás szakaszos (például az SBR-berendezésnél), az UV-fertőtlenítőt is szakaszosan célszerű üzemeltetni a költségmegtakarítás miatt. Egyéb esetekben is célszerű a fertőtlenítendő vizet közbenső tárolóból feladni az UV-egységre, hogy egyenletesen, a névleges térfogatáramának megfelelő mértékben legyen terhelve, és a besugárzás is kedvező intenzitású legyen. Az UV-lámpa a bekapcsolás után néhány perccel éri el a névleges teljesítményét, ezért a szivattyús feladásnak 4–5 perces késleltetéssel kell indulnia. Az UV-berendezés kifejezetten érzékeny a tisztított szennyvíz zavarosságára, ezért az UV-fertőtlenítő előtt mechanikai szűrőt indokolt a csővezetékbe építeni, és azt értelemszerűen néhány zavarosságmérésen alapulóan, tapasztalat szerinti gyakorisággal tisztítani.



3.26. ábra

UV-fertőtlenítő felépítése (Lausitzer-katalógus)

Jelmagyarázat: 1. UV-lámpa; 2. Besugárzó tér; 3. Szennyvízbevezetés; 4. Fertőtlenített szennyvíz; 5. UV-ház elektromos csatlakozással

A szennyvíztisztító kisberendezések méretezésének sajátos aspektusai

A szennyvíztisztító kisberendezések méretezésénél, a méretezési alapadatok meghatározásánál a szokásos települési szennyvíztisztító telepeknél alkalmazott módszerektől el kell térni, részben a kibocsátások mennyiségi jellemzői, különösen időbeli ingadozásuk miatt, valamint minőségi sajátosságaik és szennyezőanyag-terheléseik okán.

Abban az esetben, ha a víztakarékossági szempontokat, vízújrahasználatokat is figyelembe kell venni, a szennyvizek szokásos minőségi felosztása mellett új minőségi kategóriákra is ki kell térni. Ezek azok a szennyvízféleségek, amelyek kizárólag ingatlanon vagy létesítményen belül keletkezhetnek és értelmezhetők.

Sárga szennyvíz alatt a vizeletet, illetve az öblítővízzel kevert vizeletet, barna szennyvíz alatt a fekáliát, illetve fekáliát és öblítővizet értjük. A sárga és a barna szennyvíz együtt a fekete szennyvíz, ami a szokásos WC-típusok használatából ered. Szürke szennyvíz alatt a háztartásokban keletkező, fekete szennyvizet nem tartalmazó szennyvizet értjük, azaz a fürdésből, mosásból, takarításból és konyahasználatból származó szennyvizeket. Megjegyzendő, hogy szürke szennyvíz hasznosítási igénye esetén célszerű a szürke szennyvíz fogalmából kizárni a konyhai szennyvizeket azok zsír-, olaj- stb. tartalma miatt, ami az újrahasználat esetén különösen zavaró.

A szennyvizek mennyisége, mértékadó értéke

A kisberendezések legnagyobb számban lakóingatlanokon fordulnak elő. Az egyedi szennyvízkezelő és -elhelyező létesítményekkel ellátandó települések vagy településrészek lakosságát a csatornázási agglomerációs vizsgálatok, tanulmányok stb. esetében kell számba venni.

A települések népességszám szerinti besorolása országonként eltérő lehet, például az ENSZ kategorizálása szerint 20 ezer fő felett beszélhetünk városról, Dániában ugyanakkor az alsó határ 250 fő.

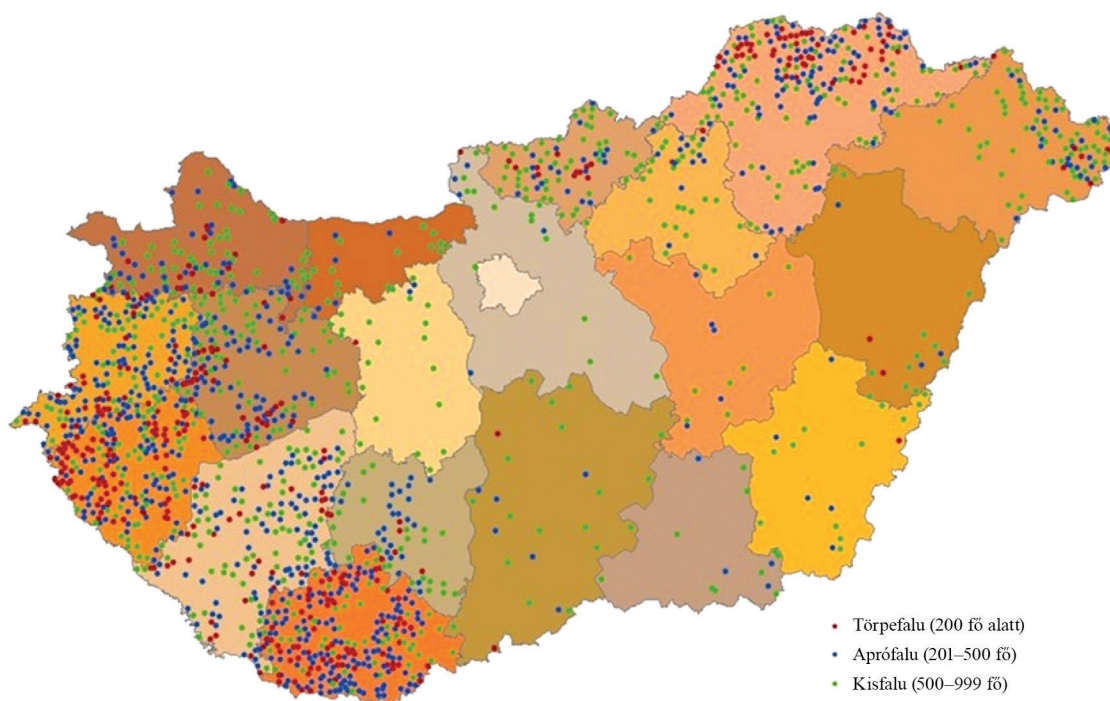
Magyarországon a települések besorolása a népességszám alapján:

- nagyváros: 100 ezer felett
- középváros: 20 ezer – 100 ezer
- kisváros: 5000 – 20 ezer között
- község: 5000 alatt

A legkisebb települések szofisztikáltabb besorolása:

- kistelepülés: 500–1000
- aprófalú: 500 fő alatt
- törpefalú: 200 fő alatt

Magyarországon a teljes lakosság 25%-a él apró- és kistelepüléseken. A 2010-es adatok szerint 178 fő élt törpefaluban.



3.27. ábra

Kistelepülések, apró- és törpefalvak Magyarországon (2011) (Horváth Balázs, VÁTI Nonprofit Kft, terport.hu)

A településenkénti lakosságot és az ingatlanenkénti népességszámot meghatározó tényezők közül csak az alábbiakat említjük: életkor (Magyarország lakossága elöregedő), foglalkoztatottság (nagy azon települések száma, amelyek már sem urbánus, sem mezőgazdasági jellegűnek nem nevezhetők). A figyelembe vehető lakásonkénti kibocsátók a nagy falvak és kisvárosok esetében településtípusonként a 3.11. táblázatban vázoltak szerint alakulnak.

3.11. táblázat

Lakásonkénti ivóvízfogyasztások településtípusonként (MAVÍZ) (saját szerkesztés)

Település típusa	Fajlagos lakosság [fő/ingatlan]	Fajlagos fogyasztás [l/fő.d]
Nagy falvak	4–3,1	90–130
	3,1–2,7	80–110
	2,7–2,2	70–90
Kisvárosok	3,5–3,1	110–140
	3,1–2,7	90–130
	2,7–2,2	80–110

A kis lakosságú falvak esetében az ingatlanenkénti átlagos lakosság 2,5 fő körül alakul, és többnyire stagnáló, a legkisebb települések esetében inkább fogyó jelleg várható.

A lakóingatlant mint individuális szennyvízkibocsátó egységet vizsgálva figyelembe kell venni a konkrét hely társadalmi, gazdasági körülményeit, de azt is szem előtt kell tartani, hogy egy közműpótló kisberendezés telepítése hosszú távú beruházás, és az ingatlanon vagy ingatlancsoporton fekvő lakóépület(ek) állapotán, pillanatnyi lakottsági helyzetén túlmutató döntést kell hozni. Amennyiben minden egyéb szempont vizsgálata a lakóingatlanhoz szennyvíztisztító kisberendezés létesítését indokolja, ajánlott a 60 m² alapterületű lakóegységenként legalább 2 fővel, felette legalább 4 fővel számolni. Ezzel ellentétes ajánlást tett a MASZESZ arra hivatkozva, hogy csökkenő népességű településen 2 fő időskorú esetén jelentős lenne a túlméretezés, ami a zömében nyugdíjas korú lakos(oka)t feleslegesen nagy beruházási és üzemeltetési költséggel terhelné. Ezzel szemben ellenérvként felhozható még, hogy a gyártók kínálati palettáján a legkisebb berendezések kapacitása 4 LE, és nem valószínű, hogy ennél kisebb méretek gyártására is fel szeretnének szerelni a kellő nagyságú piaci igény hiányában.

Az individuális lakóegységek szennyvízkibocsátásainak legbiztosabb meghatározási módja, ha a tényleges vízfogyasztási adatok rendelkezésre állnak. A módszer közműves vízellátás esetén a múltbeli mért adatok statisztikai vizsgálatán alapul. A közüzemi vízszolgáltatók vízfogyasztási adatai sporadikusak, ma már sok szolgáltató csak évi egyszer végez vízmérő-leolvasást. Ebből viszont a vízellátásban alkalmazott egyenlőtlen tényezők alkalmazásával jól becsülhető a kisberendezésekre is mértékadónak tekinthető legnagyobb napi fogyasztás, illetve szennyvízkibocsátás. Amennyiben az ingatlan saját vízellátással rendelkezik, vagy vízellátása is csak a jövőben valósul meg, lehetséges a szintén vízellátásban alkalmazott elemi és összesített fogyasztási normaértékekkel vagy az épületgépészeti vízellátás tervezésénél alkalmazott, az ingatlanhasználat jellegétől függő összesített fogyasztásértékekkel, illetve a csapolóberendezések számát és egyidejű használatát becsülő módszerekkel becsülni a várható szennyvízkibocsátásokat.

A kis csoportos szennyvízkibocsátók mértékadó kibocsátásait tradicionálisan az épületgépészetben alkalmazott módszerekkel, a szaniterek számának, fajlagos kibocsátásainak és használatuk egyidejűségének figyelembevételével lehet számítani. Egy másik módszer szerint a különböző rendeltetésű építmények kibocsátóegységeinek számából (fő, vendég stb.) és a hozzájuk rendelt fajlagos kibocsátás számából, valamint az építmény rendeltetésétől függő tényezővel lehet számolni.

A mértékadó csúcshozam (Q_m) az EN 12056 szabvány szerint az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$Q_m = K \cdot \sqrt{\sum DU} \quad \text{l/s}$$

ahol

K lefolyási szám l/s

DU a szóban forgó szakaszra kötött berendezési tárgyak csatlakozási értékeinek az összege

A fontosabb létesítményekre, a szaniterekre az EN 12056 szabvány fajlagos értékeket tartalmaz.

3.12. táblázat

Szaniterberendezések jellemző adatai (saját szerkesztés)

Szennyvízlebocsátó szaniter	DU
Mosdó	0,5
Bidé	0,5
Zuhany leeresztőszelep nélkül	0,6
Zuhany leeresztőszeleppel	0,8
Vizelde öblítőtartállyal	0,8
Vizelde nyomóöblítővel	0,5
Álló vizelde (vizeldefal)	0,2
Fürdőkád	0,8
Konyhai mosogató	0,8
Háztartási mosógép	0,8
Mosógép (max. 6 kg töltet)	0,8
Mosógép (6–12 kg töltet)	1,5
WC 4 literes öblítőtartállyal	nem alkalmazható
WC 6 literes öblítőtartállyal	2,0
WC 7,5 literes öblítőtartállyal	2,0
WC 9 literes öblítőtartállyal	2,5
Padlóösszefolyó DN 50	0,8
Padlóösszefolyó DN 70	1,5
Padlóösszefolyó DN 100	2,0

Megjegyzés: a korábbi visszavont magyar szabvány (MSZ 04-134) szerinti számítási módszer lakóépületek esetében nagyobb (~15%-kal) értéket ad.

A British Water égisze alatt több környezetvédelmi szervezet közösen tett közzé a BOI-ra és ammónium-N-re fajlagos szennyezőanyag-kibocsátási értékeket kis szennyvíztisztítók, zsebtelepek (max. 1000 LE) terhelésének számításához. Ezek az értékek hazai vizsgálatok hiányában orientáló jelleggel kezelendők.

3.13. táblázat

Lakások és egyéb közösségi szennyvízkibocsátások fajlagos értékei (saját szerkesztés)

Kibocsátó	BOI [g/fő vagy tevékenység.d]	NH ₄ -N [g/fő vagy tevékenység.d]	Szennyvízkibocsátás [L/fő vagy tevékenység.d]
Lakások			
Lakos	60	8	200
Lakókocsi teljes komforttal	75	8	180
Üzemi létesítmények			
Szolgáltató/ipar konyha nélkül	25	5	50
Szolgáltató/ipar konyhával	38	5	100
Iparterület (például épülő) konyha nélkül	25	5	60
Személyzet teljes munkaidős (8 h)	38	5	90
Személyzet fél munkaidős (4 h)	25	3	45
Oktatási intézmények			
– nem bentlakásos, konyhával	38	5	90
– nem bentlakásos, konyha nélkül	25	5	50
bentlakásos iskola			
– diák	75	10	200
– személyzet	38	5	90
Vendéglátás			
Szállodavendég (luxusszálloda)	105	12	300
Szállodavendég (3 v. 4 csillagos)	94	10	250
Vendég (étkeztetés nélkül)	50	6	80
Konferencialétesítmény vendége (full service)	150	15	350
Konferencialétesítmény vendége (elhelyezés nélkül)	25	2,5	60
Italbolt, söröző stb.	15	5	12
Nyarálóhely faházakkal	94	10	227
Bentlakó személyzet	75	10	180
Étterem			
– luxuskategória	38	4	30
– melegítőkonyhas	30	2,5	25
– snack bar ételekkel	19	2,5	15
– különterem büféellátással	19	2,5	15
– gyorsétterem (például út mellett)	12	2,5	12
– gyorsétteremlánc (burger stb.)	15	4	12
Kollégium (csak elhelyezéssel)	56	5	100
Rekreációs létesítmények			
WC-blokk (használatonként)	12	2,5	10
WC (használatonként)	12	2,5	10
Piszoár (használatonként)	12	2,5	5
WC-blokk egynapos parkolóban/ kamionparkolóban	19	4	10
Tusoló (használatonként)	19	2	40

Kibocsátó	BOI [g/fő vagy tevékenység.d]	NH ₄ -N [g/fő vagy tevékenység.d]	Szennyvízkibocsátás [L/fő vagy tevékenység.d]
Golfklub	19	5	20
Helyi sportegyesület (például fallabda, futball)	25	6	40
Uszoda	12	2,5	10
Sportklub/centrum	19	4	50
Kemping sátrakkal	44	8	75
Lakókocsi-terület			
– alkalmi betérő egyéb szolgáltatások nélkül	44	8	100
– állandó használó egyéb szolgáltatások nélkül	44	8	100
– állandó használó (full service)	75	8	180
Kórházak, szanatóriumok			
Időotthon, ápolási otthon	110	13	350
Kis kórház	140	n.a.	450

3.14. táblázat

Egyéb kibocsátótípusok fajlagos LE-számai német adatok szerint (saját szerkesztés)

Kibocsátó	Egység	LE-szám
Iskola	diákonként	0,2
– tusolókkal	diákonként	0,1
Fürdők	látogatónként	0,15–0,3
Mozi, sportpálya	helyenként	0,05
Étterem, vendéglő	helyenként	1
Autópálya-motelek	ágyanként	1,5–2,0
Kikötők	kikötőhelyenként	3,5
Kemping	sátorhelyenként	1,75
Szálloda, üdülő	ágyanként	1
Iroda, üzlet	dolgozónként	0,2–0,4
Műhely (tusoló nélkül)	dolgozónként	0,5
Ipari üzem ipari szennyvíz nélkül (tusolókkal)	dolgozónként	1
Pékség, cukrászat, fodorász	dolgozónként	1–1,5
Húsbolt	dolgozónként	15
Kórház	ágyanként	1,5–3,0
Laktanyák	emberenként	1,2–3,0

Egyes szabványok (például DIN 4261) a legfeljebb 8 m³/d szennyvízterhelésű létesítményeket tekintik kisberendezésnek. Az EU-harmonizált szabvány szerinti 50 LE korlátból következően a LE-re vonatkoztatott fajlagos kibocsátás $LE_Q = 200 \text{ L/LE.d}$ értékre adódik. Ugyanakkor az MSZ EN 12566 szabvány szerinti előregyártott, illetve helyszínen összeszerelt kisberendezéseket 150 L/fő.d fajlagos szennyvízkibocsátásra kell méretezni.

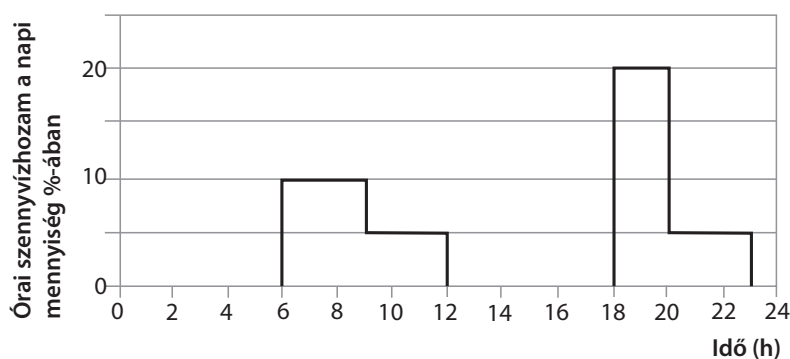
A kisberendezések a lakók száma alapján méretezhetők. Lakóegységenként 60 m² fölött legalább 4 fővel, 60 m² alatt legalább 2-vel kell számolni. Más épületeknél (irodák, műhelyek, vendéglők stb.) a megfelelő egyenértékek a fenti táblázatok szerint számolhatók.

3.15. táblázat

A különböző kis csoportos kibocsátók lakosegyenérték-megfelelői a Mall AG szerint (saját szerkesztés)

Megnevezés	Egység	LE
Lakóház, nyaraló	1 ágy, illetve 1 szoba	1
Iskola	4 diák	1
Sportcsarnok	15 m ² csarnokterület	1
Igazgatási épület, irodaházak, gyárak (ipari szennyvíz nélkül)	3 foglalkoztatott	1
Vendéglátás, szálloda	1 ágy	1
Étterem	3 hely	1
Étterem nagyterme, kertje	20 hely	1
Frekvenciált vendéglátóhelyek, például autópálya-pihenő, vendégház	1 ülőhely	2
Mozi	40 hely	1
Kemping	1 ha	80
Katonai szállás	1 ágy	1
Kórház, ápolási intézmény	1 ágy	2

Lakóingatlanok esetében a napon belüli szennyvízhozam-kibocsátásra hazai mérések, kutatások nem állnak rendelkezésre. Az MSZ EN 12566 szabvánnyal összhangban a lakások, néhány lakásos lakóingatlan esetében a napon belüli órai szennyvízkibocsátások standard értékei a 3.28. ábra szerint vehetők figyelembe.



3.28. ábra

A szennyvízhozam napon belüli ingadozásai (saját szerkesztés)

10–12 LE-ig lökészerű csúcs hozamként a fürdőkád – 200 L víz 3 perc alatti – leeresztése vehető figyelembe, amely kerekben 1,1 L/s, illetve 4 m³/h.

A szennyvizek sajátos minőségi jellemzői

A szennyvíz hőmérsékletét alapvetően a felhasznált ivóvíz hőmérséklete határozza meg. Az Alföldön előfordulnak olyan vízbázisok, ahol a kitermelt víz hőmérséklete jóval 20 °C felett, olykor 30 fok közelében van. A víz kezelése, tárolása, elosztása során ugyan érvényesülnek hőmérséklet-csökkentő hatások, de a háztartási és intézményi használatok eredményeként a szennyvíz hőmérséklete akár télen is jelentősen a megszokott hőmérséklet fölé kerül. Ettől függetlenül a kisberendezésekbe, legalábbis azok első egységébe jutó szennyvizek hőmérséklete a csatornán a szennyvíztisztító telepre jutó vizekhez képest magasabb, mert a transzportút az ingatlanon belül legfeljebb néhány tíz méter, és a hőmérséklet-csökkentő hatású vizek mennyisége (csapadék, infiltráció stb.) kicsi, szakszerű csatornakialakítás és -használat mellett elhanyagolható.

A szennyvíz hőmérséklete egyrészt hatással van az oxigén beoldhatóságára, amely a levegőztetőberendezés oxigénbeviteli képességét befolyásolja. A biológiai tevékenység is hőmérsékletfüggő, a némileg magasabb hőmérséklet kedvező a biokémiai folyamatok szempontjából.

A friss házi szennyvíz pH-ja némileg magasabb, mint a települési vízellátó hálózatokban előforduló vizeké. Ugyanakkor az anaerob tisztító egységekben a berothadt állapot csökkenti a pH-t.

A szennyvizek mikrobiológiai terheltsége alapvetően a humán vízhasználatból, illetve szennyvízkibocsátásból fakad. A szennyvizek mikrobiológiai jellemzőit különösen két paraméterrel jellemezzük: az összes coliform baktériumok számával és a fekál coliform számával (egyed/ml). Ez a két összegző paraméter kiemelt, mert a coliformok és fekál coliformok a fertőzőképesség jelzői, vizsgálatuk a mikrobiológiai laboratóriumokban rutinszerű és kedvező költségű. Ezen túl természetesen a szennyvízben a mikroorganizmusok féleségük szerint is nagy számban vannak jelen. Ezek közül csak célvizsgálat keretében szoktak egyes csoportokat, különösen betegségkókozó patogéneket, például vírusokat, sztreptokokkuszokat meghatározni.

A nyers és tisztított szennyvíz néhány mikrobiológiai jellemzőjét foglalja össze a 3.16. táblázat.

3.16. táblázat

Néhány organizmuscsoport koncentrációtartománya a nyers és tisztított szennyvizekben, iparilag fejlett országokban [1]

	Nyers szennyvíz (e/ml)	Tisztított szennyvíz (e/ml)
Összes coliform	10 000–1 000 000	500–20 000
Fekál coliformok	3000–500 000	100–15 000
Fekál sztreptokokkuszok	500–50 000	20–1500
Vírusok	–100	–10

A szennyvíztisztító kisberendezések szennyezőanyag-terhelései

A településen keletkező szennyvizek legnagyobb része házi, avagy háztartási szennyvíz. A környezeti terhelés szempontjából legnagyobb mennyiségben a BOI₅-ben (illetve KOI_k-ban) kifejezhető szerves anyagok vannak a szennyvízben. A szennyvíztisztítók kapacitásának megadására jelenleg

a LE-számot kell alkalmazni. A lakossági fajlagos kibocsátásra jelenleg a 60 g/fő.d-nek megfelelő egyenértékszámot (LE) vesszük figyelembe, amit az EU-s vízvédelmi irányelvben standardként rögzítettek, és a vonatkozó magyarországi jogszabályokba is bekerült. Ezen fajlagossal a lakosságon kívüli szennyvízkibocsátók (például ipari szennyvizek) szervesanyag-terhelései is kifejezhetők.

Megjegyezzük, hogy a BOI₅-re vonatkoztatott lakosegyenérték fajlagos nem univerzális állandó, országonként és időben is változó. Magyarországon például az 1960-as években még 38 g/fő.d nap értékkel számoltak, az Egyesült Államokban pedig ma 75 g/fő.d értéket vesznek figyelembe.

További fajlagos kibocsátási paraméterekre Magyarországon és az EU többi országában is alkalmazott, lakosegyenértékre vonatkoztatott fajlagos kibocsátások g/LE.d-ben kifejezve:

3.17. táblázat

Magyarországi fajlagos szennyezőanyag-kibocsátási paraméterek 1 LE-re vonatkoztatva (saját szerkesztés)

BOI ₅	KOI	δLA	N	P
60	120	70	11	2–2,5

3.18. táblázat

A lakosegyenértékre vonatkoztatott fajlagos szennyezőanyag-terhelések a kisberendezéseket is gyártó Mall cég szerint (feltehetőleg amerikai adatokra támaszkodva) (saját szerkesztés)

Összes szárazanyag	90 g szá./d
BOI ₅	75 g/d
KOI	150 g/d
TOC	50 g/d
TKN	14 g/d
NH ₄ -N	7 g/d
δP	2,2 g/d

Ezek az adatok az Európában szokásos normaérték feletti, ezért óvatosan kezelendők. A koncentrációk a lakosonkénti szennyvízmennyiségtől függenek. Magyarországi viszonyok között a fajlagos lakossági szennyvízkibocsátás 80–130 L/fő között vehető fel. E határok között három fajlagos szennyvízkibocsátási érték mellett a fenti öt jellemzőre a koncentrációk:

3.19. táblázat

Szennyezőanyag-koncentrációk különböző kibocsátások mellett (saját szerkesztés)

Szennyvízkibocsátás L/PE.d	BOI ₅ mg/l	KOI mg/l	δLA mg/l	δN mg/l	δP mg/l
80	750	1500	875	138	25–31
100	600	1200	700	110	20–25
130	460	920	530	85	15–19

A szeparált háztartási szennyvizekre vonatkozóan az alábbi táblázatok szerinti fajlagos szennyezőanyag-kibocsátások vehetők figyelembe:

3.20. táblázat

A szürke szennyvíz fajlagos szennyezőanyag-kibocsátási értékei (saját szerkesztés)

Paraméter	Mennyiség g/LE.d
BOI ₅	24,6
KOI	49,2
öN	0,33
öP	0,18

3.21. táblázat

A sárga szennyvíz fajlagos szennyezőanyag-kibocsátási értékei (saját szerkesztés)

Paraméter	Mennyiség g/LE.d
BOI ₅	7,2
KOI	14,4
öN	9,57
öP	0,9

3.22. táblázat

A barna szennyvíz fajlagos szennyezőanyag-kibocsátási értékei (saját szerkesztés)

Paraméter	Mennyiség g/LE.d
BOI ₅	28,2
KOI	56,4
öN	1,1
öP	0,72

A háztartásokban keletkező szennyvizek BOI₅, KOI_{kr}, öN és öP paramétereire az alábbi értékek vehetők figyelembe vízhasználatonkénti bontásban:

3.23. táblázat

Különböző háztartási vízhasználatokból származó kibocsátások szennyezőanyag-koncentrációi (g/m³)
(saját szerkesztés)

Keletkezés helye/szennyvíz jellege	BOI ₅	KOI _k	öN	öP
Konyhai szennyvíz	10	13	0,5	0,7
Fürdés, tusolás	4	4	–	0,05
Kézmosás	3	4	–	0,05
WC-használat	36	84	11	1,6
Mosás	7	15	0,5	0,1
Összesen	60	120	12	2,5

Az előzőekben közölt adatok nyers szennyvízre vonatkoznak. A kis szennyvíztisztítók esetén is a mechanikai előkezelés (ülepítő, oldómedence) után a már megváltozott minőségű szennyvízzel kell számolni.

A mechanikai tisztítás utáni szennyvízminőséget a 3.24. táblázat szerinti értékekkel lehet figyelembe venni (svájci adatok):

3.24. táblázat

Mechanikai tisztítást követő szennyvíz minőségi paraméterei [2]

Paraméter	Koncentráció mg/l
öLA	120
Szerves szárazanyag	80
BOI ₅	150
KOI	280
DOC	45
öN	32
TKN	30
Oldott TKN	25
NH ₄ -N	20
NO ₃ -N	1
öP	7
Oldott P	5

Ülepített szennyvíz esetén a különböző paraméterek közötti kapcsolatra a 3.25. táblázat szerinti értékek vehetők figyelembe:

3.25. táblázat

Ülepített szennyvíz minőségi paraméterei (saját szerkesztés)

Ülepített szennyvíz átlagértékei (Svájc)	mg/l	Schwyz katonai tapasztalati értékek mg/l
KOI/TOC	3,4	3,7
KOI/BOI ₅	1,8	2,8
KMnO ₄ /BOI ₅	2,8	–
TOC/BOI ₅	0,53	0,7

A nyers szennyvízben a tápanyagok átlagos koncentrációja házi szennyvízben: nitrogén ~100 g/m³, foszfor 20 g/m³, kálium 60 g/m³.

A biológiai tisztítás szempontjából az ideális tápanyagarányok:

KOI : TKN : P = 100 : 5 : 1

BOI₅ : NH₄-N : öP = 500 : 4 : 1

KOI : NH₄-N : öP = 100 : 4 : 1

A nem vagy nehezen lebomló anyagok közé tartoznak a sók, fémek és nehézfémek, tenzidek, antibiotikumok, fogamzásgátlók, hormonok és egyéb gyógyszerek, az endokrin hatású anyagok.

A sók – legnagyobb arányban a klorid, szulfát, nitrát, kisebb arányban a foszfátok – a szennyvíztisztítási folyamatokon csökkenés nélkül átmennek, sőt a szervesanyag-lebontási folyamatok során mennyiségük még nő is, és a befogadókat terhelik.

A tenzidek a mosószerekben – mosóporokban, öblítőszerekben, samponokban – előforduló, a víz felületi feszültségét csökkentő felületaktív anyagok. Hatásuk a szennyvíztisztítási folyamatokra, a talajra meglehetősen ismeretlen. Ismert ugyanakkor, hogy a tenzidek lebontása során többek között más tenzidek is keletkezhetnek.

A kommunális szennyvízben különféle fémek, nehézfémek ionjai találhatók, ezek mennyisége a szennyvíztechnológiai folyamatokból részben a tisztított szennyvízzel távoznak, részben a szennyvíziszapokba beépülve kerülnek ki a rendszerből. A háztartási szennyvízkibocsátásokból kevés fém és fémvegyület származik, a kisberendezésekben végbemenő tisztítási folyamatokban ismereteink szerint problémát nem jelentenek, viszont az iszapban itt is jelen vannak.

A háztartásokban használt gyógyszerek és gyógyszermaradványok a háztartási szennyvízben is megtalálhatók. Amennyiben ezek lebontása nem történne meg, egyértelműen a talajba, talajvízbe és a szennyvíziszapba is bekerülhetnek.

Az endokrin hatású anyagok egyes termékekből (gyógyszerek, festékek stb.) kerülhetnek a nyers szennyvízbe. Ezek rendkívül nagyszámúak, az ingatlanon keletkező nyers házi szennyvízben, illetve a kisberendezésekben tisztított szennyvízben előforduló mennyiségük ismeretlen.

A szennyező anyagok napon belüli ingadozásai eltérőek attól függően, hogy milyen szennyezőanyag-paraméterről van szó. Az ingadozások a 3.26. táblázat alapján vehetők figyelembe.

3.26. táblázat

A szennyvízhozamok és szennyező anyagok napon belüli ingadozása (saját szerkesztés)

	Szennyvízhozam	öLA	BOI ₅	TKN
Max./min. terhelés	3,1	6,3	7,6	5,5

A szennyvíztárolóban gyűjtött szennyvíz minőségi paraméterei a 3.27. táblázat szerint vehetők figyelembe (az egykori ME 10 459-1 1994 nyomán).

3.27. táblázat

A szennyvíztárolóban gyűjtött szennyvíz minőségi paraméterei (saját szerkesztés)

Paraméter	Érték mg/l
BOI ₅	110
KOI	2900
LA	2200
NH ₄ -N	60
öP	34
pH	6,5–7,5

A kisberendezésekre jutó terheléseket általában BOI₅-ben (alternatív módon akár KOI-ban is) fejezzük ki. Bármelyik hiányában a hiányzó adat a BOI₅/KOI arány ismeretében pótolható, illetve ezek

kölcsönösen verifikálhatók annak tudatában, hogy a BOI_5 koncentráció meghatározása a tapasztalatok szerint nagy szórást mutat.

A szennyezőanyag-terhelések egy napra vonatkoztatott értékét adjuk meg. Ahhoz, hogy ezeket reprezentatívnak tekinthessük, a koncentrációt térfogat- vagy hozamarányosan 24 órás átlagmintával kellene mérni és a napi hozammal szorozni. Tehát a napi szennyezőanyag-terhelés számítására a pontminta pontatlan, félrevezető. Az átlagmintaképzéshez az általános gyakorlat megfelelőnek tartja a 2 óránkénti mintázást és a hozzá tartozó 2 h-s átlaghozam alkalmazását.

A szennyvíztisztító méretezéséhez, az egyes szennyezőanyag-tömegek meghatározásához a gyakorlat a heti átlagértékek alkalmazását javasolja azzal, hogy a heti átlag a naptári hét négy napja alapján is számítható.

Ezen adatok meghatározásához célzott mintavétel is alkalmazható 4–6 hetes vizsgálatssorozattal, amelyben legyen téli (hideg) időszak és adott esetben akár szezonális jellegű nagy, illetve kis terhelésű időszak is.

Ha hosszabb (akár éves) idősor áll rendelkezésre, a szezonális hatások kiküszöböléséhez a szennyvízhőmérséklet, a KOI-tömeg, a KOI-tömeg heti átlagának, a KOI/ BOI_5 , TKN/KOI, öLA/KOI , öP/KOI arányok alakulásának analízise segíthet.

Ülepítők méretezése

Annak ellenére, hogy a szennyvíztisztításban alkalmazott ülepítők méretezése különböző ülepedési elméleteken alapul, az ott rutinszerűen alkalmazott, tartózkodási időn, felületi hidraulikai terhelésen nyugvó számítási módszerek elvileg a decentralizált szennyvíztisztítók esetében is alkalmazhatók. Ugyanakkor figyelembe kell venni a szennyvízkibocsátások intervallumos, porciós jellegét, ami a települési szennyvíztisztítóknál alkalmazott folyamatos terhelésű ülepítőknél nem jelentkezik, másrészt az itt alkalmazott ülepítők geometriáját, ami építési, gyártási szempontokat vesz csak figyelembe a nagy ülepítőknél indokolt és meg is valósítható áramlástanai viszonyokhoz szükséges geometriai arányokkal szemben.

Ezért az egyszerű, kifejezetten szennyvíztisztító kisberendezésekhez alkalmazott, többnyire nem osztott terű oldómedencék ökölszabályszerű, egy lakosra vagy lakosegyenértékre vonatkoztatott irányértékek alapján méretezhetők. Ezúttal lakosegyenérték alatt a BOI_5 -re vonatkoztatott helyett a vízhozamra értelmezett (LE_Q) értéket indokolt alkalmazni. Magyarországon a LE_Q értéket 100–130 L/fő között célszerű felvenni.

Az ülepítő hasznos terére vonatkoztatott fajlagos az alábbiak szerint vehető fel:

- típuszerű berendezések esetében 500 L/ LE_Q , de a legkisebb hasznos térfogat legalább 2,0 m³,
- tavas tisztító előtt alkalmazva 500 L/ LE_Q , de a legkisebb hasznos térfogat legalább 4,0 m³, illetve 4 LE_Q felett további 75–25%-kal növelhető a térfogat.

A szennyvíztisztító kisberendezések felső kapacitástartományában, illetve 50 LE felett szóba jöhető műszaki megoldás a kétszintes ülepítő, amely egy műtárgyban előülepíti a szennyvizet, és a kiülepített iszap tárolására és hideg rothasztására is alkalmas. Alkalmazásának hátránya a nagy belmagasság, ami építési szempontból kedvezőtlen a magas talajvízállású területeken, illetve térszíni telepítések szivattyús táplálást tesz szükségessé.

3.28. táblázat

Mértékadó értékek kétszintes ülepítők méretezéséhez az egykori magyar műszaki szabványok és irányelvek alapján (saját szerkesztés)

	MS 15302-62	OVHMI 146/1-71	ÉSZ 511-75	MI 10-127/9-84
Ülepítőtér fajlagos hasznos térfogata (L/le ^é)	–	30	–	
Ülepítőtér min. hasznos térfogat (m ³)	–	1,5	–	
Rothasztótér fajlagos hasznos térfogata (L/le ^é)	–	60	–	
Rothasztótér min. hasznos térfogata (m ³)	–	3	–	

Megjegyzés: ¹ 1 LEÉ = 100 L/fő

Amennyiben az ülepítő, illetve az iszapter a biológiai tisztításból származó iszapszaporulat befogadására és tárolására is szolgál, a térfogat tovább növelendő a biológiai berendezés technológiájától függő mértékben (lásd további fejezetek).

Oldómedencék méretezése

Az oldómedencéket hagyományosan egy főre vetített térfogatok alapulvételével szokásos méretezni. Az egyszerű oldómedence esetén a DIN szerinti fajlagos térfogat 300 L/fő. A legkisebb ösztérfogat 2 m³, illetve kétkamrás műtárgy esetén 4 m³. A legfeljebb 6 főt kiszolgáló bővített oldómedence fajlagos térfogata a DIN 4261-1 szerint 1500 L, és a legkisebb térfogata 6 m³. Ugyanakkor a DWA-A 262 növényes szikkasztóágy esetén 10 főig további 750 L/fő, 10 fő felett 5000 L/fő fajlagos hasznos térfogatot ad meg. Az oldómedencék mértékadó térfogatának méretezésére ismert például az alábbi összefüggés (Írország):

$$V = 0,15 \times N + 2,0 \text{ [m}^3\text{]}$$

ahol N a kibocsátók száma, de minimum 4 fő

Az összefüggésből a legkisebb oldómedence hasznos térfogata 2,6 m³-re adódik.

3.29. táblázat

Oldómedencék méretezési paramétereinek alakulása a magyar szabályozási kiadványokban

	MS 15302-62	OVHMI 146/1-71	MI 10-127/9-84
Fajlagos hasznos térfogat (L/le ^é) ¹	–	300	–
Min. hasznos térfogat (m ³)	–	3	3

Megjegyzés: ¹ 1 LEÉ = 100 L/fő

A BOI₅-ben kifejezhető szervesanyag-csökkenés a DIN 4261-1 szerint az alábbi értékekkel vehető figyelembe:

- az egyszerű oldómedencéknél: 10 g/fő.d;
- a bővített oldómedencéknél: 20 g/fő.d.

Eleveniszapos kisberendezések méretezése

Az eleviszapos kisberendezések a szennyvíztisztításban ismert módszerekkel méretezhetők. Ugyanakkor az SBR-rendszerű kisberendezések esetében a szennyvízhozamok időbeni ingadozásai nemcsak sokkal nagyobbak a nagy SBR-telepeken előfordulókhoz képest, de mind a kis, mind a nagy szennyvíz-kibocsátású időszakok hossza is nagy, akár hónapos nagyságrendet is könnyen elér. Emiatt a hosszú idejű kiegyenlítő tározás jelentősége megnő. A kiegyenlítés adekvát méretezéséhez viszont nemcsak a kibocsátások nagyságainak időbeli ingadozásait, de azok időbeli hosszát is igen jól kell tudni megbecsülni.

Csepegtetőtestes és merülőtárcsás biológiai tisztítóberendezések méretezése

A csepegtetőtestes technológia a szennyvíztisztításban szokásosan alkalmazott módszerekkel méretezhető. A csepegtetőtest BOI_5 -terhelésének számításánál szintén figyelembe veendő az előtisztítás miatti BOI_5 -csökkenés. A BOI_5 -térfogati terhelés általában alacsony érték, kivéve, ha az egyenletes terhelés biztosításához kiegyenlítő tároló is rendelkezésre áll. Irányadó értéként $0,15 \text{ kg } \text{BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (vagy ez alatti) térfogati terhelés és minimális töltetmagasságként $1,50 \text{ m}$ vehető figyelembe.

A fenti módszer mellett a csepegtetőtestek méretezésére alkalmazható egyszerűsített módszer is, amikor 150 L/LE fajlagos töltettérfogattal lehet számolni, de az eltömődésmentes üzem és a kibocsátási követelmények teljesíthetősége érdekében minimálisan $2,0 \text{ m}^3$ töltet beépítése szükséges.

A 3.30. táblázatban összefoglaltuk az egykori magyar műszaki szabályozási kiadványok specifikációs ajánlásait, ami lényegében megegyezik a DIN szerinti adatokkal.

3.30. táblázat

Magyar műszaki szabályozási kiadványok specifikációs ajánlásai (saját szerkesztés)

	MS 15302-62	OVHMI 146/1-71
Fajlagos töltettérfogat	–	$0,3 \text{ m}^3/\text{LE}^1$
Min. töltettérfogat m^3	–	15 m^3
Töltetmagasság	–	$1,5\text{--}2,5 \text{ m}$
Töltet szemcsemérete	–	$3\text{--}8 \text{ cm}$

Megjegyzés: ¹ $1 \text{ LE}^1 = 100 \text{ L/fő}$

A merülőtárcsás csepegtetőtestek a fajlagos felületi BOI_5 -terhelés alapján méretezhetők. A merülőtárcsás csepegtetőtest esetében az 50 LE -nél kisebb berendezéseknél kisebb felületi terhelés alkalmazható, mint az $50\text{--}500 \text{ LE}$ közötti műtárgyagnál. Az ajánlott felületi BOI_5 felületi terhelés ne haladja meg a $0,004 \text{ kg } \text{BOI}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ értéket.

Az utóülepítés a tartózkodási időre és a felületi hidraulikai terhelésre méretezhető. Mértékadó csúcs hozamként a megelőző műtárgyak (ülepítő-oldómedence, biológiai reaktor) kiegyenlítő hatása miatt a napi mértékadó hozam $1/10$ -e vehető fel.

Az ajánlott tervezési paraméterek:

- tartózkodási idő: $\geq 3,5 \text{ h}$,
- felületi hidraulikai terhelés: $\leq 0,4 \text{ m/h}$.

A szokásos műtárgykonstrukciók miatt a legalább 1 m -es legkisebb vízmélység és a $0,7 \text{ m}^2$ es minimális ülepítő felület általában teljesül.

Amennyiben a fölösiszap befogadására külön tároló készül, nagysága 100 L/LE fajlagos térfogattal számítható.

Membránbiológiai berendezések méretezése

A membránszűrős eleveniszapos berendezések elvileg akár 20 kg sz.a./m³ eleveniszap-koncentrációval is üzemeltethetők, a gyakorlatban azonban a membránok gyors eltömődése és kvázi folyamatos tisztításának nehézségei miatt legfeljebb 8–12 kg sz.a./m³ eleveniszap-koncentrációra méretezhetők.

A szennyvíztechnológiában alkalmazott további méretezési paraméterek:

BOI₅ térfogati terhelés < 0,75 kg BOI₅/m³.d

iszapterhelés < 0,05 kg BOI₅/kg sz.a./d

A membránreaktor térfogatának meghatározásához az irányadó tervezési értéke: 0,25–0,2 m³/LE.d. A kisebb érték az 50 LE, a nagyobb érték a néhány LE nagyságú kisberendezéseknél vehető figyelembe.

Egyebekben az eleveniszapos technológiára a membránrendszereknél is a nagy létesítményeknél alkalmazott méretezési módszerek alkalmazhatók.

A membránok szűrőképességét, szűrletteljesítményét a fluxussal fejezzük ki. A fluxus az egységnyi membránfelületen átmenő permeátum térfogatárama, általában l/m².h mértékegységben kifejezve. A fluxus nagysága függ a transzmembrán nyomás nagyságától. Ezt a körülményt figyelembe véve alkalmazzuk a permeabilitás fogalmát is, ami az adott transzmembrán nyomás melletti fluxus, és általában L/m².h.bar mértékegységben fejezzük ki. Mindkét paraméter jellemző az adott membránra, de utóbbi a membrán működés közbeni eltömődését is mutatja.

A kisberendezéseknél alkalmazott membránoknál a szűrletteljesítmény 2–10 L/m².h közötti. A gyártók többnyire a legkisebb méretű kisberendezéshez (4 LE) is készítenek membránmodulokat 3,5–6 m² közötti szűrőfelülettel. Nagyobb kapacitású kisberendezésekben az ilyen modulokat egymás mellett vagy felett építik be. Az 50 LE feletti műtárgyas vagy konténeres szennyvíztisztítóknál már nagy méretű szűrőmodulokat alkalmaznak.

Tavas szennyvíztisztítók méretezése

A levegőztetett szennyvíztavak legkisebb mélysége 1,2 m. A kis szennyvíztisztítók méretezésére hazai előírás nincs. A méretezés a lakosszámon alapul, lakosonként 15–20 m² tófelület figyelembevételével, illetve az alábbi összefüggés alkalmazásával:

$$A = N \frac{185 - N}{9} \quad [\text{m}^2]$$

ahol N a lakosság

A biztonság javára a legkisebb tóméret 100 m².

A levegőztetés nélküli tavaknál a tartózkodási idő 20 nap körüli, levegőztetett tavaknál akár harmadára is csökkenthető (min. 6 nap). Abban az esetben, ha a tóba tetővizet, illetve burkolt felületekről csapadékvizet is bevezetnek, további legalább 10 m²/100 m² vízzáró felület többlet tófelszinnel lehet számolni.

A szemcsés anyagú szennyvízszűrő és elhelyező (szikkasztó, homokszűrő, növényágyas stb.) rendszerekben a legalább biológiailag tisztított szennyvízben lévő maradék szerves anyagok lebontása tovább folytatódik. A lebontás mértéke, a szennyvíztisztítás hatékonysága szempontjából döntő jelentősége van az elhelyező rendszerben lévő levegőnek. A háromfázisú szemcsés közegben lévő hézagokat a víz mellett levegő tölti ki, amely szakaszosan – kívánatosan az üzemidő nagy részében – kapcsolatban lesz a légkörrel. A biokémiai oxidációs folyamatok limitáló tényezője a szemcsék felületéhez kötődő, illetve az előtisztított szennyvízben lévő lebegőanyagokban lévő mikroorganizmus-tömeg, valamint a hézagokban rendelkezésre álló levegőből az oxigéntranszfer. Az oxigéntranszfer szempontjából fontos gázfázis viselkedését, jellemzőit geotechnikai, biológiai és részben klimatikus viszonyok determinálják.

A gázfázis rendszerint a durva pórusokra korlátozódik, a közepes méretű pórusokban elhelyezkedő víz a hasznosítható vízkapacitást jelenti, a finom pórusokat pedig a holtvíz foglalja el.

A levegő eloszlásának mélység menti változását vizsgálva abból lehet kiindulni, hogy a gázfázis aránya a mélységgel, adott esetben akár a talajvízhez közel kerülve csökken. Ennek oka, hogy a víztartalom lefelé haladva nő. A gázfázis a belső levegőcirkulációban lévő, sőt a légkörrel kapcsolatban álló légszatórnák és a légzárványok, ún. inklúziók között oszlik meg. Utóbbiak akkor alakulnak ki, amikor a szennyvíz felülről lefelé csörgedezik, és a légszatórnák közben eltömődnek, és a levegő a pórusokból nem vagy csak nehezen tud eltávozni. Inklúzió akkor is előfordulhat, ha anaerob viszonyok alakulnak ki, ha elegendő könnyen bontható szerves anyag áll rendelkezésre, amelynek anaerob bomlásakor nagyrészt hidrogén és metán keletkezik. A szikkasztó- vagy szűrőanyagösszetletben lefelé haladva a víztartalom növekszik, kedvező esetben a gázfázis egyre inkább a nagyobb pórusokban lesz számottevő, a légzárványok aránya csökken.

A levegő összetétele a légköri gázösszetételhez képest jelentősen eltérhet, aminek egyik alapvető oka a szerves anyagok lebomlása. Növényes rendszerekben, ha a rendszer nem anaerob, az aerob folyamatok mellett a gyökérlégzés is jelentős arányban vesz részt az oxigén felhasználásában és a szén-dioxid-tartalom növelésében. A szén-dioxid aránya a légköri levegőhöz képest jelentősen nagyobb, az oxigén mennyisége ugyanilyen mértékben csökken. A pórusokban lévő levegő relatív páratartalma magas, üzemelő rendszerben 100%, aminek oka a pórustér nagyságához képest nagy víz-levegő határfelület.

A levegő összetételét a hőmérséklet is befolyásolja, alacsonyabb hőmérsékleten az oxigén vízben jobban oldódik, a levegő oxigéntartalma alacsonyabb. A levegő összetételének hőmérséklet-ingadozásból fakadó változásait a folyamatos szennyvíztáplálás hőmérséklet-kiegyenlítő hatása jelentősen mérsékli.

A szervesanyag-lebontáshoz szükséges oxigéntranszfer természetes levegőztetésű homokszűrő rendszerekben a kutatások szerint 15–25 g O₂/m².d nagyságú, nádas rendszerekben 13–20 g O₂/m². Az oxigénigényt a szennyvízben lévő oxidálható anyagok (szerves anyag, ammónium) alapvetően befolyásolják a szemcsés közegű természetközeli tisztítórendszerek oxidáló képessége mellett.

A folyamatok alapvetően hasonlóak a töltetes csepegtetőtesteknél lezajló folyamatokhoz. Ugyanakkor vannak jelentős különbségek. A szennyvíz mind a biomasszával, mind a levegővel rövid ideig érintkezik, kicsi a kontaktidő, a hidraulikai terhelés a szakaszos táplálás miatt viszonylag nagy. Ezeket a kedvezőtlen hatásokat nem tudja kiküszöbölni a szesszilis biomassza elvileg stabil működőképessége.

Összehasonlításként az egyes szennyvíztisztító rendszerek tartózkodási ideje és lakosegyenértékre vonatkozó fajlagos tervezési értékei a szakirodalom alapján a 3.31. táblázatban olvashatók.

3.31. táblázat

Különböző szennyvíztisztító rendszerek néhány tervezési adata (saját szerkesztés)

	Felület/LE m ² /LE	Térfogat/LE m ³ /LE	Kontaktidő
Nem levegőztetett tó	10	15–20	>20 d
Talajszikkasztás	4–20	7–12	–
Levegőztetett tó	3	4–7	>3–6 d
Homokszűrő	4–6	4–6	1 h – 7 d
Csepegtetőtest nitrifikációval	0,17–0,3	0,45–0,6	6–10 min
Eleveniszapos	0,12–0,25	0,35–0,6	1–3 d
SBR	0,1–0,2	0,3–0,5	1–3 d
Merülőtárcsás csepegtetőtest nitrifikációval	0,1–0,18	0,17–0,25	10–20 h
Csepegtetőtest nitrifikáció nélkül	0,05–0,08	0,13–0,18	3–6 min
Merülőtárcsás csepegtetőtest nitrifikáció nélkül	0,04–0,07	0,07–0,13	8–15 h
Bioszűrő nitrifikációval	0,005–0,01	0,02–0,03	30–50 min
Bioszűrő nitrifikáció nélkül	0,004–0,01	0,013–0,03	20–40 min

A homokszűrő rendszereknél a biológiai tisztítás hatásfoka és ezzel együtt az üzembiztonsága elvileg a töltettérfogat növelésével, a hidraulikai és a biológiai terhelés csökkentésével és a levegőztetés intenzifikálásával javítható. A töltettérfogat reális növelésére a szűrőárkok és mezők hosszának növelésével van lehetőség, ennek akadálya gyakran a helyhiány. A biológiai terhelés a szűrt víz recirkuláltatásával, illetve a szűrőre vezetett szennyvíz fellevegőztetésével csökkenthető. A szűrőtöltet levegőztetése a dréncöveken keresztüli természetes légcserére rásegítő műszaki megoldásokkal, illetve a mesterséges levegőztetésre áttéréssel javítható.

Homokszűrő árok és mező

A homokszűrő árkokat vagy mezőket az egyes országokban eltérő módon, az egy főre, illetve lakosegyenértékre vonatkoztatott fajlagos szikkasztófelület vagy árokhossz figyelembevételével méretezik. De éppen Magyarországon találhatunk példát a felületi terhelésen alapuló méretezésre. A homokszűrő árok terhelhetőségi értékeit a fenék alapterületére, illetve felületi terhelésére vagy a szűrőágy hosszára vonatkoztatva a 3.32. táblázatban foglaltuk össze, és összehasonlításként a DIN szabvány szerinti adatot is közöljük.

3.32. táblázat

A homokszűrő árok méretezésére vonatkozó paraméterek értékei a hazai műszaki szabályozási kiadványokban (saját szerkesztés)

MSZ 15302-62	–
OVHMI 146/1-71	2 m ² /le ^I
ÉSZ 511-75	–
MI-10-127/9-84	0,25–0,35 m/d
MSZ 15287:2000	0,1–0,15 m/d
Német ajánlás	6 m/fő ^{II}

Megjegyzés: ^I 1 LEÉ = 100 L/fő; ^{II} kb. 3 m²/fő-nek felel meg.

A táblázat szerinti értékek meglehetősen változatos képet mutatnak a méretezés elvét illetően és a tervezési adatok szempontjából is. Az adatok a mérnöki gyakorlatból kerültek be a szabályozási dokumentumokba, az idők során a paraméterek alapján egyre nagyobb szűrőfelületek adódtak, ami a kisebb fajlagos terhelése irányába mutat. Gyakorlatilag még a legelfogadhatóbb módszer a felületi terhelésre méretezés.

A CEN/TR 12566-5 szerint a homokszűrők terhelhetősége $4 \text{ L/m}^2/\text{d}$, ami jelentősen kisebb érték a táblázat adataihoz viszonyítva.

A növényágyas szennyvíztisztítók méretezése

A növényágyas tisztítókra csak mechanikailag tisztított szennyvíz vezethető! Ebből következően a nyers szennyvízhez képest kisebb szennyezőanyag-koncentrációkat kell figyelembe venni. Ha a mechanikai tisztító oldómedence vagy egyszerű ülepítő, a korábban leírtak szerinti szennyezőanyag-terhelések vehetők figyelembe.

A növényágyas szűrők konvencionális méretezése a lakosonkénti fajlagos felület, a KOI-ban kifejezett fajlagos felületi terhelés és a felületi hidraulikai terhelés felvételén alapul. A DWA-A 262 irányelvei szerinti, legalább 50 cm vastagságú hatékony ágyvastagság mellett alkalmazható méretezési paramétereket a 3.33. táblázatban foglaltuk össze.

3.33. táblázat

DWA-A 262 szerinti méretezési irányelvek (saját szerkesztés)

	Vízszintes áramlású növényágyas szűrő	Függőleges áramlású növényágyas szűrő
Fajlagos ágyfelület $\text{m}^2/\text{fő}$	≥ 5	≥ 4
Legkisebb ágyfelület m^2	≥ 20	≥ 16
Felületi szervesanyag-terhelés $\text{g KOI/m}^2.\text{d}$	≤ 16	–
Felületi hidraulikai terhelés $\text{L/m}^2.\text{d}$	≤ 40	≤ 80

UV-fertőtlenítés

Amennyiben a fertőtlenítéshez UV-berendezést alkalmaznak, a fertőtlenítéshez alkalmazandó UV-dózis $250\text{--}400 \text{ J/m}^2$. A besugárzási idő a szokásos kialakítási módoknál a maximális terhelhetőség mellett se legyen kisebb 3 másodpercnél. Az UV-berendezések villamos teljesítményfelvétele $10\text{--}13 \text{ W/m}^3$. A teljes energiaigény számításához figyelembe kell venni az UV-berendezésre feladó szivattyú teljesítményfelvételét, ami $35\text{--}70 \text{ W/m}^3$ fajlagos értékkel számítható. (Megjegyzés: a nagyobb fajlagos értékkel mindig a kisebb kapacitású berendezéseknél kell számolni.)

A tisztított szennyvíz elhelyezése

A tisztított szennyvíz befogadója vagy valamilyen felszíni víz, vagy a talaj (és rajta keresztül a felszín alatti víz) lehet. A felszín alatti vizek közül alapvetően a talajvíz érintett, amely definíció szerint „laza törmelékes, üledékes felszínközeli képződmények telített zónájában az első vízzáró vagy félig

áteresztő réteg mélységéig, legfeljebb a vízgyűjtő gazdálkodási tervben meghatározott sekély porózus, vagy sekély hegyvidéki víztest alsó határáig elhelyezkedő felszín alatti víz” (147/2010 Korm. r.).

A tisztított szennyvíz elszikkasztása abban az esetben tiltható, ha az ingatlan helye szerint a szennyvízközcsonakra rákötés feltételei fennállnak, a felszíni vízbe vezetés műszaki, gazdasági vagy ökológiai, illetve vízhygiénés szempontokból nem lehetséges, ha a talajba szikkasztás ivóvíznyerő vízbázisok vagy tartalék vízbázisok területén történik, ha szennyezésre érzékeny vagy fokozottan érzékeny terület lenne érintett, ha a szikkasztással érintett talajréteg vagy -rétegek vízáteresztő képessége kedvezőtlenül kicsi.

A tisztított szennyvíz elszikkasztásának általános követelményei:

- A házi szennyvíz minőségűnek tekinthető szennyvíz legalább mechanikailag és biológiailag tisztított.
- A biológiai tisztítás legalább nitrifikációs technológiájú. Ha a talajvíz nitráttal szennyezett (határérték feletti szennyezettségű), a tisztítási technológiának denitrifikációra is alkalmasnak kell lennie.
- A szikkasztás felszínközeli, de nem nyílt vízfelületet eredményező.
- A szikkasztás lehetőleg homogén talajrétegződésű területen valósuljon meg.
- A szikkasztó olyan kialakítású, hogy télen is védett a befagyással szemben.
- A tisztító és elhelyező rendszer szakszerű üzeme biztosított.

A szikkasztórendszerek kialakítása

A felületi elszikkasztás elsődleges. A szennyvíz közvetlen bevezetése a talajvízbe nem megengedhető. Közvetlen bevezetésről akkor nem beszélhetünk, ha a szikkasztó műtárgy legmélyebb pontja legalább 1 m-rel van a legmagasabb talajvízszint felett.

A talajba szikkasztás lehetőségei:

- teknős elszikkasztás,
- térszíni szikkasztóárók,
- szikkasztóakna,
- szikkasztóárók és -mező.

A felszínközeli szikkasztás esetén a víz egyrészt a párolgáson keresztül a légkörbe kerül, másrészt a felszíni növényzet valamint a talaj mikroorganizmusai veszik fel, harmadrészt és döntően a szennyvíz gravitációsan a mélyebb talajrétegek felé szívárog, és azok hézagait tölti ki. A talajba szikkasztás akkor alkalmazható, ha a talaj alkalmas a legalább biológiailag tisztított szennyvíz beszívárogatására.

Mind a teknős, mind a térszíni szikkasztóba higiénés okok miatt csak biológiailag tisztított és legalább szűrővel utótisztított szennyvíz vezethető.

A szikkasztóárkos és -mezős szennyvízelhelyezést időnként altalajöntözésnek is nevezik. Ezek a megoldások mechanikai szűrést és aerob biológiai tisztítást is végeznek, mielőtt a szennyvíz a talajba szikkad, esetleg eléri a talajvizet.

A dréncövet kavicsrétegbe fektetik, amit felül le kell zárni. Erre a célra alkalmas a geotextília, ami a vizet átereszt, de megakadályozza szikkasztóttest feletti talajszemcsék bejutását. A szikkasztóttest fölé legalább 10–20 cm vastagságú talajréteg kerül, amelybe mély gyökeret nem eresztő növények ültethetők. Legkedvezőbb megoldás a füvesítés, amely egyszerűen karbantartható, és a szűrőanyag cseréje esetén is a legkisebb kár keletkezik a növényzetben.

A szikkasztóárok alsó részében lévő nagyobb vastagságú szikkasztóttest feladata a tisztított szennyvíz átmeneti tárolása. Előnyös a nagyobb vastagságú szikkasztóréteg építése, ebben az esetben egy felül durvább szemcséjű, alatta finomabb, éles szemcséjű zúzalékból. A szikkasztóttest felső rétegébe kerülő réselt dréncső feladata a szennyvíz egyenletes elosztása. A dréncső résmérete 3 mm körüli, a körülötte lévő drénréteg szemcseméretét a szűrőszabálynak megfelelően kell megválasztani. A drénvezeték kialakítására, szellőztetésére, táplálására a homokszűrőknél leírtak alkalmazandók.

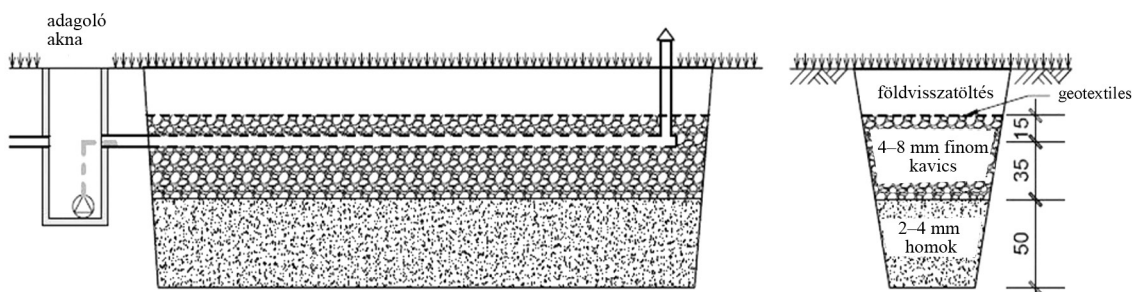
A szikkasztóttest alsó szintjének a legmagasabb talajvízszint felett – a hazai előírások szerint 1 m-re – kell lennie. Nemzetközi szinten is többnyire ugyanezen előírásokkal lehet találkozni. A szikkasztóárok és -mező kialakítására vonatkozó fontosabb paramétereket a 3.34. táblázat mutatja be a magyarországi szabályozási dokumentumok alapján, összehasonlításként közölve a DIN szerinti hasonló adatokat is.

3.34. táblázat

Szikkasztóárok kialakítására vonatkozó tervezési paraméterek alakulása a magyar szabályozási kiadványokban

	MSZ 15302-62	OVHMI 146/7-71	ÉSZ 511-75	MI 10-127/9-84	MS 15287:200	Német ajánlás
min. fenékszélesség	0,5 m	0,5 m	–	0,6	0,6 v. 0,9 m	1,8/0,5 m
dréncsőtávolság	min. 2 m ^I min. 3 m ^{II}	–	–	2 m	min. 2 m	min. 1 m
max. drénág hossz	30 m	30 m	–	25 m	25 m	min. 7,5 m max. 15 m
Drénréteg – vastagsága – szemcsemérete					min. 10 cm 5–10 mm	1,0 m 4–8 mm (0,5 m) 2–4 mm (0,5 m)

Megjegyzés: ^I 50 cm árokszélesség mellett; ^{II} 90 cm árokszélesség mellett



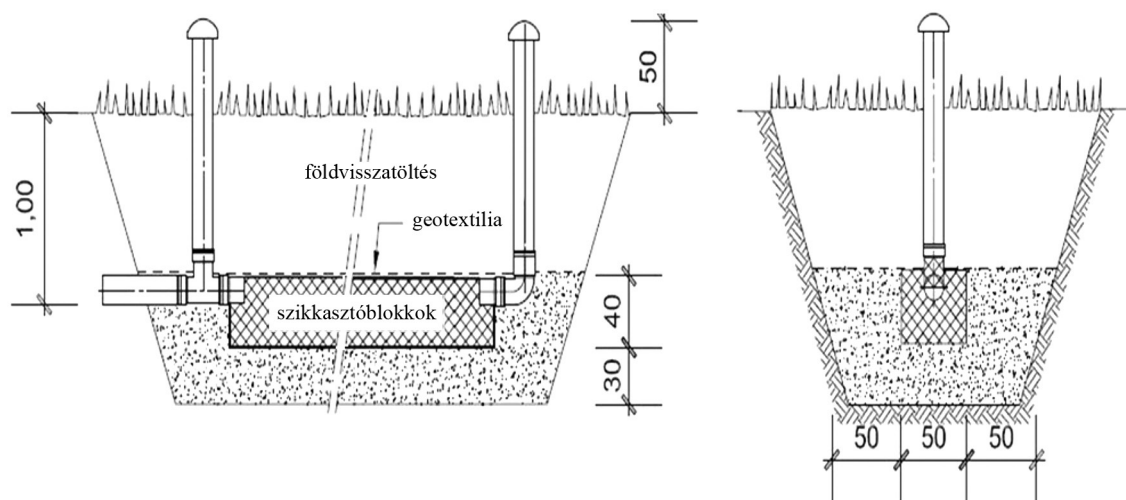
3.29. ábra

Szikkasztóárok kialakítása (saját szerkesztés)

A szikkasztóakna legalább Ø 1 m-es beton- vagy vasbeton akna, oldalfala alul perforált, a fenéken pedig nyitott. A perforált részt finom kavicssal töltik fel, amire minimum 50 cm homok kerül. A bevezető cső alá betonlemez kerül a kimosódás ellen.

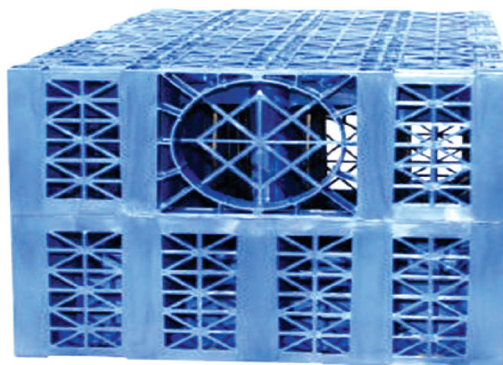
A tisztított szennyvíz talajba szikkasztására alkalmasak az eredetileg csapadékvíz szikkasztására alkalmazott szikkasztóblokkok, szikkasztó alagutak is. Mindkét típusú szikkasztóelem belül üreges, mindegyik oldalán áttört felülettel. A hasáb alakú szikkasztóelemek tetszőlegesen

összeépíthetők, az alagútelelemek hosszirányban sorolhatók. A szikkasztó elemeket a kiemelt szikkasztóárok alá terített kavicságyazaton építik össze, majd a szikkasztótestet geotextilével takarják, az árok fala és az elemek közti teret kavicsal töltik ki. A szikkasztótestet a végéhez csatlakozó csatornacsővel vagy a fölé telepített dréncsővel lehet feltölteni.



3.30. ábra

Szikkasztóblokkos szikkasztó (saját szerkesztés)



3.31. ábra

Műanyag szikkasztóblokk ([2])

Szennyvízelhelyező létesítmények méretezése

A tisztított szennyvíz talajban elhelyezésének méretezése a talaj szikkasztóképességének figyelembevételével történik. A talaj szikkasztóképessége vizsgálható. A víznek egy órán belül be kell szívárognia anélkül, hogy tócsák maradnának vissza. A szikkasztófelületet ebből lehet meghatározni, de ezt biztonsággal növelni kell, ez különböző források szerint eltérő, de akár 50%-os növelésre is találhatunk példát.

A szikkasztási próbához a Pönninger-féle módszer használatos. A próbához a leendő szikkasztás helyszínén kutatóaknát kell nyitni a tervezett szikkasztási szintnek megfelelő mélységig. Az akna alján 30×30 cm alapterületű, 30 cm mélységű gödröt kell készíteni, amelyet vízzel kell megtölteni. A talaj előnedvesítéséhez még kétszer kell a feltöltést elvégezni. Ezután a gödröt 25 cm magasságig kell feltölteni vízzel. A szikkadás alatt percenként mérendő a vízszintsüllyedés. A vizsgálat háromszori megismétléséből kapott adatok átlagértéke adja a perc/cm mértékegységben megadott szikkasztási tényezőt. A szikkasztási tényezőhöz hozzá kell rendelni a szikkasztóréteg talajtípusát a homok-iszap aránytól függő besorolásnak megfelelően.

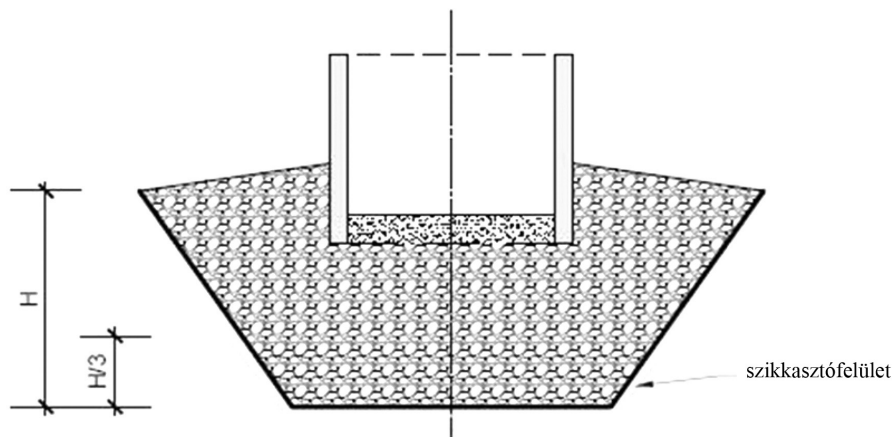
3.35. táblázat

Szikkasztóárok fajlagos terhelhetőségének alakulása a különböző szabályozási dokumentumok szerint (saját szerkesztés)

	MSZ 15302-62	OVHMI 146/7-71	ÉSZ 511-75	MI-10-127/9-84	MSZ 15287:2000
fajlagos terhelhetőség $\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{d})$	homokos talajban agyagos homokban könnyű anyagban	16 25 50	ld. fejezet	ld. fejezet	ld. fejezet

A szikkasztás méretezése a szükséges szikkasztófelület nagyságának megállapítására irányul. Hasznos szikkasztófelületként a vízszintes, valamint a függőleges szikkasztófelület egy része vehető figyelembe.

Egyes szabályozások szerint (például MI 10-127/-9) a szikkasztó alsó síkjának nagysága mellett, ha a szikkasztóttest oldala melletti talaj is alkalmas szikkasztásra, a fenék feletti magasság egyharmadára jutó felület is figyelembe vehető szikkasztófelületként. A függőleges szikkasztófelületre a DIN szabvány például $1 \text{ m}^2/\text{fő}$ értéket ad meg.



3.32. ábra

A figyelembe vehető szikkasztófelület (saját szerkesztés)

A CEN/TR 12566-2:2005 szerint 0,5 m árokszélesség mellett egy főre vonatkoztatva legalább 18 fm szikkasztó árok veendő figyelembe, tekintet nélkül a talaj szikkasztóképességére. Egy szikkasztóárok hossza legfeljebb 18 m.

A szennyvíztisztítás melléktermékeinek elhelyezése

A szennyvíztisztítás során a kibocsátott szennyvíz mellett melléktermékek is visszamaradnak, mint a rácsszemét, a szennyvíziszap, esetleg egyéb anyagok, például a tavas és növényes szennyvíztisztítóknál a növényi maradványok. A rácsszemét nagy mennyiségű szerves és viszonylag kevés biológiailag bontható szerves anyagot tartalmazó hulladék. A kis szennyvíztisztítók mechanikai tisztító fokozatában keletkező rácsszemetet, amennyiben az alkalmazott gépi rács alkalmas kialakítású, víztelenítve és tömörítve célszerű a rácsszeméttárolóba üríteni vagy zsákolni.

A szennyvíziszap egyrészt jelentős mennyiségű víz, másrészt tápanyagraktár, harmadrészt környezetre ártalmas anyagok lehetséges feldúsulási helye. A szennyvíziszapban a nehézfémek mellett más szerves és szerves anyagok is előfordulhatnak. A levegőztetett szennyvíztavakban hosszú, akár tíz évnél is hosszabb idő alatt összegyűlő iszap jól stabilizált, kiirtható. Emiatt a szennyvíztisztító telepre csak víztelenítés céljából érdemes szállítani, további mineralizálása a szennyvíztisztító telepen nem indokolt.

A levegőztetés nélküli tavakból kitermelt iszap mezőgazdaságilag hasznosítható. A hasznosítás feltétele a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításáról szóló jogszabálynak megfelelő feltételek biztosítása. A mezőgazdasági hasznosíthatóság alapfeltétele, hogy adott időközönként (ma ötévente) a szennyvíziszap összetételét vizsgálatni kell. Amennyiben a mezőgazdasági hasznosítás szempontjából a szennyvíziszap nem megfelelő minőségű, más szennyvízelhelyezési mód jöhet csak szóba.

A kisberendezések létesítésének, telepítésének szabályai

A szaniterektől (mosdó, WC, fürdő, tusoló, mosógép) a szennyvíz az ágvezetéken és ejtővezetéken át az alapvezetékbe kerül. Mivel ezeket a vezetékeket, a tető fölé kell kiszellőztetni, a vízbe levegő kerül, ami a betonkorroziót csökkenti. Ebből kifolyólag a kéményhatás miatt a kisberendezést is kiszellőzteti, különösen az előtisztítónál. Ehhez az szükséges, hogy a kisberendezéshez vezető csatorna és közbenső vezetékei legalább DN 100 méretűek legyenek.

Az egyedi szennyvíztisztító berendezések telepítésének kockázatos helyei a felszín alatti vizek minősége szempontjából fokozottan érzékeny területek, a magas talajvízállású területek, a vízbázisok és távlati vízbázisok, a karsztos területek. Ezeken a területeken a telepítésük jogszabályi alapfeltétele, hogy a települési önkormányzat szennyvíztisztítási programja ezt lehetővé tegye, illetve vízvédelmi okokból a szikkasztás ne legyen megtiltott. A beépítés helyének kiválasztása: mindenkor hozzáférhető legyen, és az iszap elszállítása a szokásos járművekkel elvégezhető legyen.

Üzemeltetés, karbantartás

Általános előírások

A decentralizált szennyvíztisztító létesítményt alapvetően a tulajdonosnak kell üzemeltetnie, de ennek kötelezettsége átruházható. Amennyiben a létesítmények programszerűen, egy jól lehatárolt területen épültek meg, az üzemeltetést olyan felelős szolgáltató végezheti, amely rendelkezik magasabb fokozatú, szakirányú képzettségű dolgozóval. A felelős szolgáltató feladata az üzemnapló

vezetése, a karbantartás, a mintavételezés és a minták vizsgálata, az adatok megküldése a vízügyi hatóságnak, továbbá minden egyéb üzemeltetési feladat (például a létesítmény javítása). Ha a létesítmény egyedi telepítésű, és a kibocsátás meghaladja az évi 500 m³ mennyiséget, évente kell mintázni és a mintát bevizsgáltatni.

Az egyedi szennyvíztisztító létesítmények mintázása

Az egyedi szennyvíztisztító létesítmények esetében a szennyvízmintavétel módja a befogadó jellegétől függ: felszíni víz esetében minősített pontmintát, talajba vezetéskor vagy minősített pontmintát, vagy 24 órás átlagmintát kell venni. A minősített pontminta legfeljebb két órán belül vett, legalább öt pontminta összekeveréséből nyert átlagolt minta, ahol a pontminták mintavételi időköze legalább 2 perc. A 24 órás átlagmintához legalább óránként kell pontmintát venni, és összeöntés után venni le a mintát, vagy folyamatos mintavétel (automatikus mintavevővel) is alkalmazható.



3.33. ábra

Mintavevő edény (Lausitzer-katalógus)

Tavas tisztítás esetén a mintának algamentesnek kell lennie, ezért üvegszöveten kell átszűrni. A mintákból legalább a dikromátos oxigénfogyasztást (KOI_k) és az ammónium-nitrogént (NH_4-N), illetve talajba vezetéskor még az összes szerves nitrogént (ΣN_{asv}) kell meghatározni. Az egyéb paraméterek meghatározása opcionális, a létesítmény üzemeltetője dönti el a célvizsgálathoz indokolt jellemzőket.

Különösen ilyenek:

- oldott oxigén,
- hőmérséklet,
- pH,
- ülepíthető anyagok,
- iszapszint.

A biológiai szennyvíztisztítóktól standardszerűen kizárólag a szervesanyag-lebontást várjuk, tehát ennek mértékét, illetve hatásfokát kell megítélni. A nitrogénkomponensek és a foszfátok célvizsgálat keretében, hatásági igényeknek eleget téve lehetnek indokoltak.

Az egyedi szennyvíztisztító létesítmények üzemeltetési feladatai

A kisberendezésbe nem vezethetők olyan anyagok, amelyek a tisztítási folyamatokat károsíthatják. Ilyenek például az ipari jellegű szennyvizek (ha a házi szennyvíztől eltérő minőségűek), az egyéb vizek (drénvíz), a hűtővíz, az úszómedencék ürítő vize, csapadékvíz, nagy darabos anyagok, zsírok, olajok, savak, tüzelőberendezések kezeletlen kondenzvizei, erős tisztítószerek, fertőtlenítőszer, gyógyszerek és más vegyszerek, amennyiben nem a házi szennyvízben megszokott csekély mennyiségben és koncentrációban fordulnak elő.

Az ülepítőknél és oldómedencéknél a bevezetést célszerű gyakrabban ellenőrizni, hogy az ott kialakuló dugulás miatti visszaduzzasztás megelőzhető legyen.

Az ülepítőkből és oldómedencékből a kiülepedett iszapot évente egyszer elegendő elvenni, illetve alapszabálynak tekinthető, hogy ha a műtárgy hasznos térfogatának felét már iszap tölti ki, azt el kell venni. Oldómedencéknél az elvételt az első kamrában kb. 20 cm iszapréteg visszahagyandó a frissen kiülepedő iszap „beoltásához”. Az úszó iszapot az iszaptalanításkor minden kamrából el kell venni. Ülepítőknél iszapoláskor a műtárgy teljesen leüríthető, beoltáshoz nem szükséges részmennyiséget visszahagyni.

A biológiai szennyvíztisztítók üzemellenőrzési feladatai különbözőek attól függően, hogy például laikus tulajdonosról vagy hozzáértő, megfelelő eszközökkel felszerelt szakemberről van szó.

Szakember számára fontos az eleveniszap koncentrációja. Az eleveniszapos berendezések egyik fontos működési feltétele, hogy megfelelő koncentrációjú biomassza legyen a rendszerben. Ez egyszerű 30 perces ülepedési vizsgálattal ellenőrizhető, amikor 1 literes mérőhengerbe szennyvíz-eleveniszap mintát veszünk a levegőztetett térből. Az ülepedés során az eleveniszapnak és a szennyvíznek éles határral kell elválnia. 30 perces ülepedés után le kell olvasni a kiülepedett iszap mennyiségét ml-ben, a kapott eredmény az iszap térfogati koncentrációja. Az iszap megfelelőnek tekinthető, ha a mennyisége 120–600 ml között van. 120 ml alatt az iszaptartalom túl alacsony, SBR-berendezéseknél a 400–600 ml/l közötti érték normális, a 600 ml feletti túl magas.

Túl magas iszapkoncentráció esetén az iszap egy részét, a fölösiszapot el kell venni. Az iszapot a fölösiszap-szivattyúval lehet elvenni, és többnyire az előtisztító műtárgyba kell vezetni.

A reaktorban a biomassza jó működéséhez kellő mennyiségű oxigénnek kell rendelkezésre állni. Megfelelő az 1–2 mg/l közötti oxigénkoncentráció. A túl alacsony oxigénkoncentráció oka lehet a túl nagy szennyezőanyag-terhelés, ami akkor fordulhat elő, ha a berendezés kapacitásához képest túl sok kibocsátó szennyvíz jut a berendezésre, vagy a kibocsátott szennyvíz szervesanyag-koncentrációja túl magas. Ilyen eset akár lökésszerűen is előfordulhat, ha a szennyvízbe sok szerves anyag kerül (állatvágásból vér, borkészítéskor alkohol stb.). Az oxigénkoncentráció

csak megfelelő mérőszondával ellenőrizhető. Az oxigénbevitel működése legegyszerűbben röviddel a fúvó bekapcsolása után ellenőrizhető. Ekkor a levegőztető műtárgy vízfelszínén a légbuborékoknak finomaknak és egyenletesen eloszlónak kell lenniük. Ha a buborékpép ennek a kíváncsnak nem felel meg, a levegőztetőelem működési problémájáról lehet szó, leggyakrabban a levegő a membránfelület egy részén nem tud kilépni. Ha akár cm-es méretű buborékok jelennek meg a vízfelszínen, a levegőbevezető csőnél, csatlakozásnál vagy a membrán szakadásánál szökhet el a levegő. Az előbbi probléma a tömítés javításával kiküszöbölhető, membránszakadás esetén a levegőztetőelemet ki kell cserélni.

Az SBR-berendezéseknél az eleveniszap a levegőztetési ciklus után ülepedik a beállított ciklusidőnek megfelelő ideig. Az ülepítési fázis után az ülepített szennyvizet szivattyú vagy szivornya emeli az elvezető csőbe, illetve az előtte lévő, néhány liter térfogatú mintavevő edénybe. Az ülepítés a zavarosság mérésével, illetve szemrevételezéssel ellenőrizhető. A zavarosságméréshez zavarosságmérő műszer szükséges, ami általában csak laboratóriumban áll rendelkezésre. Szemrevételezéssel a szennyvíz átlátszósága egyszerűen mérhető. Az átlátszósága megadja, hogy milyen mélységig tiszta, lebegőanyag-mentes a víz.

Az aerob berendezések ülepítőjében a vízfelületen az eleveniszap-pelyhek felflotálódása miatt uszadék képződhet. Az úszó iszap egyszerű nyeles edénnyel lemerhető. A leszedett úszó iszap az előtisztító iszapterében helyezhető el.

Az eleveniszapos berendezések esetében komoly problémák lépnek fel tartósan szennyvíztáplálás nélküli időszakokban. Az eleveniszapos rendszerek többnyire 7–10 napos szennyvíztáplálás-kimaradást átvészelnek. Ilyen nagyságú vagy némileg hosszabb szennyvíztáplálás nélküli időszakokra jó megoldás, ha a tisztító rendszerben van mennyiségi és minőségi kiegyenlítés biztosító tároló. De hosszabb idő esetében az egy lakóegységet ellátó kisberendezés (például 4 LE kapacitású) esetében, például a lakók nyaralásakor takarékküzemre kell átállni. A takarékküzem azt jelenti, hogy a szennyvízmentes időszakban pótolni kell valamilyen minimális vízmennyiséget és a biomasza működésben tartásához szükséges tápanyagokat, legalább valamilyen szénforrást. A pótszennyvíz tisztított szennyvízből nyerhető, de a rendszerben lennie kell egy kisebb, akár csak 100 L körüli hasznos(!) térfogatú tisztított szennyvíz-tárolónak, ahonnan az a biológiai egységre visszacirkuláltatható. Ez akár provizórikus beépítésű, kis vízszállítású, szintvezérelt szivattyúval megoldható. A szerves anyag pótlására elvileg elképzelhető az iszaptárolóból (ülepítőből, oldómedencéből) iszapvíz nyérése, de technikailag költséges, bonyolult megoldást igényel. Célszerűbb, és műszakilag egyszerűbb megoldás lehet külső szénforrás (például ecetsav) szakaszos bevezetése az eleveniszapos reaktorba vagy a recirkulációs vízáramba. Az adagoló egység részei: adagoló szivattyú, oldattároló kanna, vezérlőegység (lényegében időkapcsoló).

Csepegtetőtestes berendezésnél a megfelelő szennyvízminőség teljesítésének feltételei:

- alacsony lebegőanyag-tartalmú szennyvíz vezethető a csepegtetőtestre, ami jó hatásfokú előkezelést (ülepítést) feltételez;
- a szennyvizet a csepegtetőtestre szakaszosan kell feladni, és a töltet felületén egyenletesen kell szétosztani;
- a szervesanyag-terhelést alacsony értéken kell tartani, a csepegtetőtest kiszáradását meg kell akadályozni, mindkét követelményhez a tisztított szennyvizet szakaszosan vissza kell recirkuláltatni;
- a töltet jó átlevégőzéséhez a töltet méretét megfelelő szemnagysággal kell kiválasztani.

A töltet felületének esetleges tócsásodása eltömődésre utal, ami vagy a felül lévő réteg nagynyomású vízzel átmosásával, vagy a töltet nagyobb vastagságú rétegének kitermelésével és a hézago-

kat eltömő iszapanyag kiöblítésével számolható fel. A fertőtlenítőszeres (hipós) víz alkalmazása ellenjavallt, mert a biológiai hártyát súlyosan károsítja.

A berendezésekből származó iszapok ártalommentes elhelyezésének megszervezéséről a törvény szerint az önkormányzatnak kell gondoskodni.

Gazdaságossági vonatkozások

A szakszerűen kialakított és megépített kisberendezések terjedése akkor várható el, ha ezek létesítési és üzemeltetési költségei a centralizált szennyvízelvezető rendszerek fajlagos létesítési költségeit, illetve az adott térségben szokásos csatornadíjakat nem haladja meg. A központi szennyvízelvezető és -tisztító rendszerek kizárólag valamilyen pénzügyi szubvencionálással valósulnak meg, ezért a kisberendezések létesítésével kapcsolatban joggal várható el, hogy a kormányzat ekvivalens támogatási rendszert dolgozzon ki, és működtessen. Különösen preferálandó a csoportos szennyvízkibocsátók esetében a közös, legfeljebb 50 LE kapacitású egység létesítése, ha annak üzemeltetését az agglomeráció csatornaszolgáltatója vállalja fel.

A kisberendezések létesítésének elméletileg lehetséges, racionális forrása az adott ingatlantól a közüzemi csatornahálózati kiépítendő csatorna és a központi szennyvíztisztító kapacitás egységköltsége alapján számítható beruházási összeg.

Az üzemeltetési költségek között kell számba venni a karbantartási és felújítási költségeket (például töltet-, membrán- stb. csere), a létesítmény amortizációs költségét, adott esetben az energia-költségeket, a keletkező iszap elszállításának, kezelésének és elhelyezésének költségeit. Indokolt a kisberendezések esetében is az életciklusköltség-szemlélet előtérbe helyezése.

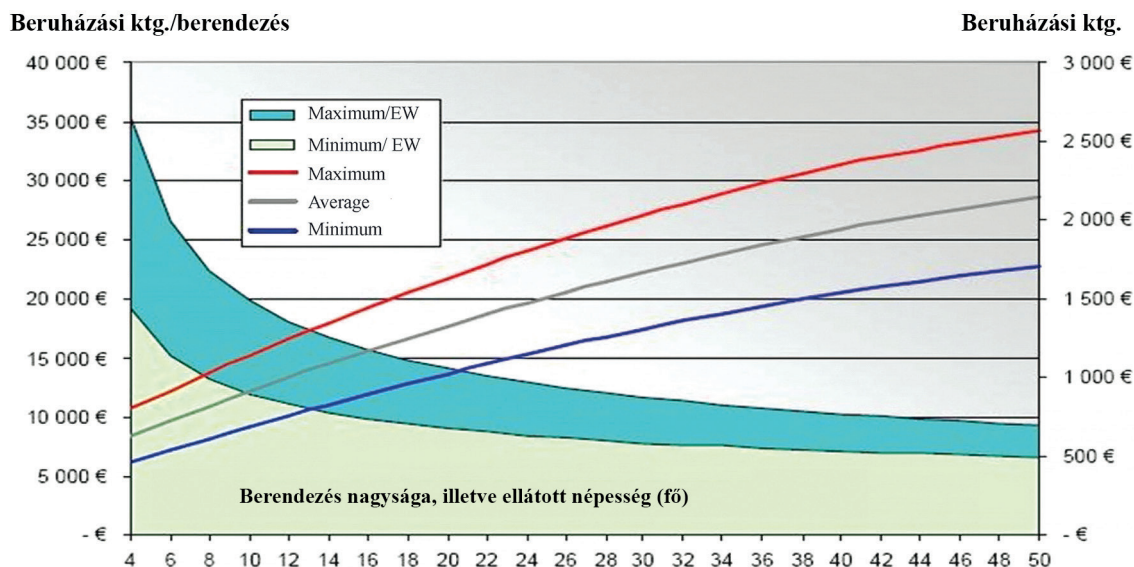
A kisberendezések létesítésének költségeit különösen a gyártmányok sokszínűsége, a gyártók kínálati palettájának sokszínűsége és a telepítési-kivitelezési költségek óriási szórása miatt nehéz még becsülni is.

Orientáló adatnak tekinthetjük a MASZESZ 2016-ban az egyedi szennyvíztisztításra és -elhelyezésre vonatkozó ajánlásai között szereplő, a CE tanúsítvánnyal rendelkező oldómedencékre a 700–800 eFt/ingatlan, kisberendezésre az 1100–1200 eFt/ingatlan fajlagos beruházási költségeket. Az ugyanitt szereplő oldómedencére 450–500 eFt/ingatlan, kisberendezésre 4–5 eFt/ingatlan üzemeltetési fajlagos erősen alábecsült, különösen életciklus-szemléletben.

Az 50 LE-ig értelmezett szennyvíztisztító kisberendezésekre vonatkozóan szofisztikáltabb képet tükröz egy 300 különböző kisberendezésre kiterjedő, a gyártók árlistáin és ajánlatain alapuló, de a telepítéshez szükséges költségeket is tartalmazó, valamint az üzemeltetési költségeket (Németország, 2003) mutató diagram. A fajlagos költségeket mutató diagramból látható, hogy a fajlagos költségek széles sávban mozognak, a kisebb méreteknél a felső és alsó érték között akár 1,5–2-szeres különbség is lehet, a nagyobb méreteknél a költségsáv szűkebb, ugyanez a különbség 0,6–0,7 körüli.

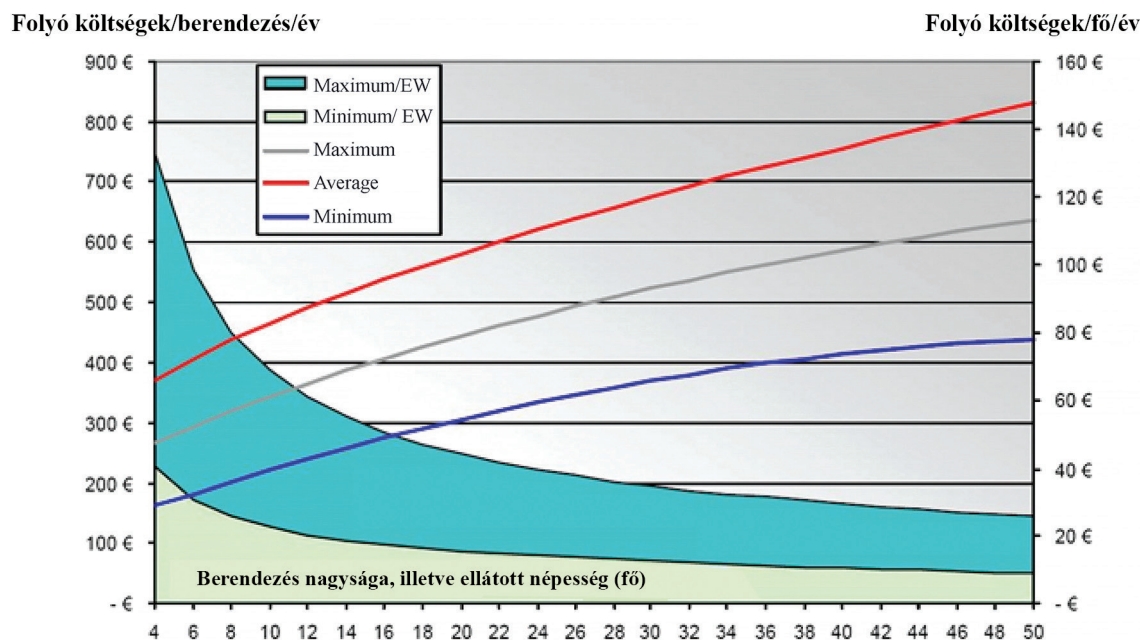
Az üzemeltetés során keletkező fontosabb költségek: a karbantartási költségek, az áramköltségek és az iszap elszállításának költségei. A karbantartási költségek a rendszeres ellenőrzés, a szennyvízminták vizsgálatainak költségeit, a garanciális és ezenfelüli javítási költségeket is tartalmazzák. A kisberendezések üzemeltetésével járó folyó költségek a berendezés típusától, kiépítési méretétől függenek. A kisebb berendezéseknél a legkisebb és legnagyobb fajlagos költség közti különbség akár háromszoros is lehet, a legnagyobb berendezéseknél ugyanez a különbség kétszeres. Az áramköltségek a 2003-as adatok szerint egy átlagos háztartás esetében jóval 100 euró

felett voltak, a természetközeli szennyvíztisztítóknál az áramköltségek sokkal alacsonyabbak. Egy lakosra vetítve az éves áramköltség a művi berendezések esetében 10–30 euró körül, a természetközeli tisztítóknál 2–5 euró körül volt.



3.34. ábra

Fajlagos beruházási költségek (Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség [MASZESZ])



3.35. ábra

Kisberendezések üzemeltetésével járó folyó költségek ([3])

A kis szennyvíztisztítók energiaigényét technológiák szerinti bontásban különböző amerikai források nyomán a 3.36. táblázat mutatja.

3.36. táblázat

Kis szennyvíztisztítók energiaigénye a különböző technológiák függvényében (saját szerkesztés)

Technológia	Hidraulikai terhelés m ³ /d	Fajlagos energiafelhasználás kWh/m ³
Fakultatív tó + gyors beszivárgtatás	3786	0,11
Fakultatív tó + felszíni beszivárgtatás	33786	0,16
Levegőztetett növényágyas	5500	0,16
Szakaszos elárasztású (töltő-ürítő) növényágyas	1000	0,18
Oxidációs árok	3786	0,51
Csepegtetőtest nitrogéneltávolítással	3786	0,61
Eleveniszapos nitrifikációval	3786	0,76
Teljes oxidációs kisberendezés	3786	1,06
SBR	303	1,13
Élőgép	3786	1,51

3.37. táblázat

Fajlagos létesítési és működési költsége (saját szerkesztés)

		Egy ingatlanra eső nettó			30 éves nettó létesítési és működési költség (Ft)	Költségarány a legdrágább 30 éves nettó létesítési és működési költséghez viszonyítva (%)
		építési költség (Ft/ingatlan)	működési költség (Ft/m ³)	működési költség (Ft/év)		
Zárt szennyvíztároló		500 000	1580	156 000	2 726 263	100
Egyedi szennyvíztisztító kisberendezés		750 000	170	16 700	954 688	35
Csatornázás + művi szennyvíztisztító	< 600 LE	1 100 000	1000	98 550	2 452 844	90
	600–2000 LE	980 000	920	90 400	2 255 054	83
Csatornázás + természetközeli szennyvíztisztító	< 600 LE	850 000	640	63 300	1 705 522	63
	600–2000 LE	750 000	570	55 800	1 519 574	56

Felhasznált irodalom

- [1] Schmitt, TG, Hansen, J, Valerius, B. Handlungsempfehlungen für eine moderne Abwasserwirtschaft. Schlussbericht. TU Kaiserslautern; 2010.
- [2] Mall AG: Kleinkläranlagen/Grauwassernutzung, 5. (Terméktájékoztató).
- [3] MASZESZ: Kistelepülések egyedi szennyvíztisztítására és elhelyezésére vonatkozó szakmai ajánlása. Hírcsatorna. 2017;1.

Jogszabályok

- 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról
- 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
- 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről
- 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról
- 27/2005. (XII. 6.) KvVM rendelet a használt és szennyvizek kibocsátásának ellenőrzésére vonatkozó részletes szabályokról
- 30/2008. (XII. 31.) KvVM a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról
- 91/271/EGK irányelv a települési szennyvíz kezeléséről
- 86/278/EGK irányelv (1986. június 12.) a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása során a környezet, és különösen a talaj védelméről

Szabványok

- ATV-DVWK-A 262 Grundsätze für die Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers, 2004
- CEN/TR 12566-2:2008 Soil infiltration systems
- CEN/TR 12566-5:2005 Pre-treated effluent filtration systems
- DIN 4261 Teil 1; „Kleinkläranlagen, Anlagen zur Abwasservorbehandlung”, Ausgabe Dezember 2002
- DIN SPEC 4261-6: Bestimmung der Tagesfrachten häuslichen Schmutzwassers beim Betrieb von Kleinkläranlagen nach EN 12566-3 und DIN 4261-1
- ÉSZ 511-75 Szennyvíztisztítás és szennyvíztisztítási építmények. Tervezési előírások
- MI 10 127/9-84 Településekről származó szv-ek tisztítótelepei. Szennyvíztisztító kisműtárgyak és kisberendezések
- MSZ 15287:2000 Településekről származó szennyvizek tisztítótelepei. Szennyvíztisztító kisműtárgyak és kisberendezések
- MSZ 15302-62 Csatornatervezés és méretezés. Szennyvíztisztítás.
- MSZ EN 12056-1:2001 Gravitációs vízvezeték rendszerek épületen belül. 1. rész: Általános és teljesítményi követelmények
- MSZ EN 12056-2:2001 Gravitációs vízvezeték rendszerek épületen belül. 2. rész: Szennyvízcsővezeték, kialakítás és számítás
- MSZ EN 12566-1:2016 Angol nyelvű! Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig (LE). 1. rész: Előre gyártott oldómedencék
- MSZ EN 12566-3:2016 Angol nyelvű! Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig (LE). 3. rész: Készre gyártott és/vagy helyszínen összeszerelt házi szennyvíztisztító berendezések
- MSZ EN 12566-4:2016 Angol nyelvű! Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig (LE). 4. rész: Előre gyártott elemekből a helyszínen összeszerelt oldómedencék
- MSZ EN 12566-6:2016 Angol nyelvű! Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig (LE). 6. rész: Előre gyártott tisztítóegységek az oldómedencéből elfolyó szennyvízhez

MSZ EN 12566-7:2016 Angol nyelvű! Szennyvíztisztító kisberendezések 50 összes lakosegyenértékig (LE). 7. rész: Előre gyártott harmadik fokozatú tisztítóegységek
 OVHMI 146/1-71 Házi szennyvízkezelő kisműtárgyak
 ÖNORM B 2505: 2009 Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“) – Anwendung, Bemessung, Bau, Betrieb, Wartung und Überprüfung

Ajánlott irodalom

Boller M. Small Wastewater Treatment Plants – A Challenge to Wastewater Engineers. Water, Science & Technology. 1997;35(6):1–12. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00089-9](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00089-9)
 Eikum AS, Seabloom RW. editors. Alternative Wastewater Treatment – Low-cost Small Systems, Research and Development. D. Reidel; 1982.
 ÉM: Csatornatervezési és méretezési szabályzat 1. rész. Budapest; 1952.
 EPA: Code Of Practice Wastewater Treatment and Disposal Systems Serving Single Houses (p.e. ≤ 10). 2009.
 Frechen F. Technische Entscheidungskriterien für dezentrale oder zentrale Abwasserreinigungsanlagen, DWA WasserWirtschafts-Kurs O/6 „Abwasserentsorgung im ländlichen Raum“ Kassel, 5. bis 7. November 2014.
 Goldberg B. Kleinkläranlage heute – Ein Kompendium zu den klärtechnischen Verfahren und Anlagen der Abwasserbehandlung. Beuth; 2018.
 Kadlec RH, Wallace SD. Treatment Wetlands. CRC Press; 2009.
 Koch M, Schlesinger R. Dezentrale Abwasserentsorgung – neue Erkenntnisse, hygienische Aspekte. Tagungsband „Wasser, Abwasser – Wertstoffe für die Lausitz?“ Lautau; 2003.
 Magyar Víziközmű Szövetség: Távlati vízigények elemzése. 2007.
 Merkblatt „Kleinkläranlagen in Schleswig-Holstein“. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein; 2016.
 New York State Department of Health, Bureau of Water Supply Protection. Residential Onsite Wastewater Treatment Systems Design Handbook. 2012.
 Településtípusok. 2018. <http://www.terport.hu/telepulesek/telepulestipusok>
 Török L. Szennyvíztisztítás. Kézirat.
 Rule Development Committee Issue Research Report Draft – Organic Loading Rates. Washington State Department of Health; 2002.
 Útmutató a 2000 lakosegyenérték szennyezőanyag-terhelés alatti települések szennyvízelvezetési és -tisztítási megoldásainak kialakításához. Vidékfejlesztési Minisztérium; 2010.

Fejezetzáró kérdések

1. Melyek az egyszerű és bővített oldómedencék kialakítási szabályai?
2. Vázolja fel egy folyamatos átfolyású eleveniszapos kisberendezés elvi kialakítását az egyes anyagáramok feltüntetésével!
3. Mi az SBR-rendszerű szennyvíztisztítás működési elve? A kisberendezésekben alkalmazva milyen sajátos üzemeltetési alternatívákat említene?
4. Milyen a csepegtetőtestes kisberendezések elvi kialakítása, és hogyan működnek?
5. Milyen a merülőtárcsás csepegtetőtestek elvi kialakítása, és hogyan működnek?
6. Hogyan működnek a membrán bioreaktorok?
7. Melyek a természetközeli szennyvíztisztító kisberendezések, milyenek a fő kialakítási módjaik?
8. Hogyan helyezhetők el a tisztított szennyvizek? Milyen elvek szerint méretezhetők a szennyvízelhelyező kislétesítmények?

[This page intentionally left blank]

Szennyvíztisztítási folyamatok modellezése

Szennyvíztisztítás modellezése, szimulátorok

A szennyvíztisztítási folyamatok szimulálására, előrejelzésére már a technológiai tervezés fázisában szükség van. Ezen modellek többnyire dinamikus szimulációt alkalmaznak, azaz a folyamatok teljes körű leírásához a változók időbeli függését is figyelembe veszik. Ennek egyik oka, hogy a beérkező szennyvízterhelés nem egyenletes; egyrészt a szennyvízhozam napi és évszakos ingadozásából, másrészt a változó ipari hányadtól függ.

Ebből kifolyólag a technológia sem tervezhető átlagértékekre, és az üzemeltetés sem hagyatkozhat csupán egyszeri pontminták alapján feltételezett statikus állapotokra. A dinamikus modelleknek a szennyvíztisztítás összetett természetét tükrözniük kell, ezért a modell felépítése is szükség-szerűen rendszerszemléletű, komplex közelítést igényel, amelyben egyszerre többfajta modellelem mintegy fogaskerékként kapcsolódik össze.

A modellelemek és céljaik a következők:

- befolyómodell: szennyvíz összetételének, frakcióinak meghatározása és állapotváltozókká alakítása;
- ülepítőmodell: a partikulált formában lévő anyag kiülepíthetőségének előrejelzése;
- biokinetikai/biokonverziós modell: a biológiai tisztítási szakaszban szükséges biomasszamenyiség és ez alapján a reaktortérfogat meghatározása;
- szivattyúmodell: a szivattyúk és átemelések üzemrendjének meghatározása, energiaigényének becslése;
- szenzormodell: az egyes komponenseknél a mérőműszer jele és a mért koncentráció közötti kapcsolat felállítása;
- folyamatirányítási modell: a mért vízminőségi adat alapján visszacsatolások megtétele az üzemirányítás számára;
- áramlási és transzportmodell: műtárgy-hidraulikai és a hozzá kapcsolható terjedési modell, ideértendő a többdimenziós áramlási modell leegyszerűsítéseként megalkotott reaktormodell;
- levegőztetési modell: a mikroorganizmusok számára elengedhetetlen oxigénmenyiség és a fúvókán bejuttatott levegőmenyiség közötti kapcsolat felállítása;
- kimeneti modell: a modell állapotváltozóiból összetett változók generálása.

Az egyes modellelemek közötti kapcsolatot a bemenet-kimenet (input-output) viszony határozza meg. Például a szennyvízfrakciók meghatározásával a befolyó modell kimeneti értékét számoljuk, de ezen értékek az anyagforgalmi modell számára bemeneti értéként jelentkeznek. A szenzormodell segítségével meghatározott reaktorvégi ammóniumion-koncentráció alapján meghatározható a szükséges levegőmenyiség (ammóniumkontroll), amely egyrészt a folyamatirányítási kérdés, másrészt a levegőztetési modellre is hatást gyakorol.

Bizonyos modellelemek nehezen választhatók el egymástól; ilyen például a biokinetikai modell és az áramlási modell. Ilyen esetben gyakran valamelyik elemet egyszerűsítjük, és a hozzá tartozó másik elem modelljében csak átlagértékeket veszünk figyelembe. Például a biokinetikai modellek teljesen elkevert vagy kaszkádreaktor-modelljeiben az áramlás többdimenziós jellege értelmezhetetlen, csupán az elkeveredésre gyakorolt hatását vesszük figyelembe.

A 4.1. ábrán láthatók a modellrendszer elemei és egymáshoz viszonyított kapcsolatuk. Ezen rendszert a Nemzetközi Vízügyi Szövetség (IWA: International Water Association) modellezési munkacsoportja hozta létre (GMP: Good Modelling Practice, TG: Task Group: munkacsoport).



4.1. ábra

Szennyvíztisztítás modellrendszerének elemei (saját szerkesztés [1] alapján)

Megjegyzés: 1: befolyómodell, 2: anyagforgalmi/biokinetikai/biokonverziós modell, 3: ülepítőmodell, 4: szivattyúmodell, 5: szenzormodell, 6: áramlási és anyagtranszportmodell, 7: folyamatirányítási modell, 8: levegőztetési modell, 9: kimeneti modell

Az összetett modellezési rendszer lehetővé teszi a szennyvíztisztítási folyamatok tervezését, az üzemirányítást, prognózisok, trendek készítését és optimalizációs eljárások lefuttatását. Az egyes modellelemek szorosan kapcsolódnak egymáshoz, de a gyakorlati feladatok megoldásához gyakran élünk az egyszerűsítés lehetőségével.

Szennyvíztisztítási folyamatok tervezésénél elsősorban a reaktortérfogatokat, a szükséges vegyszer- és levegőmennyiségeket és a képződő iszapmennyiséget határozzuk meg, amihez elengedhetetlen a befolyó-, a biokinetikai, az ülepítő- és a levegőztetési modell, illetve a kimeneti modellelemek együttes használata. Az egyszerű kezelhetőség érdekében érdemes olyan szimulációs környezetet keresni, amely lehetővé teszi a több elem együttes vizsgálatát. Ilyen szimulációs rendszerek sokasága található a piacon, amelyek közül több szempont alapján választhatunk:

- könnyű kezelhetőség, felhasználóbarát szimulációs környezet,
- szoftvertámogatás,
- bővíthetőség, flexibilitás,
- megfizethetőség, ár-érték arány.

Tehát olyan szimulációs környezetet választunk, amelynek kezeléséhez nem szükséges magas szintű programozási ismeretek használata, stabil működést tesz lehetővé, az online szakmai támogatás lehetősége biztosított. A megvásárolt termék ne csak az általános problémák kezelésére legyen alkalmas, hanem biztosítson olyan felületet, ahol az egyes modellek bővíthetők, kiterjeszthetők speciális esetek megoldásához. Nem utolsósorban pedig az ár-érték arány alapján választunk: a szoftver használatával elnyert előnyök (például optimalizáció során kapott nyereség) a szoftver-költségnél magasabb legyen. Érdemes meggondolni, hogy ingyenes és sok esetben nyílt forráskódú szoftverhez van-e megfelelő tapasztalatunk, vagy a felhasználóbarát, támogatást nyújtó, adott időszakra licencet biztosító megoldást válasszuk. Néhány szimulációs környezet a szennyvíztisztítás modellezése témakörben:

- Stoa: folyamatosan fejlesztett, csatornamodell is alkalmaz, egyszerűbb problémák megoldására alkalmas ingyenes szimulációs környezet.
- WEST: dán DHI által kifejlesztett, jól alakítható környezettel.
- GPS-X: Hydromantis által forgalmazott szoftver, széles körben elterjedt, jó támogatással. Több saját modellt is implementáltak (például Mantis-modell).
- Simba: először német nyelvterületen terjedt el, de az utóbbi időket nagy fejlesztések határozták meg, és világhírű névre tettek szert.
- BioWin: a GPS-X nagy vetélytársa a komplex szennyvíztelepi problémák megoldására képes tervezés, intenzifikálás, üzemirányítás területén. Felhasználóbarát szimulációs környezet.
- SUMO: új generációs megoldás Takács Imrétől és csapatától. Rendkívül gyorsan végrehajthatók a szimulációk, és felhasználóbarát környezettel rendelkezik.
- Ezeken kívül még forgalomban lévő és használatos szimulációs szoftverek az AQUASIM, JASS, EFOR, ASIM.

Szimulációs protokollok

Láthattuk, hogy milyen bőséges választék áll rendelkezésre a szoftverek területén, azonban fontos, hogy az egyes szimulációs környezetbe ágyazott modellek eredményei ne különbözzenek egymástól, és lehetőleg a valósághoz is közeli értékeket kapjunk. Ennek érdekében a szimulátorok és a szimulációs folyamatok összehasonlításához nemzetközi protokollokat vezettek be, amelyek segítik a különböző vizsgálatok eredményeinek összehasonlítását. Néhány szimulációs protokoll:

- STOWA protokoll: a Dán Alkalmazott Vízügyi Kutatási Alap dolgozta ki, elsősorban az ASM1-re épül.
- Biomath protokoll: az ASM modellcsalád teljes egészére meghatároz kalibrációs eljárásokat.
- WERF (Water Environment Research Foundation) protokoll: elsősorban a szennyvíz összetételének vizsgálatát szabályozza, több kalibrációs szintet határoz meg.
- HSG protokoll: általános, modellfüggetlen adatokkal dolgozik.

A különböző protokollok máshová helyezik a hangsúlyt, részletekben különböznek, eltérő ajánlásokat fogalmaznak meg még akkor is, ha az alapelvekben meg tudtak egyezni. Ebből viszont az következik, hogy az eltérő szimulációs környezetet és eltérő modellezési protokollt követő szimulációk összehasonlíthatatlanok. A Nemzetközi Vízügyi Szövetség (IWA) GMP Munkacsoportja (Good Modelling Practice) a jó modellezési gyakorlat kidolgozásán keresztül próbálja elvégezni az egységesítést.

Anyagforgalmi modellek felépítése

A modellek működésének megértéséhez az alapvető fizikai, kémiai és biológiai folyamatok leírása szükséges. Ezen folyamatok időbeli változása adja a telepen kialakuló biomassza mennyiségét és a szubsztrátum fogyásának kinetikai egyenletét.

A konverziók a biológiai szennyvíztisztító telepeken a következők:

- biológiai növekedés,
- hidrolízis,
- pusztulás.

Biológiai növekedés

A szennyvíztisztítási folyamatban előforduló mikroorganizmusok a növekedésükhöz kicsi és egyszerű felépítésű molekulák lebontását/átalakítását végzik el. Ilyenek lehetnek például az ecetsav, etanol, metanol, propionsav, glükóz, ammónium, nitrit stb. A növekedés enzimkatalizált mikrobiológiai reakcióként fogható fel. A növekedés (a szaporodási sebességen keresztül) a szubsztrát függvényében a Monod-kinetikát követi, és a következő egyenlet írja le:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$

ahol:

μ : fajlagos szaporodási sebesség [t^{-1}]

$\mu_{\max}$: maximális fajlagos szaporodási sebesség [t^{-1}]

S : szubsztrátum koncentráció [mg/l]

K_S : szubsztrátum féltelítési állandó, vagyis a maximális fajlagos szaporodási sebesség feléhez tartozó szubsztrátum [mg/l]

A kinetika alapján bevezethető a hozamkonstans, amely kifejezi, hogy 1 kg szerves anyagból mint szubsztrátumból hány kg biomassa (iszap) képződik.

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt}$$

ahol

X : naponta képződő biomassa mennyisége [kg/d]

S : naponta a telepre érkező szubsztrátummennyiség [kg/d]

Y : hozamkonstans [kg/kg]

A fenti egyenletek alapján felállítható a szubsztrátum fogyásának egyenlete:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-1}{Y} \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S} X$$

Természetesen többfajta szubsztrát is szükséges a biomassa növekedéséhez, amelyeket egyenként figyelembe kell venni.

Hidrolízis

A nagy méretű molekulák kisebb méretű molekulákká konvertálódnak (partikulált vagy oldott forma). A biokémiai hidrolízis során a mikroorganizmusok által termelt sejten kívül ható enzimek (ún. extracelluláris enzimek) közül a hidrolázok végzik a nagy molekulaméretű szerves anyagok (biopolimerek) hasítását, darabolását. A keletkezett kisebb molekulákat már fel tudják venni a sejtek, és átalakítás után saját szervezetük növekedéséhez és szaporodásukhoz használják fel, ezáltal növelve a biomassa mennyiségét. Mivel a hidrolízis sebessége általában kisebb, mint a biológiai növekedésé, így gyakran sebességlimitáló tényező a biológiai szennyvíztisztítási folyamatokban.

Pusztulás

A mikroorganizmusokat elhalás jellemzi, amelynek „sebessége” a biológiai tisztítótelepek anyagának konverziója miatt lényeges. Bizonyos mennyiségű lassan bontható anyag kerül be a rendszerbe. Ez az anyag hidrolizál, és következésképpen növekedést vagy oxigén-, illetve nitrátfogyasztást okoz.

Ezek voltak a főbb átalakító folyamatok a biológiai szennyvíztisztításban. Az eltávolító folyamatokat a következő lépésben feloszthatjuk még szervesanyag-eltávolításra, nitrifikálásra és denitrifikációs folyamatokra. A modell építkezését lépésről lépésre példán keresztül mutatjuk be. Az átláthatóság érdekében mátrixos jelölést alkalmazunk, amelynek soraiban az egyes folyamatok állnak, oszlopaiban a vizsgált komponensek és a reakciósebesség áll.

1. lépés: Heterotróf mikroorganizmusok szaporulata. Az oldott szerves anyag aerob bontása: a folyamat oxigén jelenlétében játszódik le, szükség van hozzá oldott oxigénre és heterotróf biomasszára. A modell komponensei a következők:

- oldott oxigén-koncentráció (SO_2),
- oldott biodegradálható szervesanyag-koncentráció (SS),
- oldott inert szervesanyag-koncentráció (SI),
- heterotróf biomassza-koncentráció (XH).

A komponensek és folyamatok táblázatba rendezésével az együtthatókat a 4.1. táblázatban bemutatott módon tudjuk jelölni.

4.1. táblázat

Heterotróf biomassza növekedése (saját szerkesztés)

Komponens	SO_2	SI	SS	XH
1. heterotróf növekedés	$1 - 1/Y_H$		$-1/Y_H$	$+1$

Az első folyamat sebessége így írható fel:

$$\mu_H \cdot \frac{SO_2}{K_{H,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SS}{K_{H,SS}} \cdot X_H$$

A Monod-kinetika alapján a heterotrófokra felírt szaporodási sebességgel számol, figyelembe véve az oldott oxigén-koncentrációt és a biodegradálható szerves anyagot. A heterotróf mikroorganizmusok hozamkonstansa mintegy $Y_H = 0,67$ g/g, a maximális fajlagos szaporodási sebesség $\mu_H = 4$ 1/d. Az oxigén féltelítési állandója $K_{H,O_2} = 0,2$ g/l, a szubsztrátum féltelítési állandója $K_{H,SS} = 5,0$ g/l.

A 4.1. táblázat és a folyamatsebesség segítségével az alábbi módon határozhatók meg az egyes komponensek transzportegyenletei:

- oldott oxigén-koncentráció

$$\frac{dSO_2}{dt} = \left(1 - \frac{1}{Y_H}\right) \cdot \mu_H \cdot \frac{SO_2}{K_{H,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SS}{K_{H,SS}} \cdot X_H$$

- oldott biodegradálható szerves anyag

$$\frac{dSS}{dt} = \left(\frac{-1}{Y_H}\right) \cdot \mu_H \cdot \frac{SO_2}{K_{H,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SS}{K_{H,SS}} \cdot X_H$$

- heterotróf biomassza növekedése

$$\frac{dXH}{dt} = (+1) \cdot \mu_H \cdot \frac{SO_2}{K_{H,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SS}{K_{H,SS}} \cdot X_H$$

2. lépés: Az egyenletekből látható, hogy az adott komponens időbeli megváltozása megegyezik a táblázatból kinyert együttható és a folyamatsebesség szorzatával. A következő szakaszban a modellt bővítjük a sejtlízis folyamatával, azaz a mikroorganizmusok elhalásával és átalakulásával biodegradálható anyaggá. Ebben az esetben a komponensek száma nem, csak a folyamatok száma bővül (4.2. táblázat).

4.2. táblázat

Heterotróf biomassza növekedése (saját szerkesztés)

Komponens	SO_2	SI	SS	XH
1. heterotróf növekedés	$1-1/Y_H$		$-1/Y_H$	+1
2. sejtlízis			+1	-1

A táblázatból látszik, hogy a heterotróf szervezetek fogyasztásával arányosan nő a biodegradálható szerves anyag mennyisége. A folyamat sebessége a heterotrófokkal arányos ($=b_H \times XH$), ahol az arányossági tényező $b_H = 0,4$ 1/d.

Így a transzportegyenletet a szerves szénre felírva a következőt kapjuk:

$$\frac{dSS}{dt} = \left(\frac{-1}{Y_H}\right) \cdot \mu_H \cdot \frac{SO_2}{K_{H,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SS}{K_{H,SS}} \cdot X_H + 1 \cdot b_H \cdot XH$$

Azonban a szimulációs eredmények igazolták, hogy a fenti egyenlet túl gyors átmenetet képez a biomassza és a szabadon felhasználható szerves anyag között. Az elhalt sejtek először nagyobb molekulákat alkotnak, amelyek hidrolizálnak, és kisebb molekulává alakulnak át. A 3. lépésben a hidrolízis folyamatával bővítjük a mátrixot. Ehhez újabb komponens bevezetésére van szükség, amely a lassan bontható szerves szubsztrátum (XS). Ennek eredményeképp a 4.2. táblázatban változtatni kellett a 2. számú sejtlízis folyamatához tartozó együtthatókon: így a +1 tag nem az SS -hez, hanem az XS -hez tartozik.

4.3. táblázat

Szerves anyag bontása (saját szerkesztés)

Komponens	SO_2	SI	SS	XH	XS
1. heterotróf növekedés	$1-1/Y_H$		$-1/Y_H$	1	
2. sejtlízis			–	-1	+1
3. hidrolízis			+1		-1

A hidrolízis folyamatsebessége:

$$k_H \cdot \frac{XS/XH}{K_X + XS/XH} \cdot \frac{SO_2}{K_{hydr,O_2} + SO_2} \cdot XH$$

ahol

k_H : a hidrolízis folyamatát leíró konstans: 1,6 g/g

K_X : féltelítési állandó a heterotróf hidrolízishez: 0,04 g/g

K_{H,O_2} : oxigéntelítési állandó: 0,1 g O₂/l

A felállított modell jól közelíti a valós oxigénfogyást, azonban nem adja vissza teljeskörűen a képződött iszapmennyiséget. Ennek oka, hogy a sejtízis során visszakapott anyag nem teljes egészében biodegradálható, keletkeznek partikulált inert anyagok is. Ennek figyelembevételéhez a partikulált inert frakciót (XI) vezetjük be. A biomassa mintegy 8%-a válik inertté ($f = 0,08$).

4.4. táblázat

Szerves anyag bontása az inert frakció figyelembevételével (saját szerkesztés)

Komponens	SO_2	SI	SS	XH	XS	XI
1. heterotróf növekedés	$1-1/Y_H$		$-1/Y_H$	1		
2. sejtízis				-1	$1-f$	f
3. hidrolízis			1		-1	

A modell bővítése a biológiai N-eltávolítás bevonásával lehetséges, amelynek legáltalánosabb útja a nitrifikáció-denitrifikációs út bejárása. Első lépésben a nitrifikációt vegyük számításba, amely három új komponensre felírandó transzportegyenletet jelent. A nitrifikációt autotróf szervezetek végzik, így az előzőekben tárgyalt heterotróf mikroorganizmusoktól el kell különíteni őket. Az autotróf biomasszán (X_A) túl az ammóniumionokat (SNH) és a nitrát- és nitritkoncentrációt (SNO) is figyelembe kell venni. Új folyamatként az autotróf szervezetek aerob növekedése és ezek sejtízise jelenik meg. A 4.4. táblázathoz három komponens és két folyamatot hozzácsatolva kapjuk a 4.5. táblázatot.

4.5. táblázat

Szervesanyag-lebontás és nitrifikáció (saját szerkesztés)

Komponens	SO_2	SI	SS	XH	XS	XI	SNH	SNO	X_A
1. heterotróf növekedés	$1-1/Y_H$		$-1/Y_H$	+1			$(1 - Y_H)/Y_H \times i_N$		
2. heterotróf sejtízis				-1	$1-f$	f			
3. hidrolízis			+1		-1				
4. autotróf növekedés	$(Y_A - 4,57) / Y_A$						$-i_N - 1 / Y_A$	$1 / Y_A$	+1
5. autotróf sejtízis					$1-f$	f			-1

Az autotróf szervezetek növekedésének folyamatsebessége:

$$\mu_A \cdot \frac{SO_2}{K_{A,O_2} + SO_2} \cdot \frac{SNH}{K_{A,SNH}} \cdot X_A$$

Az autotróf sejtízis sebessége:

$$b_A \cdot X_A$$

A denitrifikációs folyamatok esetében a heterotróf biomassa növekedését vesszük figyelembe. Az anoxikus körülmények között végbemenő hidrolízis is némileg különbözik.

A foszforeltávolítás lehet kémiai és biológiai többletfoszfor-eltávolítás. Kémiai módszereket alkalmazva három új folyamatot kell bevezetni: (i) oxidáció, (ii) csapadékképzés és (iii) az újraoldódás. Az ezekhez tartozó paraméterek meghatározása elsősorban sztöchiometria segítségével történik. A biológiai többletfoszfor-eltávolítás ennél bonyolultabb, több új komponens és folyamat bevezetésével történhet meg.

Eleveniszapos modellek

Láthattuk, hogy az anyagforgalmi modellezés építkezése során egyre több folyamat és komponens jelenik meg a rendszerben. Nem szükséges minden esetben az összes részfolyamat figyelembevétele; az adott feladathoz kell kiválasztani, milyen „folyamatcsomagot” akarunk felhasználni. Legelterjedtebbek az IWA által kidolgozott eleveniszapos modellek, amelyeket a következőkben mutatunk be.

ASM1 – Activated Sludge Model

A modell 13 komponenst és 8 folyamatot használ, amelyek kiterjednek az oxigénfogyasztásra, iszaptermelésre, szén és nitrogén tömegáramaira. A kutatócsoport igyekezett egyensúlyt találni a megoldandó egyenletek száma és a folyamatok teljes körű leírása között. Vagyis a lehető legkisebb számítási kapacitással is megoldhatók legyenek az alapproblémák.

A modellkomponensek:

1. *SI*: oldott inert szerves anyag
2. *SS*: oldott biodegradálható szerves anyag
3. *XS*: lassan bontható, partikulált szerves anyag
4. *XI*: nem bontható partikulált szerves anyag
5. *XBH*: heterotróf biomassa
6. *XBA*: autotróf biomassa
7. *XP*: bomlás során keletkező partikulált anyag
8. *SO*: oldott oxigén
9. *SNO*: oldott nitrit- és nitrát-nitrogén
10. *SNH*: oldott ammónium-nitrogén
11. *SND*: oldott szerves nitrogén
12. *XND*: partikulált szerves nitrogén
13. *SALK*: lúgosság

A modellezett folyamatok:

1. heterotróf szervezetek aerob növekedése,
2. heterotróf szervezetek anoxikus növekedése (denitrifikáció),

3. autotróf szervezetek aerob növekedése (nitrifikáció),
4. heterotróf szervezetek sejtlyízise,
5. autotróf szervezetek sejtlyízise,
6. ammonifikáció,
7. aerob hidrolízis,
8. anoxikus hidrolízis.

Az ASM1 modell a pH-változással nem számol, konstans sztöchiometriai és egyéb folyamatparaméterrel számol. Ezek kiküszöbölésére és a további fejlesztési irányokat kijelölve hozták létre 1995-ben az ASM2-t, majd pár évvel később, 1999-ben az ASM2d modellt. Az ASM2 már a többletfoszfor-eltávolítással is számol, biológiai és kémiai úton is. Az ASM2 modell 19 komponens és 19 folyamatot vesz figyelembe, az ASM2d a bio-P folyamatokat tovább bővítve a 19 komponensre felírt transzportegyenletben 21 folyamattal számol.

Az ammónia, ammónium, nitrit és nitráton kívül a modell a dinitrogént is beleveszi a modellkomponensek közé. A szerves nitrogén más frakciókban már benne található, ezért arra külön nem ír fel modellegyenletet. A biológiai aktivitás tekintetében a heterotróf szervezeteket, a nitrifikáló autotróf szervezeteket és a foszfátot akkumuláló szervezeteket viszont magában foglalja. Ez utóbbi kiterjed a fermentációs termékek tárolására, a közbülső polifoszfat akkumulálódására, a poly-P baktériumok növekedésére és ezek sejtlyízisére, amelynek folyamán a tárolt termékek felszabadulhatnak. A kinetikai paraméterek hőmérsékletfüggők a modellben.

ASM3

Az ASM1 modell továbbfejlesztéséből alakult ki (13 komponens egyenlet és 12 folyamat), a következő területekre terjednek ki:

- a hidrolízis folyamata az elektrondonortól független, ezáltal ugyanúgy lejátszódik anoxikus és anaerob körülmények között is,
- anoxikus körülmények esetén a hozamkonstans eltérő, mint aerob környezetben,
- a biomassza pusztulása az endogén respiráció alapján lett figyelembe véve,
- a heterotrófok KOI- (=szerves anyag) betárolását tartalmazza,
- eltérő anoxikus és aerob nitrifikációs sejtlyízist alkalmaz,
- megjelenik a lúgosság mint folyamatszabályozó paraméter.

Alapvetően P-modellt nem tartalmaz az ASM3, de a lehetőség adott a bővítésre.

Mantis modell

A Mantis modell szintén az ASM1 modellből indul ki, de a kinetikai paraméterek hőmérsékletfüggők, a modell számol az aerob denitrifikációval, és két növekedési folyamatot vezet be; egyet az autotrófokra és egyet a heterotróf szervezetekre kis ammóniakoncentráció és nagy nitrátkoncentráció esetén, mert ekkor megtörténhet, hogy a nitrátot a szervezetek tápanyagként hasznosíthatják. Az aerob denitrifikáció bevezetésére azért volt szükség, hogy az anoxikus és aerob feltelítési állandókat meg tudjuk különböztetni és egyénileg beállítani.

Mantis 2 modell

Az ASM2d és a Mantis modell folytatásaként korszerű, összetett modell, amely magában foglalja a mellékági technológiákat, mint például struvit képzést és Anammox technológiát. Képes a szén-, nitrogén- és foszforformák anyagáramait számolni, integrálva az iszapvonalat és az ADM (Anaerobic Digestion Model) modellt. 48 változóra ír fel egyenletet, 56 folyamatot vesz figyelembe. A változók között ionok is szerepelnek, például kálium, kalcium, magnézium és a csapadékképzés folyamatai is nyomon követhetők.

A modellezett folyamatok a következők:

- kolloid állapotú KOI adszorpciója a heterotróf biomasszához,
- heterotróf aerob hidrolízis: lassan bonthatóból könnyen felvehető KOI lesz,
- anoxikus hidrolízis,
- anaerob hidrolízis,
- ammonifikáció: oldott szerves nitrogénből ammónia-nitrogén keletkezik,
- növekedés fermentálható szubsztrátumon oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés acetát szubsztrátumon oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés propionát szubsztrátumon oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés fermentálható szubsztrátumon nitrát mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés acetát szubsztrátumon nitrát mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés propionát szubsztrátumon nitrát mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés fermentálható szubsztrátumon nitrit mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés acetát szubsztrátumon nitrit mint elektronakceptor jelenlétében,
- növekedés propionát szubsztrátumon nitrit mint elektronakceptor jelenlétében,
- heterotróf szervezetek pusztulása,
- ammóniát oxidálók növekedése,
- nitritet oxidálók növekedése,
- ammóniát oxidálók pusztulása,
- nitritet oxidálók pusztulása,
- PHA (poli-hidroxi alkanoát) tározás acetátot használó PAO-k segítségével,
- PHA tározás propionátot használó PAO-k segítségével,
- PAO szervezetek növekedése oxigénnel mint elektronakceptorral,
- XPP tározás oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- PAO szervezetek növekedése nitráttal mint elektronakceptorral,
- XPP tározás nitrát mint elektronakceptor jelenlétében,
- PAO szervezetek növekedése nitrit mint elektronakceptorral,
- XPP tározás nitrit mint elektronakceptor jelenlétében,
- PAO szervezetek pusztulása,
- XPP lízise,
- PHA lízise,
- metilotrófok növekedése oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- metilotrófok növekedése nitrát mint elektronakceptor jelenlétében,
- metilotrófok növekedése oxigén mint elektronakceptor jelenlétében,
- metilotrófok pusztulása,
- fermentáló baktériumok növekedése kis H_2 parciális nyomás mellett,
- fermentáló baktériumok növekedése nagy H_2 parciális nyomás mellett,

- fermentáló biomassza pusztulása,
- acetogenezist megvalósító szervezetek növekedése,
- acetogenezist megvalósító szervezetek pusztulása,
- hidrogenotróf metanogén szervezetek növekedése,
- hidrogenotróf metanogén szervezetek pusztulása,
- acetotróf (acetiklasztikus) metanogén szervezetek növekedése,
- acetotróf (acetiklasztikus) metanogén szervezetek pusztulása,
- anammox szervezetek növekedése,
- anammox szervezetek pusztulása,
- CaCO_3 (kalcit) csapadékképzés,
- $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (struvit) csapadékképzés,
- $\text{MgHPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ csapadékképzés,
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ csapadékképzés,
- MgCO_3 csapadékképzés,
- AlPO_4 csapadékképzés,
- FePO_4 csapadékképzés,
- szén-dioxid-abszorpció/deszorpció,
- nitrogéngáz-abszorpció/deszorpció,
- metán-abszorpció/deszorpció,
- hidrogéngáz-abszorpció/deszorpció.

Az eleveniszapos modelleket alkalmazhatjuk hagyományos CAS- (Conventional Activated Sludge) rendszerekben, de szakaszos technológiákban is, mint például az SBR (Sequenced Batch Reactor). Az SBR szintén eleveniszapot használ, azonban a reaktor térbeli osztása helyett időbeli ciklizálással különíti el az egyes folyamatokat. Ilyen időbeli elkülönítés a feladás, keverés levegőztetés nélkül, keverés levegőztetéssel, ülepedés és dekantálás. A tervező feladata elsősorban ezen ciklus-idők egymáshoz való viszonyának meghatározása. Modellezés szempontjából pedig elsősorban tranziens szimulációk igénybevételét jelenti.

Az SBR-modell ugyanúgy ellátható levegőztetési kontrollal, MLSS-kontrollal. Ez utóbbi lehetővé teszi a medencében kialakuló biomassza-koncentráció állandóságát. CAS-rendszerekben ennek értéke 3,5–4,5 mg/l, SBR-rendszerben – mivel jobban tömörödő iszap alakul ki – ennek értéke 5,5–6,0 mg/l is lehet. A felhasználónak bemeneti adatként kell megadni az egyes ciklusok idejét. Az egyes folyamatok egymással átfedésben is lehetnek; például a feladás közben is beindulnak a biológiai folyamatok, az ülepítéssel párhuzamosan dekantálhatunk is. Ezért a modellezés szempontjából a következő lépések különíthetők el:

- feladás keveréssel: szennyvízhozam rávezetése homogenizálással,
- feladás levegőztetéssel: a feladást követően rögtön aerob viszonyok kialakítása,
- kizárólag keverés: anoxikus viszonyok létrehozása,
- levegőztetés: aerob viszonyok létrehozása, utólevegőztetés,
- ülepítés: biológiai reakció feltételezésével vagy anélkül,
- dekantálás: a kezelt víz elvezetése,
- ülepített iszap elvétele.

Az előbb tárgyalt rendszereken kívül van lehetőség még további eleveniszapot alkalmazó technológiák modellezésére is (például oxidációs árok), de ezek többnyire az egyedi szennyvíztisztítás esetében kevésbé alkalmazhatók.

Az előzőekben ismertetett modelleket az eleveniszapot alkalmazó szennyvíztisztítási rendszerek leírására dolgozták ki, azonban némi kiegészítéssel kötött biomasszára (biofilmre) is adaptálhatók. A biofilmes rendszerekben lejátszódó alapfolyamatok megegyeznek az eleveniszap-pehelyben lejátszódó folyamatokkal, a különbség a két rendszer között a biomassa reaktortéren belüli elhelyezkedése. Az eleveniszapos rendszerekben a lebegőanyag a teljes reaktorteret egyenletesen kitölti, a kötött biomasszát alkalmazó rendszerekben azonban a biofilm hordozóhoz kötve van. Ez a hordozó lehet mozgásban, de lehet helyhez kötött is. Ha a hordozó fix helyzetű a reaktortérben, akkor az áramlás feladata nemcsak a megfelelő keverési intenzitás biztosítása, hanem a tápanyag (szubsztrátum) eljuttatása a biofilm felületéhez, majd onnan az anyagcseretermékek elszállítása. Ebből következik, hogy biofilmes rendszerek esetében az anyagforgalmon alapuló modellezési rendszert ki kell egészíteni hidrodinamikai tervezéssel.

A biofilmet alkalmazó rendszerekben az anyagforgalmi modell számára meg kell adni a hordozófelületet és a rajta kialakuló maximális biofilmvastagságot. Feltételezzük, hogy a hordozó egyenletesen van a reaktoron belül elhelyezve. A dinamikus szimuláció a tényleges biomasszatömeget a felület és az aktuális vastagság alapján számolja. A modellezés során szükséges az egyes biofilmrétegek elkülönítése, hiszen különbséget találunk mind szubsztrátumellátottságban, mind biológiai aktivitásban a külső és belső rétegek között. A külső biofilmrétegekben, azaz a főáramláshoz közel, viszonylagosan jobb oxigénellátottságú, aerob folyamatok mennek végbe. Ezzel szemben a belső rétegek oxigénellátása (megfelelő biofilmvastagság esetén) rosszabb, ezért ott anoxikus és anaerob folyamatok mennek végbe. Így válik lehetővé a szimultán denitrifikáció, illetve esetlegesen a biológiai többletfoszfor-eltávolítás.

Az anyagtranszportot a rétegeken keresztül a diffúzió biztosítja, ezért megfelelő nyírás és lokális turbulencia szükséges ezen folyamatok végbemeneteléhez és intenzifikálásához. Kiemelt szerep jut a külső biofilmrétegnek, mivel közvetlen kapcsolatban van a főáramlással, annak felületén lamináris határréteg alakul ki. Ezen hidrodinamikai réteg ellenállást jelent az anyagtranszport szempontjából, és sebességmeghatározó lépés a folyamatok végbemenetele szempontjából. Feladatunk ezen határréteg-vastagság csökkentése, amelyet szintén az előbb említett lokális turbulencia és a megfelelően nagy sebességgradiens szabályoz. Minél nagyobb a főtömeg áramlási sebessége, illetve a biofilm- (hordozó-) felület érdessége, annál kisebb lesz a lamináris határréteg vastagsága. A nyírást két párhuzamos folyadékréteg közötti sebességkülönbség okozza, a nagyobb sebességű rétegből a kisebb felé való elmozdulás örvényességet (rotációt) okoz, és növeli a biofilm-főtömeg közötti anyagtranszport hatékonyságát.

A hordozókitöltöttség szintén fontos, megmutatja, hogy a hordozó mennyi vizet szorít ki a rendszerből, vagyis a hordozóanyag térfogatát mutatja meg. Ha ezt a kitöltöttséget a hordozó fajlagos felületével és a reaktor térfogatával szorozzuk, akkor megkapjuk a hordozók teljes felületét. A hordozó fajlagos felülete megmutatja, hogy 1 m^3 térfogatú hordozóhoz mekkora felület rendelhető.

Az egyszerűsített, állandó biofilmvastagságot feltételező matematikai modellt táblázatosan foglaljuk össze, oldott és partikulált komponensre nézve.

A matematikai modellt összefoglaló táblázatokból látszik, hogy az oldott és partikulált formák tekintetében a különbség a biofilm kötődés-leválási kinetikájában van. Ezt a dinamikát alapvetően az eróziósebesség szabályozza. A $\pm$ jel az egyenletekben arra utal, hogy ha az eróziósebesség meghaladja a megkötődési határsebességet, akkor leválásról beszélünk, ha annál kisebb, akkor megkötődésről. A modell még tovább bővíthető az egyes biofilmrétegek közötti anyagtranszporttal, amelynek közlésétől most eltekintünk.

4.6. táblázat

Állandó biofilmvastagság – oldott komponens (saját szerkesztés)

Főtömegben	A k-adik rétegben	Folyamat neve
$\frac{dS_{b,i}(t)}{dt} =$	$\frac{dS_{k,i}(t)}{dt} =$	
$+(S_{b,i} - S_{b,i}) \frac{Q}{V_b}$		konvenció
$\sum_{j=1}^{n_p} R_{i,j}$	$\sum_{j=1}^{n_p} R_{i,j}$	biológiai folyamat/reakciókinetika
$-\sum_{k=1}^{n_l} +D_l(S_{b,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A_{b,k}}{R_d} \frac{1}{V_b}$	$+D_l(S_{k-1,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A}{R_{bfk}} \frac{1}{V_{bfk}}$ $-D_l(S_{k,i} - S_{k+1,i}) \cdot \frac{A}{R_{bfk}} \frac{1}{V_{bfk}}$ $+D_l(S_{b,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A_{b,k}}{R_d} \frac{1}{V_{bfk}}$	diffúzió

4.7. táblázat

Állandó biofilmvastagság – partikulált komponens (saját szerkesztés)

Főtömegben	A k-adik rétegben	Folyamat neve
$\frac{dS_{b,i}(t)}{dt} =$	$\frac{dS_{k,i}(t)}{dt} =$	
$+(S_{b,i} - S_{b,i}) \frac{Q}{V_b}$		konvenció
$\sum_{j=1}^{n_p} R_{i,j}$	$\sum_{j=1}^{n_p} R_{i,j}$	biológiai folyamat/reakciókinetika
$-\sum_{k=1}^{n_l} +D_l(S_{b,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A_{b,k}}{R_d} \frac{1}{V_b}$	$+D_l(S_{k-1,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A}{R_{bfk}} \frac{1}{V_{bfk}}$ $-D_l(S_{k,i} - S_{k+1,i}) \cdot \frac{A}{R_{bfk}} \frac{1}{V_{bfk}}$ $+D_l(S_{b,i} - S_{k,i}) \cdot \frac{A_{b,k}}{R_d} \frac{1}{V_{bfk}}$	diffúzió
$-\sum_{k=1}^{n_l} S_{b,i} A_{b,k} v_a \frac{1}{V_b}$	$+S_{b,i} A_{b,k} v_a \frac{1}{V_{bfk}}$	biofilm megkötődése
$\pm \sum_{k=1}^{n_l} S_{k,i} A_{b,k} v_e \frac{1}{V_{bfk}}$	$\pm S_{k,i} A_{b,k} v_e \frac{1}{V_{bfk}}$	biofilm leválása

Jelölések: S : adott komponens koncentrációja (mg/l). Q : vízhozam (m^3/s). R : reakción, átalakuláson (biológiai és kémiai folyamaton) átment anyagáram fluxus (mg/l.s). D : diffúziós tényező (m^2/s). A : felület (m^2). V : térfogat (m^3). v : sebesség (m/s)
Indexek: b: bulk, főtömeg; k: biofilmnek a k-adik rétege; i: komponens, amire a transzportegyenlet vonatkozik; j: folyamatváltozó (például növekedés, pusztulás, hidrolízis stb.); p: összes figyelembe veendő folyamat; bf: biofilm; bfk: adott biofilmréteg; l: összes biofilmréteg száma; a: biofilm-megkötődés (attachment); e: biofilm leválása (erosion, detachment); p: összes

A modell fejlesztése úgy is megvalósulhat, hogy dinamikussá tesszük a biofilmvastagságot a modellben. Ekkor az előzőekben tárgyalt folyamatok továbbra is érvényesek azzal a kikötéssel, hogy az összes biomassza tömege időben változó lesz [$V_{b,f} = V_{b,f}(t)$], és ennek a változását újabb transzportegyenleten keresztül tudjuk vizsgálni. A biofilmtömeg változása az oldott és partikulált komponensek szempontjából is változást jelent, ezért az azokra felírt transzportegyenletet is bővíteni kell ennek megfelelően.

A biofilmes rendszereknek többfajta kivitelezése lehetséges az alapján, hogy a teljes rendszer vízborítás alatt van-e, illetve a hordozó fix vagy mozgó. Ezek alapján megkülönböztetünk csepegtetőtesteket, forgó merülőtárcsás kontaktort, bioszűrőket és a hibrid rendszerek közül az MBBR-t (Moving Bed Biofilm Reactor) és az IFAS (Integrated Fixedfilm Activated Sludge) technológiát, amelyek modellezési lehetőségeit a következőkben részletesen tárgyaljuk.

Csepegtetőtestek

A modellezhetőség szempontjából csepegtetőtestek esetén a következő feltételezésekkel kell élni: a szennyvízáram folyamatos, és a reaktort egyenletesen terheli. A modell nem számol eltömődéssel, és nem tudja meghatározni a hidraulikai veszteséget sem. A szennyvíz osztásához szolgáló mozgó elemek a modellben nem szerepelnek. Az anyagtranszport sebessége a főáramlás és a biofilm között eltérő oldott és partikulált anyagok esetében, ezért a numerikus modellben meghatározott időlépések is eltérnek.



4.2. ábra

Csepegtetőtest (www.indiamart.com/proddetail/trickling-filter-4993433933.html)

Mivel a biofilmes rendszerben a változók térbeli inhomogenitása figyelhető meg, szükséges ezen változók dimenziók szerinti eloszlásának kezelése. Azonban a két- vagy háromdimenziós közelítés szükségtelenül megnövelné a számítási kapacitást, ezért kompromisszumként az 1D közelítést alkalmazza a modell. A modell számára bemeneti adatként a műtárgymélységet, a hordozófelületet és a fajlagos felületet kell megadni. A számítás során az egyes biofilmrétegek aktív biomasszáját és az azok által eltávolított szennyező komponenseket számítják ki.

Forgó merülőtárcsás kontaktor

A modell a következő elhanyagolásokkal él: a szennyvízáram folyamatos, és a reaktort egyenletesen terheli. A modell nem számol eltömődéssel, és az áramlási viszonyokat ideálisnak tekinti. A forgási sebesség és az esetlegesen abból származó biofilm-leszakadást a modell nem veszi figyelembe. A modell a részegységeit a tárcsák száma alapján határozza meg. Az egységeken belül rétegeket definiálunk, amelyek egyenként teljesen elkevertnek tekinthetők, bennük az anyag-transzport elsődlegesen diffúzió alapul.



4.3. ábra

Forgó merülőtárcsás kontaktor (<http://napier-reid.com/products/bio-rotortm-rotating-biological-contactor-rbc/>)

Három fizikai bemeneti adatot kell megadni; a hasznos víztérfogatot, a hordozótérfogatot és a hordozó fajlagos felületet. Ezekből az adatokból számítható a hasznos biofilmfelület, amelyet a szimuláció során meghatározott biofilmvastagsággal szorozva az összes aktív biomassa adódik.

Levegőztetett bioszűrő

Az egyszerűsített levegőztetett bioszűrőmodell egyesíti az 1D biofilmmodellt a levegőztető rendszer permanens modelljével. A modell vízszintesen elhelyezkedő rétegeket különít el, ezzel csőreaktor típusú áramlást feltételez. A szennyvíz alulról felfelé mozog a rétegeken keresztül, az oxigénbeoldódást az egyes rétegekre külön-külön kell kiszámolni.



4.4. ábra

Levegőztetett bioszűrő (www.wholewatersystems.com/H2OTREATMENT/RFB.htm)

Valójában az öblítési fázis a folyadékáramot szakaszolná, azonban a modell szempontjából az anyagáramokat a működés során folyamatosan osztja szét, így a kimosott szemcséket elegendő pontszerű nyelőként figyelembe venni. A szárazanyag-visszatartásból számolja a modell a megkötött részecskehányadot. Lehetőség van a modellt bővíteni a tényleges időbeli szakaszok meghatározásával, azonban először célszerű tájékozódó futtatást végezni az egyszerűsített modellel.

Hibrid biofilmes rendszerek

A hibrid rendszerekben eleveniszap és kötött biomassza egyaránt megtalálható, vagyis az előzőekben tárgyalt eleveniszapos modellt és az 1D-s biofilmmodellt együttesen oldjuk meg a két-típusú biomassza közötti átmenet biztosításával. Ez esetben is a reaktortérfogatot, a kitöltöttséget és a fajlagos hordozófelületet kell bemenetként megadni.



4.5. ábra

MBBR-hordozók (www.biowater.no/teknologi/biomedial/)

Segédmodellek

Szennyvíz-frakcionálás modell

A telepre érkező szennyvíz minősége nem minden esetben ismert oly módon, hogy az összes input paramétert mérési eredményre alapozva lehessen megadni. Ennek érdekében a mért mennyiségekből, elsősorban kompozit paraméterekből kiindulva határozzuk meg az egyes frakciókat. Attól függően, hogy milyen adattal rendelkezünk, az alábbi frakcionálási modelleket lehet megkülönböztetni:

- BOI-alapú,
- KOI-alapú,
- KOI–TSS-alapú.

A BOI-alapú frakcionálás esetében kiindulásként ismerni kell a BOI_5 -t, a TKN-t és a TSS-t. Majd ezekből határozzuk meg a közvetlenül felvehető szubsztrátot, a partikulált szubsztrátot, a partikulált inert szubsztrátot, a szabad ammónia- és ammónium-nitrogént, az oldható és a partikulált szerves N-t. A BOI_5/BOI_∞ arány 0,66-os értéket vesz fel, amely sztöchiometriai levezetés eredménye. A modell feltételezi, hogy a BOI_∞ megfelel a teljes biodegradálható KOI-frakciónak. A BOI_∞ oldható frakcióját szűrt mintából mérhetjük, és ez alapján a partikulált részarány is számolható.

A különböző frakciók összegéből a KOI számítható. Azonban meg kell jegyezni, hogy a BOI-mérés bizonytalansága és specialitása miatt lehetőleg el kell kerülni, hogy a többi, ismeretlen szennyvízparamétert ezek alapján határozzuk meg.

A KOI-alapú számításnál bemenetként a KOI-t, a TKN-t, TP-t és az egyes KOI-frakció-arányokat kell megadni. Az arányszámok és az összes KOI segítségével közvetlenül számolhatók a KOI-frakció koncentrációértékei. Ezen frakciók segítségével a biotömeg mennyisége, a szerves-szervetlen anyag hányadosa, továbbá a partikulált-oldott formában lévő anyagmennyiség meghatározható, amelyből a TSS mint output paraméter kinyerhető. A modell elterjedését segítette, hogy a KOI-mérés a BOI-val szemben kisebb hibával terhelt, azonban az egyes frakciók meghatározásához további kiegészítő mérések szükségesek (például külön mérés homogén és szűrt mintából, fellevegőztetési teszt a könnyen bontható arány meghatározásához stb.).

A KOI–TSS-alapú közelítés előnye annak egyszerűségében rejlik, hogy két kompozit paraméter mint bemeneti adatból az egyes frakciók könnyen elkülöníthetők. Segédparaméternek a VSS/TSS, a partikulált KOI/VSS arányt célszerű használni.

Levegőztetési modell

Az aerob körülmények között végbemenő biológiai folyamatok számára az oldott oxigén jelenléte alapvető. Az intenzív technológiák számára a nyitott medencében a légköri diffúzió nem elégséges, ezért levegőztető rendszerek alkalmazása szükséges. Kétfajta levegőztetési rendszert különböztethetünk meg; a felületi és a mélységi levegőztetést. Előbbinek az oxigénbeviteli hatékonysága elmarad a mélységi levegőztetőberendezések hatékonyságától, ezért kezdenek a gyakorlatból kiszorulni. A mélységi levegőztetés megvalósulhat diffúzorok, levegőztetőinjektorok/jetek által.

A levegőztetőberendezések méretezéséhez elengedhetetlen a kétfázisú levegő-víz rendszer dinamikájának leírása, amelyben központi szerepet kap a biotömeg oxigénigénye, amelyet a rész-folyamatok alapján elkülöníthetünk szervesanyag-eltávolításra, nitrifikációra és denitrifikációra. Az első két részfolyamat az oxigént fogyasztja, utóbbi pedig oxigént ad (negatív előjellel való oxigénfogyasztásként értelmezhető). Az így meghatározott elméleti oxigénigényt korrigálni kell a környezeti paraméterekkel, figyelembe véve az oxigén beoldódását a vízbe, annak a folyadék-on belüli transzportját és a mikroorganizmus általi felvételt. Ezután meghatározzuk, mekkora levegőmennyiségben található az adott oxigénmennyiség, majd a levegőbuborékok tartózkodási ideje alapján a beoldódást számoljuk. Ehhez a levegőigényhez pedig az utolsó lépésben levegőztető rendszert választunk.

Az elméleti oxigénigényt a következő összefüggéssel számolhatjuk:

$$OC = (f_c \cdot (OU_c - OU_d) + f_n \cdot OU_n)$$

ahol:

OC : összes elméleti oxigénigény [kg/d]

OU_c : szerves anyag bontásához szükséges oxigénigény [kg/d] fajlagos oxigén igény és az eltávolítandó BOI_5 szorzata.

OU_d : denitrifikációval nyerhető oxigén [kg/d] = $2,9 \times$ eltávolított nitrát-nitrogén

OU_n : nitrifikációhoz szükséges oxigén [kg/d] = $4,3 \times$ nitrifikált ammónium-nitrogén

f_c, f_n : biztonsági tényező, amely az SRT és lakosegyenérték, vagyis a terhelés függvénye

Ezután a rendszerbe bejuttatni kívánt oxigénmennyiséget számoljuk:

$$AOTR = SOTR * \beta * (C_s - C) / C_s * 1,024^{T-20} * \alpha * F$$

ahol:

AOTR: tényleges oxigénmennyiség, amely eljut a mikroorganizmusig [kg/d]

SOTR: a levegőztető rendszeren keresztül bejuttatott oxigénmennyiség [kg/d]

β : a telítési oxigénkoncentráció-ráta (szennyvízben és vízben mérhető értékek hányadosa) = 0,95 [-]

C_s : telítési oxigénkoncentráció adott nyomáson és hőmérsékleten [g/m³]

C : oldott oxigénkoncentráció, amely megegyezik a korábban tárgyalt DO-val [g/m³]

T : szennyvíz hőmérséklete [°C]

F : diffúzoron keresztül kiszabaduló szabad keresztmetszet (függ: diffúzor anyaga és eltömődés), eltömődés nélkül: 0,9 [-]

α : oxigéndiffúziós arány [-]

Az oxigéndiffúziós arány kifejezi, hogy mekkora a szennyvízben az oxigén gázfázisból szennyvízbe jutási hajlandósága a tiszta vízre jellemző oxigénbeoldódáshoz viszonyítva. Amint látjuk, itt az oxigén részéről fázishatár-átlépésről van szó, amelyet az oxigénkoncentrációt leíró transzport-egyenlettel számszerűsíthetünk:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = KLa * (C_s - C) - r_m$$

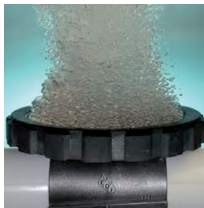
ahol:

KLa: oxigénbeoldódási (anyagátadási) tényező [1/s]

r_m : mikroorganizmusok által elfogyasztott oxigén [g/(m³s)]

Az egyenletben szerepel a külső energiabevittel bejuttatott oxigén és a mikroorganizmusok oxigénfogyasztása. Annak érdekében, hogy könnyen meg tudjuk határozni a *KLa*-t, érdemes ez utóbbi tagot kiküszöbölni, vagyis a kísérletet szennyvíz helyett tiszta vízzel elvégezni, például a telep beüzemlésekor a vízzárósági és hidraulikai próba idején. Első lépésben a vízzel feltöltött medencéből el kell fogyasztani pillanatszerűen az oxigént – ezt vegyszeresen nátrium-szulfittal megtehetjük –, majd nézzük a beoldódás sebességét. Az elsőrendű kinetikát követő folyamatnál a mérési eredményeket logaritmusskálára téve egyszerű meredekségleolvasásból következtethetünk a *KLa* értékére.

Az előzőekben kiszámolt oxigénmennyiséget korrigáljuk az adott tartózkodási idő alatt bejuttatható oxigénmennyiséggel, vagyis a *SOTR*-t le kell osztanunk az 1 m-en bejutó oxigénmennyiséggel (*SOTE*) és a diffúzormélységgel. A *SOTE* a levegőztető rendszertől függ, körülbelül 5–6% méterenként, azonban új kísérletek már a levegőztető rendszerek fejlesztéseinek eredményeképp magasabb, 8–9%-ot is mutatnak, persze a diffúzorsűrűség függvényében ez az érték változhat.



4.6. ábra

Tányérdiffúzoros mélylégi levegőztetés (www.wastewater.com/parts/fine-bubble-parts)

Átfolyásos rendszerben az előző összefüggés az alábbi módon bővíthető, ahol az egyes tagokat a reaktortérfogattal már beszoroztuk:

$$V \frac{dC}{dt} = Q C_{in} - Q C + KLa(C_s - C)V + r_m V$$

ahol:

V : reaktor térfogata (m³)

Q : befolyó szennyvízhozam (m³/d)

C_{bc} : a reaktorba befolyó szennyvízben az oxigénkoncentráció (mg/l)

A telítettségi oxigénkoncentráció függ a szennyvíz hőmérsékletétől, a szennyvízben található partikulált anyagok, felületaktív anyagok és ionok koncentrációjától, illetve a légköri nyomástól. Ennek érdekében korrekciós tényezőket vezetünk be.

$$C_s = \tau \cdot \beta \cdot \omega \cdot C_{s,20^\circ C}$$

ahol:

τ : hőmérsékletkorrekciós tényező [–]

β : partikulált anyagok, felületaktív anyagok és ionok miatti korrekciós tényező [–] értéke közelítőleg 0,95-tel egyezik meg

ω : nyomáskorrekciós tényező, amelynek kiszámítása az alábbiak szerint történik:

$$\omega = \frac{P_b + p_a - p_v}{P_s + p_a - p_v}$$

ahol:

P_b : barometrikus nyomás [Pa]

p_a : effektív nyomás a diffúzor mélységében, amelynek kiszámítása alább látható [Pa]

p_v : gőznyomás a szennyvíz hőmérsékletén [Pa]

P_s : standard barometrikus nyomás – 101 325 Pa

A barometrikus nyomás kiszámolásához az alábbi összefüggés használható:

$$P_b = \exp \left[\frac{-gMz}{RT} \right] P_s$$

ahol:

g : gravitációs gyorsulás, 9,81 m/s²

M : a levegő moláris tömege, 29 g/mol

R : univerzális gázállandó, 8,314 Nm/mol.K

T : levegő hőmérséklete [K]

z : tengerszint feletti magasság [m]

Az effektív nyomás a diffúzor mélységében az alábbiak segítségével határozható meg:

$$p_a = (\delta - 1) \cdot (P_s - p_v)$$

ahol:

δ : a nyomás számításához felhasznált mélységi korrekciós tényező, amely

finombuborékos levegőztetés esetén:

$$\delta = 1 + 0.03858 \cdot d$$

durvabuborékos rendszereknél:

$$\delta = 0.99 + 0.0291 \cdot d$$

ahol d a diffúzor pozíciója és a vízfelszín közötti távolság.

Az előzőek alapján és a Kla -t felhasználva megadható az oxigénátadási sebesség (OTR) és a standard oxigénátadási sebesség ($SOTR$):

$$OTR = Kla_T(C_s - C)V$$

$$SOTR = Kla_{20}(C_{20})V$$

A szimuláció számára bemeneti adatként megadható a levegőztetés térfogatárama vagy az elérendő oldottoxigén-koncentráció (DO).

Ülepítőmodell

Az ülepítőmodell az anyagtranszportmodell egyik fajtája, amely a fázisszétválasztás műveletén alapul, és amely leírja a szilárd fázis kiválását a folyadékfázisból gravitációs erőterben. Az ülepedő anyag lehet diszkrét szemcse vagy összefüggő szemcsehalmaz. A diszkrét szemcse ülepedését a Stokes-törvény írja le, amennyiben az ülepedés lamináris. Az ülepedés sebessége függ az ülepedő szemcse méretétől, a közeg viszkozitásától és a szemcse és a közeg sűrűségének különbségétől. Amennyiben a szemcsék együtt ülepednek, egymás mozgását gátolják, az egész agglomerátumra vonatkoztatható egy ülepedési sebesség, amely a koncentráció függvénye lesz.



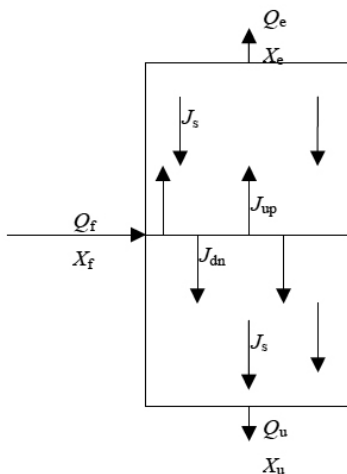
4.7. ábra

Radiális átfolyású ülepítő (www.tpomag.com/online_exclusives/2017/04/optimize_your_clarifier_for_biological_phosphorus_removal_002y7)

Látható, hogy a kezdeti homogén minta ülepedésével sűrűsödés figyelhető meg, amely lassítja a folyamatot. A helyzetet bonyolítja, hogy az ülepítő műtárgyakban nemcsak az ülepedési folyamat dinamikáját kell ismerni, hanem az áramló közeg sebességét is. A folyamat összetettsége miatt modellezési szempontból több szintet különítünk el. A zérus dimenziójú modellekben, pontmodellekben a műtárgyba belépő és onnan kilépő anyagáramokat vesszük figyelembe, azaz meghatározzuk, hogy mennyi a leülepedett, vagyis az iszapvonalra jutó anyagmennyiség.

Amennyiben az ülepítőteret vertikálisan több rétegre bontjuk, 1D-s modellt kapunk, ahol a rétegeken belül teljesen elkevert, homogén állapotokat feltételezünk. A rétegeken keresztül anyagáramlás valósul meg. Mivel az egyes rétegek között koncentrációkülönbség lép fel, közöttük diffúziós jelenség is tapasztalható. Amennyiben kevés az alkalmazott réteg a modellben, ez az előbb tárgyalt diffúzió a valóságban megfigyelhető diffúziót jóval meghaladja, és hibát okoz (numerikus diffúzió). Ezért célszerű a modell jóságához lehetőleg minél több réteget felvenni. Ez a minimális rétegszám körülbelül 7–11 körül határozható meg.

A 4.8. ábrán a vertikális anyagáramok láthatók. A befolyó szennyvízhozam (Q_f) kétfelé válik: iszaphozamra (Q_u) és elfolyó tisztított folyadékfázisra (Q_e). Ezen folyadékáramokban az ülepíthető anyag koncentrációja rendre X_f , X_u és X_e . A rétegek közötti anyagáramfluxusokat J -vel jelöljük.



4.8. ábra

Az 1D rétegmodell vertikális anyagáramai (saját szerkesztés)

A rendszerre felírható a folytonosság (kontinuitás) összefüggése:

$$Q_f = Q_e + Q_u$$

Majd ezután a komponensmérleget a hozamok koncentrációval való súlyozása adja.

$$Q_f X_f = Q_e X_e + Q_u X_u$$

A rétegek között az anyagáramok teremtik meg a kapcsolatot, az összfluxus (J) felírható:

$$J = J_{\text{konv}} + J_s = vX + v_s X$$

Ezen összefüggésben az összfluxust az áramlásból eredő konvektív anyagáram (J_{konv}) és az ülepedési anyagáram (J) adja. (Elkülönítjük a konvektív anyagáram felfelé és lefelé tartó tagjait.) A v sebesség a folyadék sebességére, a v_s sebesség az ülepedési sebességre utal. Általánosan a fenti összefüggés felírható parciális differenciálegyenlettel is az alábbi módon:

$$-\frac{\partial X}{\partial t} = v \frac{\partial X}{\partial y} + \frac{\partial v_s X}{\partial y}$$

Az ülepedési sebességre exponenciális

$$v_s = k \exp(-nx)$$

vagy hatványközelítés

$$v_s = kX^n$$

adható, ahol k és n az ülepedési paraméterek.

A Takács Imre által kidolgozott és széles körben alkalmazott modellben viszont az egytagú exponenciális összefüggés helyett – amelyet Vesilind dolgozott ki – már kétszeres exponenciális tag szerepel, amelyben a szabad és gátolt ülepedés is elkülönül. Az ülepedési sebesség az alábbi képlettel számítható:

$$v_s = v_0 [\exp(-r_h(x - x_0)) - \exp(-r_p(x - x_0))]$$

ahol

v_0 : maximális ülepedési sebesség (ha a koncentráció zérus lenne, és nem gátolnák egymást az ülepedő szemcsék)

r_h : gátolt ülepedés paramétere

r_p : alacsony koncentráció esetén ülepedési paraméter

x_0 : az ülepedő fázis minimumkoncentrációja

A modellparamétereket mérés útján lehet meghatározni. Hamilton továbblépve az előbb vázolt, csupán konvekciót tartalmazó skalártranszport-egyenleten bevezetett egy pszeudodiffúziós tagot korrekció céljából, ahol a diffúziós tényezőre $D = 0,54 \text{ m}^2/\text{h}$ jó közelítést ad.

$$-\frac{\partial X}{\partial t} = v \frac{\partial X}{\partial y} + \frac{\partial v_s X}{\partial y} - D \frac{\partial^2 X}{\partial y^2}$$

Továbbfejlesztve az 1D ülepedési modellt és kiegészítve áramlási modellel, többdimenziós (2D, 3D) ülepedési modell is alkalmazható. Azonban meg kell jegyezni, hogy az alkalmazhatóságot a nagy számításigény korlátozza.

Az eddigiekben v vertikális sebességet felváltjuk egy 2D-s közelítéssel nyert kétkomponensű sebességgel, amely az ülepitő minden egyes pontjában más és más értéket vesz fel. A turbulens áramlások modellezését felelevenítve és kiegészítve az alábbi egyenletrendszert kell megoldanunk:

Anyagmegmaradás:

$$\rho \frac{\partial V_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\rho V_y}{y} = 0$$

Navier–Stokes-egyenlet x, y koordinátája:

$$\rho \frac{\partial V_y}{\partial t} + \rho \frac{\partial V_y^2}{\partial x} + \frac{\partial (V_x V_y)}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left(2y\mu_t \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_t \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \right] - 2\mu_t \frac{V_y}{y^2}$$

Turbulens kinetikus energia:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial V_x k}{\partial x} + \frac{\partial (V_y k)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

Turbulens disszipáció:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial V_x \epsilon}{\partial x} + \frac{\partial (V_y \epsilon)}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + C_1 \epsilon \frac{\epsilon}{k} (G_k - C_3 \epsilon G_b) - \rho C_2 \epsilon \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Iszap anyagtranszportja:

$$\rho \frac{\partial C}{\partial t} + \rho \frac{\partial (V_x + V_s) C}{\partial x} + \rho \frac{\partial (V_y C)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_c} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left(y \frac{\mu_t}{\sigma_c} \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

Az ülepedési folyamatot a következők befolyásolják:

- bevezetési sebesség nagysága,
- bevezetési sebesség fluktuációja,
- bevezetés kialakítása (geometria),
- energiatörés hatékonysága,
- ülepedésre rendelkezésre álló idő,
- elvezetés módja.

Az anyagforgalmon alapuló szimulációk a műtárgy-kialakítást nem, vagy csak nagyon egyszerűsítve veszik figyelembe. Ha 1D Takács-modellt alkalmazunk, akkor az ülepedési paraméterek, mint például az iszapindex (SVI: Sludge Volume Index) adható meg. Az iszapindex, más néven Mohlmann-index az iszapkoncentráció és iszapülepedés hányadosa ($SVI = SV30/MLSS$). Az eleven-iszap tömegkoncentrációja a hagyományos utóülepitőbe érkező iszapos víz lebegőanyag-tartalma (MLSS, Mixed Liquor Suspended Solids = kevert iszapos víz lebegőanyag-tartalma), az SV30 (iszapülepedés) pedig a fél óra ülepités után mérhető térfogati koncentrációja az eleveniszapnak. Az iszaptérfogat-index egy általánosan jellemző paraméter az iszapok ülepedésének, sűrűsödésének megítélésére. Az optimális iszapindex értéke 80 és 140 ml/g között van.

Folyamatirányítási modell

A folyamatirányítási modell a szabályozni kívánt jellemzők és azokhoz rendelhető értékek eléréséhez (továbbiakban setpoint) – mint például az aerob reaktorban elérendő $DO = 2 \text{ mg/l}$ – szükséges lépéseket határozza meg. A szabályozás alapja az alapjel (setpoint) és a valós, mért jellemző (ellenőrző jel) különbségén alapul, amelyet hibának tekintünk. A kívánatos érték elérésében gátol a zavarás, amelyet ki kell küszöbölnünk, a vezérléssel az alapjelet a zavarások ellenére is el kell érünk.

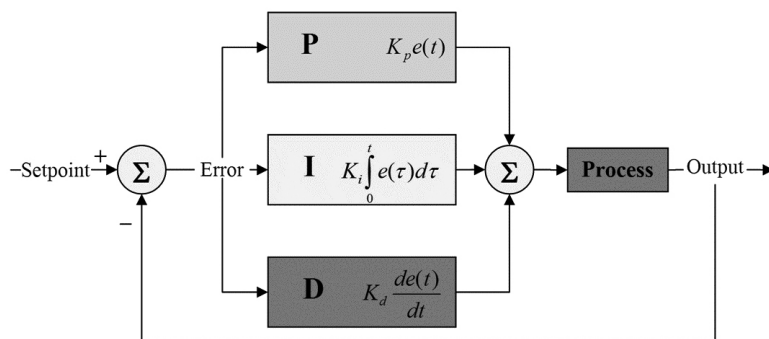
Ha az alapjel és ellenőrző jel értéke azonos, a szabályozónak nem kell semmit sem változtatni. Ha az alapjel és ellenőrző jel értékei eltérnek, akkor a hibajel nem lesz zérus, a szabályozónak rendelkező jelet kell generálni és azt továbbítani a beavatkozó szerv felé. A hibafüggvény $[e(t)]$ időben változó, célunk annak minimalizálása. A szabályozás eredményeképp a rendszert stabil állapotba kell hozni, vagyis a zavarások általi kitérítések ellenére is az egyensúlyi állapotba kell visszatérni. A szabályozónak a rendszer egyszerre több tulajdonságát figyelnie kell, amelyeket a P: arányos (proporcionális), I: integráló, D: differenciáló taggal tudunk figyelembe venni. Az egyes tagok egymáshoz való viszonyát az erősítő tényezőkkel tudjuk figyelembe venni. Az egyes szabályozó tagokat mindig párhuzamosan kötjük (lásd 4.9. ábra).

A tagok a következők:

P: hibajellel arányos tag, kimenőjelük minden időpillanatban arányos a bemenőjelükkel

I: hibajel integrálja, vagyis időről időre fellépő hibatag összegződik, a jelenben túllendülést adhat

D: hibajel változási sebessége, differenciáló tag, stabilitást növel, a zajt viszont erősíti



4.9. ábra

PID szabályozási logika (<https://drstienecker.com/tech-332/7-pid-control/>)

Összességében tehát a kimenő jel az alábbi módon áll elő:

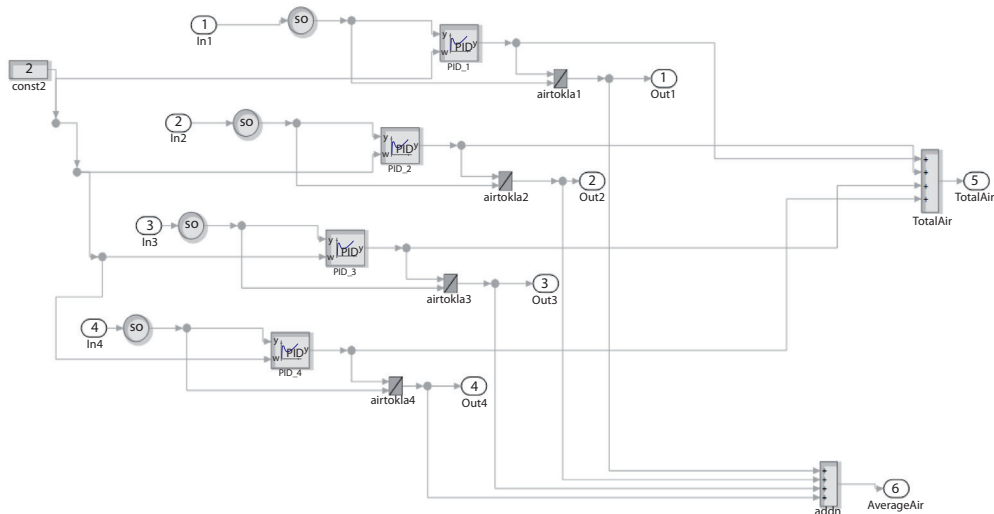
$$K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

A vezérlési stratégiák közül a szennyvíztisztítási folyamatok irányításában az alábbiakat alkalmazzák leggyakrabban:

- közvetlen vezérlés: a jel közvetlenül a műszerhez jut,
- on/off vezérlés: bekapcsolási/kikapcsolási jel, amely a közvetlen vezérlést nyitja-zárja,
- kaszkádvezérlés.

A kaszkádszabályozást akkor alkalmazhatjuk, ha a szabályozott jellemző mellett létezik másik mérhető paraméter, amelyen bekövetkező zavarás hatása sokkal gyorsabban észlelhető, mint a szabályozott jellemzőn. Ezzel a mért értékkel szabályozott, ún. szekunder körön kiszűrjük a módosított jellemzőben bekövetkezett zavarást, amihez rövid idő szükséges (legalábbis a primer körhöz viszonyítva).

A biológiai szennyvíztisztítás során a légbevitel optimalizációjához szabályozás szükséges, amely gyakran az oldott oxigén koncentrációját használja fel. Az oldott oxigén jele egy szelephez jut, amely a levegőbevitelt szabályozza. Emellett egy nyomástávadó a fűvórendszert szabályozza (4.10. ábra). Azonban vannak magasabb rendű szabályozók is, például az ammóniumszabályozás a mért $\text{NH}_4\text{-N}$ jele alapján számolja az aktuálisan szükséges levegőbevitelt. A P, I, D paraméterek kalibrálására mérések alapján kerül általában sor, de ezen folyamatot numerikus modellel is támogathatjuk.



4.10. ábra

Levegőbeviteli szabályozókör (saját szerkesztés)

Reaktormodellek

Ideális és reális reaktormodellek

A biológiai szennyvíztisztítás történhet épített medencékben, extenzív technológia esetén akár földárkokban vagy természetes tómederben, de bármilyen legyen is a tisztítási folyamat szintere, a kémiai reaktorok elméletét alapul véve reaktormodellekkel dolgozunk. A reaktorok csoportosítása elsődlegesen nem a reaktor mérete vagy alakja szerint történik, hanem a reaktoron belüli komponens eloszlása alapján. Ha a reaktoron belül nincs koncentrációkülönbség, vagyis a koncentráció csak az idő függvényében változhat, akkor üstreaktorról beszélünk, amely lehet szakaszos vagy folyamatos üzemvitelű. Ennek a reaktornak fontos ismérve, hogy a reaktorból kilépő anyag koncentrációja megegyezik a reaktoron belül bármely ponton mért koncentrációval.

Üzem mód alapján az üstreaktorok lehetnek stacionáriusak vagy instacionáriusak. Stacionárius esetben a kilépő koncentráció a belépő anyag koncentrációjától függ, instacionárius esetben a belépő anyag koncentrációjától és a reaktoron belüli kezdeti koncentrációtól. Gyakran használt angol szó rövidítés a CSTR, amely a Continuous Stirred Tank Reactorból származik, és olyan

üstreaktor, amelynek folyamatos a betáplálása. A csőreaktorokban (PFR: Plug Flow Reactor) a koncentrációeloszlás az áramlás irányában változó, lehet stacionárius vagy instacionárius módon üzemeltetni, de üzemvitel szerint szakaszos csőreaktor nem létezik.

Annak ellenére, hogy a csőreaktorok jobb teljesítménnyel (kémiai értelemben konverzióval, szennyvíztisztításban lebontókapacitással) rendelkeznek, szennyvíztisztításban az üstreaktorok alkalmazása terjedt el, mivel azokban az elkeveredés a belépő magas koncentrációt hirtelen lecsökkenti, ezáltal a biomasszára kevésbé van inhibíciós hatással (például nehézfémek a nitrifikációra, pH, illékony szerves zsírsavak). Az előbb bemutatott reaktortípusok idealizált értelemben kezelik a koncentráció eloszlását.

Valójában a két elméleti reaktort csak megközelíteni tudjuk, nem létezik tökéletesen elkevert reaktor vagy olyan csőreaktor, ahol ne lépne fel diffúzió. Ebből következik, hogy a két ideális reaktormodell, a CSTR és a PFR között helyezkedünk el valahol. Ahhoz, hogy becsülni tudjuk a szennyvíztisztítás hatásfokát, elengedhetetlen meghatározni a valós reaktormodellt. Valós reaktormodellt lehet alkotni egy paraméter bevezetésével (kaszkádmódel és diszperziós módel), két paraméter felhasználásával (a két ideális reaktormodell különböző kapcsolásával) vagy paraméter nélkül (szegregációs módel vagy teljes elkeveredéssel módel). Az egyparaméteres modellek esetében két lehetőség van az ideális reaktormodellből valós reaktormodellt alkotni:

- A PFR-módelbe diszperziós tényezőt vezetünk be. Ha a diszperziós tényező zérus, akkor tökéletes csőreaktorról beszélünk; ha a diszperziós tényező nő, közeledünk a CSTR-hez.
- Többszemű CSTR-reaktorkaszkádot is alkothatunk. Ha $n = 1$ elemű a rendszer, akkor CSTR-ről beszélünk, ha az elemek száma tart a végtelenhez, akkor elérjük a PFR-rendszert.

Láthatjuk, hogy két skálát érdemes meghatározni, amelynek két végében az ideális reaktorok vannak: az egyik lehetőség a diszperziós tényezőtől, a másik a sorba kapcsolt elemek számától függ. A két skála összefügg, ugyanazt a célt szolgálja, csak ellentétes oldalról közelít, emiatt olyan dimenziómentes számot kell keresni, amelyből a diszperziós és a CSTR-kaszkádelemek is eredeztethetők. Ennek érdekében vezessük be a konvektív és diffúzív transzport arányát, a Peclet- (Pe -) számot:

$$Pe = \frac{uL}{D_x} = \text{diffúziós idő/tartózkodási idő} = \text{konvektív sebesség/konduktív sebesség}$$

ahol:

Pe : Peclet-szám [-]

u : karakterisztikus sebesség [m/s]

L : karakterisztikus hosszdimenzió [m]

D_x : hosszirányú diszperzió [m²/s]

A szennyvíztisztításban alkalmazott reaktoroknál a Pe -szám 1 és 50 között található, azonban tökéletesen elkevertnek akkor tekinthető a reaktor, ha a $Pe < 0,5$.

Csőreaktorhoz közeli állapot biofilmes rendszerekben könnyen létrejöhet, amely esetben célszerű diszperziós módel alkalmazni. Az üzemeltetési paraméterek függvényében eldönthető az optimális Peclet-szám, amelynél a legnagyobb anyagtranszport, ezáltal biodegradáció várható. Az optimális Peclet-szám a biofilm leválási rátájának függvényében változik.

Érdekes megvizsgálni az általános anyagtranszport-egyenletet és a felírni annak a dimenziómentes alakját. Az általános transzportegyenlet:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \underline{u} \nabla c = D \nabla^2 c + \lambda c$$

ahol az első tag a koncentráció időbeli változása, a második a konvekció (sebességtér hatására anyagáthelyeződés). Az egyenlet jobb oldalán a diffúzió és az elsőrendű bomlási kinetika található.

Az egyenlet dimenziómentes alakját akkor kapjuk, ha bevezetjük a dimenziómentes koncentrációt, időt, sebességet. A nablaoperátornál vegyük figyelembe, hogy térkoordináta szerinti változás miatt szükséges itt is a hosszúság dimenzió kiküszöbölése. *-gal jelöltük a dimenziómentes változókat.

$$c^* = \frac{c}{S_c}, \quad t^* = \frac{t}{S_t}, \quad \underline{u}^* = \frac{\underline{u}}{S_u}, \quad \nabla() = \frac{1}{S_L} \nabla^*$$

Ezután a transzportegyenletbe helyettesítsük be a dimenziómentes alakokat:

$$\frac{\partial(c^* \cdot S_c)}{\partial(t^* \cdot S_t)} + (\underline{u}^* \cdot S_u \cdot \frac{1}{S_L} \nabla^*) c^* \cdot S_c = D \cdot \frac{1}{S_L^2} \nabla^{*2}(c^* \cdot S_c) + \lambda \cdot c^* \cdot S_c$$

Kiemeléssel és átrendezéssel:

$$\frac{S_c}{S_t} \cdot \frac{\partial c^*}{\partial t^*} + \frac{S_u S_c}{S_L} \cdot (\underline{u}^* \cdot \nabla^*) c^* = D \cdot \frac{S_c}{S_L^2} \nabla^{*2} c^* + \lambda \cdot c^* \cdot S_c$$

Jellemző méretek bevezetésével (például átlagos tartózkodási idő, jellemző sebesség, jellemző hossz):

$$S_t = \bar{t}, \quad S_u = \underline{v}, \quad S_L = L$$

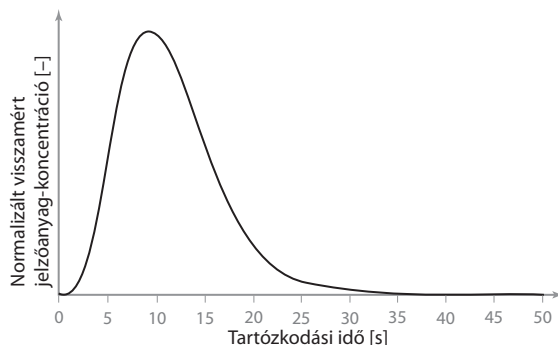
kapjuk a dimenziómentes alakot, amelynél látjuk, hogy a diffúziós tagban szerepel a Peclet-szám reciproka. Mivel a konvekció előtagja 1, ezért az is látható, hogy a Peclet-szám a konvekció és a diffúzió hányadosa.

$$1 \cdot \frac{\partial c^*}{\partial t^*} + 1 \cdot (\underline{u}^* \cdot \nabla^*) c^* = \frac{D}{\underline{v} \cdot L} \nabla^{*2} c^* + \lambda \cdot \bar{t} \cdot c^*$$

A Pe-számot alapvetően az áramlás befolyásolja, ezért meghatározásához szükséges az adott reaktor hidrodinamikai viszonyainak megismerése, és abból a konvekció-diffúzió arány kiszámítása. Ennek az aránynak a meghatározását a legegyszerűbben nyomjelzős kísérlettel hajthatjuk végre: jelzőanyagot juttatunk a reaktorba belépő folyadékáramhoz, majd a jelzőanyag-koncentrációt a kilépési szelvényben (vagy bármely más reaktorbeli pontban) mérjük. A jelzőanyaggal szemben követelmény, hogy a szennyvíz áramlását kövesse, ne legyen ülepedésre, felúszásra hajlamos, lehetőleg konzervatív legyen, vagyis kémiai reakcióra ne legyen hajlamos, a szennyvízben található koncentrációja ne legyen összemérhető az adagolt koncentrációval (vagy rendelkezünk valós adatokkal a háttérkoncentráció eloszlásáról), könnyen beszerezhető legyen, a környezetre ne legyen ártalmas. A rendszerbe bejuttatása lehet pillanatszerű vagy folyamatos.

Ha a nyomjelzős kísérletek mérési eredményeit az idő függvényében ábrázoljuk, átfolyási hullámot kapunk. Érdekes a mért jelzőanyag-koncentrációt normalizálni a rendszerbe juttatott összes jelzőanyag mennyiségével, ekkor kapjuk az E(t) függvényt, amely a jelzőanyag, illetve

a folyadékfázis tartózkodásiidő-eloszlását (RTD: Residence Time Distribution) adja. A görbéből könnyen leolvasható, hogy a rendszerben van-e hidraulikai rövidzárlat és/vagy holttér. A hidraulikai rövidzárlatra a jelzőanyag korai megjelenése utal, a holttérre pedig jellemző, hogy mintegy becsapdázza a jelzőanyagot, és onnan csak turbulens diffúziós transzport által lassan ürül ki, vagyis a jelzőanyag még az átlagos tartózkodási idő többszörösénél nagyobb idő után is visszamérhető. A 4.11. ábra példát mutat az átfolyási hullámra.



4.11. ábra

Átfolyási hullám, $E(t)$ -görbe (saját szerkesztés)

Az átfolyási vizsgálat eredményeképpen visszamért nyomjelző anyag eloszlásfüggvénye – $F(t)$ – felírható az alábbi módon, ha bevezetjük a dimenziómentes időt (Θ), amely az eltelt idő és az átlagos tartózkodási idő hányadosaként (t/t_m) határozható meg.

$$F(\theta) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{Pe} \frac{1 - \theta}{\sqrt{\theta}} \right) \right]$$

ebből nyerhető a sűrűségfüggvény, amely a következő formát ölti:

$$E(\theta) = \frac{1}{4\sqrt{\pi \theta^3 / Pe}} \exp \left[\frac{-(1 - \theta)^2}{4 \theta / Pe} \right]$$

amelyből a másodrendű centrális momentum adja a dimenziómentes tartózkodási idő varianciáját:

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma^2}{t_m^2} = \frac{2}{Pe} - 2 \left(\frac{1}{Pe} \right)^2 (1 - e^{-Pe})$$

Azaz elvégezve a nyomjelzős kísérletet, megkapjuk az átfolyási hullámot, amelyből statisztikai jellemzőkkel meghatározható a Peclet-szám. Ha a soros kapcsolású CSTR-modellt használjuk, akkor az n elemszám a következőképp adódik:

$$n = \frac{1}{\sigma_\theta^2} = \frac{t_m^2}{\sigma^2}$$

amelyből következik, hogy közelítésként a kaszkádelemszám egyenlő $Pe/2$ -vel.

Amint láthattuk, a tartózkodási idő eloszlása nem determinálja a biológiai konverziót, és ezáltal az elfolyó koncentrációt, hanem a segítségével a reális reaktormodellek egy paramétere határozható meg.

Ha adott egy működő rendszerünk, és azon átfolyásvizsgálatot végzünk, meghatározzuk a CSTR-kaszád elemeinek számát, akkor nem feltétlen egyezik meg az eredmény a valós reaktorszámmal, ezért az így nyert reaktorelemszámot a továbbiakban virtuális reaktorszámnak nevezzük. A szennyvíztisztítási anyagforgalmi modellekbe is e virtuális reaktorszám irándó, amivel biztosíthatjuk a tényleges kinetikai folyamatleírást. Vagyis megfordítva: az a tervezőmérnök, aki a valós reaktorszámot használja fel az anyagforgalmi modellezésben, nem veszi tudomásul a valós hidrodinamikai viszonyokat, az áramképet idealizálni fogja, és nem a valóban szükséges reaktorméretet, levegő- és vegyszerigényt, illetve iszaphozamot határozza meg. Ebből az következik, hogy a tervezési folyamat részét kell, hogy képezze a virtuális reaktorelemek (amelyeket fel lehet fogni elkeveredési zónáknak is) meghatározása. A kísérleten alapuló nyomjelzős vizsgálatok kivitelezése azonban számos nehézségbe ütközik. Tervezési fázisban, a még meg nem épült technológiák esetében pedig lehetetlen elvégezni. Erre az esetre, illetve meglévő rendszereknél is költség- és időtakarékosságot szem előtt tartva a nyomjelzős kísérletek numerikus módszerrel való végzése javasolt, amelyek esetében körültekintően kell eljárunk, mivel ezen módszer csak a kezdeti paraméterek bizonyos határok között megválasztott értékei esetén megbízható.

Numerikus áramlástan szimulációk (CFD: Computational Fluid Dynamics) segítségével a reaktorokban kialakuló áramkép a kezdeti és peremértékek ismeretében meghatározható, a kapott sebességtérbe a nyomjelző anyag bejuttatható, és az RTD-elemzés kivitelezhető. Numerikus áramlástan szimulációk a folyadékmozgást leíró parciális differenciálegyenlet-rendszert oldják meg, amely magában foglalja az anyagmegmaradás- és impulzusegyenleteket. Turbulens áramlás esetében a keletkező látszólagos feszültségek számítása szükséges, amelyhez turbulenciamodelt használhatunk. A számos turbulenciamodell közül elterjedt az izotróp turbulenciát feltételező, a turbulens kinetikus energiára és ennek disszipációjára felírt k - ϵ modell vagy a látszólagos feszültségeket tenzorba rendező RSM (Reynolds Stress Modell).

A parciális differenciálegyenlet-rendszer analitikus megoldása bonyolult geometriák esetében nem lehetséges, ezért numerikus módszerhez, a véges térfogatok módszeréhez fordulhatunk, amely az adott reaktortérfogatot véges számú térfogatelemre osztja, és minden elem esetében megoldja az egyenleteket a perem- és kezdeti értékekből kiindulva. A cellák közötti kommunikáció az azok között található felületen történik ezen módszer esetében.

A változók értékei a cellák középpontjában vannak tárolva, amelyet a cellát határoló felületre kell vetíteni, azaz interpolálni. A számítás eredménye nagyban függ az alkalmazott numerikus sémától és a felbontástól, amelytől függetlennek kell lennie a számításnak. A hálóelemek száma és a numerikus kapacitásigény nagysága miatt többnyire iteratív, azaz lépésről lépésre közelítő algoritmust használunk, amit addig kell folytatni, amíg a megoldás nem konvergál. A konvergenciát a valós körülményekhez való egyezés jelenti, azonban ezen körülmények nem mindig ismertek. Ilyen esetben a számítás konvergenciáját az iterálási maradékok és egyéb változók (például sebességtér) változatlanóságára alapozva fogadhatjuk el.

A szennyvíztisztításban alkalmazott reaktorok áramlásának leírásakor a folyadékfázis mozgását más fázis, a levegőztetés során vízbe juttatott gázbuborékok mozgása is befolyásolja. Ennek a folyamatnak a leírásához többfázisú modelt alkalmazunk, amelyre számos lehetőségünk adódik. Elterjedt az ún. keverék modell, amely az elsődleges fázisra megoldja a dinamikai egyenleteket, a másodlagos fázisra olyan skalártranszport-egyenletet, amely megadja az egyes cellákra az elsődleges fázis és másodlagos fázis térfogatarányát. Az elsődleges fázisnak azt a fázist nevezzük, amely számottevően nagyobb tömeggel van jelen a rendszerben. A keverék modell akkor alkalmazható,

ha a másodlagos fázis tömegaránya kisebb, mint 10%-a az elsődleges fázisnak. Ha ez nem teljesül, akkor az Euler–Euler-moddal a másodlagos fázisra is meg kell oldani a dinamikai egyenleteket.

Többfázisú közelítést alkalmazhatunk akkor is, ha valójában csak egy komponensünk és fázisunk van, de szeretnénk annak az anyagnak egy részét külön kezelni, megcímkezni. Erre a nyomjelzős kísérleteknél szükség is lehet, hiszen a jelzőanyagnak követnie kell a főáramlást, annak minden tulajdonságával meg kell egyeznie, vagyis lefordítva a szimulációs környezetben szükséges beállításra, ez annyit jelent, hogy a vízfázis és a jelzőanyag ugyanazon anyagi tulajdonsággal rendelkezik. Először érdemes kizárólag a vízfázisra lefuttatni a számítást, majd egy adott időpontban a jelzőanyagot bejuttatjuk a rendszerbe (adott időponttól kezdve a peremfeltételben megjelenik a jelzőanyag addig az időpontig, amíg a bejuttatni kívánt jelzőanyag-tömeget a befolyó vízhez adtuk). Ezután ugyanúgy, mint a fizikai kísérleteknél, az elfolyási (vagy bármely más belső) pontban felvesszük az átfolyási hullámot.

Ezzel a modellközelítéssel azonban a számítások során nehézségekbe ütközhetünk, mivel a jelzőanyag felhígulva elég kis koncentrációban fog megjelenni, ami kerekítési hibákhoz vezethet. Ennek kiküszöbölésére a modellben érdemes a jelzőanyagot egy bizonyos időponttól kezdve folyamatosan a befolyó vízhozamnak megfelelő mennyiséggel adagolni úgy, hogy az eredeti vízfázis már nem léphet be. Vagyis a belépési peremfeltétel beállítása az idő függvényében így alakul:

$$0 < t < t_0 \text{ esetén } Q(\text{vízfázis}) = \text{szennyvízhozam}, Q(\text{jelzőanyag}) = 0$$

$$t_0 < t \text{ esetén } Q(\text{vízfázis}) = 0, Q(\text{jelzőanyag}) = \text{szennyvízhozam}$$

Ebben az esetben a kilépési ponton az idő függvényében a jelzőanyag fázisarányát nézhetjük 0-tól 1-ig növekedni. Azaz megkapjuk az RTD-elemzés eloszlásfüggvényét, amelyet deriválva $E(t)$ -t nyerjük.

Az anyagforgalmi-hidrodinamikai kapcsolt modell – a már korábban tárgyaltak alapján – két módon jöhet létre. Egyrészt a hidrodinamikai szimulációs környezetben bővíthetjük a megoldandó egyenletek körét anyagforgalmat leíró transzportmodellekkel, másrészt az anyagforgalmi szimulációs környezetben az áramláson alapuló reaktormodellt fejleszthetjük. Az ebben a fejezetben vázolt módszer ez utóbbival foglalkozik, azonban a fejlesztéshez hozzátartozik azon körülmények vizsgálata, amelyek befolyással lehetnek a reaktormodellre. Alapvetően a medence geometriája, az átfolyó vízhozam, a külső forrásból származó, keverésre fordított energia befolyásolhatja az áramképet, amelyek közül a következő fejezetekben részletesen vizsgáljuk a recirkulációt, a levegőztetést és a kaszkádolás szerepét.

Recirkuláció hatása a reaktormodellre

A szennyvíztisztítási technológiákban többfajta recirkulációt alkalmazhatunk, amelyek nagyságukban és szerepükben is különböznek. Az eleveniszapos technológiák kötelező része a biológiai medencét követő fázissztérválasztás, amely során a leülepített biotömeg egy részét visszavezetjük, ezáltal növelve az iszapkorot. Ebből következik, hogy az iszaprecirkuláció elsődleges szerepe a 3–6 g/l-es biotömeg-koncentráció fenntartása a levegőztetett medencében.

Elődenitrifikációs reaktorelrendezést alkalmaz az MLE- (Modified Ludzack–Ettinger) eljárás, amelyben az anoxikus reaktorteret aerob (oxikus) követ. Az aerob reaktorban megy végbe a nitrifikáció, amelynek végtermékét, a nitrátot visszajuttatjuk az anoxikus térrészbe recirkuláció

segítségével. Így a nitrát mint elektronakceptor olyan térrészbe kerül, ahol rendelkezésre áll a heterotrófok számára nélkülözhetetlen könnyen felvehető szerves anyag.

A nitrátrecirkuláció vagy más néven belső recirkuláció nagyságrendileg a befolyó szennyvíz hozamának általában 1,5–2,5-szöröse, de elérheti akár a 4–5-szöröst is bizonyos esetekben. A tényleges recirkuláltatott vízhozamot empirikus úton határozzák meg. Tapasztalati tervezési megfontolások alapján nem érdemes tovább növelni a belső recirkuláció mértékét, ha az anoxikus térrész végében az $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció nagyobb, mint 2 mg/l. Ezzel szemben, ha az $\text{NO}_3\text{-N}$ elfogy, akkor az adott anoxikus tér még képes lenne többletdenitrifikációra, ezért a belső recirkulációt érdemes növelni.

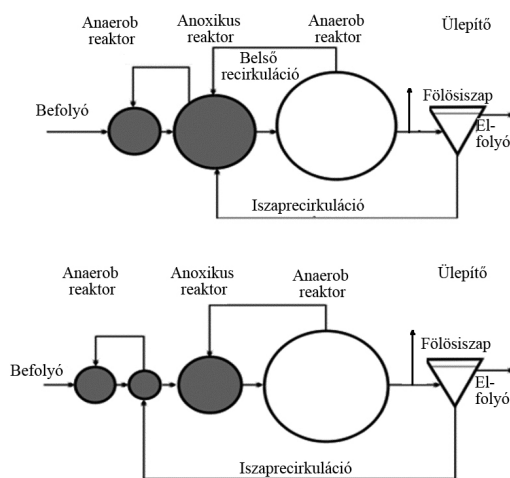
Összetettebb reaktorelrendezéseket is alkothatunk, ha kombinálni szeretnénk a biológiai nitrogéneltávolítást a biológiai többletfoszfor-eltávolítással. Ilyen eljárás például a UCT (University of Capetown), ahol az előbb bemutatott MLE-rendszert anaerob térfogattal bővítjük, amelyet első reaktorként használunk. Ekkor a reaktorsorrend tehát anaerob, anoxikus, aerob.

Az alkalmazott recirkulációk és szerepük:

- iszaprecirkuláció az utóülepítőből az anoxikus térfogatba – biomassza visszajuttatása,
- nitrátrecirkuláció az aerob térből az anoxikusba – nitrát visszajuttatása a denitrifikáló mikroorganizmusokhoz,
- recirkuláció az anoxikusból az anaerob térbe – oxigénhiányos biomassza visszajuttatása.

A biomassza-recirkulációk elkülönítése azért fontos, mert az iszaprecirkuláció közvetlenül nem juttathat nitrátot az anaerob térrészbe, azt előbb redukálni kell. A UCT-eljárásban tökéletesen elkevert reaktorokról beszélünk, ebből kifolyólag az anoxikus térbe belépő nitrátkoncentráció hirtelen lecsökken, és figyelembe véve a denitrifikálók átalakítóképességét, kialakul az elfolyó koncentráció, amelynek gyakorlatilag zérusnak vagy ahhoz közelinek kell lennie, különben gátolja a biológiai többletfoszfor-eltávolítást.

Említettük, hogy a jobb konverzió/lebontás érdekében a csőreaktor típusú áramlást kellene közelíteni, ezért ha az adott anoxikus térfogatot két részre bontjuk, lépcsőzetes nitrátkoncentráció-profil mellett a második reaktorból induló recirkuláció jó eséllyel kisebb nitrát-nitrogént fog tartalmazni. Ebből az ötletből – amely valójában reaktormodell-fejlesztésnek is tekinthető – alakult ki a módosított UCT-eljárás (4.12. ábra).



4.12. ábra

UCT- és módosított UCT-eljárás (saját szerkesztés)

Ha a sorba kapcsolt kaszkádszűrőben kialakuló koncentrációk alakulását szeretnénk leírni, akkor az alábbi képlettel számolhatjuk ki a szűrőben lévő, illetve az onnan elfolyó koncentrációt:

$$C_n = \frac{C_0}{[1 + (k/n \cdot \tau)]^n}$$

ahol:

C_n : n -edik szűrő koncentrációja [g/m³]

C_0 : szűrőbe belépő koncentráció [g/m³]

k : kinetikai állandó [1/s]

n : szűrők száma [-]

τ : tartózkodási idő (V/Q) [s]

A tartózkodási időt a recirkuláció(k) bevezetésével korrigálni kell a megnövekedett vízhozammal:

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + R}$$

ahol

R : recirkulációs hányad [-]

A recirkulációs hányad fejezi ki, hogy a nitrát- és szulfidrecirkulációs áram hányszorosa a befolyó vízhozamnak. A recirkulációk bevezetésével a szűrőbe juttatott folyadék gyorsabban távozik a medencéből, hiszen a sebességtér jelentősen megnő. A koncentrácioprofil szintén változik, a fenti képletek értelmében a rövidebb tartózkodási idő magasabb elfolyó koncentrációt eredményez. Azonban a vázolt összefüggések a lejátszódó folyamatok kinetikáját jelentősen leegyszerűsítik.

A Hydromantis által fejlesztett GPS-X 6.5 anyagforgalmon alapuló szimulációs környezetet használtunk annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy a szűrőmodellt hogyan befolyásolja a recirkuláció. A tesztfeladat elvégzéséhez egy Magyarországon üzemelő, MLE-eljárást használó eleveniszapos rendszert vizsgáltunk.

Levegőztetés hatása a szűrőmodellre nézve

A biológiai szennyvíztisztítást többnyire aerob mikroorganizmusok végzik, amelyek életfeltételei megkövetelik az oldott oxigén jelenlétét. A vízbe természetes módon a Henry-törvény alapján is beoldódhat oxigén, azonban az intenzív technológiákban alkalmazott biomaszatömeg a beoldódási folyamatsebességnél sokkal gyorsabban fogyasztja az oxigént. Továbbá az eleveniszap-pelyhekbe (illetve a biofilmes tisztítás esetén a filmréteg belsejébe) az oxigén bejutásához hajtóerő kell, vagyis az oldott-oxigén-koncentrációt legalább 1,8–2,0 mg/l-en kell tartani. Ennek érdekében külső energiabevitelrel oxigént juttatunk a vízfázisba, amely energia végső soron a bevitt buborékok általi jobb elkeveredést is eredményez. Mivel a szűrőmodellek alapját a hidrodinamikai viszonyok jelentik, és a levegőztetés a fluidum energetikai viszonyait átrendezi, ezért hatása számottevő lehet. A következőkben a levegőztetési igényt tárgyaljuk tervezési szempontból, majd a levegő által keltett áramlást nézzük, végül pedig ennek a megváltozott áramképnek a szűrőmodellre gyakorolt hatását elemezzük.

A szennyvíztisztításban alkalmazott levegőztető rendszereket alapvetően két csoportra oszthatjuk, a felszínközeli (vertikális és horizontális tengelyű) és mélységi levegőztetőkre. A levegőztető rendszerekkel szemben elvárás a minél hatékonyabb oxigénbejuttatás, amely az egységnyi közölt energiát vetíti a kg-ban mért bejuttatott oxigénhez. Ez alapján a felületi levegőztetők a mindennapi gyakorlatból kezdenek kiszorulni, és helyette mélységi levegőztetőket, elsősorban diffúzorokat alkalmaznak. A diffúzorok a medence aljához közel helyezkednek el, alakjukat tekintve lehetnek csődiffúzorok, lapdiffúzorok és tányérdiffúzorok. Általánosságban megállapítható, hogy az oxigénbeoldódás annál jobb, minél mélyebb a medence, azonban építési, kivitelezési és üzemeltethetőségi szempontok miatt a közös pont a körülbelül 5 méteres medencemélység.

A levegőztetés által átalakul a reaktorban az áramkép, a horizontális átfolyású medencében vertikális áramlást gerjeszt, ami segíti az elkeveredést. A megfelelő áramkép kialakításához általában nem egyenletes a diffúzorok medencefenék közelében való elhelyezése, elválasztják az elsősorban felfelé áramló és lefelé áramló zónákat. Adott reaktor teljesítménye nagyban függ a benne kialakuló áramképtől, amely a diffúzor elhelyezésétől függ.

Ebből viszont az következik, hogy a tervezés alapjaiban meghatározza, mire lesz később a telep alkalmas, az üzemeltetés során ugyan a folyamatparamétereken tudunk változtatni, de a hidrodinamikai adottságokon kevésbé. Ilyen szempontból kulcsfontosságú, hogy a tervezés során részletesen ismerjük az áramképet, amely gyakran elnagyolt. Azonban a rendszer összetettsége miatt minden egyedi medencére külön kellene műtárgy-hidraulikai vizsgálatokat elvégezni.

Erre kísérletesen nincs lehetőség új műtárgy esetében, ilyenkor CFD-modellezést kell végrehajtani, még akkor is, ha vannak tipikus diffúzor elhelyezés mintázatok. A vizsgálatot RTD-elemzéssel érdemes összekötni, mivel akkor a levegőztetésnek az átfolyási hullámra gyakorolt hatása is kimutatható. A levegőztetés elsősorban a turbulens diffúziót növeli, de a konvektív transzportot sem hanyagolhatjuk el. A reaktormodellek szempontjából mindezen megállapítások azt jelentik, hogy ha például csőreaktor típusú a reaktor (nagy Pe-szám), akkor a diffúzió növelésével a Peclet-szám csökken.

Az előzőekben vázolt folyamat elsősorban a levegőztetés makrohatását elemezte, amellyel különösen a fix hordozón megtelepedő biofilmes rendszereknek kedvezünk. Mivel a biofilm a hordozóhoz kötődik, ezért az áramlásnak szerepe van a szubsztrát biofilmfelületig való eljuttatásában és a végtermékeknek a biofilm felületéről való elvételében. A hordozókon lévő biofilm szervesanyag-terhelése a reaktortér különböző pontjain eltérő, ezért más mikrobiális összetételű bevonatot figyelhetünk meg a reaktor elején és végén: először heterotróf szervezetekkel találkozunk, a medence végéből vett minták viszont a nitrifikációért felelős autotróf dominanciát mutatnak. A fix hordozós rendszerekben mechanikus keverők elhelyezése nehézkes, ezért az elkeveredésért elsősorban a levegőztetés felel. Olykor az anoxikus reaktorban is szükséges alkalmazni, lehetőleg durva buborékkal, szakaszos vagy ún. intermittens levegőztetéssel. Ez utóbbi esetben a hatékony keverést célozzuk meg minél kisebb mértékű oxigénbeoldódás mellett.

A reaktormodellek szempontjából a makroleírás elegendő, azonban érdemes megvizsgálni a folyadék-levegő többfázisú áramlás mikroszintű elemzését. A modellnek le kell írnia a kezdeti buborékátmérő alakulását (összetapadását más buborékokkal), a buborék szétválását (break-up) és a folyadéknak átadott impulzus kinematikáját. Az összetett probléma megoldására többfázisú áramlások anizotróp turbulencia modelljét, nagy örvény szimulációt, esetleg direkt numerikus szimulációt alkalmaznak.

A buborékdinamikát elsősorban az emelkedési sebesség (rising velocity) határozza meg, de erre hatással van a horizontálisan jövő szennyvízáram is. Ahogy a buborék felfelé tart, vele ellentétesen

fellép a közegellenállási erő, amely a buborék alakjától, sebességétől függ. A buborék mögött holt-tér alakulhat ki (Reynolds-szám függvénye) és a buborékfelületről leváló örvények a vertikális mozgást eltéríthetik. Ezért a permanens háttéráramlás és konstans belépési levegő térfogatáram mellett is tranziens jelenségeket figyelhetünk meg; a „buborékcsóva” kileng. A csóva a vízfelszín felé haladva bővül. A diffúzorok elhelyezésénél figyelni kell a kvázi szabad áramlás kifejlődésére, azaz a levegő hajtotta áramlás kifejlődését biztosítjuk megfelelő helyet adva a leáramlási zónának. Ha nem szabad az áramlás, ún. airlift reaktorokat is létrehozhatunk alternatívaként, amelyek pneumatikus hurokreaktorok. Különböző sűrűségű zónával alakítják ki a fel- és leáramló zónákat. A mikrobuborékokat 10–100-as Reynolds-számmal engedik be a reaktorba, a folyadékoszcilláció segíti, hogy ne álljanak össze a buborékok nagyobb méretűvé, így hosszabb tartózkodási idő és nagyobb érintkezési felület biztosítható, aminek eredményeképpen a cirkulációs zóna a reaktormélység többszöröse is lehet.

Iszapcsökkentés kaszkádolással

Az eddigiekben a három tervezési kimeneti paraméterből a reaktortérfogatok (reaktorgeometria) és a levegőztetés hatását néztük az áramképre nézve. A harmadik tervezési paraméter, a keletkező iszapmennyiség azonban a reaktorkialakítások következménye, vagyis az nem a reaktormodellt alakítja ki, hanem adott reaktormodellhez adott iszapfhozam tartozik. Ebben a fejezetben a különböző reaktormodellek hatását vizsgáljuk az iszapfhozamra nézve.

Az iszapfhozam megmutatja, hogy a szennyvíztelepen egy nap alatt mennyi szárazanyag keletkezik. Ezt a mennyiséget mindennap el kell venni annak érdekében, hogy a biomassza egyensúlyban maradjon a biológiai tisztítás során. Ebből viszont az következik, hogy x kg/d szárazanyag (TS: Total Solid) megjelenik az iszapvonalon, amit kezelni kell. Az összes szárazanyag mellett az iszap jelentős mértékben tartalmaz iszapvizet, amelynek jó része mechanikusan vagy mechanikusan vegyszeradagolással eltávolítható a sűrítés és víztelenítés során. Azonban ezek az eljárások az iszap térfogati csökkentésére koncentrálnak és nem a szárazanyag-tartalom redukciójára. Iszapok keletkezhetnek előüleptítés során, a biológiai medencében az eleveniszapból vagy a levált kötött biomasszából, vagy pedig a kémiai P kicsapatásból.

Bevezethető a fajlagos iszapfhozam definíciója, amely a keletkező iszapmennyiséget viszonyítja valamely befolyó mennyiséghez, például a BOI_5 -höz vagy a KOI-hez. Nincs egység a tekintetben, hogy milyen arányt célszerű alkalmazni, ezért lehetséges a TSS/KOI, TSS/ BOI_5 , VSS/ BOI_5 arány használata is, természetesen mindegyik más-más értéket jelent. Ez a fajlagos mennyiség az iszapkortól (SRT) jelentősen függ; minél nagyobb az SRT, annál kisebb lesz az iszapfhozam. Azonban az iszap teljes oxidációjához nemcsak több idő (reaktorméret), hanem oxigénből is több kell.

Az iszapfhozam csökkentését aerob és anaerob módon is megtehetjük, azonban ahol lehetőség van rá, érdemes az anaerob utat választani, mivel energia-visszanyerést érhetünk el. Az anaerob kezelésre – amely gyakran előkezeléssel egészül ki – nagyobb telepeken van csak lehetőség. A kisebb településeknél azonban elemi érdek az iszapfhozam-csökkentés. Az egyik technológiai csoport a sejtek elhalása után a sejtanyag ismételt felhasználásának gyorsításán alapul, azaz a sejt-lízist külső beavatkozással segítik elő. A felszabadult anyagokból újabb sejtek képződhetnek, amelyek részt vesznek a biológiai folyamatokban. Ezt a fajta szaporulatot önmésztő szaporodásnak is nevezik. A sejt-lízis történhet a mechanikai módszereken kívül (ultrahangos, kavitációs, illetve egyéb roncsoló kezelés) vegyszerekkel (klórozás, ózon) vagy hőkezeléssel.

A másik iszapfozom-csökkentési lehetőség a fenntartási folyamatokhoz szükséges energia maximalizálása. A mikroorganizmusok energiájának egy része a fenntartásra összpontosul, amely magában foglalja a sejtanyag megújítását, fenntartását, a tápanyag sejtmembránon keresztüli transzportját, másik része pedig új sejtanyag létrehozását teszi lehetővé. A cél, hogy ez utóbbi ne legyen számottevő, vagyis ne legyen magas mikroorganizmus-szaporulat és nagy iszapfőző. A fenntartási energia maximalizálását kommunális szennyvíztisztításban elérhetjük kis tápanyag-ellátással, vegyszerek alkalmazásával vagy az oxikus/anoxikus környezet változtatásával.

Az egyik ilyen eljárás az OSA-eljárás, amely az oxikus-szedimentációs-anaerob szakaszok változtatásából áll. A leülepített iszapot mellékágon, az iszaprecirkulációval anaerob medencében „éheztetjük”, és amikor visszakérül oxikus körülmények közé, akkor a kapott szubsztrátot elsősorban a saját maga újbóli felépítésére és nem szaporodásra használja. Azonban, ha az anaerob medencét a teljes recirkulációs iszapáramra tervezzük, akkor szükségtelenül nagy térfogatot kapunk. Kísérletek bizonyították, hogy elegendő a recirkulált iszap egy részét leválasztani és azt külön reaktorba vezetni, ahol szabályozott a levegőztetés, nagyon alacsony oldottoxigén-koncentrációt fenntartva. A „sokkolás” után vezetik csak vissza az iszapot a levegőztetőmedencébe.

Elsősorban biofilmes rendszereknél a nagy iszapkor és a biomasza helyhez kötöttsége miatt előfordulhat, hogy a magasabb rendű élőlények predációval az alacsonyabb rendű élőlényekkel táplálkoznak, ami szintén az iszapcsökkenést eredményezi. Az is látszik azonban, hogy a csőreaktor vagy a több részre osztott kaszkáreaktor kedvez a vízvonali iszapfozom-csökkentésnek, amelynek okaként a protozoák és a flagelláns szervezetek mint magasabb rendű élőlények tehetők felelőssé. A kifejlődésükhöz $DO = 1-3 \text{ mg/l}$, $TKN < 30 \text{ mg/l}$, $BOI_5 < 30 \text{ mg/l}$ szükséges, vagyis a biológiai medence végében képzelhető el akkor, ha az nem tökéletesen elkevert, hanem a fenti alacsony koncentrációk létrejöhetnek. A tápláléklánc kifejlesztése azért is előnyös számunkra, mert a felsőbbrendű szervezetek tápanyagkonverziója gyengébb, és nagyobb az energiavesztés. Ezenfelül a metazoák a szabadon úszó baktériumok fogyasztásával a víz zavarosságát csökkentik. Az irodalom szerint akár 20–40%-kal is sikerül az iszaptermelést csökkenteni, azonban kétfázisú tisztítást javasolnak eleveniszapos rendszerben.

Egyedi szennyvíztisztító kisberendezések anyagforgalmi modellje

A nyers szennyvíz karakterizálása, modellbeállítások

Egy konkrét egyedi kisberendezés vizsgálatához a GPS-X 6.5 szimulációs rendszert használtuk. A modellezés célja a tényleges kapacitás meghatározása volt. Beállítva az adott szennyvízminőséget és a kisberendezés paramétereit, az anyagforgalmi modell segítségével a kezelt szennyvíz minőségi változói számíthatók.

A vizsgált rendszer a Polydiox-50 típusú kisberendezés volt, amelynek kapacitását a gyártó 50 lakosegyenértékben, illetve $6,0 \text{ m}^3/\text{d}$ szennyvízhozamban adta meg. Az egység térfogata $8,4 \text{ m}^3$, amelynek mintegy 70%-a levegőztetett térrész, a többi pedig az ülepedésnek, iszapsűrűsödésnek van fenntartva.

A befolyó tekintetében két típusú szennyvízre végeztük el a vizsgálatokat annak megfelelően, hogy mekkora a vízfogyasztás, és az ehhez tartozó napi szennyvízkibocsátás. Ez alapján megkülönböztetünk Közép-Európára jellemző, ún. átlagos szennyvizet és koncentrált szennyvizet. A szervesanyag-mutatók tekintetében a KOI 750–1200 mg/l között, a BOI_5 300–650 között változik, a TKN és TP is viszonylag magas más országok szennyvízmutatóihoz képest.

4.8. táblázat

Befolyó szennyvízminőség (saját szerkesztés)

mg/l	átlagos szv.	koncentrált befolyó szv.
KOI	750	1200
BOI ₅	310	650
TSS	400	800
TKN	80	100
TP	12	18

Az átlagos befolyó szennyvíz KOI-tartalmának KOI–TSS-alapú frakcionálásakor – mérések hiányában – a következő frakciókat határoztuk meg:

- oldott inert KOI: 16 mg/l,
- könnyen hozzáférhető KOI: 62 mg/l,
- partikulált inert KOI: 270 mg/l,
- lassan bontható KOI: 402 mg/l.

A partikulált KOI-nak a szubsztrátként felhasználható része: 0,6.

Az összes lebegőanyag szerves része: 0,8.

A koncentrált szennyvíz esetében pedig így alakultak a KOI-frakciók:

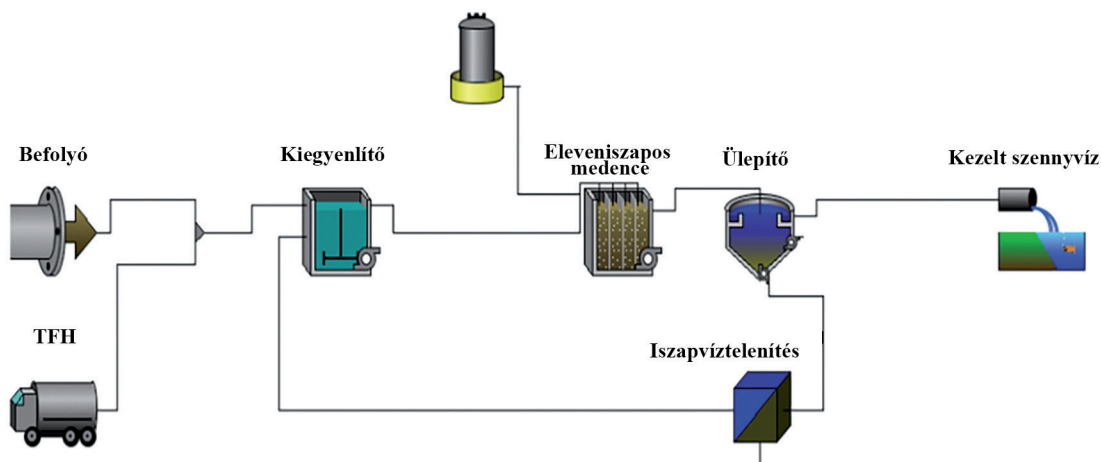
- oldott inert KOI: 24 mg/l,
- könnyen hozzáférhető KOI: 96 mg/l,
- partikulált inert KOI: 194 mg/l,
- lassan bontható KOI: 886 mg/l,

A partikulált KOI-nak a szubsztrátként felhasználható része: 0,82.

Az összes lebegőanyag szerves része: 0,75.

Elvégzett szimulációk és eredmények

A modell layoutot a 4.13. ábra mutatja, amelyen látható, hogy a befolyó nyers szennyvízen kívül egyéb szennyvízforrás is megadható (TFH: települési folyékony hulladék). A szennyvíz egy pufertartályba kerül, amelynek a feladata a kiegyenlítés. Ezután a biológiai folyamatok lejátszódása következik, amely térrészt levegőztetjük. A modellben lehetőség van külső szénforrás és/vagy vegyszer adagolására is. A levegőztetett medencét ülepítő követi, ahol a biomassza nagy részét visszatartjuk, és sűrítés után visszajuttatjuk a rendszerbe. A sűrítő-víztelenítő egységnek mintegy 5%-os szárazanyag-visszatartás lett beállítva. A tisztított kezelt víz egy tartályba jut a folyamat végén. Ennek további felhasználását a modell nem veszi figyelembe.



4.13. ábra

Hagyományos eleveniszapos rendszer GPS-X 6.5-ös modell layoutja (saját szerkesztés)

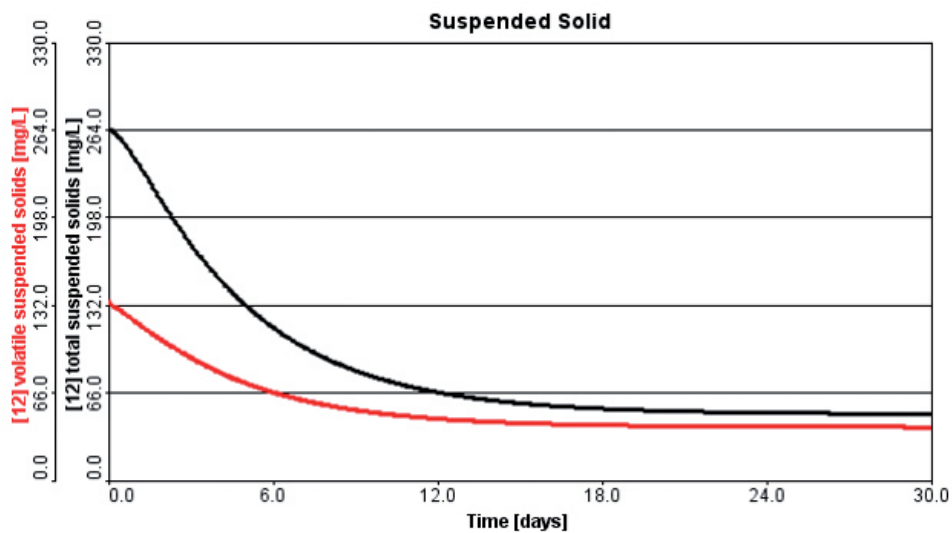
Időben állandósult (steady-state) modellfuttatásokat hajtottunk végre. Első lépésben a $6,0 \text{ m}^3/\text{d}$ -os névleges terhelést vettük figyelembe. Az oldott oxigén koncentrációja $2,0 \text{ mg/l}$ volt a levegőztetett medencében. Az iszaptermelés $1,35 \text{ kgTS/d}$ és a szárazanyag-tartalom $0,78\%$ -os. A sűrített és víztelenített iszap mennyisége $6,4 \text{ l/d}$. Az elfolyó szennyvíz minősége:

- KOI: 50 mg/l ,
- TSS: 24 mg/l ,
- $\text{NH}_4\text{-N}$: 25 mg/l ,
- TN: 27 mg/l .

Ebből jól látszik, hogy a nitrifikáció csak részleges, növényi tápanyag-eltávolítás nem történik, ha a névleges kapacitásnak megfelelő szennyvízmennyiség érkezik. A következő lépésben azt kellett megvizsgálni, hogy mekkora szennyvízhozam esetében kielégítő a nitrifikáció. Ezt több lépésben, iteratív módon, a próba-szerencse (trial and error) módszerével lehetett megtenni. A futtatások eredményeképpen adódott, hogy az átlagos közép-európai szennyvízminőség esetében a tényleges kapacitás mintegy 50% -át lehet alapul venni. Abban az esetben, ha a koncentrált szennyvízminőséggel dolgozunk, további 20% -os kapacitáscsökkenést tapasztalhatnánk. Ez utóbbi esetben javasolt az üzemeltetési paraméterek növelése, azaz a $\text{DO} = 2,0 \text{ mg/l}$ -t érdemes $\text{DO} = 3,0 \text{ mg/l}$ -re növelni a kapacitáskiesés kompenzálására.

A szimulációk esetében a bemeneti paraméterek permanens mivolta miatt gondolhatnánk, hogy az elfolyó vízminőség is permanens lesz. Azonban az eredmények tanúsága szerint ez a permanencia csak néhány nap elteltével volt jellemző.

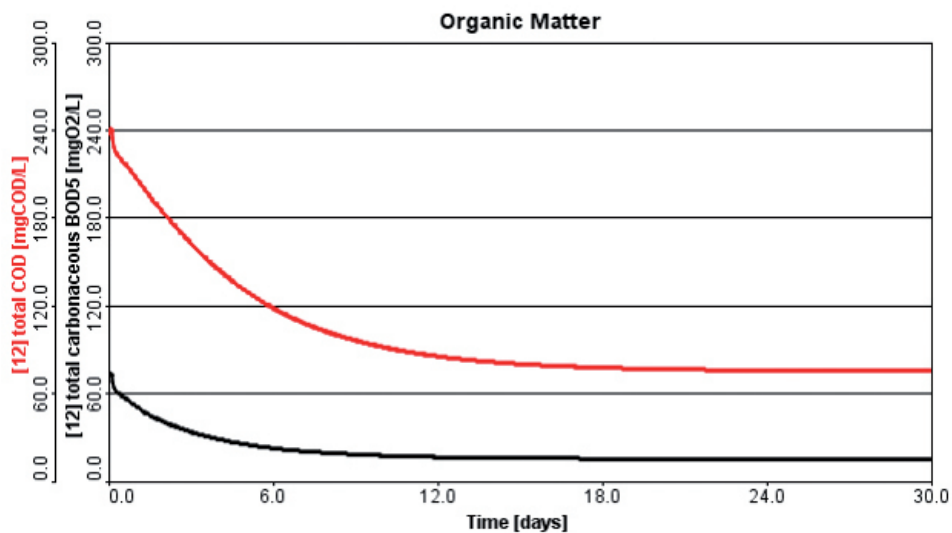
Ennek oka, hogy kezdetben a rendszerben nem volt jelen biomassza, annak fel kellett épülnie. Amíg a biomassza felépült, addig a biodegradáció is korlátozott volt. Ehhez, mint ahogyan a következő ábrarészletből is látszik, mintegy $10\text{--}12$ napra volt szükség. A 4.14. ábrán a TSS és ennek a szerves része, a VSS látható. A biológiailag tisztított szennyvízben mintegy 60 mg/l lebegőanyag maradt (ülepítés nélkül). Az üledés után ez tovább csökken $5\text{--}10 \text{ mg/l}$ -re.



4.14. ábra

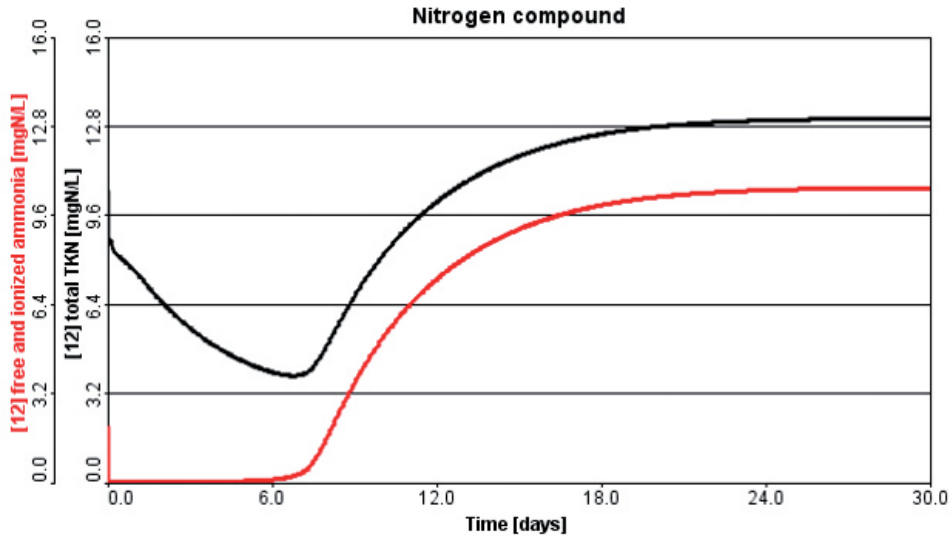
Tisztított szennyvíz lebegőanyag-koncentrációja (TSS és VSS) (saját szerkesztés)

A szervesanyag-mutatók tekintetében az elfolyó szennyvíz KOI-koncentrációja 68 mg/l-re adódott, amely több mint 90%-os tisztítás. A BOI_5 pedig 20 mg/l-re csökkent.



4.15. ábra

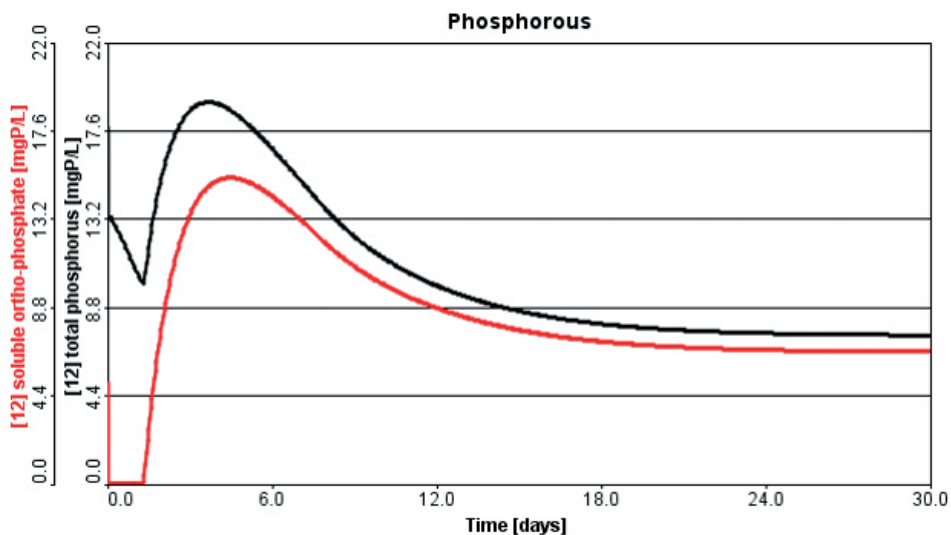
Tisztított szennyvíz szervesanyag-mutatói (COD = KOI, BOD5 = BOI_5) (saját szerkesztés)



4.16. ábra

A tisztított szennyvíz nitrogénformái (saját szerkesztés)

A nitrogénformák a 15–18 nap között kezdtek a szimulációban beállni. A szerves nitrogén mintegy 3 mg/l, az ammónium-N pedig 9 mg/l körüli. A levegőztetés szabályozásával itt további finomhangolás lehetséges.



4.17. ábra

A tisztított szennyvíz foszforformáinak koncentrációja (saját szerkesztés)

A foszforformák esetében a kezelt szennyvízben az ortofoszfát/összes foszfor arány magas. Annyi foszfort tudtunk eltávolítani, amennyit a biomassza felvesz. Ebből következik, hogy ha magasabb fokú tápanyag-eltávolítás elvárt, akkor a vegyszeres kicsapítás elengedhetetlen.

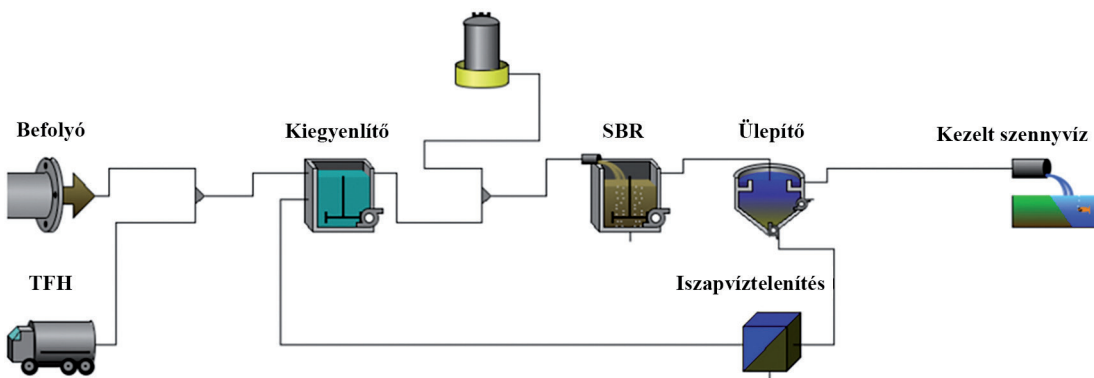
SBR-rendszerek

A szakaszolt betáplálású reaktorokkal kisberendezések esetében is jó hatásfokot lehet elérni. A technológia lényege, hogy a reaktorterek térbeli elválasztása helyett itt időbeni ciklusokat alakítunk ki, és a teljes tisztítási folyamat egy térben játszódik le. Ez azt jelenti, hogy a ciklusokat, amelyek általában 6–8 h hosszúak, a következő folyamatokra oszthatjuk:

- feltöltés,
- biológiai folyamatok (keveréssel és levegőztetéssel vagy keveréssel, de levegőztetés nélkül),
- ülepités,
- tisztított víz elvétele (dekantálás).

Az egyes lépéseket és a ciklusidőket úgy célszerű kialakítani, hogy egy nap során egész számú ciklus menjen végbe. Általános ökölszabály, hogy a feltöltés kb. fél óra, az ülepedés 1,2–1,5 h, a dekantálás legalább fél óra. A többi idő a biológiai folyamatok végbemenetelére lett kialakítva. A keveréses és levegőztetéses idő aerob viszonyokat hoz létre, a keveréses, de levegőztetés nélküli rész anoxikus. Az egyes folyamatok elkülönítése nem szükségszerű. Az ülepedéssel folyamatosan történhet a dekantálás is, feltéve, hogy pontosan tudjuk az iszapszintünk süllyedését.

Az SBR-telepek tervezése általában az analógia módszerével történik, azaz a hagyományos eleveniszapos technológiát méretezzük, és ezen reaktortérfogatokat és arányokat váltjuk át idővé (a hidraulikai tartózkodási idő segítségével $t = V / Q$).



4.18. ábra

SBR-rendszer GPS-X 6.5-ös modell layoutja (saját szerkesztés)

A méretezésben ugyanúgy használhatók anyagforgalmi modellek, amelyekben többnyire beépítve találjuk a SBR-elemet. Itt bemeneti paraméternek a ciklusidőket kell megadni a szokásos műtárgytér-fogat, DO, MLSS, esetleges recirkulációs áramokon kívül. SBR használatakor szükség lehet kiegyenlítő medencék alkalmazására. Az SBR előnye a hagyományos eleveniszapos rendszerrel szemben:

- könnyű üzemeltethetőség (automatizálás),
- flexibilitás (a folyamatokhoz rendelhető időt könnyebben módosíthatjuk, ellenben az adott műtárgytérfogatokkal),
- jobb iszapüledési tulajdonság,
- magasabb megengedhető MLSS-koncentráció,
- kisebb helyigény.

Felhasznált irodalom

- [1] Rieger R, Gillot S, Langergraber G, Ohtsuki T, Shaw A, Takács I, Winkler S. Guidelines for Using Activated Sludge Models. Scientific and Technical Report No. 22. London: IWA Publishing; 2013.

Internetes források

- www.indiamart.com/proddetail/trickling-filter-4993433933.html Letöltve: 2018. 12. 01.
<http://napier-reid.com/products/bio-rotortm-rotating-biological-contactor-rbc/> Letöltve: 2018. 12. 01.
www.wholewatersystems.com/H2OTREATMENT/RFB.htm Letöltve: 2018. 12. 01.
www.biowater.no/teknologi/biomedial/ Letöltve: 2018. 12. 01.
www.wastewater.com/parts/fine-bubble-parts Letöltve: 2018. 12. 10.
www.tpomag.com/online_exclusives/2017/04/optimize_your_clarifier_for_biological_phosphorus_removal_002y7
Letöltve: 2018. 12. 10.
<https://drstienecker.com/tech-332/7-pid-control> Letöltve: 2018. 12. 10.
www.biowatertechnology.com/en/technology/biomedial/) Letöltve: 2018. 12. 10.

Szabvány

- ATV-DVWK-A 131. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. s.l. Seidel-Przywecki Press; 2000

Ajánlott irodalom

- Aliyu AM, Seo H, Xu Y, Wang JJ, Kim KC. A model for rising bubbles interacting with crossflowing liquid. International Journal of Multiphase Flow. 2018;108:94–104. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.07.002>
- Aubin J, Fletcher DF, Xuereb C. Modeling turbulent flow in stirred tanks with CFD: the influence of the modeling approach, turbulence model and numerical scheme. Experimental Thermal and Fluid Science. 2004;28(5):431–445. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2003.04.001>
- Behnisch J, Ganzauge A, Wagner M. Development of Fine Bubble Aeration Diffusers: Results of Clean Water Tests of the Last 27 Years. In: 14th Young Water Professionals Conference Book of Abstracts. 2018. 195–196.
- Choi EH, Klapwijk B, Mels A, Brouwer H. Evaluation of wastewater characterization methods. Water Science and Technology. 2005;52(10–11):61–68. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0679>
- Corominas L, Rieger L, Takács I, Ekama G, Hauduc H, Vanrolleghem PA, Comeau Y. New framework for standardized notation in wastewater treatment modelling. Water Science and Technology. 2010;61(4): 841–857. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.912>
- Cséfalvay E, Mika LT. Vegyipari művelettan. Budapest: ELTE Kémiai Intézet; 2008.
- Daigger GT, Adams CD, Steller HK (2007): Diffusion of oxygen through activated sludge flocs: Experimental measurement, modeling, and implications for simultaneous nitrification and denitrification. Water Environment Research. 2007;79(4):375–387. <https://doi.org/10.2175/106143006x111835>
- Dehbi A. A CFD model for particle dispersion in turbulent boundary layer flows. Nuclear Engineering and Design. 2008;238(3):707–715. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2007.02.055>
- Ding S, Liu L, Xu J. A study of the determination of dimensionless number and its influence on the performance of a combination wastewater reactor. Procedia Environmental Sciences. 2013;18:579–584. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.078>
- Dochain D, Vanrolleghem PA. Dynamical Modelling & Estimation in Wastewater Treatment Processes. s.l. IWA Publishing; 2001.
- Grady CL, Daigger GT, Love NG, Filipe CD. Biological wastewater treatment. s. l. CRC press; 2011.

- Gujer W, Henze M, Mino T, Van Loosdrecht M. Activated sludge model no. 3. *Water Science and Technology*, 1999;39(1):183–193. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00785-9](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00785-9)
- Fayolle Y, Cockx A, Gillot S, Roustan M, Hédut A. Oxygen transfer prediction in aeration tanks using CFD. *Chemical Engineering Science*, 2007;62(24):7163–7171. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.08.082>
- Fazekas B, Kárpáti Á, Kovács Zs. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. Veszprém: Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet; 2014. 280.
- Fogler HS. *Essentials of chemical reaction engineering*. s. l. Pearson Education; 2010.
- Gernaey KV, Van Loosdrecht MC, Henze M, Lind M, Jørgensen SB. Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. *Environmental Modelling and Software*. 2004;19(9):763–783. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.03.005>
- Grady CL, Daigger GT, Love NG, Filipe CD. *Biological wastewater treatment*. s. l. CRC Press; 2011.
- Gresch M, Armbruster M, Braun D, Gujer W. Effects of aeration patterns on the flow field in wastewater aeration tanks. *Water Research*. 2011;45(2):810–818. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.009>
- Gujer W, Henze M, Mino T, Van Loosdrecht M. Activated sludge model no. 3. *Water Science and Technology*, 1999;39(1):183–193. <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0039>
- Hamer G. Lysis and “cryptic” growth in wastewater and sludge treatment processes. *Acta Biotechnologica*. 1985;5(2):117–127. <https://doi.org/10.1002/abio.370050202>
- Heijnen JJ, Van't Riet K, Wolhuis AJ. Influence of very small bubbles on the dynamic K_La measurement in viscous gas–liquid systems. *Biotechnology and Bioengineering*. 1980;22(9):1945–1956. <https://doi.org/10.1002/bit.260220912>
- Henze M, Gujer W, Mino T, Matsuo T, Wentze MC, Marais GVR, Van Loosdrecht MC. Activated sludge model no. 2d, ASM2d. *Water Science and Technology*. 1999;39(1):165–182. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00829-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00829-4)
- Horn H, Reiff H, Morgenroth E. (2003): Simulation of growth and detachment in biofilm systems under defined hydrodynamic conditions. *Biotechnology and Bioengineering*. 2003;81(5):607–617. <https://doi.org/10.1002/bit.10503>
- Huo J, Jiang Y, Seaver WL, Robinson RB, Cox CD. Statistically based design of wastewater treatment plants (WWTPs) using Monte Carlo simulation of Activated Sludge Model No. 1 (ASM1). In *World Environmental and Water Resource Congress*. 2006.
- Jørgensen MH. Determination of yield for growth and endogenous metabolism in the activated sludge process. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 1977;3(4):313–324. <https://doi.org/10.1007/BF01263331>
- Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modeling. *Water, Science & Technology*. 1992;25(6):125–139. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0118>
- Karches T. Effect of aeration on residence time in biological wastewater treatment. *Pollack Periodica*. 2018;13(2):97–106. <https://doi.org/10.1556/606.2018.13.2.10>
- Karches T. Numerikus hidraulikai modellezés a szennyvíztisztítás szolgálatában. *MASZESZ Hírcsatorna*. 2012. január–február: 3–7.
- Karches T, Buzás K. Methodology to determine residence time distribution and small scale phenomena in settling tanks. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 2011;70:117–126. <https://doi.org/10.2495/MPF110101>
- Karches T, Buzás K. Investigation of residence time distribution and local mean age of fluid to determine dead-zones in flow field. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*. 2013;1(2),132–141. <https://doi.org/10.2495/CMEM-V1-N2-132-141>
- Karches T, Melicz Z. Problem Detection in A Small Wastewater Treatment Plant With The Tool of Computational Fluid Dynamics. In: *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*. 2010.
- Kárpáti Á, Rókus T. Az eleveniszapos szennyvíztisztítás fejlesztésének irányzatai II. A foszfor-eltávolítás és a szerves széntartalom kihasználásának optimalizálása. *Veszprémi Környezetvédelmi Konferencia kiadványkötete*. 1995. 146–158.
- Ke T, Wentao T, Yu Z, Tao J, Xiaogang L, Tian L. Impact of Peclet number on heat transfer of oscillatory flow in circular channel. *Cryogenics*. 2011;3(2):1–5.
- Khudenko BM, Shpirt E. Hydrodynamic parameters of diffused air systems. *Water Research*. 1986;20(7):905–915. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(86\)90180-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(86)90180-6)

- Langergraber G, Rieger L, Winkler S, Alex J, Wiese J, Owerdieck C, Maurer M. A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*. 2004;50(7):131–138. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0436>
- Lauder BE. Kolmogorov's two-equation model of turbulence. *Proceedings of the Royal Society. London Series A*. 1991;434(214).
- Lazarova V, Manem J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Research*. 1995;29(10):2227–2245. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00054-O](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00054-O)
- Lee H, Han J, Yun Z. Biological nitrogen and phosphorus removal in UCT-type MBR process. *Water Science and Technology*. 2009;59(11):2093–2099. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.242>
- Mahmood KA, Wilkinson SJ, Zimmerman WB. Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes. *Chemical Engineering Science*. 2015;137:243–253. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.06.032>
- Makowska M, Sychała M. Organic Compounds Fractionation for Domestic Wastewater Treatment Modeling. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(1):131–137.
- Manninen M, Taivassalo V, Kallio S. On the mixture model for multiphase flow. VTT Publications 288, Technical Research Centre of Finland; 1996.
- Mátrai I, Guti G, Fehér G, Bognár F, Vadkerti E. *Vízbiológia*. Eötvös József Főiskola; 2015.
- Mátrai I, Karches T, Vadkerti E, Orgoványi P. Csapadékesemény hatása a mozgó ágyas biofilm reaktorokat alkalmazó szennyvízkezelési technológiára. Baja: Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia; 2017. november 14–15.
- McQuarrie J, Rutt K, Seda J, Haegh M. Observations from the first year of full-scale operation-the IFAS/BNR process at the Broomfield wastewater reclamation facility. Broomfield, CO. *Proceedings of the Water Environment Federation*. 2004;7:274–285.
- Melcer H. *Methods for wastewater characterization in activated sludge modelling*. s. l. IWA Publishing; 2004.
- Metcalf E, Eddy M. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. NYC: Mic Graw-Hill; 2014.
- Monclús H, Sipma J, Ferrero G, Rodriguez-Roda I, Comas J. Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal. *Bioresource Technology*. 2010;101(11):3984–3991. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.038>
- Moullec YL, Potier O, Gentric C, Leclerc JP. Flow field and residence time distribution simulation of a cross-flow gas–liquid wastewater treatment reactor using CFD. *Chemical Engineering Science*. 2008;63(9):2436–2449. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.01.029>
- Murphy KL, Timpany PL. Design and analysis of mixing for an aeration tank. *Journal of the Sanitary Engineering Division*. 1967;93(5):1–16.
- Myszograj S, Pluciennik-Koropczuk E, Jakubaszek A. COD fractions-methods of measurement and use in wastewater treatment technology. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2017;24(1):195–206. <https://doi.org/10.1515/ceer-2017-0014>
- Oh J, Silverstein JA. Oxygen inhibition of activated sludge denitrification. *Water Research*. 1999;33(8):1925–1937. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00365-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00365-0)
- Orhon D, Çokgör EU. COD fractionation in wastewater characterization – the state of the art. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology International Research in Process, Environmental and Clean Technology*. 1997;68(3):283–293. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X)
- Pásztor I, Thury P, Pulai J. Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2009;6(1):51–56. <https://doi.org/10.1007/BF03326059>
- Pochana K, Keller J, Lant P. Model development for simultaneous nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*. 1999;39(1):235–243. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00789-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00789-6)
- Radjenović J, Petrović M, Barceló D. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Research*. 2009;43(3):831–841. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.043>
- Ratsak CH, Verkuil J. Sludge reduction by predatory activity of aquatic oligochaetes in wastewater treatment plants: science or fiction? A review. *J. Hydrobiologia*. 2006;564(1):197–211.

- Plattes M, Henry E, Schosseler PM, Weidenhaupt A. Modelling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor for the treatment of municipal wastewater. *Biochemical Engineering Journal*. 2006;32(2):61–68. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.07.009>
- Skoneczny Sz, Cioch M. Determination of Steady-states in a Tubular Biofilm Bioreactor with Axial Dispersion. *Chemical Engineering Research and Design*. 2018;136:468–476. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.06.011>
- Spellman FR. Handbook of water and wastewater treatment plant operations. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- Sriwiriya T, Ungkurarat W, Fongsatitkul P, Chinwetkitvanich S. Effects of dissolved oxygen on biological nitrogen removal in integrated fixed film activated sludge (IFAS) wastewater treatment process. *Journal of Environmental Science and Health Part A*. 2008;43(5):518–527. <https://doi.org/10.1080/10934520701796481>
- Tamis J, Van Schouwenburg G, Kleerebezem R, Van Loosdrecht MCM. A full scale worm reactor for efficient sludge reduction by predation in a wastewater treatment plant. *Water Research*. 2011;45(18):5916–5924. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.046>
- Tchobanoglous G, Burton F, Stensel HD. Wastewater engineering: treatment and reuse. American Water Works Association Journal. 2003;95(5):1–201.
- Vadkert E. Fürdők közegészségügyi vonatkozásai. In: Fürdők üzemeltetése. Budapest: Nemzeti Községi Egység; 2018.
- Vadkert E, Karches T. Biológiai folyamatok az ivóvíztisztításban. In: Vízszerezés-víztisztítás. Budapest: Nemzeti Községi Egység; 2018.
- Vaiopoulou E, Aivasidis A. A modified UCT method for biological nutrient removal: configuration and performance. *Chemosphere*. 2008;72(7):1062–1068. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.044>
- Vanrolleghem PA, Insel G, Petersen B, Sin G, De Pauw D, Nopens I, Gernaey K. A comprehensive model calibration procedure for activated sludge models. *Proceedings of the Water Environment Federation*. 2003;(9):210–237. <https://doi.org/10.2175/193864703784639615>
- Vanrolleghem PA, Schilling W, Rauch W, Krebs P, Alderink H. Setting up measuring campaigns for integrated wastewater modelling. *Water Science and Technology*. 1999;39(4):257–268. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00072-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00072-4)
- Wen J, Torrest RS. Aeration-induced circulation from line sources. I: Channel flows. *Journal of Environmental Engineering*. 1987;113(1):82–98. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1987\)113:1\(82\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1987)113:1(82))
- Wuertz S, Bishop PL, Wilderer, PA. editor. Biofilms in wastewater treatment. s. l. IWA Publishing; 2003.

Fejezetzáró kérdések

1. Mi a különbség a modell és a szimulátor között?
1. Milyen alapfolyamatokból építkeznek az eleveniszapos modellek?
2. Milyen bemeneti paramétereket szükséges megadni fix hordozós rendszerek anyagforgalmi modellje számára?
3. Ismertesse a Takács-féle ülepedési modellt!
4. Mit jelent az AOTR és SOTR? Mi a kapcsolat közöttük?
5. Ismertesse a PID szabályozási logikát!
6. Milyen ideális reaktormodelleket ismer?
7. A szennyvízkezelési technológiákban alkalmazott recirkulációknak milyen hatása van a reaktormodellre nézve?
8. Mit jelent a virtuális reaktorszám?
9. Milyen hatása van a kaszkádolásnak az iszapfozomra nézve?
10. Hogyan néz ki egy kisberendezés-modell layoutja?
11. Kisberendezések anyagforgalmi modellezéséhez milyen szimulációs lépéseket kell megtenni?
12. Mit tud mondani az SBR-rendszerekről?

Döntéstámogató rendszerek és adaptáció

Döntéstámogató rendszerek

Számtalan döntést kell életünk során meghozni, amelyek minden esetben kihatással vannak a jövőre nézve. Célunk, hogy az adott feltételek mellett optimális döntést tudjunk hozni. Az optimális döntés feltételezi, hogy teljes körű információ birtokában vagyunk, a lehetséges alternatívák között sorrendet tudunk felállítani. Az összes cselekvési változat és a hozzá kapcsolható várható eredmények ismerete mintegy előfeltétel jelenik meg a döntési folyamatokban. Ha ezek közül bármelyik alapfeltétel sérül, vagyis nem ismerjük az összes alternatívát, vagy a lehető összes információval nem rendelkezünk, akkor korlátozott racionális döntést tudunk csak hozni.

A döntésekhez rendelhető bekövetkezési valószínűségek eltérők. Ha a bekövetkezés számszerűsíthető, akkor kockázatról beszélünk, ha nem tudjuk megadni, akkor bizonytalanságról beszélünk. A valószínűségi változó 0 és 1 közé esik. Legtöbb esetben a környezeti körülmények befolyásoló hatása miatt a rendszer számos bizonytalansággal terhelt. Ilyen esetekben parametrikus döntésemletről beszélünk. Viszont ha adott a valószínűségi változó és kockázati érték, akkor könnyedén képezhető a várható hasznosság. A döntési szabályok ekkor a következők lehetnek:

Laplace-kritérium: Nem ismerjük a végbemeneteli valószínűségeket, ezért mindegyiket egyenlőnek tekintjük. Egyszerűsített a számítás, mivel a változatok várható eredménye közvetlenül adja, hogy mit kell választani

Maximax kritérium: A lehetséges legnagyobb eredmény közül a legjobb eredményt adó alternatívát választjuk. Ehhez a döntési szabályhoz eléggé optimistának kell lenni, hiszen a lehető legjobb eredményt se folytonosan hozzuk, de azok közül mégis a legjobbat választjuk.

Maximin kritérium: Az alternatívák közül azt választjuk, ahol a legkisebb eredmény a többi alternatívához képest a legnagyobb. Tehát a legrosszabb időszakban (például szennyvíztisztítási technológiában télen a többi alternatíva közül a legjobban működik a telep).

A legkisebb megbánás elve: Itt nem eredményeket, teljesítést kell nézni, hanem az elmaradt hasznót. Azt választjuk, ahol a legkisebb az elmaradt haszon. Más néven „minimum regret” elvnek is nevezik ezt a döntési szabályt.

Döntéstámogató rendszernek nevezünk minden olyan rendszert, amely a döntések meghozatalában segíthet. Ez alapján ilyen rendszer lehet például egy egyszerű Excelben elkészített táblázat, egy honlap, egy keresőprogram (például Google) vagy akár a LinkedIn-profil is, ha éppen humán erőforrást keresünk egy adott projekthez. Látszik, hogy széles körű eszköztár tartozik a döntéstámogatáshoz, amelyet a használhatóság érdekében tovább kellene pontosítani, hiszen ebben a formában túl általános, és a következő elemeket kellene tartalmaznia:

- interaktivitás,
- számítógép-alapú,
- adatbázisokat, modelleket alkalmaz,
- nem jól strukturált probléma megoldásában segít.

Az interaktivitási feltétel egyértelműnek tűnik; például nagy adathalmazból strukturált módon kinyert és feldolgozott értékek alapján olyan formában jeleníti meg a döntéshozónak a számára

releváns információt, hogy azt könnyen fel tudja dolgozni. Lényeges elemként tekinthető a vizualizáció, vagyis felhasználni azt a tényt, hogy az emberi észlelés elsősorban a látás segítségével történik. Az adathalmazokból elkészített ábrák, grafikonok rávilágíthatnak trendekre, amiből a jövőre vonatkozó becsléseket elkészíthetjük. Mindez számítástechnikai eszközökkel hatékonyan megvalósítható.

A döntéstámogató rendszer gyakran nagy mennyiségű adatot használ fel, esetlegesen modellekkel közelítéseket, becsléseket végez. A matematikai modell feladata az adatelemek közötti összefüggések felállítása, kezelése. A nem jól strukturált probléma definíciójában szerepel, hogy nem ismerjük az összes megoldási alternatívát, az egymáshoz viszonyított preferenciákat.

A döntéstámogató rendszerek bemutatását a vezetői információs rendszerek relációjában érdemes vizsgálni és összehasonlítani az egyes elemeket.

Főleg taktikai döntésekhez alkalmazandók.

- Támogatják az egyes döntéshozatali folyamatok elvégzését, mint a tervezés és adatgyűjtés, választás az alternatívák közül.
- Egyedi, specifikus problémákat oldanak meg.
- Interaktív felülettel rendelkeznek, a formátumuk rugalmas.
- Az információt matematikai modellek, szimulációk hozzák létre.
- Rugalmasan alakítható rendszerek.

Ellenben a vezetői információs rendszerek:

Elsősorban operatív feladatokhoz dolgozták ki őket.

- Strukturált döntéseket készítenek elő.
- Gyakori problémák megoldásához nyújtanak támogatást.
- Előre meghatározott formával rendelkeznek.
- Meglévő adatok konverziójával állítják elő az információt.
- Nehezen módosítható rendszerek.

A döntéshozatali rendszerek felépítésében láthatjuk, hogy a kiindulási pont az adatbázis, majd van egy belső, modellezési réteg és a user számára látható front-end alkalmazás.

1. Adatbázis: A döntéstámogató rendszer szerves része az adatbázis, egyes esetekben azonban külső forrású is lehet. Az adatbázis már szűrt állapotban, a döntés meghozatalához szükséges mértékben előre fel van dolgozva. Nem kizárólag a tartalom, hanem a szerkezet is meghatározó a döntés előkészítésében.
2. Modellező réteg: A modellező réteg feladata, hogy az adatokból információt állítsunk elő. Ehhez különféle függvényeket, algoritmusokat alkalmaz. Itt kell definiálni a szabályokat és az információ-előállítási metódust.
3. Front-end alkalmazás: A döntéshozók ezzel a felülettel találkoznak, amelyen keresztül az eredményeket megtekinthetik. Ezen eredmények szűrtek, csak a releváns információt használja fel. A megjelenés általában sok vizualizációs elemet tartalmaz.

A döntéstámogató rendszerek szoftvertechnológiáját tekintve a következő lehetőségek jöhetnek számításra:

- adattárház-technológia,
- többdimenziós adatbázis-kezelés (OLAP),
- oszlopalapú adatbázis-kezelők,
- adatbányász-technológiák,
- riportkészítő eszközök.

Adattárházak (Data warehouse)

Az adattárház tárgyorientált, integrált, tartós és időfüggő adatgyűjtemény a vezetői döntéstámogatásra. A tárgyorientáltság jelentése, hogy az alkalmazások funkcióit és feladatait helyezi előtérbe. Általában az adatcsoportosítás a felhasználó és annak preferenciái köré szerveződik, ezeket egy helyre és szabványosítva gyűjti. Törekedni kell az adatok változatlanságára. Amennyiben mégis szükség van a forrásadat megváltoztatására, akkor megfelelő időbélyegzők használata szükséges, hiszen a reprodukálhatóság kulcskérdés. Az időt minden esetben az adathoz kell rendelni, hiszen általában az elemzések elmúlt időszakok adatain alapulnak.

OLAP- (On Line Analytical Processing) rendszerek

Szabványosított elemző rendszer, amely a következő tulajdonságokkal rendelkezik:

- többdimenziós nézet,
- transzparencia,
- jogosultságok beállíthatósága,
- lekérdezések kezelése,
- kliens-szerver architektúra,
- dimenzió fogalma,
- többdimenziós modell tárolásánál dinamikus ritkamátrix-kezelés (elsősorban parciális differenciálegyenletek numerikus analízisének költségkímélő tárolási technika),
- konkurens felhasználó támogatása,
- korlátozás nélküli dimenzióműveletek,
- end-user számára intuitív adatkezelés,
- flexibilis riportkezelés,
- korlátlan dimenziószám és aggregációs szint szám, amely a skálázási problémákon segít.

Oszlopalapú adatbázis-kezelők

Az adatbázis-kezelők alkalmazásakor gyakori a dimenziós adatmodell használata, ahol tény- és dimenziós adatokat lehet elkülöníteni. A ténytáblához lehet a dimenziókat kapcsolni. A ténytáblák általában kevés oszlopot, de sok rekordot tartalmaznak, a dimenziótáblák ezzel ellentétesek; kevés sorból, azonban sok oszlopból állnak.

Adatbányász-technológiák

Óriási adathalmazból (például másodpercenkénti szenzoradatokból) feldolgozható információt alkotunk, akár jellemzők átlagolásával, léptékek helyes megválasztásával vagy releváns adatok kiemelésével. Az adatbányászat az a folyamat, amellyel hasznos információ fedezhető fel automatikus módon nagy adattárakban. A bemenő adatokat különböző formátumokban tárolhatjuk (szövegfájlok, táblázatok vagy relációs táblák), amelyek lehetnek központi adattárolón vagy több hely között elosztva.

Az előfeldolgozás során a nyers bemenő adatokon formátumkonverziót hajthatunk végre, a zajtól megtisztíthatjuk, a lényeges adatokat kiemelhetjük. Az adatok előkezelése a legidőigényesebb folyamat, mivel az egységesítés során a sokfajta nyers adatból indulunk ki.

A rendszerben megjelenik a visszacsatolás, amely az adatbányászat eredményeinek a döntéstámogató rendszerekbe való implementálását jelenti. Az utófeldolgozási lépés biztosítja, hogy csak az érvényes és hasznos eredmények épüljenek be a döntéstámogató rendszerbe. Gyakran az utófeldolgozás részeként statisztikai vizsgálatokat és/vagy hipotézisvizsgálatot is el kell végezni annak érdekében, hogy a félrevezető adatbányászati eredményeket eltávolítsuk.

Riportkészítő eszközök

Elterjedt az üzleti intelligencia (BI: Business Intelligence) területén, de más területeken is alkalmazható, javítja az adatelérhetőséget, könnyebb, gyorsabb hozzáférést biztosít releváns információkhoz, többfajta lehetőséggel:

- jelentések, kivonatok, jegyzőkönyvek elkészítése,
- adatvizualizáció,
- tervezés, előrejelzés, modellezés – What-if scenáriók lefuttatása,
- időszorelemzés,
- mutatók, jellemzők kivonatolása (Balanced Scoreboard),
- dashboardok elkészítése.

A döntéstámogató rendszerek másfajta csoportosítása is lehet, amely inkább elméleti jelentőségű, azonban a megfelelő terminológia elsajátításához elengedhetetlen az ismerete.

- adatvezérelt adatkezelés (például OLAP),
- modellvezérelt adatkezelés (például optimalizációs modellek),
- ismeretvezérelt adatkezelés (például szakértő rendszerek),
- dokumentumvezérelt adatkezelés,
- kommunikációvezérelt adatkezelés (user által bevitt adatok alapján).

Az 5.1. táblázatban láthatjuk az egyes döntéstámogató rendszertípusokhoz rendelhető folyamatokat és alkalmazott technológiákat, amely a kliens/szerver kapcsolatot, az önálló (stand-alone) PC-t és a webes felületet öleli fel.

5.1. táblázat

Döntéstámogató modelltípusok folyamatai és alkalmazott technológiái (saját szerkesztés a <http://real.mtak.hu/10316/1/1212879.pdf> alapján)

	Folyamat	Alkalmazott technológia
Adatvezérelt	lekérdezés az adattárházból	kliens/szerver
Modellvezérelt	döntéselemzés	kliens/szerver, PC, web
Ismeretvezérelt	belső információk gyűjtése	kliens/szerver, PC
Dokumentumvezérelt	weboldalak, dokumentumok	web, kliens/szerver
Kommunikációvezérelt	együttműködés, találkozások	web, kliens/szerver

Döntési folyamat

Lineáris programozás

A döntéstámogatás során optimumra törekszünk, azaz a rendelkezésre álló információk alapján a kritériumok figyelembevételével opciók között választunk. A rendszer olyan alapállapottal rendelkezik, amelyben az egyes változatokhoz hasznosság (utility) társul. A hasznosságfüggvény a változatok és a hasznosság együttes súlyozásával áll elő. A függvények közül megkülönböztetünk feltételi függvényeket és célfüggvényt. Általában a célfüggvény minimumának vagy maximumának keresése a feladatunk valamilyen korlátozó feltételek között. Ha a feltételi függvények és a célfüggvény lineáris, akkor a probléma lineáris programozást igényel. Ha bármely függvényünk nem lineáris, akkor a probléma is nem lineáris természetű. Ha a feltételi függvények és a célfüggvény felírhatók egyváltozós függvények összegeként, akkor dinamikus programozást alkalmazunk.

A programozási feladat ezenkívül lehet folytonos, diszkrét vagy hibrid a függvénytípusoktól függően. Ha valószínűségi változók is szerepelnek a feladatban, akkor sztochasztikus programozási feladatról van szó, viszont valószínűségi változók hiányában a probléma determinisztikus. Általánosan felírva a célfüggvény maximalizációjához az alábbi rendszert kell megoldani:

$$\begin{aligned} A \cdot x &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

Ahol az A mátrix a technológia mátrixa, elemei a technológiai együtthatók. A mátrix n sorból és m oszlopból áll:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

A b vektor a kapacitásvektor, a c vektor pedig a célfüggvény, az x pedig az ismeretlen.

$$b = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

a célfüggvényre felírható:

$$c^T x \rightarrow \max$$

A megoldás során alkalmazhatunk grafikus módszert, amelynek előnye, hogy kisszámú korlátozó feltételnél és kevés változónál kézzel is hamar eredményre jutunk. Azonban ha a rendszerünk sokváltozós, és az automatizálás is fontos, akkor érdemes a simplex módszert alkalmazni. A feladat megoldása gyakorlatilag a lineáris egyenletrendszerek megoldásából következik.

Szimplex módszer

A szimplex módszer kezdőtáblája olyan táblázat, amelynek a bal felső sarkában található a technológiai együttható mátrix, jobb felső sarkában a kapacitásvektor, az alsó sorban pedig a célfüggvény együtthatói szerepelnek.

5.2. táblázat

Szimplex módszer kezdőtáblája (saját szerkesztés)

	x_1	x_2	...	x_m	b
u_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}	b_1
u_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}	b_2
...	...	...	...	...	...
u_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}	b_n
$-c$	c_1	c_2	...	c_m	0

A szimplex módszer lépései a következők:

1. A generálóelem kiválasztása: A generálóelem kiválasztása csak abból az oszlopból tehető meg, ahol a célfüggvény együtthatója nem negatív, tehát $c_1, c_2, \dots, c_n$ közül csak a zérus és nagyobb értékek jöhetnek szóba. Elvi lehetőség van minden nem negatív elem kiválasztására, de célszerű a $\max(c_1, c_2, \dots, c_m)$ érték megkeresése és kiválasztása. A generálóelem oszlopa legyen j ! A generálóelem sorának kiválasztásához azt a sort kell tekinteni, amelyben a b_i/a_{ij} a legkisebb. Ez az ún. legkisebb keresztmetszet.
2. A generálóelem segítségével elemi bázistranszformációval új bázisra áttérés: A bázisvektorcserét úgy hajtjuk végre, hogy a generálóelem helyére írjuk a reciprokát, majd a generálóelem oszlopát szorozzuk a generálóelem reciprokának -1 -szeresével és a generálóelem sorát szorozzuk a generálóelem reciprokával.
3. Az eljárás iteratív módon való ismétlése.

Az eljárás addig folytatandó, amíg a táblázat jobb alsó cellájában tovább nem csökken az érték. Ekkor értük el a maximumot.

A következő egyenletrendszer megoldásához használjuk a szimplex módszert:

$$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 3$$

$$3x_2 + x_3 \leq 5$$

$$2x_1 + 3x_2 + 3x_3 \leq 7$$

ahol minden változó pozitív,

keressük a $c(x) = 3x_1 + x_2 + 4x_3$ függvény maximumát.

Első lépésben a kiinduló táblázatot írjuk fel:

	x_1	x_2	x_3	b
u_1	1	2	1	3
u_2	0	3	1	5
u_3	2	3	3	7
$-c$	3	1	4	0

Ezután keressük meg a generálóelemet! Az alsó sorban pozitív számok szerepelnek. Ekkor célszerű olyan elemet választani, amelynek oszlopában zérus szerepel. Ha a b-t soronként leosztjuk az adott oszlophoz tartozó értékekkel, és a legkisebbet kiválasztjuk (7/2 vagy 3/1), akkor a következő generálóelemet kapjuk:

	x_1	x_2	x_3	b
u_1	1	2	1	3
u_2	0	3	1	5
u_3	2	3	3	7
$-c$	3	1	4	0

Ezután a generálóelem sorát a reciprokával szorozzuk, oszlopát a reciprok -1 -szeresével, majd elemi bázistranszformációkat végrehajtva ezt kapjuk:

	u_1	x_2	x_3	b
x_1	1	2	1	3
u_2	0	3	1	5
u_3	-2	-1	1	1
$-c$	-3	-5	1	-9

Iteratív módon folytatva az eljárást az új generálóelem:

	u_1	x_2	x_3	b
x_1	1	2	1	3
u_2	0	3	1	5
u_3	-2	-1	1	1
$-c$	-3	-5	1	-9

Áttérés más bázisra és bázistranszformáció után:

	u_1	x_2	u_3	b
x_1	3	3	-1	2
u_2	2	4	-1	4
x_3	-2	-1	1	1
$-c$	-1	-4	-1	-10

Vagyis az $x_1 = 2$, $x_3 = 1$, ebből viszont következik, hogy $x_2 = 0$. Így a $c(x)$ függvény maximális értéke 10 lesz.

Ha az olvasó szeretne a témában jobban elmélyedni, lineáris programozás keresőszóra számos irodalmat találhat.

A döntéstámogató rendszer felépítése

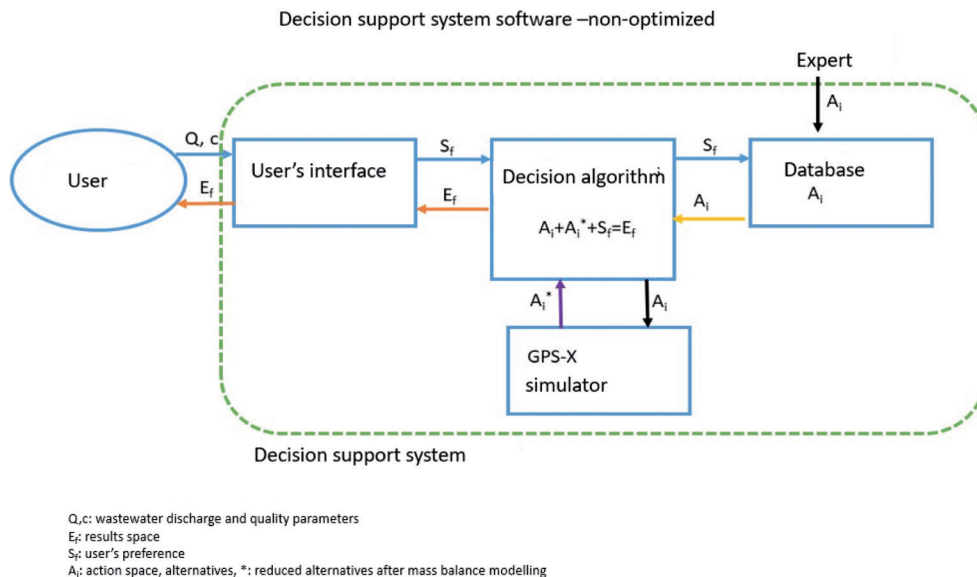
Szennyvíztisztító kisberendezések kiválasztásához a döntéstámogató rendszerek elméleti leírását és a szakmai követelményeket figyelembe véve járunk el. A rendszer létrehozásánál elsődleges szempont az egyszerűség és a könnyen átláthatóság mind a rendszer kezelője, mind a felhasználó részéről.

A felhasználó a döntéstámogató rendszer elemeivel a felhasználói felületre bevitt saját preferenciáján keresztül kommunikál, azaz adott mennyiségű és minőségű szennyvizet szeretne megtisztítani az előírásoknak megfelelően. A felhasználói felület ezt az input adatot a döntésemélet szerinti felhasználói környezeti elemnek felelteti meg, és közvetíti a logikai motorhoz, a döntési algoritmushoz.

A másik oldalról közelítve az adatbázis tartalmazza a lehetséges alternatívák terét (cselekvési tér), vagyis hogy mely technológiai megoldások jöhetnek szóba. A valós biológiai-fizikai folyamatok modellezésével ez a cselekvési tér módosul: szűkebb lesz, és a felhasználó preferenciájához jobban illeszkedő. A szűkített cselekvési tér és a környezeti tér vektorainak segítségével születik meg az eredménytér, illetve a tér elemeiből kiválasztva a felhasználó igényeinek legjobban megfelelő megoldás, amelyet a felhasználói felület segítségével mint eredményt visszajuttatunk a felhasználónak. A fenti leírás szerint kétfajta lehetőség képzelhető el az anyagforgalmi modellezés rendszerbe kapcsolását illetően:

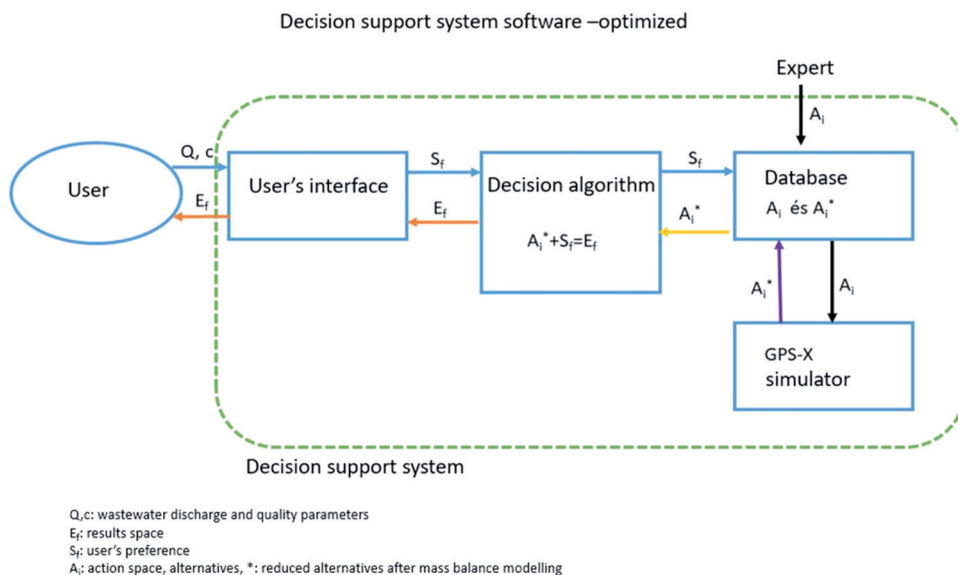
- az adatbázis alternatívateréhez csatlakozik,
- a döntési algoritmushoz csatlakozik.

Az utóbbi esetben a dinamikus, a felhasználó által elindított folyamattal párhuzamosan kell futnia minden lekérdezéskor, ami lassú és költséges folyamat. Ezért megoldásként az optimalizált rendszerben a GPS-X-szel végzett anyagforgalmi modellezés a statikus adatbázist „okosítja” fel, így csökkenthető a szükséges szimulációk száma, és a felhasználó már csak ebből az „okosított” adatbázisból választ.



5.1. ábra

Kisberendezések döntéstámogató algoritmusának vázlata – nem optimalizált (saját szerkesztés)



5.2. ábra

Kisberendezések döntéstámogató algoritmusának vázlata – optimalizált (saját szerkesztés)

Döntéstámogató rendszer alkalmazása

Adatbázis

Amint a döntéstámogató rendszer felépítéséből is látható, a rendszer magját az adatbázis alkotja. Az adatbázis tartalmazza az egyes kisberendezések főbb ismérveit, a névleges kapacitás mellett azonban az adott szennyvízminőséghez rendelt számított kapacitásokat is meg kell határozni. Ennek érdekében az adatbázis az anyagforgalmi modell eredményeit használja fel. Minden egyes kisberendezés-specifikációra a szimulációs környezet az 5. fejezetben leírt módon meghatározta a tényleges kapacitásadatokat. Ehhez a számításhoz az átlagos szennyvízminőséget vettük figyelembe. Ha a szennyvízminőség ettől eltér, akkor az üzemeltetési paramétereken (például levegőmennyiség) keresztül tudjuk a technológiát finomhangolni.

A táblázat azon berendezéseket tartalmazza, amelyeket a mellékletben ismertettünk. Ez azonban nem zárja ki, hogy idővel bővüljön az adatbázis. Sőt a legalapvetőbb kritériuma a döntéstámogató rendszernek, hogy naprakész adatokból induljon ki. Ebből kifolyólag, ha új alternatíva jelenik meg, akkor a következő lépések megtételére és kérdések megválaszolására van szükség:

- megvizsgálni, hogy a lehetséges technológia a döntéstámogató rendszer számára alternatíva-e,
- az alternatíva műszaki specifikációinak összegyűjtése,
- az anyagforgalmon alapuló szimulációs környezetben a layout elkészítése,
- futtatás a névleges teljesítményen az adott szennyvízminőségre nézve,
- iteratív módon megtalálni azt a kapacitást, ahol megfelelő a kezelt szennyvíz minősége,
- az adatbázis bővítése az adott elemmel és szimulációs eredménnyel,
- a döntéstámogató rendszerben az adatbázis frissítése.

5.3. táblázat

A kisberendezések kapacitásadatai (saját szerkesztés)

Kisberendezés típusa		Névleges kapacitás		Számított kapacitás
		LEÉ	m ³ /d	m ³ /d
POLYDOX	Polydox 6	1–8	0,9	0,38
	Polydox 12	8–12	1,8	0,76
	Polydox 30	30	4	1,7
	Polydox 50	50	6	2,5
ÖKO TECH Home	A, B Clear 6	6	0,78	0,42
	A, B Clear 8	8	1	0,53
	A, B Clear 10	10	3	1,6
GRAF	One2Clean 1-3 EW	3	0,45	0,24
	One2Clean 4-5 EW	5	0,75	0,4
AS-VARIO COMP	5K ULTRA	3–5	0,6	0,38
	8K ULTRA	6–10	1,2	0,77
	15K ULTRA	11–17	2,25	1,45
	20K ULTRA	18–24	3	1,9
	30N	25–33	3,75–4,95	2,7
	40N	34–44	5,1–6,6	3,5
	50N	45–55	6,75–8,25	4,6
	60N	56–70	8,4–10,5	5,8
	80N	71–90	10,65–13,5	7,6
	100N	91–110	13,65–16,5	9,2
	125N	111–135	16,65–20,25	11,8
	150N	136–155	20,4–23,25	14,1

Döntési algoritmus

A felhasználó felől érkező információkból a kapacitástábla felhasználásával egy választási algoritmussal kell leképezni az eredményt. A felhasználónak egyszerűen értelmezhető, könnyen megválaszolható és gyorsan kitölthető kérdéseket kell feltenni. Ha szakemberektől kérdeznénk az alapadatokat, akkor bizonyára a vízfogyasztási trendeket, napi ingadozást, a nyers szennyvíz KOI, BOI, TSS, TN, TP és egyéb fizikai paramétereit (például hőmérséklet) és a kívánt tisztítási hatékonyságot kérdezhetnénk meg. Ez esetben a megadott inputokkal a felhasználó felelőssége is nagyobb lenne. Azonban a projekt keretében elkészült döntéstámogató rendszernek letisztultnak kell lennie, és kevés (nem szorosan vett szakmai) kérdésből kell állnia, így a felhasználótól a következő kérdésekre érkező válaszokat dolgozza fel a rendszer:

1. hány lakos szennyvizét kell tisztítani,
2. egy főre eső vízfogyasztás,
3. területhasználat – választási lehetőség több alternatíva közül.

A kérdések között nem szerepel a kívánt tisztítási hatékonyság, mivel azt minden esetben 90%-os szervesanyag-eltávolításra és közel teljes nitrifikációra állítottuk be.

A döntéstámogató rendszer működésének lépéseit a következőkben vázoljuk:

1. *Terhelés meghatározása és a tényleges kapacitással való összevetés – egységek száma:* A biztonság javára tervezünk, ezért feltételezzük, hogy az elhasznált víz 100%-ban szennyvízként jelentkezik. A rendszer hidraulikai terhelése a lakosok száma szorozva az egy főre eső vízfogyasztással. A terhelési adatot kell az egyes egységek tényleges (anyagforgalmi modellen alapuló kapacitásával) összevetni, és a megfelelő rendszert ajánlani. A döntéstámogató rendszer nem egyfajta berendezést javasol, hanem több alternatívát ajánl, és meghatározza a beszerzendő egységek számát.

2. *Levegőtétési igény meghatározása – aerob zóna oldottoxigén-koncentrációja:* Az egy főre eső vízfogyasztásból és a napi fajlagos kibocsátásból indulunk ki (60 g BOI₅/fő.nap, 120 g KOI/fő.nap, 14 g TKN/fő.nap, 1,5 g TP/fő.nap). Ha az egy főre eső vízfogyasztás 100–120 l/fő alatti, akkor a hidraulikai terhelés ugyan kisebb, de a szennyvíz koncentráltabb. Javasolt a DO = 3–3,5 mg/l tartása az aerob zónában. Ha az 1 főre eső szennyvízhozam 120 l/fő-nél nagyobb, akkor a DO = 2–2,5 mg/l is elegendő lehet az adott térfogaton.

3. *Keletkező iszapmennyiség becslése:* A napi szervesanyag-terhelés függvényében az iszaptermelés is meghatározható a kommunális szennyvizek esetében (1 kg KOI-ból 0,85 kg TS lesz) ebből megkapjuk, hogy hány kg TS/d keletkezik. Feltételezve a 3,5–5%-os sűrített iszapot, megtudjuk mondani, ez hány liter naponta (vagy m³ évente). Ezt a számot össze lehet vetni a hidraulikai terhelés 2–4%-ával, közel egy nagyságrendbe kell esnie a két számított értéknek.

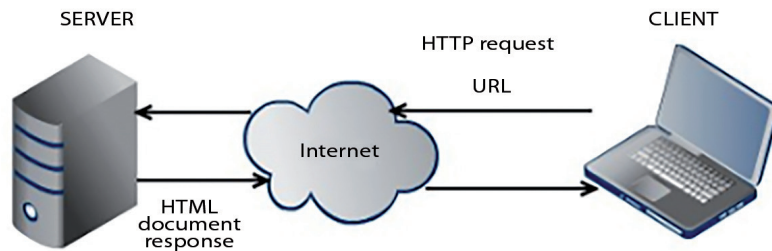
4. *Üzemeltetési javaslatok:* A szakszerű üzemeltetéshez és karbantartáshoz szükséges, hogy minden egyes rendszerhez biztosítsunk a felhasználó számára üzemeltetési kézikönyvet, amely részletezi a teendőket napi, heti, havi, éves bontásban. Ezen információk döntéstámogató rendszerbe való integrálására azért volt szükség, hogy a felelős döntés ne csak a beruházási oldalról, hanem üzemeltetési oldalról is támogatva legyen.

Felhasználói felület

A döntéstámogató rendszerek a felhasználóval egy felhasználói felületen (user interface) keresztül érintkeznek. A felhasználói felület egy egyszerűsített leképezése a rendszernek, a felhasználó számára releváns információkat tartalmazza. Ezenkívül a felhasználó és a döntéstámogató rendszer kommunikációját is biztosítja. A mai kor kihívásainak megfelelően, a könnyű hozzáférés biztosítása érdekében webalapú technológiát érdemes alkalmazni, ezen belül is a legegyszerűbb megoldás egy honlap készítése.

A honlap a webes szerveren található, eléréséhez ún. URL-t alkalmaz. Az URL egy címkézett hely, amellyel a weblap azonosítása történik meg, és lehetővé teszi az egységes hivatkozást. Az egységes szintaxis alkalmazását protokollok segítik. A legismertebb a HTTP és FTP protokoll. Az 5.3. ábrán látható, hogy a kliens (client) az URL segítségével a világhálón keresztül éri el a webszervert. A felkeresés eredménye, hogy a szerver válaszként a kliens rendelkezésére bocsátja a dokumentumot/weblapot.

A HTML hiperszöveg-leíró, jelölő nyelv, amelyet leggyakrabban honlapok készítésére használunk. Gyors, platformfüggetlen, a multimédiás eszközöket támogatja, kiterjesztése.htm vagy a .html. A hiperszöveg jelentése, hogy az egyes fájlok könnyen kapcsolhatók egymáshoz. A szöveges nyelvben nemcsak tartalom, hanem forma is beállítható. Vagyis a szövegleírás határozza meg a megjelenítendő adatok honlapon való elhelyezését és a hivatkozásokat is. A webböngésző feladata ezen utasítások értelmezése és végrehajtása. A HTML az ASCII kódtáblát alkalmazza, vagyis egy szöveges fájl.



5.3. ábra

Kliens-szerver kapcsolat (www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_ADW1/ch01s02.html)

A HTML esetében többfajta adattípust különböztethetünk meg:

- szöveg: tetszőleges számú és típusú karaktert enged meg,
- szám: elsősorban méret megadása vagy területjelölés,
- dátum/idő,
- tartalom: a dokumentumba ágyazást teszi lehetővé,
- hivatkozás,
- médiumleíró: például screen: képernyő, projection: kivetítő.

A hiperhivatkozások ma már a weboldal alapvető részei, segítségükkel tudunk tartalmak között váltani, a dokumentumok egyes pontjaira állni. A hivatkozást bárhová elhelyezhetjük az oldalon, hivatkozhatunk a dokumentum más részére, a weboldal más pontjára, de az adott weboldalon kívüli pontra is. Az összekötő kapocs, a link, egy másik fájlra mutat. A linkeknek két kategóriáját különböztethetjük meg; az abszolút és relatív linket.

- Abszolút link: a célfájl teljes útvonalát meg kell adni, nem kell a hivatkozó oldalból kiindulni.
- Relatív link: a hivatkozó oldalból kiindulva adjuk meg az elérési útvonalat.

A döntéstámogató rendszerek alapvető eleme, hogy a felhasználó képes legyen adatot bevinni. Ezt nyomtatványokkal, űrlapokkal (form) tehetjük meg. Az adatok bevitel után lehetőség van arra, hogy a szerveren lévő szoftver azt feldolgozza, vagy még a honlapon más, nem HTML-alapú program használja. A döntéstámogató rendszer kialakításához érdemes megismerni a HTML-űrlapok részeit és kidolgozásának lépéseit. Az űrlapunktól elvárjuk, hogy az adatokat bekérje, tárolja, feldolgozza, majd az eredményt a felhasználó részére e-mailben elküldje. Az adatbevitel esetén, ha hibát vétünk, elvárás, hogy azt a felhasználó számára jelezze.

1. Űrlap kerete. A formok beágyazásához a parancsokat a <form>...</form>-közé kell írni. A form attribútuma az action, amely egy hivatkozás a form feldolgozó programjára. Ezt általában egy gomb megnyomásával aktiválhatjuk. Például Enter vagy külön gomb beépítésével. Az eredmény elküldéséhez e-mail-címet kell megadni: <mailto:xy@z.hu>. Meg kell adni milyen módon (method) szeretnénk az adatot elküldeni. Erre alapvetően a GET és a POST áll rendelkezésre. Javasolt a POST használata, hiszen nincs méretkorlátja, és a jelszavakat is kódolva küldi. A kódolásra (enctype) is több változat alkalmazható.

2. Input megadása. Az adat, amit beviszünk, több típusba tartozhat, amelyek a következők:

- text: 20 karakter hosszú mező, de begépelni tetszőleges hosszúságú szöveget lehet,
- password: olyan text, amely a bevitt adatokat a megjelenítéskor *-gal helyettesíti,

- checkbox/radio gomb: kiválasztási lehetőség azzal a különbséggel, hogy míg a checkboxokból több is kijelölhető, a radio gombnál csak egy,
- file: állományok feltöltése a számítógépről,
- submit: elküldi az adatokat,
- reset: a bevitt adatok törlése, alaphelyzetbe visszaállítás.

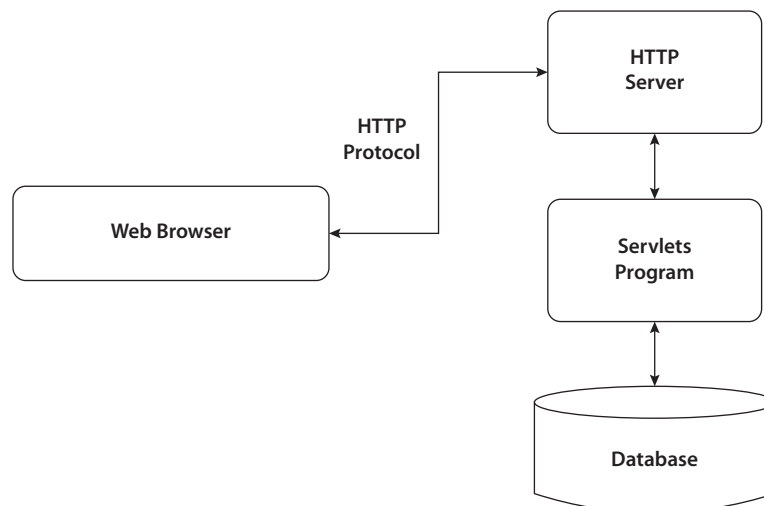
A textnek többfajta elérhető attribútuma van:

- name: vezérlő neve,
- size: mezőszélesség,
- maxlength: beírható maximális szöveghossz,
- value: kezdeti érték,
- readonly: írásvédett mező,
- disabled: nem engedélyezett mező (például a korábbi kérdésekre adott válaszok alapján nem releváns).

Ha sok elem közül kell kiválasztani a megfelelőt, akkor a radio gombok helyett legördülő listát is alkalmazhatunk. Az ilyen listát `<select> ... <select>` közé kell helyezni, majd a listaelemeket az `<option> ... <option>` között soroljuk fel.

Az elküldött adatok lekérdezése

Az elküldött adatok feldolgozásához Java környezetben segíthet egy olyan objektum, amely HTTP-kéréseket dolgoz fel, és HTTP-választ tud létrehozni. Ezáltal dinamikus weblapot készíthetünk. A Java ezt az objektumot servletnek hívja, ebből kifolyólag a servletet Java nyelven kell megírni. A servlet container kezeli a webszerveren található összes servletet, azok életciklusát és URL-hez való hozzárendelését.



5.4. ábra

A servlet működésének alapjai (www.tutorialspoint.com/servlets/servlets_overview.htm)

Megjegyzés: Web Browser: webböngésző, Database: Adatbázis

A servlet életrajza a következőkből tevődik össze:

1. A servlet container létrehozza a servlet objektumot.
2. A container inicializálja a servletet, azaz kezdeti értékkel ruházza fel.
3. A kliens kiszolgálása.
4. A container meghívja a törlés (destroy) metódusát, és a servletet megszünteti.

A fenti lépések a 3. lépés kivételével csak egyszer játszódnak le a servlet életében.

A formokhoz kapcsolódóan háromféle servletet kell megismernünk:

- *HttpServletRequest*: bejövő kérés adatai, információk gyűjtése.
- *HttpServletResponse*: az adatfeldolgozás után a kimenő választ biztosítja a kliens számára.
- *ServletContext*: a servlet környezetét befolyásolja, folyamatosan működik, az inicializációkor kerül „betöltésre”.

A *HttpServletRequest* metódusai:

- *Kérés módjának lekérdezése*:
 - `public String getProtocol()`: visszatérési értéke a kérés által használt protokoll neve és verziószáma;
 - `public String getMethod()`: visszatérési értéke a kérésben adott parancs.
- *Kapcsolat adatainak lekérdezése*:
 - `public String getRemoteHost()`: a számítógép IP-címét adja;
 - `public String getLocalName()`: a kérést kiszolgáló szerver IP-címe;
 - `public int getLocalPort()`: a számítógéphez tartozó kapcsolat helyi portszáma.
- *Form által küldött paraméterek lekérdezése*:
 - `public String getQueryString()`: az URL részeként küldött paraméterstring.
- *Hozzáférés egyetlen paraméterhez*:
 - `public String getParameter(String name)`: visszaadja a megadott nevű paraméter értékét, ha a bevitt adat szöveg típusú;
 - `public String[] getParameterValues(String name)`: visszaadja a megadott nevű paraméterhez tartozó értékeket;
 - `public Enumeration getParameterNames()`: a felsorolás tartalmazza a böngésző által elküldött összes paraméter nevét.
- *Küldött adatokhoz való hozzáférés*:
 - `public String getCharacterEncoding()`: a kliens által a törzsadatok küldésekor használt karakterkódolási módot adja vissza;
 - `public int getLength()`: a küldött adat hosszát adja vissza.

A *HttpServletResponse* metódusai:

- *Válasz típusának beállítása*:
 - `public void setContentLength(int len)`: válasz hosszának meghatározása;
 - `public void setCharacterEncoding(String charset)`: a válasz küldése során használt karakterkódolási mód meghatározása.
- *A válasz elküldési lehetőségei*:
 - `public ServletOutputStream getOutputStream()` throws `IOException`: Byte alapú adatok visszaküldésére szolgáló csatorna, például képek esetén;
 - `public PrintWriter getWriter()` throws `IOException`: szöveges adat visszaadása.
- *Átírási kérés küldése*:
 - `public void sendRedirect(String location)` throws `IOException`: adott címre irányítja át a böngészőt.

Meg kell említeni, hogy intelligens weblapok szerkesztésére, a fent vázolt folyamatok és logikák alkalmazásának megkönnyítésére számos felületet hoztak létre. Egészen olyan megoldások is vannak a piacon, ahol a weblapszerkesztő már nem is találkozik a kóddal, csupán egy grafikus felületen keresztül alakíthatja weblapját. Ezek a szerkesztő felületek abból indulnak ki, hogy a weblapoknak vagy azon belüli űrlapoknak vannak állandó elemei (képek, szövegek, fájlok), és ezáltal egy keretet adhat. A szerkeszthetőségnek azonban van korlátja, ha egyedi megoldásokat akarunk választani, arra nem fogunk előre „beprogramozott” megoldást találni. Azonban ha egyszerű, tucatfeladatról van szó (adatbevitel, beolvasás, algoritmusfuttatás, válasz küldése), azokra bátran használhatjuk.

Láthattuk, miként épül fel a döntéstámogató rendszer, hogyan futnak le annak háttér-szimulációi, és a webes alkalmazás hogyan épül fel. Ezen technikák alkalmazása egyszerre igényli a szennyvíztechnológus és informatikus szakértelmét, de ki kell hangsúlyozni, hogy a döntést meghozón van mindig a felelősség. A szakértő-/döntéstámogató rendszer csupán javaslatot tesz, amivel vagy él a felhasználó, vagy nem, de a következményeket mindig a döntést meghozó viseli.

Ajánlott irodalom

- Antal P, Hullám G, Millinghoffer A, Hajós G, Antos A. Valószínűségi döntéstámogató rendszerek. BME–TypoTex; 2014.
- Balogh P, Felföldi J, Herdon M, Kemény G, Nagy L, Nábrádi A, Szöllősi L, Szűcs I. Döntéstámogató módszerek és rendszerek. Elméleti jegyzet. Debrecen: Debreceni Egyetem Gazdálkodástudományok Centruma; 2013.
- Bartels RH, Golub GH. The simplex method of linear programming using LU decomposition. Communications of the ACM. 1969;12(5):266–268. <https://doi.org/10.1145/362946.362974>
- Bharati P, Abhijit Ch. An empirical investigation of decision-making satisfaction in web-based decision support systems. Decision Support Systems. 2004;37(2):187–197. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(03\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00006-X)
- Bhargava H, Power D. Decision support systems and web technologies: a status report. AMCIS 2001 Proceedings; 2001. 46.
- Chaudhuri S, Dayal U. An overview of data warehousing and OLAP technology. ACM Sigmod Record. 1997;26(1),65–74.
- Csordásné Marton M. Matematika példatár 7. Lineáris Algebra II. Nyugat-magyarországi Egyetem; 2010. Letöltve: 2018. 12. 04. www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_MAT7/ch01s05.html
- Edelstein H, Barquin RC. Planning and designing the data warehouse. New York, USA: Simon & Schuster; 1996.
- Estrada J, Shore MB. U.S. Patent No. 7,222,291. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office; 2007.
- Garrido-Baserba M, Molinos-Senante M, Abelleira-Pereira JM, Fdez-Güelfo LA, Poch M, Hernández-Sancho F. Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. Journal of Cleaner Production. 2015;107:410–419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.021>
- Get rights and content
- Giordano R, Passarella G, Uricchio VF, Vurro M. Integrating conflict analysis and consensus reaching in a decision support system for water resource management. Journal of Environmental Management. 2007;84(2):213–228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.05.006>
- Han J, Pei J, Kamber M. Data mining: concepts and techniques. Elsevier; 2011.
- Herdon M, Szilágyi R. Internetalapú döntéstámogatási rendszerek. Debrecen: Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum Agrárinformatikai és Alkalmazott Matematikai Tanszék. Letöltve: 2018. 12. 10. <http://real.mtak.hu/10316/1/1212879.pdf>
- Kövári A. Döntéstámogató rendszerek (DSS). 2007. Letöltve: 2018. 12. 09. www.biprojekt.hu/Dontestamogato-rendszer.htm
- Légrádi G, Szénási S. Interaktív weboldalak készítése, XHTML form. Adatok feldolgozása szervezetekkel. Budapest: Óbudai Egyetem; 2012. Letöltve: 2018. 12. 11. http://users.nik.uni-obuda.hu/java/Java_6.pdf
- Matthies M, Giupponi C, Ostendorf B. Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools. Environmental Modelling and Software. 2007;22(2):123–127. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.09.005>

- Mordani R, Chan SW. Java™ Servlet Specification. Sun Microsystems Inc., version 3; 2009.
- Mysiak J, Giupponi C, Rosato P. Towards the development of a decision support system for water resource management. *Environmental Modelling and Software*. 2005;20(2):203–214. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.12.019>
- Naár J. Weblap-szerkesztés lépésről lépésre. Debreceni Egyetem, Informatikai Kar; 2008. Letöltve: 2018. 12. 11. <https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/70526/Szakdolgozat%20-%20Na%E1j;jsessionid=F38B115866F34D5A3B2D8C502255F0ED?sequence=1>
- Tan PN, Steinbach M, Kumar V. Bevezetés az adatbányászatba. Budapest: Panem; 2011. Letöltve: 2018. 12. 05. www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0046_adatbanyaszat/ch01.html
- Power DJ. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. *AMCIS 2000 Proceedings*; 2000. 387.
- Plattner H. A common database approach for OLTP and OLAP using an in-memory column database. In: *Proceedings of the 2009 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*. ACM; 2009, June. 1–2.
- Shim JP, Warkentin M, Courtney JF, Power DJ, Sharda R, Carlsson C. Past, present, and future of decision support technology. *Decision support systems*. 2002;33(2):111–126.
- Sidló Cs. Adattárház rendszerek. Diplomamunka. Budapest: ELTE; 2003. 77. Letöltve: 2018. 12. 09. http://scs.web.elte.hu/Work/DW/papers/sidlo_dipl.pdf
- Sprague RH, Watson HJ editors. *Decision support systems: putting theory into practice*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1986.
- Wierzbicki A, Makowski M, Wessels J. editors. *Model-based decision support methodology with environmental applications*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic; 2000. 475.
- Witten IH, Frank E, Hall MA, Pal CJ. *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann; 2016.

Fejezetzáró kérdések

1. Milyen döntési szabályokat ismer?
2. Hogyan definiálhatjuk a döntéstámogató rendszereket?
3. Hasonlítsa össze a vezetői irányítási rendszereket a döntéstámogató rendszerekkel!
4. Mely három rétegre osztható egy döntéstámogató rendszer? Mi az egyes rétegek feladata?
5. Milyen tulajdonságai vannak az OLAP-rendszernek?
6. A döntéstámogató rendszerek különböző típusai milyen alkalmazásokon futhatnak?
7. Mutassa be a szimplex módszert!
8. Hogyan lehet az anyagforgalmon alapuló GPS-X szimulációs környezetet beágyazni a döntéstámogató rendszerbe?
9. A döntéstámogató rendszer adatbázisáról mit tud mondani?
10. Min alapszik a döntési algoritmus?
11. Vácsoljon egy kliens-szerver kapcsolatot!
12. A HTML-ben milyen adattípusok lehetnek?
13. Miből áll egy HTML form?
14. Mi a servlet?
15. Milyen HTTP Servlet Request metódusokat ismer?

Melléklet

Szennyvíztisztító kisberendezések bemutatása

Napjainkban egyre gyakoribb az egyéni kezdeményezésű, önerőből megépülő, korszerű egyedi szennyvízelhelyezési beruházás, és az önkormányzati szervezésű, egyedi szennyvízkezelési beruházások EU-forrásokból történő támogatása is. A jogszabály egyik fő elve, hogy a távolabbi célként kitűzött, önkormányzati szervezésű, szakszolgáltató közreműködésével épített és működtetett, szakszerű egyedi szennyvízkezelési fejlesztések kialakulásáig is megfelelő előírások álljanak rendelkezésre a korszerű egyéni kezdeményezések megvalósításához.

Fennmaradt az a szabályozási alapelv, hogy az egyes ingatlanonként 500 m³/év szennyvízmennyiségnél kisebb és háztartási eredetű szennyvíz kezelésének fejlesztései, illetve az azokkal kapcsolatos környezetvédelmi hatósági feladatok a helyi önkormányzati jegyzők hatáskörébe tartozzanak, elsősorban a területi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek tehermentesítése érdekében. A Felügyelőségek közreműködése egyéni kezdeményezések esetében szakmai segítségnyújtás útján történhet. Ezzel szemben a települési szintű, önkormányzati szervezésű, szakszerű egyedi szennyvízkezelési fejlesztés és közszolgáltatás egy új jogi intézmény, a Települési Szennyvízkezelési Program keretében valósul meg, ahol a Felügyelőségnek a TSZP véleményezésében való részvételével biztosítható a környezeti érdekek képviselete.

A „B” program szerinti, azaz a közcsonnával gazdaságosan el nem látható területek – települések, és településrészek – egyedi szennyvízkezelésének három fő, technológiai és műszaki szempontból jól elkülöníthető megoldási lehetősége:

- korszerű egyedi szennyvízelhelyezés (ún. kislétesítményekkel),
- szennyvíztisztító kisberendezések alkalmazása, valamint
- zárt tárolóban való gyűjtés és elszállítás (települési folyékony hulladék).

Ezek jogi fogalom meghatározása a „B” programról szóló kormányrendelet szerint:

Egyedi szennyvízkezelés: az egyedi szennyvízkezelésre lehatárolt területeken olyan egyedi szennyvízkezelési létesítmények alkalmazása, amelyek 1–25 lakosegyenértéknek megfelelő települési szennyvíz tisztítását és/vagy végső elhelyezését, illetve átmeneti gyűjtését, tárolását szolgálják. Ezek a környezetvédelmi és vízgazdálkodási szempontoktól, illetve a beépítési szokásoktól függően lehetnek: egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmények, egyedi szennyvíztisztító kisberendezések és egyedi zárt szennyvíztárolók. Az egyedi szennyvízkezelési létesítmények karbantartása során keletkező folyadék, iszap és építőanyag-hulladékok elszállítását és kezelését külön jogszabály szerint kell végezni.

Egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmény: olyan létesítmény, amely a környezeti elemek terhelését csökkentve a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére-tisztítására és elhelyezésére szolgál, a közműves szennyvízelvezetéssel és -tisztítással egyenértékű környezetvédelmet és életminőséget biztosít. Az egyedi szennyvízelhelyezési kislétesítmény a szennyező anyagok lebontását energiabevitel nélkül végzi. Technológiai elemei: az oldómedence, a kavics/homokszűrő(k), amelyek összességében lehetővé teszik – a földtani közegbe történő végső kibocsátás esetén – a növényzet és a talaj élővilága számára a tisztított szennyvizek maradék tápanyagtartalmának hasznosítását vagy a felszíni vizekben történő ártalommentes elhelyezést.

Egyedi szennyvíztisztító kisberendezés: olyan létesítmény, amely a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére-tisztítására és elhelyezésére szolgál, a közműves szennyvízelvezetéssel, és -tisztítással egyenértékű környezetvédelmi megoldást biztosít. A szennyező anyagok lebontását energiabevitel segítségével végző egyedi szennyvíztisztító kisberendezésnek biztosítani kell a szennyvizek szennyezőanyag-tartalmának külön jogszabályban előírt mértékű eltávolítását, akár felszíni víz, akár földtani közeg a befogadó.

Egyedi zárt szennyvíztároló: olyan létesítmény, amely egy vagy több, zártan és vízzáróan kialakított medencéből áll; a szennyvizek ártalommentes gyűjtésére és a szennyvízből keletkező települési folyékony hulladék időszakos tárolására szolgál; az ebben gyűjtött települési folyékony hulladék ártalommentes elhelyezése a rendszeres elszállítás, a hulladékgazdálkodásra vonatkozó külön jogszabályok szerinti további kezelés után biztosított.

Sajnálatos, hogy ma még a közhasználatban nem megszokott és keveredik az egyedi kislétesítmények, valamint az egyedi kisberendezések szóhasználata, még a szakemberek, illetve a gyártók-forgalmazók körében is. Fokozott figyelem szükséges, hogy ezt a kétféle – kialakításában, működésében és nem utolsósorban tisztítási hatékonyságában, valamint árban igen eltérő, de az egyedi, azaz a közcsontra nélküli szennyvízkezelés fogalmkörébe tartozó – módszert a gyakorlatban is megkülönböztessük.

2000 LE szennyezőanyag-terhelésnél kisebb, csatornahálózattal nem rendelkező települések területén, üdülőövezetben indokolt az egyedi szennyvíztisztító kisberendezés üzemeltetése. Ilyen esetekben a szennyvíz kezelhető helyben.

A berendezések létesítéséhez fontos ismerni a beépítésre szánt egyedi szennyvíztisztító kisberendezés minőségi tanúsítványát, ugyanis ma Magyarországon csak olyan kisberendezés hozható forgalomba, és üzemeltethető, amely CE minősítéssel rendelkezik, amely az MSZ EN 12566-3 szabvány alapján került kiadásra. Amennyiben a terhelés meghaladja a 2000 LE-t, közcsontra való rákötés szükséges.

1. táblázat

Hulladékok hatásai a kisberendezésre (saját szerkesztés)

Szilárd vagy folyékony anyagok, amelyek nem a lefolyóba, illetve nem a WC-be tartoznak	Amit okoznak	Ahová elhelyezhetők
hamu	nem bomlik le	szemetes
vegyszerek	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely
fertőtlenítőszer	megöli a baktériumokat	ne használja
festékek	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely
sütőzsír	lerakódik a csövekben, dugulást okoz	szemetes
ragtapasz	dugulást okoz a csövekben	szemetes
gyógyszer	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely, gyógyszer-tár
motorolaj	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely, benzinkút
növényvédő szerek	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely
borotvapenge	sérülést okozhat a szennyvíztisztító üzemen dolgozóknak	szemetes
lefolyótisztító	szétmarja a csöveket és a tömítéseket, megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely
rovarirtó	megmérgezi a szennyvizet	gyűjtőhely
intimbetét	dugulást okoz, a nem lebomló fólia ártalmas a környezetre	szemetes
vattapamacs	lerakódik a berendezésben	szemetes
pelenka	dugulást okoz	szemetes
cementes víz	lerakódik, megszilárdul	szakosodott cég

Amennyiben a terhelés egyenletes, anaerob oldómedencével ellátott egyedi szennyvíztisztító kisberendezés telepítése szükséges, de abban az esetben, ha a terhelés ingadozik, például üdülőövezetben, akkor a kisberendezés levegőztetése elkerülhetetlen a megfelelő tisztítási hatásfok elérésének érdekében. Manapság számos cég foglalkozik egyedi szennyvíztisztító kisberendezések tervezésével, gyártásával, kivitelezésével, telepítésével, beüzemelésével. A gyártók háromféle típusba sorolják be a saját terméküket a berendezés kapacitására vonatkozóan; kicsi, közepes és nagy.

Ezek a besorolások cégenként eltérnek egymástól, mert különböző lakosegyenértékeknek húzzák meg a határt, szem előtt tartva a felhasználási területeket, amelyek lehetnek:

- családi házak,
- társasházak,
- üdülőterületek,
- iskolák,
- hajók,
- autópálya melletti pihenő.

Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés

A Polyduct Zrt. 1992 decemberében, Hajdú-Bihar megye első nyílt alapítású részvénytársaságaként, a KITE (Kukorica és Iparnövény Termelési Együtműködés) műanyagipari üzeméből alakult meg. A gáz-, ivóvíz-, valamint szennyvízberuházások minőségi beszállítójaként mintegy 20 éve jelen vannak a hazai közműberuházásoknál. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a Polyduct Zrt. vízipari üzletágának széles körű termékpalettája mára már teljes körű megoldást kínál az ehhez szükséges korszerű műtárgyakat illetően.



1. ábra

Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés (www.szennyviztisztito.com)

Felismerve jelentőségét, a társaság az ESZKE (Egyedi Szennyvízkezelési Munkacsoport) egyik alapító tagja. Az ESZKE Munkacsoport szoros kapcsolatot tart fenn a Vidékfejlesztési Minisztériummal (korábban a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztériummal), részt vesz az egyedi szennyvízkezelési megoldások jogszabályi háttérének alakításában. Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések hazai gyártójaként elkötelezetten tevékenykedik azok minél szélesebb körben történő elterjedésében.

Műszaki adatok a Polydox-6 és -12 típusú szennyvíztisztító kisberendezésekről (CE-jelöléshez, EN 12566-3 szabványnak megfelelően).

2. táblázat

A Polydox-6 és -12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés műszaki adatai (www.szennyviztisztito.com)

	Polydox-6	Polydox-12
Kapacitás	1–8 LE (lakosegyenérték)	8–12 LE (lakosegyenérték)
Hidraulikai napi terhelés	0,9 m ³ /nap	1,8 m ³ /nap
Anyaga	Polietilén	Polietilén
Méret	Ø1500 × 2300 mm	Ø1700 × 1920 mm
Tömeg	150 kg	180 kg
Magasság	2300 mm	1920 mm
Térfogat	2,4 m ³	3 m ³
Elektromos csatlakozás	230 V	230 V
Befolyó csatlakozóméret	DN110 PVC-cső	DN110 PVC-cső
Elfolyó csatlakozóméret	DN110 PVC-cső	DN110 PVC-cső
Energiafelhasználás	1 kWh/nap	1 kWh/nap
Alkalmazási terület	lakossági	lakossági
Tisztítási hatások	KOI _k : 90% BOI _k : 90% Lebegőanyag: 90%	KOI _k : 90% BOI _k : 90% Lebegőanyag: 90%
Tisztított szennyvíz elhelyezése	Szikkasztás Élővízbe kiengedés	Szikkasztás Élővízbe kiengedés

A Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés felépítése

Előülepitő: Durva, mechanikus tisztító rész. Feladata a háztartási szennyvízben található szennyeződések mechanikus kiszűrése és a biológiai lebomlás közben létrejött fölösiszap tárolása.

Aerob medence (reaktortér): Itt megy végbe a komplett biológiai lebomlás, valamint a komplett nitrifikáció.

Utóülepitő: Kiszűri az ülepezhető anyagokat és az iszapot. A leülepedett szennyvíziszapot az ebben a térben elhelyezett mamutszivattyú visszajuttatja az aerob térbe, ahol az újra bekapcsolódik a tisztítási folyamatba.

A Polydox-6 és Polydox-12 típusú szennyvíztisztító kisberendezés működése

A tisztítóberendezés különálló terei között a szennyvíz gravitációsan áramlik. Ebbe a folyamatba egy mamutszivattyút is beépítettek, amelyet a szennyvíztisztító berendezéshez tartozó elektronika vezérel. Végül a tisztított szennyvíz gravitációsan jut ki a készülékből. Az oldott oxigént, amely az oxidációhoz szükséges, sűrített levegővel biztosítják. Ezt egy membránkompresszor állítja elő, amely a vezérlőegységgel együtt a vezérlőszekrényben található. A sűrített levegő csődiffúzoron keresztül jut az aerob térbe.

A szennyvíztisztító kisberendezés levegőellátását és a mamutszivattyúk megfelelő időközönkénti működtetését a vezérlő rendszer biztosítja. Ez a rendszer működtethető manuálisan, illetve

automatikusan. Automatikus üzemben a szivattyúk és a levegőztetőegységek egy, a vezérlőegységben előre meghatározott program szerint működnek a következők szerint:

- a mamutszivattyú az előülepítőből az aerob térbe juttatja a szennyvizet,
- a levegőztetőegységet a vezérlés a meghatározott program szerint kapcsolja ki és be (működési) automatikus módban,
- a mamutszivattyút az iszapkeringető kapcsolja be, minden második óraváltáskor.

Az iszap stabilizálása anaerob körülmények között folyik, az iszaptárolás előülepítő medence részben. A medence iszaptere az LE-től függően 10–14 hónap tartózkodási időt biztosít. Ez kedvező iszapstabilitást tesz lehetővé. Az így keletkezett mintegy 500 l-nyi stabilizált iszapot szippantással el kell távolítani az előülepítő térből, majd az előülepítő teret tiszta vízzel fel kell tölteni.

A tisztított szennyvíz elszikkasztása szikkasztómezőn keresztül történik, illetve bizonyos feltételek mellett élővízbe történő elvezetésre is alkalmas. Az 1545 megfelelő méretű szikkasztómező meghatározása a kisberendezést adaptáló tervező feladata.

A berendezések elhelyezése felszín alatti beépítésű, az ellenőrzésre és karbantartásra a Polydax-6 típusúnál 1 darab, a Polydax-12 típusúnál 2 darab aknanyílás szolgál.

A szennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet szerint a berendezésekből elfolyó szennyvíz minősége megfelel a befogadóba való közvetlen bevezetés esetén a 2., 3. és 4. területi kategóriák szerint meghatározott határértékeknek. Amennyiben a befogadóba történő bevezetés esetén a foszforeltávolítás is előírás, kiegészítő vegyszeradagolót kell alkalmazni.

A berendezésben anaerob körülmények között zajlik az iszap stabilizálódása az iszaptárolás előülepítő medence részben. Az LE függvényében 1–1,5 évig lehet az iszap ebben a részben. Az iszap stabilitása ekkor a legkedvezőbb. Végül a stabilizált iszap szippantással eltávolítható. A folyamat során megtisztult szennyvíz egy szikkasztómezőn keresztül elszikkasztható.

A szennyvíztisztító berendezés telepítési helyének kiválasztása

A berendezés maximum 60 cm mélyen érkező szennyvízvezetéknek tud magasítás nélkül fogadni.

A tartály elhelyezéséhez egy legalább 3 m átmérőjű szabad terület álljon rendelkezésre, hogy a gödör akadálymentesen elkészíthető legyen.

A tartály és a legközelebbi épület között minimum 1 m védőtávolságot kell megtartani. Ha a munkagödör mélysége meghaladja az alapozás mélységét ezt a távolságot 3 méterre meg kell növelni. A tartály fölé építeni tilos!

Kerülje a tartály talajvizes területre történő telepítését! Amennyiben ez elkerülhetetlen, a tartály lehorganyzására lehet szükség, amihez kérje szakember(eink) segítségét!

A tartály gyalogosforgalomnak kitett közlekedési útvonal alá elhelyezhető, ugyanakkor a gépjárműforgalomnak kitett területre csak külön műszaki kialakítással építhető!

Fák és növények környezetében a tartály a fatörzstől 2 m-nél közelebbre ne kerüljön! A tartály fölé és mellé csak olyan növényeket telepítsen, amelyek gyökérzetének nem lesz útban a tartály, illetve a gyökér növekedés közben sem nyomja a tartály falát.

Lejtők esetén szakemberrel meg kell vizsgálatni, hogy a tartály 5 méteres körzetében szükség van-e támasztófal építésére.

A szennyvíztisztító berendezés tartályának elhelyezése

Munkagödör kialakítása

Készítsen egy munkagödröt sík alappal, amelynek átmérője minden irányban 0,3 méterrel haladja meg a tartály legnagyobb átmérőjét ($\varnothing$ 1,6 m) a munkavégzés, valamint az ágyazati anyag feltöltésének/visszatöltésének és tömörítésének helyigénye miatt.

Az omlásveszély elkerülése érdekében a munkagödör falát 35–80 fokos szögben felfelé tágitani tanácsos.

A munkagödör mélységének meghatározásakor figyelembe kell vennie azt, hogy minimum 20 cm-es alsó ágyazat szükséges, és a tartály maximum 60 cm mélyen érkező szennyvízvezeték tud fogadni.

A föld kiemelése után a munkagödör alján – célszerűen sóderből – alakítsa ki az alsó ágyazatot, amelyet kellően tömöríteni kell (háromszoros gépi döngölés vagy ezzel egyenértékű kézi tömörítés), majd vízszintezze. Az ágyazatban nem lehetnek éles kövek, kitüremkedések.

Tartály lehelyezése

A tartályt óvatosan (hevederek segítségével) eressze le a munkagödörbe, és ellenőrizze, hogy vízszintben van-e! A tartályon található emelőfülek csak a tartály üres állapotában használhatók (az üres tartály súlya kb. 150 kg).

Töltse meg a tartályt félig vízzel.

Helyezze fel az aknafedelelet, hogy a felső visszatöltés során ne kerüljön kavics, homok a tartályba.

A tartály körüli töltőanyagot – homok, homok-sóder keverék (0,8–0,32 tartományban) – 0,2 méteres rétegenként egyenletesen töltse fel a tartály körül! Minden réteget kézi-gépi tömörítő eszközzel körkörösén, egyenletesen döngöljön le! A tartály falának közelében a gépi tömörítés tilos! Tilos a kiemelt földet a tartály közvetlen közelébe visszatölteni.

Ha az oldalsó ágyazat feltöltése elérte a tartályban lévő víz magasságát, a tartályt a terek szintjéig fel kell tölteni vízzel.

Ezt követően folytathatja – az előzőekben részletezett módon – az oldalsó ágyazat kialakítását.

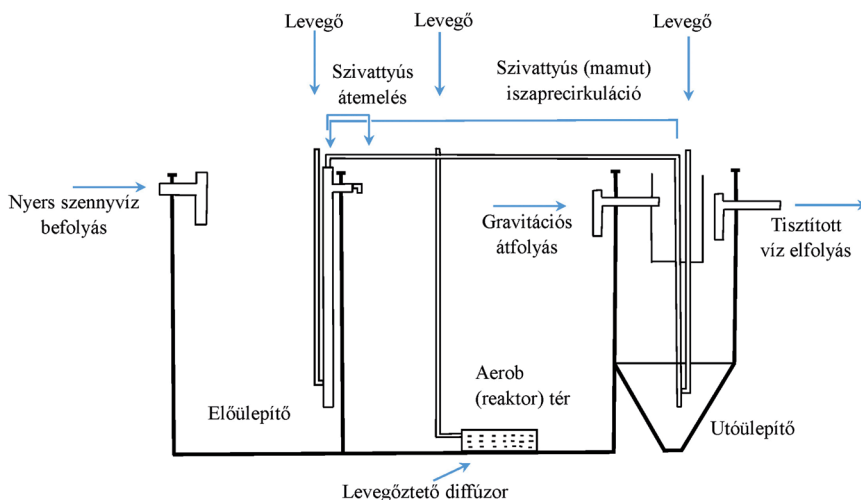
Csatlakoztassa a be- és elmenő csővezetéseket feszültségmentesen, ügyelve a helyes lejtések betartására!

Az utolsó 20 cm-es réteg feltöltéséhez használhatja a munkagödörből kiemelt földet, de az hegyes, éles köveket nem tartalmazhat.

A szennyvíztisztító berendezés elektromos vezérlőszekrényének telepítése

A fentieket követően fel kell helyezni a tartóállvánnyal előre szerelt kapcsolószekrényt a szennyvíztisztító berendezés erre a célra kialakított csatlakozási pontjára, és a mellékelt csavarokkal rögzíteni kell a berendezéshez. Be kell vezetni a szakszerűen, védőcsövön keresztül a földben érkező elektromos vezetékét $3 \times 1,5$ -ös MT kábelen a kapcsolószekrénybe. Az elektromos vezeték végére IP 54 műanyag csatlakozó dobozt kell elhelyezni sorkapoccsal, fix kötéssel. A vezérlőszekrényben lévő levegőszelep színekkel jelzett csomjait a színeknek megfelelően össze kell kötni a tartályból kiálló levegőcsatlakozókkal.

A berendezés 230 V-os védőföldeléses hálózatról üzemeltethető. Az esetleges jelentősebb feszültségingadozás kiküszöbölése az üzemeltető feladata. A berendezés beüzemelésakor érintésvédelmi mérést kell végezni, és az erről készült jegyzőkönyvet a berendezés üzemeltetőjének meg kell őriznie. A gépen munkát végezni csak áramtalanított állapotban szabad.



2. ábra

Polydox-6 és Polydox-12 működési elve (www.polyduct.hu/dynamic/polydox.pdf)

Üzemeltetési feltételek

A szennyvizet baktériumok tisztítják, amelyek lebontják, tápanyagcseréjük során „megeszik” a szennyeződések. A baktériumok igen érzékenyek az antibiotikumokra és a fertőtlenítőszerekre, mert azok nagyobb mennyiségben elpusztítják őket. A lebontó baktériumok életben tartása és szaporodása érdekében be kell tartani a következő szabályokat:

- A klórtartalmú tisztító- és fertőtlenítőszerekből (például hipó, Flóraszept, Domestos, Clorox, Bref Duo Active, Devil, Tiret Professional, Cillit Duo) legfeljebb 1 decilitert használunk naponta! Otthonunkat természetes eszközökkel és környezetbarát tisztítószerrel is rendben tarthatjuk.
- Kerüljük a savak és lúgok használatát (például lefolyótisztítók).
- Legfeljebb napi két mosógépprogram futtatása javasolt.
- Veszélyes, ezért tilos a lefolyóba önteni mérgező vagy gyúlékony anyagokat: hígítók, festékek, növényvédő szerek, motorolaj stb.
- Ne dobjunk a lefolyóba nem lebontható anyagokat, például cigarettacsikket, papírpelenkát, törlőkendőt, tisztasági betétet, irodai papírt, csomagolóanyagokat, fóliákat stb.!
- Ne öntsünk a szennyvízkezelő berendezésbe használt étolajat, ételmaradékot, gyümölcs-, zöldségmaradékot, ne használjunk „konyhamalacot”!
- Ne engedjük a szennyvíztisztítóba úszómedencék, kazánok vizét!
- Az állattartásból származó szennyvizet tilos a berendezésbe vezetni.
- Az esővíz nem szennyvíz, ne a szennyvíztisztítóba vezessük, hanem gyűjtsük zárt esővízgyűjtő tartályba, hasznosítsuk öntözésre!

Karbantartási utasítás

A Polydox biológiai szennyvíztisztító kisberendezések nem igényelnek olyan folyamatos felügyeletet, külön biztonságtechnikai berendezéseket, mint a hagyományos eleveniszapos biológiai tisztító rendszerek, de időszakos ellenőrzés ezen típusoknál is szükséges. Üzemszerűen 5–6 évenként szükségessé válik a levegőztetőelemek ellenőrzése és esetleges cseréje. A reaktortérben veszélyes gázok nem képződhetnek, különleges védelmi előírásokra nincs szükség. Ha a kisberendezést nem zárt területen helyezzük el, azt kerítéssel körbe kell venni az illetéktelen behatolások megakadályozására.

Településszintű üzemeltetés esetén a berendezéshez kioktatott felelős kezelő személyt kell kijelölni, az üzemeltetést szervezett módon kell megoldani. A kezelő személy feladata a szükséges ellenőrzések, kezelések, munkálatok elvégzése és az üzemeltetési napló folyamatos vezetése. Az ellenőrzésnek ki kell terjednie a berendezésen kívül a csatlakozó műtárgyakra is. A berendezések kifogásolható működése esetén a hibát el kell hárítani, a mintavételt meg kell ismételni, és ellenőrzéssel igazolni kell a zavartalan működést.

3. táblázat

Kisberendezések ellenőrzése ingatlantulajdonos által (saját szerkesztés)

Tevékenység megnevezése	Gyakoriság
A berendezés ellenőrzése szemrevételezéssel	Hetente
Folyadékáramlások ellenőrzése	Havonta
Tisztított szennyvíz minőségének ellenőrzése	Havonta
Villamosenergia-ellátás biztosítása	Folyamatosan
A berendezés megközelíthetőségének biztosítása	Szükség szerint

4. táblázat

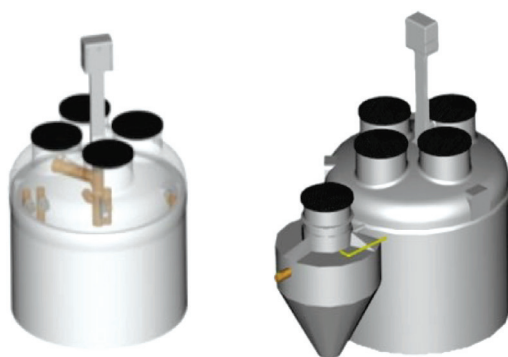
Kisberendezések ellenőrzése üzemeltető által (saját szerkesztés)

Tevékenység megnevezése	Gyakoriság
Iszapmagasság mérése az iszaptárolás előüleptítőben	Havonta
Az előüleptítő zavarosságának ellenőrzése, az uszadék eltávolítása	Háromhetente
Mintavétel a befolyó és elfolyó szennyvíz minőségének megállapítására	Felügyelőségek által előírt gyakorisággal
Főlétsziszap kiszippantása	Évente
Esetleges működési hibák kijavítása	Szükség szerint

Polydox-30 és Polydox-50 típusú biológiai szennyvíztisztító kisberendezés

A Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés az eddig tárgyalt típusoknál méretben és kapacitásban is nagyobb. A gyártó kisebb iskoláknak, panzióknak ajánlja, de telepíthetők kis üzemekbe is.

Telepítéséhez elegendő egy 2,5 × 2,5 méteres munkagödör, amelyet a talajvízszint fölött kell elhelyezni, az épülettől minimum egy méterre. A telepítés helyének kiválasztásakor szem előtt kell tartani azt is, hogy 2,5 méteres körzet famentes legyen, mert a gyökerek nyomhatják a tartály oldalát, ami károsodáshoz vezethet.



3. ábra

Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés (www.polyduct.hu/dynamic/polydox.pdf)

5. táblázat

Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés műszaki adatai (saját szerkesztés)

	Polydox-30	Polydox-50
Kapacitás	30 LE (lakosegyenérték)	50 LE (lakosegyenérték)
Hidraulikai napi terhelés	4 m ³ /nap	6 m ³ /nap
Anyaga	Polietilén	Polietilén
Méret	2500 mm	2400 × 3550 mm
Magasság	2000 mm	2000 mm
Térfogat	7 m ³	8,4 m ³
Elektromos csatlakozás	230 V	230 V
Befolyó csatlakozóméret	DN160 PVC-cső	DN160 PVC-cső
Elfolyó csatlakozóméret	DN110 PVC-cső	DN110 PVC-cső
Energiafelhasználás	6 kWh/nap	7,596 kWh/nap
Alkalmazási terület	lakossági	lakossági
Tisztítási hatások	KOI _k : 90%	KOI _k : 90%
	BOI _s : 90%	BOI _s : 90%
	Lebegőanyag: 90%	Lebegőanyag: 90%
Tisztított szennyvíz elhelyezése	Szikkasztás	Szikkasztás
	Élővízbe kiengedés	Élővízbe kiengedés

A Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés felépítése

Előülepítő: A mechanikai tisztítási fokozat szerepét tölti be. Feladata a nyers szennyvízben lévő durva szennyeződések leválasztása és a biológiai lebontás során keletkezett fölösiszap tárolása.

Anaerob medencerész: Itt játszódik le a biológiai lebontás hidrolízis szakasza, amely a nehezen lebontható szerves anyagokat alakítja át könnyen lebontható szerves anyagokká. Az anaerob térben elhelyezett homogenizáló (keverő) elősegíti a denitrifikáció végbemenetelét, és bizonyos mértékű nitrifikáció is elkezdődhet.

Aerob medencék: A két azonos méretű és kialakítású tér sorba kötött, ahol megvalósul a teljes biológiai lebontás, és végbemegy a teljes nitrifikációs folyamat. Az aerob terekbe az átáramlás rögzített kontaktelemeken keresztül történik. A biofilmet hordozó, ragasztott PVC-alapanyagú, sokcellás modulelem öntött polietilén hengerekbe telepítve, önálló „patronként” kiemelhetően kerül rögzítésre a tisztítóberendezés aljához. Az aerob térben lévő „patronba” befogott légbuborékok mamutszivattyú-hatás révén a szennyvizet folyamatosan áramoltatják függőleges irányba felfelé. Ez a körkörös áramlás biztosítja a kontaktelemek felületére tapadt biológiai hártya tápanyag-, illetve oxigénellátását. A biológiai hártya előregedett, mineralizálódott része folyamatosan leválik, és a tisztított szennyvízzel elúszik az utóülepítőbe.

Utóülepítő: Feladata az ülepíthető anyagok, iszap leválasztása. A kiüledett iszap recirkulációját az utóülepítőben elhelyezett mamutszivattyú biztosítja. A recirkulációs iszap az anaerob térbe kerül. A fölösiszap elvezetése az iszapstabilizáló előülepítőbe a recirkulációs vezetéken keresztül történik.

A Polydox-30 és Polydox-50 típusú szennyvíztisztító kisberendezés működése

Az egyes tartályrészek között a szennyvíz gravitációsan közlekedik. A tisztított szennyvíz is gravitációsan távozik a berendezésből. Az oxidációhoz szükséges oldott oxigén biztosítására sűrített levegő szolgál. A sűrített levegőt membránkompresszor biztosítja, amely az elektromos vezérlőegységgel együtt közös dobozban van elhelyezve. A sűrített levegő befűvése a fix elem töltetű patronok alatt 1–1 db, kör alakú, rugalmas membránú, finombuborékos levegőztetőelemeken történik. A berendezés vezérlő rendszere biztosítja a levegőellátást és a mamutszivattyú irányítását. A rendszer kézi és automata üzemmódban is üzemelhet. Az automata üzemmódban a levegőztetőegységet, a homogenizáló szivattyút és az iszapszivattyút az előre beprogramozott vezérlő működteti az alábbiak szerint:

- a levegőztetőegységet be- és kikapcsolja,
- a homogenizáló szivattyút működteti,
- az iszapkeringtető szivattyút be- és kikapcsolja.

Az iszapok (nyers, primér iszap, aerob fölösiszap) stabilizálása anaerob körülmények között folyik, az iszaptárolós előülepítő medencerészben. A medenceiszap tere ez LE-től függően 10–12 hónap tartózkodási időt biztosít. Ez kedvező iszapstabilitást tesz lehetővé. A stabilizált iszap elszállítása szippantótartályos gépkocsival történik. A tisztított szennyvíz elszikkasztása szikkasztómezőn keresztül történik, illetve bizonyos feltételek mellett élővízbe történő elvezetésre is alkalmas. A megfelelő méretű szikkasztómező meghatározása a kisberendezést adaptáló tervező feladata.

A berendezések elhelyezése felszín alatti beépítésű, az ellenőrzésre és karbantartásra szolgáló aknanyílások száma a Polydox-30 esetében 4 darab, a Polydox-50 típus esetében 5 darab.

A szennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet szerint a berendezésekből elfolyó szennyvíz minősége megfelel a befogadóba való közvetlen bevezetés esetén a 2., 3. és 4 területi kategóriák szerint meghatározott határértékeknek. Amennyiben a befogadóba történő bevezetés esetén a foszforeltávolítás is előírás, kiegészítő vegyszeradagolót kell alkalmazni.

A szennyvíztisztító berendezés telepítési helyének kiválasztása

A tartály elhelyezéséhez egy legalább 3,5 m átmérőjű szabad terület álljon rendelkezésre, hogy a gödör akadálymentesen elkészíthető legyen!

A tartály és a legközelebbi épület között legalább 1 m védőtávolságot ajánlatos megtartani. Ha a munkagödör mélysége meghaladja az alapozás mélységét, a távolságot 3–6 méterre meg kell növelni. A tartály fölé építeni tilos!

Kerülje a tartály talajvízes területre történő telepítését! Amennyiben ez elkerülhetetlen, a tartály lehorganyzására van szükség, amihez kérje szakember(eink) segítségét!

A tartály gyalogosforgalomnak kitett közlekedési útvonal alá elhelyezhető, ugyanakkor a gépjárműforgalomnak kitett területre nem telepíthető, az teljes mértékben kizárandó!

Fák és növények környezetében a tartály a fatörzstől 2,5 m-nél közelebbre ne kerüljön. A tartály fölé és mellé csak olyan növényeket telepítsen, amelyek gyökérzetének nem lesz útban a tartály, illetve a gyökér növekedés közben sem nyomja a tartály falát.

Lejtők esetén szakemberrel meg kell vizsgáltatni, hogy a tartály 5 méteres körzetében szükség van-e támasztófal építésére.

A szennyvíztisztító berendezés tartályának elhelyezése

Munkagödör kialakítása

Készítsen egy munkagödört sík alappal, amelynek átmérője minden irányban 0,3 méterrel haladja meg a tartály legnagyobb ($\varnothing$ 2,5 m) átmérőjét a munkavégzés, valamint az ágyazati anyag feltöltésének/visszatöltésének és tömörítésének helyigénye miatt.

Az omlásveszély elkerülése érdekében a munkagödör falát 35–80 fokos szögben felfelé tágitani tanácsos.

A munkagödör mélységének meghatározásakor figyelembe kell vennie azt, hogy minimum 20 cm-es alsó sík betonágyazat szükséges, és a tartály maximum 30 cm földtakarással terhelhető.

A föld kiemelése után a munkagödör alján alakítsa ki az alsó, min. 20 cm-es, sík betonágyazatot!

Tartály lehelyezése

A tartályt óvatosan (hevederek segítségével) eressze le a munkagödörbe, és ellenőrizze, hogy vízszintben van-e! A tartályon található emelőfülek csak a tartály üres állapotában használhatók (az üres tartály súlya cca. 400 kg).

Töltse meg a tartályt félig vízzel!

Helyezze fel az aknafedeleket, hogy a felső visszatöltés során ne kerüljön kavics, homok a tartályba.

A tartály körüli töltőanyagot – homok, homok-sóder keverék (0,8–0,32 tartományban) – 0,2 méteres rétegenként egyenletesen töltse fel a tartály körül! Minden réteget kézi tömörítőeszközzel körkörös, egyenletesen döngöljön le! Gépi tömörítés tilos! Tilos a kiemelt földet a tartály közvetlen közelébe visszatölteni.

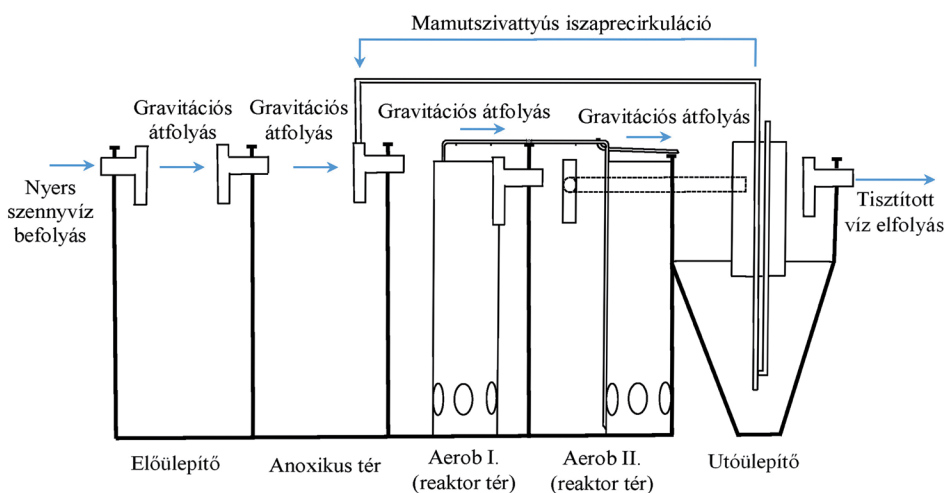
Ha az oldalsó ágyazat feltöltése elérte a tartályban lévő víz magasságát, a tartály be- és elvezető csöveinek bekötése, majd lezárása után a tartályt teljesen fel kell tölteni vízzel.

Ezt követően folytathatja – az előzőekben részletezett módon – az oldalsó ágyazat kialakítását. Ellenőrizze a bekötött csöveket! Ezeknek feszültségmentesen, jól rögzítve kell lenniük.

Az utolsó 20 cm-es réteg feltöltéséhez használhatja a munkagödörből kiemelt földet, de az hegyes, éles köveket nem tartalmazhat.

A szennyvíztisztító berendezés elektromos vezérlőszekrényének telepítése

Ezt követően elhelyezzük a kapcsolószekrényt a szennyvíztisztító berendezés max. 5 m-es környezetében, és biztosítjuk az elektromos csatlakozást $3 \times 0,75$ -ös MTK földkábelnek a kapcsolószekrénybe történő bekötésével. Az elektromos hálózatot fixen kell bekötni! Ezt a műveletet csak erre kiképzett elektromos szakember végezheti! A vezérlőszekrényben lévő levegőszelep számozott csomópontjait össze kell kötni a tartályon lévő szintén számozott levegőcsatlakozókkal. A berendezés 230 V-os védőföldeléses hálózatról üzemeltethető. Az esetleges jelentősebb feszültségingadozás kiküszöbölése az üzemeltető feladata. A berendezés beüzemeléskor érintésvédelmi mérést kell végezni, és az erről készült jegyzőkönyvet a berendezés üzemeltetőjének meg kell őriznie. A gépen munkát végezni csak áramtalanított állapotban szabad.



4. ábra

Polydox-30 és Polydox-50 egyedi biológiai szennyvíztisztító működési elve (www.polyduct.hu/dynamic/polydox.pdf)

Üzemeltetési feltételek

A szennyvizet baktériumok tisztítják, amelyek lebontják, tápanyagcseréjük során „megeszik” a szennyeződések. A baktériumok igen érzékenyek az antibiotikumokra és a fertőtlenítőszerekre, mert azok nagyobb mennyiségben elpusztítják őket. A lebontó baktériumok életben tartása és szaporodása érdekében be kell tartani a következő szabályokat:

- A klórtartalmú tisztító- és fertőtlenítőszerekből (például hipó, Flóraszept, Domestos, Clorox, Bref Duo Active, Devil, Tiret Professional, Cillit Duo) legfeljebb 1 decilitert használjunk naponta! Otthonunkat természetes eszközökkel és környezetbarát tisztítószerekkel is rendben tarthatjuk.
- Kerüljük a savak és lúgok használatát (például lefolyótisztítók)!
- Legfeljebb napi két mosógépprogram futtatása javasolt.
- Veszélyes, ezért tilos a lefolyóba önteni mérgező vagy gyúlékony anyagokat: hígítók, festékek, növényvédő szerek, motorolaj stb.

- Ne dobjunk a lefolyóba nem lebontható anyagokat, például cigarettacsikket, papírpelenkát, törlőkendőt, tisztasági betétet, irodai papírt, csomagolóanyagokat, fóliákat stb.!
- Ne öntsünk a szennyvízkezelő berendezésbe használt étolajat, ételmaradékot, gyümölcs-, zöldségmaradékot, ne használjunk „konyhamalacot”!
- Ne engedjük a szennyvíztisztítóba úszómedencék, kazánok vizét!
- Az állattartásból származó szennyvizet tilos a berendezésbe vezetni.
- Az esővíz nem szennyvíz, ne a szennyvíztisztítóba vezessük, hanem gyűjtsük zárt esővíz-gyűjtő tartályba, hasznosítsuk öntözésre!

Karbantartási utasítás

A Polydox biológiai szennyvíztisztító kisberendezések nem igényelnek olyan folyamatos felügyeletet, külön biztonságtechnikai berendezéseket, mint a hagyományos eleveniszapos biológiai tisztító rendszerek, de időszakos ellenőrzés ezen típusoknál is szükséges. Üzemszerűen 5–6 évenként szükségessé válik a levegőztetőelemek ellenőrzése és esetleges cseréje. A reaktortérben veszélyes gázok nem képződhetnek, különleges védelmi előírásokra nincs szükség. Ha a kisberendezést nem zárt területen helyezük el, azt kerítéssel körbe kell venni az illetéktelen behatolások megakadályozására.

Településszintű üzemeltetés esetén a berendezéshez kioktatott felelős kezelő személyt kell kijelölni, az üzemeltetést szervezett módon kell megoldani. A kezelő személy feladata a szükséges ellenőrzések, kezelések, munkálatok elvégzése és az üzemeltetési napló folyamatos vezetése. Az ellenőrzésnek ki kell terjednie a berendezésen kívül a csatlakozó műtárgyakra is. Az eltávolított stabilizált (rothasztott) iszap környezeti ártalmat nem jelent, az elhelyezése, ártalmatlanítása jogszabályi előírásoknak megfelelően történjék.

6. táblázat

Kisberendezés ellenőrzése ingatlantulajdonos által (saját szerkesztés)

Tevékenység megnevezése	Gyakoriság
A berendezés ellenőrzése szemrevételezéssel	Hetente
Folyadékáramlások ellenőrzése	Havonta
A tisztított szennyvíz minőségének ellenőrzése	Havonta
Villamosenergia-ellátás biztosítása	Folyamatosan
A berendezés megközelíthetőségének biztosítása	Szükség szerint

7. táblázat

Kisberendezés ellenőrzése üzemeltető által (saját szerkesztés)

Tevékenység megnevezése	Gyakoriság
Iszappmagasság mérése az iszaptárolós előülepítőben	Havonta
Az előülepítő zavarosságának ellenőrzése, az uszadék eltávolítása	Háromhetente
Mintavétel a befolyó és elfolyó szennyvíz minőségének megállapítására	Felügyelőségek által előírt gyakorisággal
Fölösiszap kiszippantása	Évente
Esetleges működési hibák kijavítása	Szükség szerint

A berendezések kifogásolható működése esetén a hibát el kell hárítani, a mintavételt meg kell ismételni, és ellenőrzéssel igazolni kell a zavartalan működést.

A berendezés működtetése szempontjából alapvető műveletek és gépek:

- Légfűvő, amelynek levegőszállítását egy befűvő szeleppel lehet szabályozni.
- Vezérlés által működtetett homogenizáló berendezés.
- Recirkulációs mamutszivattyú. A megadott időprogram szerint üzemeltetendő.

Öko Tech Home Kft.



5. ábra

A.B. Clear biológiai szennyvíztisztító berendezés (<http://okotechhome.hu>)

Az Öko Tech Home Kft. 2004 óta foglalkozik biológiai szennyvíztisztító berendezésekkel és azok kiegészítőivel. Úttörő szerepet vállal a kistisztítók magyarországi megismertetésében, elterjesztésében. A szennyvíztisztító berendezések telepítését, üzembe helyezését is minden esetben elvégzik, így ezen a területen jelentős tapasztalatot halmoztak fel az évek során. Többéves gyakorlati tapasztalat után megkezdték a saját fejlesztésű biológiai szennyvíztisztító termékcsalád megalkotását. A letelepített szennyvíztisztító berendezések működési és karbantartási tapasztalatait felhasználva olyan berendezést fejlesztettek, amely magas tisztítási hatásfok mellett minimális karbantartási igénnyel üzemel. Törekedtek arra, hogy a meghibásodási lehetőség minimális legyen, a szennyvíztisztító berendezés kopó alkatrészeket nem tartalmaz. Termékük emellett rendelkezik CE-megfelelőségi tanúsítvánnyal is. Fontos, hogy az egyedi biológiai szennyvíztisztító berendezés használata következtében tudatosabban választjuk meg a háztartási tisztító és egyéb vegyszereket. Azon felhasználóink is, akik korábban nem a környezetbarát tisztítószereket részesítették előnyben, áttérnek a környezetbarát, lebomló tisztítószer használatára. Ezáltal egyszerre segítjük elő az energiatakarékosság és a környezetvédelem ügyét.

A.B. Clear típusú biológiai szennyvíztisztító kisberendezések

Az alábbi adatok a VITUKI (Vízügyi Tudományos Kutatóintézet) által készített jegyzőkönyvből származnak. Ezek alapján az A.B. Clear biológiai szennyvíztisztítók megfelelnek a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete 3. területi kategóriájának, amely az időszakos vízfolyás befogadóra vonatkozik.

8. táblázat

A.B. Clear 6–8 és 10-es típusú szennyvíztisztító kisberendezés tisztítási hatásfoka (saját szerkesztés)

Tisztítási hatásfok	KOI _{cr}	BOI ₅	Lebegőanyag	N-NH ₄	N _{össz}	P _{össz}
A.B. Clear berendezések tisztítási hatásfoka (%)	95	95	95	92	87	67
A.B. Clear berendezés kimenő átlagos értékei (mg/l)	55	20	18	10	20	8

9. táblázat

A.B. Clear 6-os, 8-as és 10-es szennyvíztisztító kisberendezés technikai adatai (saját szerkesztés)

Technikai adatok	A.B. Clear 6	A.B. Clear 8	A.B. Clear 10
Napi kapacitás (m ³)	0,78	1	1,3
Átmérő (mm)	1330	1330	1500
Magasság (mm)	1900	2200	2530
Befolyócső magassága (mm)	1380	1680	1715
Kifolyócső magassága (mm)	1220	1520	1555
Befolyócső és kifolyócső átmérője (mm)	110/110	110/110	110/110
Légbefúvó nyomása (Δp _{mbar})	230	230	230
Légbefúvó levegőszállítási kapacitása (l/perc)	30	37	52
Mikrobuborékos levegőztetőelem elem (ø63 mm) hossza (mm)	0,3	0,36	0,5
Légbefúvó áramfogyasztása (W)	60	60	80

A gyártó által ajánlott felhasználási területek

Családi házak

Családi házak esetében lehet a legegyszerűbben megvalósítani az önellátó biológiai szennyvíztisztítást. A víz újrahasznosítását is egyszerűen és olcsón ki lehet építeni, a tisztított vízzel öntözhetjük a kertet. Amennyiben WC-öblítésre is felhasználjuk a tisztított vizet, az ivóvíz-felhasználás 30–40%-kal is csökkenthet. A berendezés a terhelésingadozásokat tág határok között tűri, így sem a néhány napos, hetes nyaralások, sem a nagyobb „vendégjárások” nem jelentenek gondot, ezek áthidalhatók egy mikroprocesszoros vezérlőegység közbeiktatásával. A berendezések minimális helyigénye és az olyan kiegészítők, mint a műfüvel bevont fedelek szinte láthatatlanná teszik a berendezéseket bármelyik kertben.

Nyarálók, hétvégi és vadászházak

Ezen ingatlanok esetén a terhelés ingadozása sok esetben jelentős. Sokan télen egyáltalán nem, tavasztól ősziig viszont szinte folyamatosan, életvitelszerűen használják a nyarálót. Ebben az esetben is ajánlott a kisebb, néhány napos, hetes ingadozások áthidalására a mikroprocesszoros vezérlőegység, viszont a több hónapos, téli leállásnál már más megoldás szükséges. Ilyenkor a szennyvíztisztítót téliesíteni kell, ki kell szippantatni, majd fel kell tölteni tiszta vízzel. Az újbóli használatbavételkor újra kell indítani a berendezést.

Panziók, motelek

A biológiai szennyvíztisztítás a vendéglátásban is jó befektetés, akár a szennyvízelvezetés kiváltását, akár az újrahasznosításból eredő megtakarítást nézzük. Jellegükből adódóan ezen létesítményeknél is erős terhelésingadozások lehetnek, sok létesítménynél szezonális a vendégforgalom. Ilyen esetekben megoldást jelent két kisebb szennyvíztisztító telepítése. Így alacsony terhelésű időszakban csak az egyik berendezés üzemel, nagyobb terhelés esetén pedig a másik berendezés is beindítható, tehát a rendszer kapacitása tág határok között változtatható. Ezenfelül azon panziók, motelek számára is javasolható az egyedi biológiai szennyvíztisztítás, amelyek az ökoturizmushoz méltó helyeket szeretnének biztosítani vendégeiknek.

Társasházak

A családi házakhoz hasonlóan társasházak esetében is alkalmazhatók biológiai szennyvíztisztító berendezések, ráadásul ebben az esetben még a terhelésingadozások sem számítanak olyan mértékben.

Üzemek, irodák, munkahelyek

E létesítmények esetén is bevált módszer a biológiai szennyvíztisztítás, a víz ugyanúgy újrahasznosítható WC-öblítésre, valamint az üzem körüli terület öntözésére stb. Fontos azonban megjegyezni, hogy a berendezések kommunális szennyvíz tisztítására alkalmasak, így ha bármilyen egyéb, ipari, technológiai szennyvíz ártalmatlanítása is szóba kerül, szükséges egyeztetni a lehetséges előtisztítási és egyéb megoldások kapcsán.

Tanyák

A központi szennyvízcsatorna-hálózatoktól távol eső tanyák esetében jelenleg elterjedt emésztőgödörök és egyéb, nem igazán környezetbarát megoldások helyett tiszta, olcsó megoldást jelent a biológiai szennyvíztisztítás. A tisztított víz itt is hasznosulhat, például öntözővízként. A berendezés áramszükséglete minimális, így az könnyedén megoldható napelemes, szélkerekes vagy egyéb alternatív rendszerekről is. Tanyák vonatkozásában pályázati lehetőségek is gyakran elérhetők, ezzel kapcsolatban vegyék fel velünk a kapcsolatot.

A kezelt szennyvíz újrafelhasználása

Biológiai szennyvíztisztító berendezéseink segítségével a kommunális szennyvíz a megtisztítás után helyben többféle célra újrahasznosítható. Legcélszerűbb újrahasznosítási mód a növények gyökérszónás öntözése. További vízkezelés esetén WC-öblítésre vagy autómosásra is használható a biológiailag tisztított víz. Például egy négyfős háztartásban a WC-öblítés a vízszámla 35–40%-át teszi ki. Ez megtakarítható a tisztított víz felhasználásával. Ahol meglévő betonemésztőt szeretnének kiváltani, ott az a biológiai szennyvíztisztító beüzemelését követően felhasználható a megtisztított víz tárolójaként, és így könnyebben lehet a tisztított vízzel gazdálkodni. Amennyiben a vizet nem használják fel újra, úgy sóderágyban elszivárogtatható, vagy vízjogi engedély esetén élővízbe engedhető.

Az elszivárogtatás vagy más néven szikkasztás az esővíz vagy a biológiailag megtisztított szennyvíz újbóli felhasználásának egyik legegyszerűbb módja. A víz egy föld alatti csőrendszeren keresztül szivárog el a talajba. Az elszivárogtató rendszer egyrészt jelentheti a túlfolyót is a vízgyűjtő tartállyal, másrészt így biztosítható a kerti növények gyökérszónás öntözése.

A szikkasztó rendszer legfőbb része egy legalább 10 méter hosszú dréncső (kilyuggatott PVC-cső), amelynek egyik vége az esővízgyűjtő tartály kivezető csövéhez csatlakozik, és a talajban vezetve, kis lejtéssel tovább haladva, a rendszer végénél a talaj fölé egy függőleges csővel kivezetve végződik. A jobb szivárgás érdekében a cső köré nagy méretű, mosott (kulé)kavicsot kell beásni. Az elszivárogtató cső alá ajánlott 40 cm szélesen 60 cm vastagságú kuléágyat készíteni. Az elszivárogtató árkát a kulékavics és a dréncső fölött geotextíliával kell befedni az elszaradás elkerülése végett. Ezt követően a maradék az eredetileg kitermelt talajjal visszatemetethető, így gyalogosan vagy járművel járható felületet kapunk.

A tartályba az esővíz a fagyhatár alatt érkezik meg. A túlfolyónak a befolyó alatt kell lennie, legalább 2 cm-rel. Az elszivárogtató cső így végig a fagyhatár alatt megy. Minimális lejtése a csatornacsövékének megfelelő, azaz méterenként fél cm. Az elszivárogtató cső fektetéséhez szükséges árkot célszerű markolóval kiásni, hogy egyenletes legyen, mivel az aljának teljesen vízszintesnek kell lennie. A szikkasztó rendszert csak olyan talajon lehet kiépíteni, amely addig nem volt megbolygatva, vagy az évek során megfelelő mértékben visszatömörödött. Szikkasztási rendszer kiépítéséhez szükséges anyagszükségletek, ideális talajviszonyok esetén 10 méterenként:

- 10 m dréncső, 100 mm átmérőjű,
- geotextília, 10 méter hosszú, 50 cm széles, az árok befedéséhez,
- 2 m³ kulékavics.

Jó vízelnyelő képességű talaj, például homok esetén elegendő 10 méter hosszú dréncső. Ha viszont agyagos a talaj, és emiatt nehezen szivárog el a víz, akkor 20 vagy akár 30 méter rendszerre is szükség lehet. Fontos, hogy az elszivárogtatást csak saját telken lehet megoldani. Amennyiben biológiai szennyvíztisztító által megtisztított vizet szivárogtatunk el, úgy a tisztított vízben lévő szerves anyagok táplálják a növényeket.

E szennyvíztisztítók egyedülálló technológiát alkalmaznak a keletkező iszap kezelésére. Az újítás lényege egy olyan szerkezet, amely a keletkező fölösleges iszapot vízteleníti, és könnyen kezelhető formában, a tartályon belül egy zsákban gyűjti. Ezzel a fölösiszap szippantása fölöslegessé válik, az összegyűjtött iszap pedig akár a felhasználó által, otthoni körülmények között is komposztálható és növényi tápanyagként hasznosítható. A technológia másik előnye, hogy a tartályban lévő iszap mennyiségét automatikusan szinten tartja, így az iszapzsák rendszeres ürítése esetén sem a szennyvíztisztító túlzott eliszaposodása, sem a túl alacsony iszapszint nem lehetséges.

A szennyvíztisztítás és az esővíz hasznosítása egyetlen rendszerben is megoldható. Ilyenkor ideális esetben a gyűjtött esővíz és a tisztított víz egy ciszternában gyűlik, majd egy szivattyú segítségével hasznosítható. A fölösleges vízmennyiség egy elszivárogtató rendszeren vagy más

túlfolyón keresztül távozik a rendszerből. Egy ilyen összetettebb megoldással jelentős vízmegtakarítás is elérhető, lévén, hogy ha a vizet kizárólag WC-öblítésre hasznosítják, máris 30–40%-kal csökken az ivóvíz felhasználása, sokoldalúbb felhasználás (például öntözés, autómosás) esetén ez a szám akár 50–60%-ra is emelkedhet.

Az A.B. Clear 6-os, 8-as és 10-es típusú szennyvíztisztító kisberendezés működési elve

A biológiai szennyvíztisztító berendezésben alkalmazott technológia az eleveniszapos biológiai tisztításon alapszik. Az épületen kívül telepített szennyvíztisztító berendezésben az épületben keletkező szennyvizek (konyhai, fürdőszobai) beérkezését követően a vízben lévő szennyező anyagok eleveniszap segítségével anaerob és aerob biológiai folyamatok során lebomlanak.

A berendezések az ún. teljes oxidációs eleveniszapos szennyvíztisztítás elvén működnek, hasonlóan, mint a nagy, városi szennyvíztisztító telepek. Az összes munkafolyamat egy tartályon belül zajlik, a különálló kamrák más és más szennyvíztisztítási fázisnak felelnek meg. A bontást mikroorganizmusok végzik el. Minden munkafolyamatot, ahol ez szükséges, egy elektromos levegőszivattyú lát el levegővel.

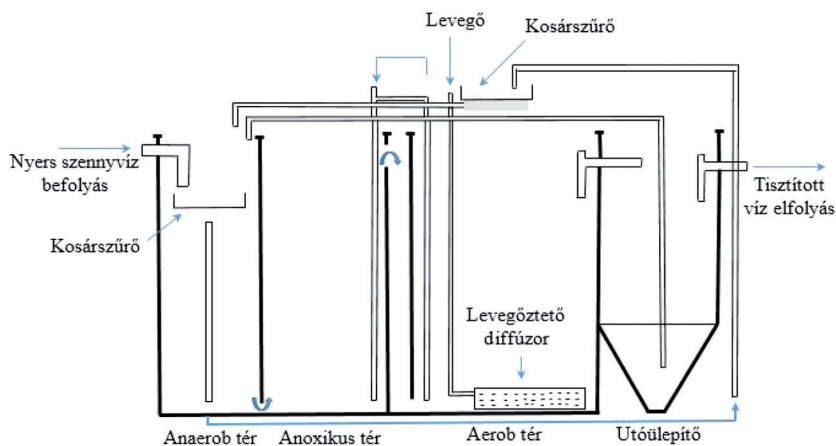
A szennyvíz az első, anaerob kamrába jutva egy kosárszűrőre kerül, amely felfogja a nagyobb szilárd szennyeződések. A vízben oldódó anyagok itt a vízmozgatás miatt felaprózódnak, és a szennyvízzel együtt a szűrőn, majd a kamrán átjutva az anoxikus térbe kerülnek. Itt zajlik a szennyeződések levegő nélküli bontása.

Ezt követően a folyadék az aerob, azaz mesterségesen levegőztetett térbe kerül. Itt egy mikrobuborékos levegőztetőcső látja el a baktériumokat oxigénnel, ezeknek a folyamatoknak köszönhető, hogy a berendezés működése nem jár kellemetlen szaghatással. Ez az utolsó lebontási folyamat, amely után a szennyvíz az utóülepítő térbe jut. Itt a tiszta víz és az iszapra összeállt, megmaradt szennyeződések szétválnak, előbbi a felszínen marad, míg az iszap a kamra aljára lerakódik. A környezetvédelmi előírásoknak és határértékeknek megfelelő, tiszta víz a kifolyócsövön keresztül távozik a berendezésből.

A berendezésben lévő mamutszivattyúk feladata a termelődő iszap tartályon belüli keringtetése, valamint a főleg iszap kiemelése az iszapvíztelenítő egységbe, ahol könnyen kezelhető formában, víztelenítve tárolódik kiürítéséig. A tisztított víz közvetlenül végső elhelyezésre is kerülhet (például elszívárogatás), vagy egy ciszternában tárolható a későbbi újrahasznosítás érdekében.

Az A.B. Clear berendezésekben az összes munkafolyamatot levegő működteti, amelyet a levegőszivattyú szolgáltat. Más mozgó alkatrész nincsen a szennyvíztisztítóban. Az elektromos részek az alábbiak:

- Membrános levegőszivattyú (gyári tartozék): Kis teljesítményű, csendes, 230 V-os hálózati áramról üzemelő készülék. Alapfelszereléssel folyamatosan üzemel. Negyedévenként tisztítani kell a levegőszűrőjét, 50 ezer üzemóránként cserélendő benne a membrán.
- Váltómotor (gyári tartozék): A levegőszivattyúból ezen készüléken keresztül alapesetben a szennyvíztisztítóba jut a levegő, de az előre beállított időpontokban (gyári beállítás szerint hetente egyszer) az iszapzsák mamutszivattyújába irányítja az összes levegőt, ekkor történik a főleg iszap mennyiség eltávolítása és víztelenítése.
- Mikroprocesszoros vezérlőegység (választható kiegészítő): Abban az esetben javasolt, ha a szennyvíztisztítót a tervezettnél lényegesen kevesebben használják, vagy gyakran ingadozik annak terhelése. Háromállású időkapcsolóként üzemel, az üzemmódokat a felhasználónak kell igény szerint beállítania.



6. ábra

A.B. Clear egyedi biológiai szennyvíztisztító működési elve (www.proidea.hu/termekalkalmazasok-5/abclear-rendszerek-az-egyedi-szennyvitzisztitasban-7252.shtml)

Az A.B. Clear 6-os, 8-as és 10-es típusú szennyvíztisztító kisberendezés előnyei:

- A berendezés a közműves szennyvíztisztítással egyenértékű környezetvédelmi megoldást biztosít.
- Egyszerű a beszerelése és a működtetése. A beszerelés csak néhány órát igényel, a működtetést pedig bárki elsajátíthatja.
- Alacsony a beruházási és fenntartási költsége, a szennyvíztisztító legyártása és üzembe helyezése nem haladja meg egy központi csatornavezetékre való csatlakozás átlagos költségeit.
- A szennyvíz lebontása során minimális szárazanyag – stabilizált iszap – keletkezik, például négy fő esetén mintegy évi 0,5 m³ (!).
- A szennyvíztisztító működtetése csendes, így épületen belülré is szerelhető, külön hangszigetelésre nincsen szükség.
- Amellett, hogy a telepítés a polipropilén műanyag alapanyagának köszönhetően egyszerű, a biológiai szennyvíztisztító berendezés a környezeti hatásokkal szemben rendkívül ellenálló, és élettartama igen hosszú.
- Kevés a lehetőség a meghibásodásra.
- A biológiai szennyvíztisztító berendezés nem tartalmaz a környezetre káros anyagot, továbbá adalékanyagok felhasználása nélkül üzemel.
- Alacsony üzemeltetési költségek – a szennyvíztisztító háztartási változatának energiafogyasztása mintegy havi 14–16 kWh.
- A biológiailag tisztított víz gyökérzónás öntözésre vagy egyéb célra újrafelhasználható, továbbá nincsen csatornadíj, így a beruházás egy-két év alatt megtérül.
- Minimális karbantartásigény.

A szennyvíztisztító berendezés ellenőrzése, karbantartása

Az üzemeltetés során legalább hetente szemrevételezéssel ellenőrizni kell a berendezés megfelelő működését. Ilyenkor a következőket kell ellenőrizni:

Szaghatás

Ha a berendezés felnyitásakor egyáltalán nem vagy alig érződik kellemetlen szag, akkor a berendezésben biológiai egyensúly van. Erős szaghatás (csatornaszag) esetén a biológiai egyensúly valószínűleg felborult, ebben az esetben, ellenőrizze a levegőztetés hatékonyságát, végezze el az iszappróbát.

Levegőztetés

A levegőztetés az egyik legfontosabb működési feltétele a berendezéseknek. A légbefúvóból érkező levegőt a szelepek osztják szét a kamrákba, ezért mindegyik részegységet figyelni, ellenőrizni kell. Az aerob kamra jobb és bal oldali félkör alakú részének aljában van elhelyezve a mikrobuborékos légbeviteli elem. Ebből normál esetben apró buborékok sokasága emelkedik a felszínre, a vízfelszín ilyenkor „pezseg”. Ha egyáltalán nincs itt levegőztetés, akkor meg kell győződni a villamos tápfeszültség meglétéről, ha van feszültség, akkor a szelepeket szükséges beállítani. Ha a sok kis buborék helyett néhány nagy emelkedik a vízfelszínre, akkor az azt jelenti, hogy megsérült a légbeviteli elem, így annak cseréjét el kell végezteni.

Mamutszivattyú

Ezek a mozgóalkatrész nélküli szivattyúk (Ø D 50 PVC vékonyabb szürke csövek) cirkuláltatják az iszapot a berendezésen belül, valamint a szilárd, vízben oldódó hulladékok felaprózását, illetve az iszapelvételt is elvégzik. Ezeknek a telepítéskor beállítottak szerint kell folyamatosan üzemelniük, de ellenőrzésük, utánállításuk indokolt esetben szükséges. Ha az iszapkoncentráció eléri a 600–700 ml/l értéket, akkor előfordulhat, hogy dugulást okoz, amelyet többféleképp lehet megszüntetni. A legegyszerűbb megoldás a megfelelő szelep ideiglenes túlzott megnyitása. A mamutszivattyúk ugyanis lényegesen kevesebb levegővel üzemelnek, mint a mikrobuborékos levegőztető, de dugulás esetén a többi szelep teljes lezárásával és az eldugult szivattyú szelepének teljes megnyitásával át lehet fúvatni a csövet. Ha ezt elvégeztük, ne felejtjük el visszaállítani a szelepeket az előírások szerint! Ha az átfúvatás nem jár eredménnyel, akkor egy lefolyótisztító spirállal (csőgörény) vagy locsolótömlő benyomásával is elhárítható a hiba.

Szűrőkosár

Ez közvetlenül a befolyócső alatt található peremes kialakítású lyukacsos műanyag lemez. Ez fogja fel a csatornacsövön beérkező darabos hulladékokat, amelyeknek itt a vízben oldható komponensei nagyrészt felaprózódnak az alulról érkező levegős keverés miatt. Az oldhatatlan darabos hulladékok itt fennakadnak, ezeket időről időre el kell távolítani. A kosárszűrő tisztítási ciklusát az határozza meg, hogy az épület felől mennyi darabos anyag érkezik, de általánosságban javasolt a heti egyszeri tisztítás. A szűrőt egyszerűen ki lehet emelni a tartályból. Ha ezen a szűrőn dugulás miatt nem jut át elegendő folyadék, akkor a túlfolyó engedni tovább a vizet, viszont ez további elzáródásokhoz vezethet.

Vízszint

A berendezés folyamatos üzemű, ennek megfelelően a vízszint is állandónak mondható. Nagyobb terhelés esetén enyhén emelkedhet a vízszint a kamrákban, ez normális jelenség. Ha viszont azt tapasztaljuk, hogy a kamrákat elválasztó falak mind víz alatt vannak, tehát a berendezésben egy összefüggő vízfelület jött létre, akkor dugulás van a tisztított szennyvíz fékezett kivezetésénél, vagy a tisztított víz elvezetésénél. (Ez legtöbbször az elszívárogató rendszer.) A berendezésben lévő elzáródást a kifolyást biztosító furat eltömődése okozza, amelyet egy Ø 10–12 mm-es pálcával meg lehet szüntetni. Az elszívárogató dugulását a rendszeren kialakított levegőztetőcsövön keresztüli kémleléssel lehet megállapítani.

Habosodás

Meg kell különböztetni kétfajta technológiai jellegű habosodást, az egyik a fehéres hab, amely az iszaphiányos állapotra utal (ez a jelenség a beoltás utáni állapotra jellemző, amely az adaptációt követően egy hónapon belül megszűnik), míg a másik a barna habosodás, amely a 400–500 ml/l-es iszapkoncentráció felett vagy az abnormális levegőztetés hatására következik be. Míg a mosás, tisztálkodás hatására előfordulhat, hogy a vízbe került túlzott mértékű tisztító- és öblítőszer a víz áramlása miatt erős habzást okoznak, ez nem okoz gondot. Ha a berendezés utóülepítő kamrájának tetején vastag, kemény hab található, azt el kell távolítani, majd fel kell törni vízszaggárral és lehetőség szerint meg kell szüntetni az okát. (Ez lehet a túl kevés vagy éppen túl sok levegőztetés is.)

Levegőszelepek

Amennyiben azt tapasztaljuk, hogy bármely, levegőellátást igénylő részegység (aprító, R1 és R2 mamutszivattyú, fékezett kifolyású elfolyó és az iszapelvételi mamut) nem megfelelően üzemel, például a finombuborékos levegőztetés alig üzemel, vagy éppen a mamutszivattyúk nem működnek eléggé, a berendezésben lévő szelepekkel a használati útmutató szerint minden szelep beállítható a megfelelő módon. Egyéb okból nem szabad a szelepeket átállítgatni, tehát a berendezés teljesítményének szabályozását sem lehet így megoldani.

Ha a fent ismertetett iszappróba során 50% fölötti iszaparányt tapasztalunk, akkor már érdemes eltávolítani a fölösleges iszapmennyiséget, amit szakemberrel kell elvégeztetni (szippantás).

Ha ez megtörtént, le kell állítani a levegőztetést, és hagyni kell leülepedni a berendezésben lévő folyadékot. Ez az iszappróbához hasonlóan fél-egy órát vesz igénybe. Ilyenkor az összes kamrában szinte teljesen kitisztul a folyadék felső része, alul jól látható a leülepedett iszap. A szívócsövet a kamrák aljára eresztve kell eltávolítani az iszap nagyját. Ilyenkor ügyeljünk a kamrák alján lévő szerelvényekre, csövekre, csatlakozókra, nehogy kárt tegyünk bennük a munka során! Az iszapot nem szabad teljes egészében kiszivattyúzni, mert abban találhatók meg legnagyobb számban a lebontást végző baktériumok. Úgy kell végezni a szippantást, hogy a vízszint 40–50 cm-rel csökkenjen minden kamrában. Fontos, hogy a kamrák kiszivattyúzása során fokozatosan haladjunk, nem szabad, hogy az egyes kamrák vízszintje között 30 cm-nél nagyobb különbség legyen, ez ugyanis roncsolhatja a falakat a túlzott nyomás miatt! Ugyanez érvényes minden szivattyúzásnál és feltöltésnél. A beren-

dezésben három „kamrapár” van, amelyek alul vannak összekötve, tehát az egyikből szivattyúzva a másikban is csökken a vízszint.

Az iszap kiszippantása után a berendezésben vissza kell állítani az üzemi vízszintet. Ezt a leg-egyszerűbben egy kerti locsolócsővel, vagy a házban lévő csapok megnyitásával, a WC lehúzásával tudjuk megtenni. A rendes vízszint visszaálltával ismételten ellenőrizni kell a fent leírt szempon-
tok szerint a szelepek beállítását, a levegőztetést, a mamutszivattyúkat stb. Ha mindent rendben
találtunk, újra kell indítani a levegőztetést, és vissza kell helyezni a berendezés fedelét. A beren-
dezésekből az iszapot a felhasználás mértékétől függően évente 1–3 alkalommal kell eltávolítani.

GRAF szennyvíztisztító kisberendezés

A GRAF márka több mint 50 éve készít kiváló minőségű műanyag termékeket. Az 1962-ben
alapított és eredetileg mezőgazdasági műanyag dobozokat értékesítő vállalat az európai piac-
vezetővé vált az esővíz-betakarítás terén. A GRAF csoport jelenleg mintegy 500 alkalmazottal
rendelkezik – kb. 310 alkalmazottat foglalkoztat Németországban –, és több mint 105 millió euró
forgalmat bonyolít le. A GRAF-termékeket világszerte több mint 70 országba exportálják. 2001 óta
gyártanak és forgalmaznak szennyvíztisztító kisberendezéseket.



7. ábra

One2Clean szennyvíztisztító berendezés (<https://en.graf.info/company/philosophie/our-philosophy.html>)

10. táblázat

A One2Clean szennyvíztisztító berendezés technikai adatai (saját szerkesztés)

Technikai adatok	One2Clean 1-3 EW	One2Clean 4-5 EW
Maximális kapacitás	3 LE	5 LE
Maximális napi BOI ₅ -lebomlás	0,18 kg	0,30 kg
Maximális napi hidraulikai kapacitás	0,45 m ³	0,75 m ³
Óracsúcs Q _{maxh}	0,03 m ³	0,05 m ³
Maximális napi energiafogyasztás	0,6 kWh	1 kWh
Hálózati feszültség	230 V	230 V
Beépített teljesítmény	42 W	48 W
Kiépített kapacitás	450 l/d	750 l/d

A One2Clean szennyvíztisztító berendezés egy kompakt és könnyen kezelhető biológiai szennyvíztisztító berendezés, amely alkalmas a háztartásokban keletkező szennyvíz biológiai tisztítására 1–50 lakosegyenértékig. A One2Clean biológiai szennyvíztisztítók kiválóan alkalmazhatók családi házak, nyaralók vagy akár vállalatok, intézmények (iskolák, óvodák stb.), éttermek, panziók, hotelek kommunális szennyvizének tisztítására. Bármilyen körülmények között alkalmazható, időszakos, változó terhelések esetén is megbízhatóan működik.

Az One2Clean szennyvíztisztító berendezés megfelel az MSZ-EN 12566-3 szabvány követelményeinek, rendelkezik CE-megfelelőségi nyilatkozattal. E tisztítók kiváló környezetvédelmi megoldást biztosítanak, nem tartalmaznak a környezetre káros anyagot, továbbá csendesen, szagmentesen, minimális külső villamosenergia-bevitellel üzemelnek. A létesítmény műtárgyai a telepítés helyszínén könnyen szerelhetők, különleges szakértelmet nem igényelnek. Üzemelésük során folyamatos felügyeletet nem igényelnek, az ellenőrzéseket és karbantartási munkákat a lakó/ingatlan tulajdonosa is el tudja végezni. A fenntartási feladat elsősorban a tartályban összegyűlt iszap évenkénti szippanttatásából és a levegőztető rendszer ellenőrzéséből áll.

A rendszer előnyei:

- Bármilyen körülmények esetén alkalmazható.
- Programozható max. 90 napos üzemszünet (például hétvégi házak esetében).
- Minimális külső villamosenergia-bevitellel üzemel.
- 90 napnál hosszabb üzemszünet esetén sem kell a rendszert leírítani.
- ISO 9001 és MSZ-EN 12566-3 szerinti CE-minősítések.
- 5 év kiterjesztett üzemelési garancia.
- Kiváló tisztítási hatások.
- Alacsony üzemeltetési és karbantartási költségek.

A szennyvíztisztító berendezés telepítése

A berendezést a telepítés időtartama alatt nem szabad a villamos hálózatra csatlakoztatni. A berendezést és a szennyvíz csatlakozási rendszerét védeni kell a fagytól, ezért minimum 50 cm földtakarással kell telepíteni, ha ez nem biztosítható, alkalmas szigetelőanyagot kell használni.

A berendezés elektromos egységeinek telepítését minden esetben bízza szakemberre! Minden csatlakozásnak teljesen tömítettnek kell lennie, mert a tömítetlen csatlakozások szennyezhetik a környezetet, és a berendezés teljesítményét károsan befolyásolhatják. A csavarozások megfeszítésénél kerülje a túlzott erő kifejtést, mert az károsodásokat okozhat. A csatlakozások kialakításánál ügyeljen arra, hogy súly, valamint rezgések vagy feszültségek ne hassanak a berendezésre.

- Szennyvízcsatlakozások: A szennyvízhálózatra történő rácsatlakozás csak a teljes rendszer kiépítése és a sikeres üzempróba után lehetséges. A csatlakozó cső mérete: NA 110 mm. A csatlakozóvezeték mindig lejtéssel készüljön! Nyers szennyvíz vezetése esetén a lejtés 1:100, tisztított szennyvíz esetén a lejtés 1:200 lehet. Kerüljük a 90°-os iránytöréseket, ha mégis szükséges, akkor építsen be tisztító idomot, vagy használjon 45°-os idomokat. A csatlakozó cső anyaga KG-PVC vagy KPE lehet. Szivattyú alkalmazása esetén a javasolt csőátmérő DK 32, anyaga KPE, nyomásosztály 6 bar.

- Villamos csatlakozások: A berendezés hálózati csatlakozókábelét csak villamos szakember építheti be. A csatlakozókábel kiépítése esetén gondoskodni kell a megfelelő érintésvédelem kialakításáról (FI relé és kismegszakító). A hálózati kábelre fixen felszerelhető a hálózati dugó. Soha ne használja a kábelt arra, hogy a csatlakozódugót annál fogva húzza ki az aljzattól! Óvni kell a csatlakozódugót és a hálózati kábelt a forró felületektől, az olajtól és az éles peremektől.

A műszaki adatoknál megadott értékeknek meg kell felelniük a telepítési helyén érvényes hálózati feszültségnek. A telepítésnél a felelős személynek meg kell vizsgálnia, hogy az elektromos csatlakoztatás a szabványnak megfelelő földeléssel rendelkezik-e. A hálózati csatlakozás csak a szabványos hosszabbító kábelrel hosszabbítható. A hálózati csatlakozódugó és a csatlakozások kialakítása olyan legyen, hogy védettek legyenek a fröccsenő víz ellen.

A szennyvíztisztító berendezés üzembe helyezése, beüzemelése

A berendezés üzembe helyezésekor lehetőleg kerülni kell a téli hónapokat (december, január, február). A berendezés üzembe helyezését a kézikönyvben leírtak alapján kell végezni, ettől eltérő beüzemelés a készülék meghibásodását okozhatja. A berendezés üzemelése közben a tartály(ok)-ban és akná(k)ban nem tartózkodhatnak személyek. A berendezést csak olyan teljesítménytartományban szabad alkalmazni, amely a garancialevélben meg van adva. Az üzembe helyezést csak a 18. életévét betöltött, erre kiképzett személy végezheti. Az üzembe helyezés során következetesen be kell tartani az alapvető munkavédelmi és egészségügyi előírásokat. Minden szennyvízzel, iszappal való érintkezés után fertőtlenítőszerrel kezet kell mosni. Fontos, hogy a medence- és aknafedelek terhelhetősége max. 70 kg, így a fedélre gépjárművel ráhajtani tilos! Az üzembe helyezést végző személynek munka előtt és közben alkohol vagy figyelemcsökkentő szer fogyasztása tilos!

A szennyvíz organikus, szerves anyagának lebontását az eleveniszapban lévő, kitenyésztett mikroorganizmusok végzik. A rendszer beindítása a műtárgy tiszta vízzel való feltöltésével kezdődik. A tiszta vizes feltöltést az összekötő csövekben is el kell végezni. A feltöltés gyorsítható oly módon, hogy a rendszerbe nyers szennyvizet is táplálhatunk, de ez nem lehet több a napi terhelés 50%-ánál. Ha csak tiszta vízzel történt a feltöltése, a teljes tervezett szennyvízmennyiség 50%-át kell a berendezésbe vezetni. Ha az érkező összes szennyvíz nem több a tervezett érték felénél, természetesen a teljes mennyiség rávezethető.

A szennyvíz aerob zónába juttatásával kezdetét veszi az eleveniszap kialakulása. Ez nyári időszakban 3–4 hét, télen 6–8 hét alatt szaporodik oly mértékűvé, hogy a maximális tisztítási hatásfokot biztosítsa, de 10 napon belül már jó hatásfok érhető el. A nyers szennyvíz rávezetését követően kapcsoljuk be a levegőztetőegységet. A levegőztetőegység nem folyamatos üzemben működik, ki- és bekapcsolását (programozását) a vezérlés végzi. Tartós áramszünet esetén (nem keletkezik szennyvíz több mint tíz napig), a programot át kell állítani „munkaszüneti” üzembe.

A One2Clean szennyvíztisztító kisberendezés működése

Kis tömegük miatt a műanyagból készült kis szennyvízkezelő rendszerek nehéz berendezések nélkül is felszerelhetők. Ez azt jelenti, hogy könnyen szállítható és telepíthető olyan helyeken, amelyek nehezen elérhetők. A műanyag szennyvíztartálynak sima belső felületei is vannak, ami egyszerűvé teszi a tisztítást. Mi több, a műanyag tartályok 100%-ban vízállóak.

Ezen rendszerek azon az ötleten alapszanak, hogy a tisztítási folyamatok természetes úton is végbemennek, ha biztosítjuk a megfelelő feltételeket a működéshez. Az oxigén alapvető fontosságú. Amennyiben oxigénhiány lép fel a rendszerben, a „jó baktériumok”, amelyek szükségesek a megfelelő tisztításhoz, lecserélődnek „rossz baktériumokra”, amelyek oxigénszegény körülmények között szaporodnak. Ezek a baktériumok egy fekete, ragacsos iszapot termelnek, amely fokozatosan eltömíti a rendszert. Ezért a rendszer jó oxigénellátása feltétlenül szükséges ahhoz, hogy eltömődés ne következzen be.

Az ingatlanból kifolyó szennyvíz biológiai kezelésére, valamint a szennyvíziszap tárolására a kezelőtartály szolgál. A kezelőtartály tisztítóegységében a szennyvíz biológiai tisztítását baktériumok végzik. A berendezés működésének fontos része a megfelelő levegőztetés kialakítása annak érdekében, hogy az eleveniszapban lévő baktériumok kellő levegőhöz (oxigénhez) jussanak. A megfelelő mennyiségű friss levegő (oxigén) ellátásáról egy programozott vezérlőegység által irányított kompresszor és egy finombuborékos, pezsgő levegőztetőegység gondoskodik. A tisztított szennyvíz paramétereinek méréséhez szükséges mintavételi hely a kezelőtartályban lett kialakítva.

A One2Clean szennyvíztisztító berendezés, SBR (Sequencing Batch Reactor) elven működő, szakaszos üzemű. A berendezés alapvetően egy aerob egységből (kezelőtartály) áll. Ez az egység egy terelő fallal nyugalmi és egy eleveniszapos zónára van osztva, amelyek a tartály alsó részében kapcsolatban állnak, így ennél az eljárásnál a teljes szennyvízmennyiség közvetlenül egy aerob szennyvízkezelésnek van aláteve. Az egész berendezés egy finombuborékos pezsgő levegőztetőeljárással levegőztetett, a keletkező eleveniszapban kitenyésző baktériumok biológiai úton tisztítják meg a szennyvizet.

A szennyvízkezelés a One2Clean berendezésben előtisztítás nélkül történik, így nem indulnak be az anaerob rothadási folyamatok. A szennyvíztisztító berendezés működését egy mikroprocesszoros vezérlőegység szabályozza, amely a légsűrítőt és a levegőeloszlást irányítja.

Az SBR-technológia különböző munkafolyamatok sorozata, amelyek időben követik egymást, és legalább egyszer lefutnak naponta.

Első munkafolyamat: levegőztetés. A beérkező nyers víz közvetlenül a biológiai zónába kerül. Nincs átemelés, késleltetés, a levegőztetés által aktivált mikroorganizmusok azonnal megkezdik a szennyvízbontást. A levegőztetést egy kompresszor végzi, amely a környezeti levegőt használja fel. A levegőztetés szakaszosan megy végbe, ami szabályozott szennyvíztisztítást tesz lehetővé. Így a berendezést különböző környezeti feltételekhez, terhelésekhez lehet igazítani.

Második munkafolyamat: ülepités. A második szakaszban nincsen levegőztetés. Az eleveniszap és az egyéb ülepedő anyagok gravitációsan ülepsznek. A felső részben létrejön egy tisztavíz-zóna és az alján egy iszapréteg. Az esetlegesen keletkező úszó iszap a tisztavíz-zóna felett van.

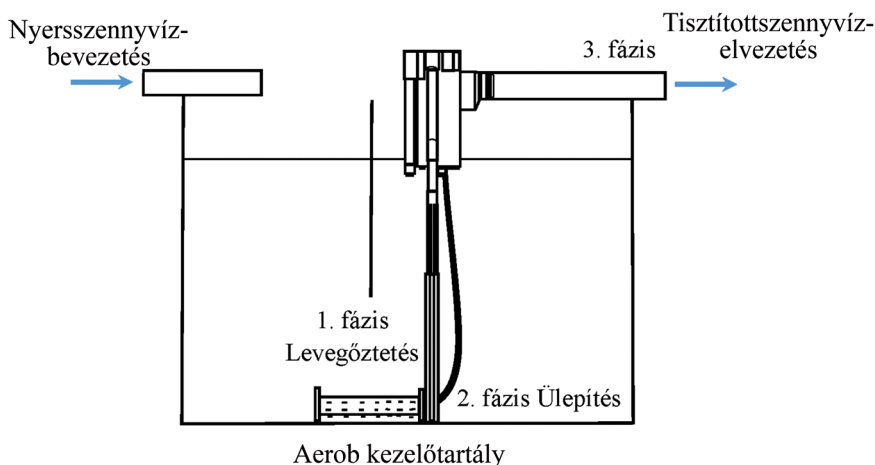
Harmadik munkafolyamat: tisztított szennyvíz elvétele. Ebben a fázisban a biológiaiilag megtisztított szennyvizet elvezetjük az SBR-szakaszból. Ez a szivattyúzási folyamat sűrített levegővel történik a „mamutszivattyúelv” szerint. A berendezés úgy van kialakítva, hogy a tisztavíz-rétegben esetleg keletkező úszó iszapot ne szívja fel. A berendezés a minimális vízszintet külön szerkezeti elem nélkül biztosítja.

A harmadik munkafolyamat végrehajtása után az első munkafolyamat, a tisztítási folyamat kezdődik előlről. Naponta két ciklus fut le. A kapcsolási idők egyéni kiválasztását a kezelő-karbantartó személyzet tudja beállítani.

A biológiai szennyvíztisztító berendezés alkalmazása esetén nem megengedett:

- A baktériumok számára az optimális pH 6,5–7,5 között van. Ebből kifolyólag napi kettő, maximum három mosógépprogram futtatásánál több nem megengedett.

- Nagy mennyiségű (>0,5 l/nap) tömény sav és lúg használata, amelyek például a csatorna-vezetékek, -lefolyók tisztításához használatosak.
- Kondenzációs és más fűtőkazán vizének, valamint a fűtővezetékben használt víznek a kiengedése a szennyvízcsatornába,
- Magas koncentrációjú organikus szennyező anyagok, például tej és tejtermékek, ételmaradékok, gyümölcs- és zöldségmaradékok konyhamalacban való megsemmisítése és a csatornába juttatása.
- Esővíz bevezetése, úszómedencék, jakuzzik vizének kiengedése a szennyvízcsatornába.
- Állattartásból származó szennyvizek, állati hígtrágya bevezetése a szennyvízcsatornába.
- Toxikus anyagok kiengedése a szennyvízcsatornába: hígító, gyúlékony anyagok, növényvédőszer, motorolaj stb.
- Nem lebomló anyagok szennyvízcsatornába történő juttatása (például papírpelenka, irodai papír, tisztasági betét, csomagolóanyag, fóliák, paradicsomhéj, napraforgóhéj stb.).
- Korlátozni kell a főzésnél használt zsírok, étolajok kiengedését a szennyvízcsatornába (max. 2–3 dl/nap). Ezek egyrészt eltömíthetik a csatornarendszert, másrészt a szennyvíztisztítóba jutva nagyon kedvezőtlenek a mikroorganizmusok számára. A használt étolaj gyűjtését és komposztálását ajánljuk.
- Nagy mennyiségű (<0,3 dl/nap) klórtartalmú tisztító- és fertőtlenítőszer (például hipó, Domestos, Clorox, Bref Duo Active stb.) közvetlen a csatornába történő kijuttatása. Ezek az anyagok nagy mennyiségben, töményen használva megállítják a biológiai folyamatokat a szennyvíztisztítóban.



8. ábra

One2Clean egyedi biológiai szennyvíztisztító működési elve (One2Clean)

A szennyvíztisztító berendezés ellenőrzése és annak gyakorisága

A One2Clean egyedi szennyvízkezelő berendezések nem igényelnek folyamatos felügyeletet, de az időszakos ellenőrzés ezen típusoknál is szükséges. Ezeket az ellenőrzéseket részben a lakóingatlan tulajdonosa, részben az üzemeltető (amennyiben van ilyen) végzi el. Az általános ellenőrzés és karbantartás során különleges biztonságtechnikai berendezések nem szükségesek,

azonban a medence- és aknaterekben veszélyes gázok képződhetnek, ezért azokba belépni tilos! Ha a medence- vagy aknatérben szükséges a karbantartás vagy javítás, azokba csak leürítés és kellő átszellőztetés után, megfelelő védőfelszerelésben lehet belépni.

Üzemszerűen ötévenként ajánlatos a teljes rendszer alapos ellenőrzése. Amennyiben a berendezés üzemeltetésére felelős üzemeltetőt jelölnek ki, úgy a kezelő feladata a szükséges ellenőrzések, kezelések és egyéb munkálatok elvégzése. Az ellenőrzésnek ki kell terjednie a berendezésen kívül a csatlakozó műtárgyakra is. A téli üzemeltetés és ellenőrzés hasonlóan zajlik, mint a nyári időszakban. Ügyeljünk arra, hogy a műanyag termékeknek alacsony hőmérsékleten általában csökken az ellenálló képességük ütések és mechanikai erőbehatások esetén.

A berendezésnek mindig bekapcsolva kell lennie. A kezelő kötelessége a berendezés hiba nélküli üzemeltetése. Majdnem minden üzemzavar a berendezés tisztítási kapacitásának csökkenéséhez vezet. Ezért a hibákat időben fel kell ismerni, és azonnal ki kell javítani, vagy egy szakképzett karbantartóval ki kell javíttatni.

Az időszakos ellenőrzést a következők szerint kell elvégezni:

- Napi ellenőrzések: Naponta ellenőrizni kell, hogy a berendezés szabályszerűen üzemel-e. Ez abban az esetben is igaz, ha a működést jelző lámpa zölden világít, és nem hallható vészjelzés.
- Havi ellenőrzések: Szemrevételezés, hogy az iszap nem kavarodott-e fel, nincs-e zavarosság vagy elszíneződés az elfolyó tisztított szennyvízben. Be- és kivezetések dugulásának ellenőrzése (szemrevételezés). A légsűrítő üzemórájának (összes üzemóra), a levegőztetés és a tisztított szennyvíz elszívószelep-számlálójának leolvasása és feljegyzése az eseménynaplóba.

11. táblázat

Kisberendezés ellenőrzése üzemeltető által (saját szerkesztés)

Tevékenység megnevezése	Gyakoriság
A kezelő műtárgy és a vezérlés működésének ellenőrzése szemrevételezéssel	Naponta
Folyadékáramlások ellenőrzése	6 havonta
Iszapszint ellenőrzése	6 havonta
Iszap kiszippantása	Évente
A levegőztető rendszer ellenőrzése	6 havonta
Helyszíni ellenőrzés, karbantartás minden berendezés esetén	6 havonta

Szennyvíztisztító berendezés egységeinek karbantartása

A szennyvíztisztító rendszerek működhetnek aktív és passzív módon, kiépítéstől függően. Ezek a szennyvíztisztító rendszerek megbízhatóak, robusztusak, jól tűrik a szélsőséges terheléseket és terhelésingadozásokat, tartósak, és jelentősen csökkentik a nyers szennyvízben lévő szennyeződések, szennyező anyagokat. Üzemeltetésük egyszerű, a fenntartási munka, amit el kell végezni, a műtárgy és a levegőztető rendszer megfelelő karbantartása.

Előfordulhat azonban, hogy a rendszer meghibásodik, amennyiben elzáródás van, és a műtárgy vagy a szikkasztómező környékén szennyvíz szivárog a felszínre, illetve erős szaghatás érződik, ilyenkor könnyen megállapítható, hogy a rendszer hibásan működik. Ezt a jelenséget rendszeres karbantartással és ellenőrzéssel el lehet kerülni.

Kezelőtartály

Az ellátott ingatlanból a szennyvíz közvetlenül a kezelőmedencébe folyik, ahol a biológiai tisztítás végbemegy, illetve a szennyvízben lévő lebegőanyagok és a fölösiszap összegyűlik. A búvó nyílás tetejét leemelve szemrevételezéssel ellenőrizzük, hogy a tartályban a szennyvíz szintje megfelelő-e, valamint ellenőrizzük, hogy a nyílásoknál nincsenek-e lerakódások, továbbá ellenőrizzük azt is, hogy nem alakult-e ki kemény réteg a szennyvíz tetején! Szemrevételezéssel meg kell győződnünk arról is, hogy a kamrák be- és kivezetésének helyeinél és a „pipáknál” nincs-e zsírosodás vagy felgyülemlett úszó iszap. Amennyiben az úszó iszap alsó szintje a „pipa” felső végét megközelíti, az úszó iszapot azonnal el kell távolítani. Az egyéb lerakódásokat hosszú nyelű kefével vagy nagynyomású mosóberendezéssel kell eltávolítani. Évente minimum kétszer ellenőrizzük az iszapszintet! A fölösiszapot évente egyszer érdemes kiemelni és elhasználni. A medencéket szippantás után vízzel vissza kell tölteni. A medenceterekben veszélyes gázok keletkezhetnek, ezért azokba belépni tilos! Ha a medenceterekben szükséges a karbantartás vagy javítás, azokba leürítés és megfelelő szellőztetés után védőfelszerelésben lehet belépni.

Átemelőakna és szivattyú

Szemrevételezéssel állapítsuk meg, hogy az aknában és a szivattyún nincsenek-e lerakódások, ellenőrizzük, hogy a szintkapcsoló megfelelően működik-e. Évente célszerű a szivattyún és a szivattyúaknában lévő esetleges lerakódásokat eltávolítani, ügyelve arra, hogy az esetlegesen lehulló szilárd darabok ne jussanak a rendszerbe. Gyakori hiba, hogy a szintkapcsoló nem kapcsol rendesen a rárakódott szennyeződések miatt, és ezáltal az aknában a vízszint megemelkedik, amely visszaduzzasztja a rendszert, és az oxigénellátás nem lesz megfelelő. Előfordulhat, hogy a szivattyú a lerakódások miatt állandóan bekapcsolva marad, és ez a szivattyú károsodásához vezet.

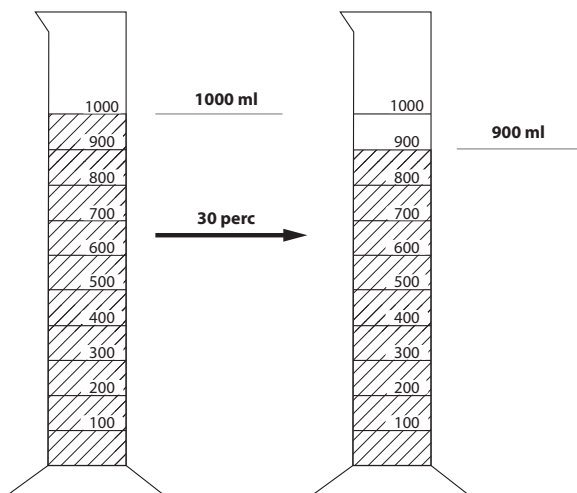
Szikkasztómező

Szemrevételezés során a szikkasztómező környezetében a földfelszínnek csapadékmentes időszakban száraznak és szagmentesnek kell lennie. Ha a szikkasztómező helyszínének környékén, a földfelszínen vizesedés jelenik meg, és az elosztóakna vagy a mintavevő akna feltelik vízzel, az arra utal, hogy a szikkasztómező el van tömődve, túl van terhelve, vagy megemelkedett a talajvíz vízszintje. Eltömődés esetén a szikkasztómezőt nagynyomású mosóval át kell öblíteni a szikkasztómező végén található tisztítónyíláson keresztül. Ha ez nem vezet eredményre, a szikkasztómezőt ki kell bontani, és az eltömődést meg kell szüntetni. Amennyiben ez nem lehetséges, az eltömődött csöveket vagy a kavicsréteget ki kell cserélni. Ha a megemelkedett talajvízszint vagy a rendszer tartósan túlterhelt, egy új szikkasztómezőt kell kialakítani. Abban az esetben, ha a környéken szennyvízszag jelenik meg, arra utal, hogy a szellőző rendszer el van tömődve.

Ahhoz, hogy megállapítsuk, szükség van-e a szennyvíztisztító berendezésből a fölösiszap elvételére, a karbantartási intervallumnak megfelelően ülepedési próbát kell végezni. Az ülepedési próbához meg kell határozni az SV_{30} -at. Az SV_{30} az az iszapmennyiség, amelyet 1000 ml eleveniszap 30 perces ülepedése után mérni lehet. A szennyvíztisztító berendezésben lévő iszapmennyiség mértéke az SV_{30} alapján határozható meg. Az SV_{30} mérését 1000 ml-es álló hengerben végezzük.

A mérésnél a következő lépéseket be kell tartani:

1. Kapcsolja be a levegőztetést – amennyiben nem aktív –, és rövid ideig hagyja az iszapot keveredni!
2. Merítse a mintavételi edényt a tartályba, és vegyen mintát az eleveniszapból!
3. Az iszapmintát töltsé az álló hengerbe az 1000 ml-es jelzésig!
4. Hagyja az álló hengerben a mintát 30 percig keverés nélkül ülepedni!
5. Olvassa le az iszap magasságát, amennyiben a szint >900 ml/l, akkor végezzen iszapmentesítést, azaz ki kell szippantani a tartályból a fölösiszapot.



9. ábra

Ülepedés vizsgálata (saját szerkesztés)

ASIO AS-VARIOcomp szennyvíztisztító család

Az ASIO Hungária Kft. közel húszéves szakmai tapasztalattal és jelentős nemzetközi háttérrel, az egész Európát behálózó ASIOGROUP cégcsoport tagjaként van jelen a hazai piacon. Fő profiljuk a polipropilénből készült szennyvíztechnikai berendezések és szennyvíztisztító telepek forgalmazása és gyártása. Tevékenységük az engedélyezési és kiviteli tervek elkészítésétől a gyártáson át egészen a beüzemelésig terjed, de a karbantartási szolgáltatással is tudják segíteni a hosszú távú, üzembiztos működést. Az általuk forgalmazott technológiák egyre elterjedtebbek, így világszerte számos helyen alkalmazták őket.

Szennyvíztechnikai termékeik mellett (zsír-, olajleválasztó, ipari és kommunális szennyvíztisztító berendezések) foglalkoznak általános tároló- és puffertartályok, valamint esővíz-újrahasznosító rendszerek kivitelezésével, amelyeket megrendelőik igényére szabva, akár egyedi kivitelben is le tudnak gyártani. A drága regionális rendszerek kiépítésével szemben az AS-VARIOcomp tökéletes megoldás a kistelepüléseknek, valamint a magán- és a közületi szféra számára ott, ahol nincs lehetőség közcsonatnára való csatlakozásra, vagy nincs kiépítve a központi szennyvízgyűjtő rendszer. Ezeken a helyeken az AS-VARIOcomp biológiai szennyvíztisztító klasszikus közműpótlóként üzemel, műszakilag és környezetvédelmileg megbízható háttérrel biztosítva a szennyvíztisztítás feladatának költséghatékony ellátásához.



10. ábra

AS-VARIOcomp K (www.asiohungaria.hu)

12. táblázat

AS-VARIOcomp K szennyvíztisztító műszaki adatai (saját szerkesztés)

Típus	Lakosegyenérték (LEÉ)	Q (m ³ /nap)	BOI ₅ (kg/nap)	Méreték (átmérő × magasság) (mm)	Tömeg (kg)	Energiaigény (W)
5K	3–5	0,6	0,24	1320 × 2020	160	60
8K	6–10	1,2	0,48	1480 × 2020	260	80
15K	11–17	2,25	0,9	1700 × 2800	450	110
20K	18–24	3	1,2	1945 × 2810	700	120
5K ULTRA	3–5	0,6	0,24	1320 × 2020	195	150
8K ULTRA	6–10	1,2	0,48	1480 × 2020	275	170
15K ULTRA	11–17	2,25	0,9	1700 × 2800	480	390
20K ULTRA	18–24	3	1,2	1945 × 2810	730	400

13. táblázat

Garantált kimeneti értékek – ASIO VarioComp (saját szerkesztés)

Paraméter	AS-VARIOcomp K	AS-VARIOcomp K ULTRA
BOI ₅ (mg/l)	25	5
KOI (mg/l)	90	40
Lebegőanyag (mg/l)	30	3
P _{összes} (mg/l)	2	2

Az AS-VARIOcomp K alkalmazási területei

Az AS-VARIOcomp K elsődleges alkalmazási területei:

- családi házak,
- motelek,
- éttermek,
- kisebb ipari létesítmények.

Alkalmazhatók olyan lakóhelyeken, amelyek csak ideiglenesen lakottak – például nyaralók, tanyák, vadásházak, ahol nincs folyamatos szennyvízterhelés.



11. ábra

AS-VARIOcomp szennyvíztisztító (www.asiohungaria.hu)

14. táblázat

Műszaki paraméterek – ASIO VarioComp (saját szerkesztés)

Típus	Lakos- egyenérték (LEÉ)	Q (m ³ /nap)	BOI ₅ (kg/nap)	Méretek (H × SZ × M) (mm)	Tömeg (kg)		Teljesítmény felvétel (Kw)	
					N	N/PUMP	N	N/PUMP
30N	25–33	3,75–4,95	1,62	2000 × 2160 × 2830	1250	1320	0,33	1,2
40N	34–44	5,1–6,6	2,28	3000 × 2160 × 2830	1400	1470	0,33	1,2
50N	45–55	6,75–8,25	3	4000 × 2160 × 2830	1750	1820	0,75	1,4
60N	56–70	8,4–10,5	3,6	4000 × 2160 × 2870	1900	1970	0,75	1,6
80N	71–90	10,65–13,5	4,8	5000 × 2160 × 2870	2200	2270	0,75	1,6
100N	91–110	13,65–16,5	6	6000 × 2160 × 2870	2450	2520	1,5	2
125N	111–135	16,65–20,25	7,5	7000 × 2160 × 2870	2700	2770	1,5	2
150N	136–155	20,4–23,25	9	8000 × 2160 × 2870	2950	3020	1,5	2

AS-VARIOcomp N/P és AS-VARIOcomp N/P/PUMP berendezések esetén az elfolyó tisztított víz foszfortartalma nem lehet magasabb, mint 2 mg/l.

15. táblázat

AS-Vario Komp tisztítási hatékonysága (saját szerkesztés)

Paraméter	Kimeneti érték
BOI ₅ (mg/l)	25
KOI (mg/l)	100
Lebegőanyag (mg/l)	25

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés telepítése

A berendezések nem telepíthetők olyan helyre, ahol a berendezés épsége veszélyeztetve van, például földrengésveszélyes, valamint árterületre.

A berendezés beépítését a jóváhagyott engedélyezési vagy kiviteli terv szerint kell elvégezni. Az engedélyezési vagy a kiviteli tervben foglaltaktól eltérni csak a tervező írásos engedélyével szabad.

Munkagödörbe történő telepítés esetén a munkagödör mélységét úgy kell meghatározni, hogy a tervező által meghatározott vastagságú homokos kavics kiegyenlítő rétegnek és a vasbeton aljzatnak is helye legyen. A vasalt szerelőbeton alá a tervező által meghatározott, de min. 10,0 cm vastagságú homokos kavics (szemcsenagyság: 2–10 mm) kiegyenlítő réteg kerül. A betonaljzat kialakítása ± 1 mm simaságú, vízszintes (± 1 –3 ‰ lejtés) felület lehet. A vasalt szerelőbeton felületét a berendezés felfekvő felületének és súlyának függvényében a tervező határozza meg. A berendezés stabilitásához szükséges vasalt szerelőbeton szintjét meg kell határozni. A kiemelt munkagödör kerülete kb. 50 cm-rel legyen nagyobb, mint a beépítendő berendezés kerülete. Magas talajvíz esetén a berendezést körül kell betonozni. A betonozás magasságát a tervező a maximális talajvízszint alapján határozza meg.

Telepítés sorrendje:

1. A munkagödör méreteit és a felhajtóerő szerepét a tervezőnek a talajvízszint figyelembevételével kell meghatározni.
2. A munkagödörben nem lehet talajvíz. Ellenkező esetben le kell csökkenteni annak szintjét az alaplemez szintje alá.
3. A betonalap elkészítése után ellenőrizni kell a betonalap egyenetlenségét (engedélyezett tolerancia ± 1 mm), és az elvégzett mérés eredményét fel kell jegyezni. Abban az esetben, ha az egyenetlenség nem felel meg az engedélyezett toleranciának, a telepítést nem szabad folytatni. Gondoskodni kell a megfelelő tolerancia megvalósításáról.
4. A behelyezés előtt ellenőrizni kell a berendezés állapotát, elsősorban a hegesztéseknél. Esetleges sérülések esetén nem szabad folytatni a telepítést, és kapcsolatba kell lépni a gyártóval/forgalmazóval. A sérüléseket a munkagödörbe történő elhelyezés előtt ki kell javítani.
5. Meg kell győződni arról, hogy a berendezésben nincs idegen anyag vagy csapadékvíz. Az idegen tárgyakat el kell távolítani, a csapadékvizet ki kell szivattyúzni.
6. Meg kell győződni arról, hogy a betonlapon nincsenek tárgyak, kövek, föld stb. Ezeket adott esetben el kell távolítani. Abban az esetben, ha a betonlapról nem lehet eltávolítani ezeket a „szennyeződések”, a telepítést nem szabad folytatni.
7. A műtárgy betonaljzatra történő ráengedése egyenletesen, lassan történjen.
8. A tartály elhelyezését követően a felületeket a szennyeződésektől mechanikus eszközökkel meg kell tisztítani.

9. Ezt követően csatlakoztatni kell a csővezetékeket – be- és kivezetőcsövek – a tartályhoz. A csatlakozási tömítéseket szilikon zsírral kell elvégezni.
10. A berendezés gépészete egy darab kompresszorból áll, telepítése, illetve bekötése (elektromos és levegőszállító csőbekötések) tervező által a tervdokumentáció alapján kell, hogy történjen. Nagyobb berendezéseknél a gépészet több egységből áll (kompresszorok, szivattyúk, vezérlőpanel). Ezek telepítését a megrendelőnek kell elvégeznie, azonban ezek bekötését a gyártó/forgalmazó minden esetben vállalja, és a teljesítést követően egyeztetett időpontban elvégzi. A gyártó/forgalmazó az elektromos berendezések bekötését követően a kontrollpanelen egy első beállítást végez. Az ezt követő üzemeltetés során azonban az üzemeltetőnek kell elvégezni, amihez a gyártó/forgalmazó biztosítja az elektromos berendezések kezelési, illetve karbantartási dokumentumát.
11. Az elektromos bekötést az eredeti csatlakozókábelrel szakszerelőnek kell elvégezni. Körülbetonozáskor a tartályt belülről ki kell merevíteni a beton nyomása ellen. A merevítés szükségességét a tervező határozza meg. A betonozás megkezdése előtt a tartályt fel kell tölteni 1 m magasságig vízzel, majd folyamatosan a betonozás ütemével együtt a vízszint magasságát is emelni kell úgy, hogy a víz szintje a betonozás szintje felett legyen minimum 30 cm-rel.
12. Földdel való visszatöltéskor a tartályt fel kell tölteni 1 m magasságig vízzel, majd folyamatosan a betemetés ütemével együtt a vízszint magasságát is emelni kell úgy, hogy a víz szintje a földfeltöltés szintje felett legyen minimum 30 cm-rel. Az egyes rétegek tömörítését max. 30 cm-es rétegekben – a tervben előírt tömörségi ($Tr\phi$) fokra – kizárólag könnyű tömörítőgéppel (például rázóbéka) lehet végezni, ügyelve arra, hogy a tömörítőgép ne érintse a tartályt. A földtömörítésnél ügyelni kell, hogy a csőbekötések ne sérüljenek. Amennyiben a műtárgy csőcsonkjai a földmunkálatok során sérül, illetve letörik, a gyártó/forgalmazónak nem áll módjában szavatossági javítást végezni, térítés ellenében a gyártó/forgalmazó a hibát kijavítja.
13. Körülbetonozás vagy földdel való visszatöltés esetén a kifolyási magasság felett a tartályokat belülről ki kell merevíteni. A támasztékokat javasolt 0,5 m-ként egymás fölé, vízszintesen, pedig 1,0 m-ként elhelyezni.
14. Födém betonozása esetén a födém alá kell támasztani a tartály beszakadásának elkerülése érdekében.
15. A telepítést követően el kell végezni az MSZ 172-1: 1989 szerinti érintésvédelmi és földelési ellenállás vizsgálatot.
16. A telepítésről, az érintésvédelmi és földelési ellenállásról készült jegyzőkönyvet az üzemeltetőnek meg kell őrizni.

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító üzembe helyezése

Az üzembe helyezést minden esetben a gyártónak/forgalmazónak kell elvégeznie a berendezés betemetése előtt. Az üzembe helyezésnél jelen vannak a kezelőszemélyzet tagjai, akiket az üzembe helyező betanít.

Az üzembe helyezés a következőkből áll:

- teljes ellenőrzés,
- az alap ellenőrzése,
- a személyzet betanítása,
- eredeti dokumentációk átadása,

- üzembehelyezésiterv-javaslat,
- üzemeltetési napló.

Az üzembe helyezésről jegyzőkönyv készül, amely tartalmazza a betanított személyek adatait és aláírásaikat.

A tartály vízzáróságát tömítéspróbával kell ellenőrizni. A vízzárósági próbát a gyártó/forgalmazó a gyártás során hajtja végre, a berendezés vízzáróságát a szavatosság tartalmazza. A szennyvíztisztító berendezés üzembe helyezése elsősorban a biológiai folyamatok beindítását jelenti. A szennyvíztisztító beindítása a légkompresszor berendezés hálózati kábelének elektromos hálózatra történő csatlakoztatását jelenti. A megfelelő csatlakozó kiválasztására a szennyvíztisztító telepítése során kerül sor. A hálózati csatlakozókábel bárminemű sérülése esetén a légkompresszort azonnal húzza ki a csatlakozóból, és gondoskodjon annak szakszerű cseréjéről! A légkompresszor bekapcsolását, valamint a tartály tiszta vízzel történő feltöltését követően meg lehet kezdeni a szennyvíz szennyvíztisztítóba vezetését.

A légszivattyút állandóan bekapcsolva kell tartani, ellenkező esetben a megkívánt hatásfokot nem lehet elérni. A tisztítási hatásfok fokozatosan emelkedik, és körülbelül 4–8 hét alatt éri el a maximális hatásfokot. A maximális hatásfok elérésének idejét azzal lehet csökkenteni, hogy a szennyvíztisztítóba eleveniszapot helyezünk el. Az iszapot a beoltáshoz egy jól működő telepről célszerű beszerezni. Ebben az esetben fel kell venni a kapcsolatot a gyártóval/forgalmazóval.

A próbaüzem célja, feladatai

Célja

A próbaüzem a berendezés végleges üzembe helyezését megelőző – meghatározott ideig tartó – tevékenység. A próbaüzem célja egyrészt a berendezés bejáratása, a tisztítástechnológia paramétereinek beállítása, a berendezés teljesítőképességének gyakorlatban való igazolása, másrészt az egész rendszer optimális üzemeltetési módjának kialakítása.

Feladatai

A próbaüzem során biztosítani kell a rendszer működésének szakmai irányítását és a működéshez szükséges műveletek elvégzését. A próbaüzemeltető feladata a meghatározott cél eléréséhez szükséges műveletek, mérések és vizsgálatok elvégzése, a rendszer működésének értékelése, a beállított paraméterek alapján a végleges kezelési és karbantartási utasítások elkészítése.

A próbaüzem feltételei

A próbaüzem megkezdésének feltétele a berendezés rendeltetésszerű működése. A működést előzetesen üzemi próbákkal kell ellenőrizni, ahol jelen kell lennie a tervezőnek, a kivitelezőnek, a beruházónak, a lebonyolítónak, a majdani üzemeltetőnek és a szakhatóság képviselőjének. Az üzemi próbák során azt kell megvizsgálni, hogy a berendezés a rendeltetésszerű tartós üzemre alkalmas-e.

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés működése

A berendezés technológiai terei:

Előülepítő: Itt gyűlnek össze a berendezésbe érkező szennyvízben található szilárd szennyeződések és az ülepíthető anyagok. Itt raktározódik a szennyvízből származó üledék és a kitermelt aktivált iszap. Ebben a térben mineralizáció megy végbe, a nagy molekulájú anyagok aprózódnak.

Biológiai tér: Mikroorganizmusok elegye, amelyet eleveniszapnak nevezünk, a szennyvízben található szerves és szervetlen anyagokból „táplálkoznak”, amihez a levegő oxigénjét használják. Az eleveniszap tömege növekszik, a vízben található szerves anyagok tartalma csökken.

Utóülepítő: Ülepítéssel az eleveniszap elválik a megtisztított víztől. A valóságban ez egy viszonylag bonyolult kémiai-technológiai folyamat, amely akkor működik, ha optimális mennyiségű levegő van a rendszerbe vezetve, ha az eleveniszap optimális koncentrációja és kora fenn van tartva.

A szennyvíztisztító berendezés technológiai terei egy tartályba vannak integrálva. A tisztítási hatások javítása érdekében az aktivációs térbe egy biomasza-hordozót lehet elhelyezni, ami egy olyan szilárd rács, amelyen fennmaradnak és növekednek az olyan mikroorganizmusok, amelyek az eleveniszaphoz hasonlóan a szennyvízben lévő szubsztráttal (tápanyaggal) „táplálkoznak”. Az átszivattyúzáshoz mamutszivattyúkat használunk (egy cső, amelynek alsó végére levegőt vezetünk, amely fölfelé halad, és egyúttal magával ragadja az átszivattyúzandó folyadékot is).

A szennyvíz az előülepítőbe folyik, ahol a mechanikus, úszó és ülepíthető anyagok kerülnek eltávolításra. Az előülepítőből átfolyó segítségével folyik tovább a mechanikus szennyeződésektől megtisztított szennyvíz az aktivációs térbe, ahol a szennyvíz biológiai megtisztítása megy végbe az eleveniszap és biomasza hordozóján felfogott biomasza segítségével. Az eleveniszapot baktériumok alkotják (autotrófok, heterotrófok, ezen belül nitrifikálók, denitrifikálók: Pseudomonas, Nitrozomonas, Nitrobacter stb. törzsek). A víz és az eleveniszap keveréke a biológiai medencéből a technológiai válaszfalakon található nyílásokon keresztül az utóülepítő térbe áramlik, ahol ülepítéssel az eleveniszaptól elválik a megtisztított víz. A megtisztított víz az I. számú mamutszivattyú segítségével a kifolyótartályba kerül át, ahonnan az a szennyvíztisztítóból távozik. Az ülepített eleveniszap hidraulikus úton kerül visszaforgatásra a biológiai térbe. A főleges, aerob módon stabilizált üledék a II. számú mamutszivattyú segítségével az előülepítő térbe kerül vissza.

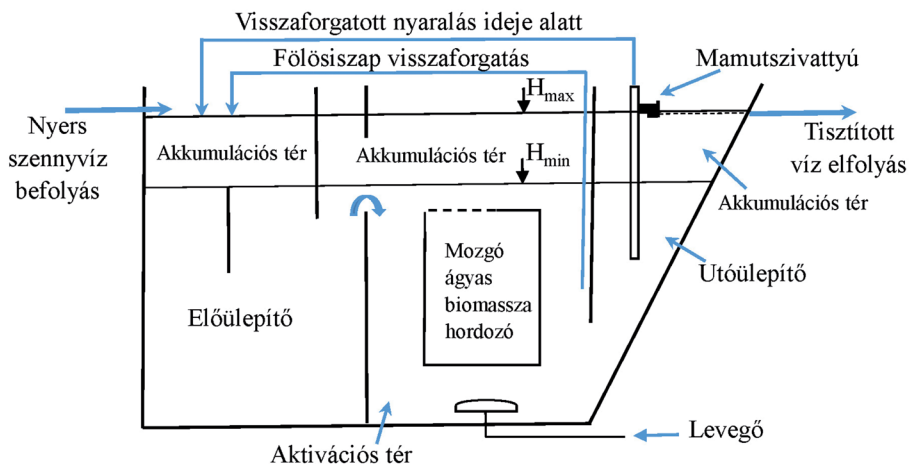
Az akkumulációs tér a nap folyamán a változó vízhozam okozta ingadozások kompenzálására szolgál. A levegőztető által használatos levegőt a légkompresszor biztosítja. A mamutszivattyúk meghajtására a levegőztetőből kiáramló levegő szolgál. A szennyvíztisztítóba befolyó vízmennyiség időszakos korlátozása esetén (például üdülések idején) a megtisztított vizet a kifolyónyíláson keresztül történő kiengedése helyett a cirkulációs csővezetékén keresztül vissza lehet forgatni az ülepítőbe.

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztítók sorba kapcsolása

Amikor 2 db, egyenként 100 LEÉ vagy nagyobb berendezést egymás után sorba kötünk, az első fokozat nagy terhelésű, amelyet egy kisebb terhelésű második fokozat követ.

Mindegyik fokozat saját iszapcirkulációval rendelkezik, így a technológiai folyamat végére az iszapkor az eredeti iszapkornak kb. 2/3 részével növelhető meg, ami jobb hatásfokot eredményez. A berendezés elé érdemes anaerob fokozatot beilleszteni, és ide bevezetni a recirkuláltatott iszapot. Így hatékonyabb foszforeltávolítás érhető el.

Az első fokozatban intenzív a levegőztetés, és kisebb az iszapkor, mint a másodikban. A végbemenő biológiai folyamatok a normál rendszerrel teljesen azonosak.



12. ábra

AS-VARIOcomp egyedi biológiai szennyvíztisztító működési elve (AS-VARIOcomp alapján saját szerkesztés)

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezésben lejátszódó folyamatok

A lakossági szennyvizek összetétele az adott területen élők életvitelétől függ, de általánosságban elmondhatjuk, hogy tisztítás nélkül semmiképpen sem lehet szennyvizeinket élővízbe engedni. A szennyvizek tisztítására legtöbb esetben a fizikai-kémiai és biológiai módszerek kombinációit kell alkalmazni. A nem oldott, lebegő vagy durva darabos részeket célszerű szűréssel, a köveket durva ráccsal, a homokot finom homokfogóval kiülepíteni a szennyvízből a további tisztítást megelőzően. Az aerob biológiai folyamatok során fülösizap keletkezik, amelyet ugyancsak mechanikus módszerekkel kell elválasztani a vizes fázistól.

A befogadó érzékenységétől, vagy ami azzal egyenértékű, arra érvényes határértékektől függően a tisztítás mindig szabályozott módon kell hogy történjen, amit a fenti módszerek kombinációjával kell biztosítani.

A nitrogénvegyületek eltávolítása aerob és anoxikus körülmények térben vagy időben történő váltogatását jelenti. Az ilyen körülmények között az oxikus és anaerob tereken történő iszapátvezetéssel az iszap foszfortartalma jelentősen növelhető kémiai kicsapódás nélkül is. A lakossági szennyvizek olyan összetett rendszert jelentenek, amelyekben a mikroba növekedéséhez szükséges valamennyi tápanyag rendelkezésre áll. Az emberi tevékenység körében kevés olyan termék van, amelynek mennyisége megközelíti a szennyvíz mennyiségét, és egyidejűleg, folyamatosan keletkezik és feldolgozható. Száraz időben a lakossági szennyvíz ténylegesen csak a lakosság folyadékkal együttesen eltávolított hulladékait tartalmazza. Ez a WC-használatból, fürdésből, kézmosásból, mosogatásból, mosásból származik.

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító tisztítási fokozatai

Mechanikus előtisztítás: Célja a berendezés védelme a nagyobb tárgytól. Ezt többnyire egy ráccsal oldják meg, amelyet a berendezés elé építenek be. Ezt a rácsot időnként takarítani kell, a rácsszemét veszélyes hulladék a mikrobiológiai tulajdonságai miatt.

Előülepítés: Célja a lebegőanyagok és a rajtuk adszorbeált anyagok eltávolítása, ezzel csökkentve a biológiai egység terhelését. A tisztítóberendezés terhelése természetesen függ a csatornahálózat hosszától, de ennek értékelésétől és elemzésétől eltekintünk, hiszen jelen esetben nincs szó a szennyvíz csatornában történő utaztatásáról. Nagy szennyvíztisztító telepeken óriási probléma, hogy a szennyvíz fél napig is utazik, mire a tisztítóra érkezik, ezáltal kellemetlen rothadási folyamatok indulnak be. Egy 10 km hosszú gravitációs közcsatorna esetében megfelelő tervezésnél is 3–6 órába telik, míg szennyvíz a csatornán eljut a szennyvíztisztítóba. Esetünkben erről nincsen szó, mert a csatorna nagyon rövid.

Biológiai tisztítási fokozat: Célja a szennyvízben lévő szerves és szervetlen szennyeződések eltávolítása mikrobiológiai folyamatokkal, oxigén segítségével. A folyamatok termékei: szén-dioxid, szennyvíziszap (nitrogén- és foszfortartalmú szervetlen és szerves anyagok, elhalt mikrobák sejtanyagai), nitrogéngáz, nitrit-, nitrát- és szulfátvegyületek.

Utóülepítés: Célja a keletkező szennyvíziszap elválasztása a tisztított szennyvíztől. A szennyvíziszap víz, valamint változó diszperzitású és alakú szilárd részecskék elegye, amely az utóbbiakat szárazanyagban kifejezve kb. 2–9%-ban tartalmazza.

Az előülepítőből a szennyvíz először levegőztetett egységeken halad át. Az aerob, levegőztetett rendszerben történik a szerves anyag eltávolítása. A folyamatot autotróf és heterotróf mikroorganizmusok végzik. A levegő bejuttatása porlasztóval történik, és a levegőztetés célja kettős. Elsődleges célját már említettük: oxidáció. Másik célja az iszap átkeverése, hogy ne ülepedjen ki a berendezésben, és ott ne induljon be rothadási folyamat az anaerob-anoxikus mikrokörnyezetben, a medence alján.

Az ammónia eltávolítását *Nitrosomonas europaeae* baktérium végzi, a folyamat terméke a nitrítion, ezt nitráttá a *Nitrobacter winogradsky* baktérium alakítja. A foszfor foszfát, szervetlen polifoszfát, szerves foszfát (ATP, ADP, AMP) formájában van jelen. Mésszel, alumíniumsókkal ki lehet csapni, előkicsapattal vagy a rendszerben is, de utóbbi esetben számolni kell az iszap mennyiségének növekedésével.

Ellenben a foszfor kritikus mennyiségben is jelen lehet, ami a tisztított szennyvíz esetében már gondot jelenthet, ugyanis a foszfor az élővízben eutrofizácót (tápanyag-feldúsulást) okoz. A tisztítási folyamatot a biomasza, azaz eleveniszap végzi: ebben vannak a mikroorganizmusok. Ezek autotróf vagy heterotróf baktériumok, ezen belül anaerob, aerob vagy fakultatív anaerob mikrobákat találunk a biomaszában. Olyan életközösség alakul ki az iszapban, amely minden egyes tagja a másiktól függ: szimbiózisban élnek a nitrifikálók, denitrifikálók. Az eleveniszap spontán is kialakul, de ehhez lényegesen több idő kell, mint ha egy már jól működő telepről származó iszappal oltanánk be saját rendszerünket.

Kritikus működési feltétel a szubsztrát mennyisége, azaz a szennyvízben lévő eltávolítandó anyag, valamint a hőmérséklet. Értelemszerűen gyorsabbak a folyamatok, ha a hőmérséklet magas, de természetesen a víz hőmérsékletét nem kell folyamatosan hőmérővel mérni, hiszen napszaktól és időjárástól függ a hőmérséklet. (A mosogatáskor és fürdéskor elhasznált meleg víz minden valószínűség szerint kielégítő hőmérsékletre melegíti a vizet.) A mikrobák nagy része mezofil, azaz 20–40 °C-on érzi jól magát, és képes szaporodni, működni.

A berendezés terheléséről már korábban említettük, hogy fontos paraméter a nagy telepek esetében. Terhelésről itt is beszélhetünk, de jelen esetben nem a könnyen bomló szerves anyagok jelentik a nagy problémát, hanem a vízhozam ingadozása. Az emberek nagy része munkába jár, napközben nincs otthon. Ha végigtekintjük a vízhasználatot, akkor láthatjuk, hogy reggel, amikor készülődünk, sokkal nagyobb a vízhasználat, mint délben, amikor csak az inaktív kor-

ban lévő fiatal és idősebb lakók vannak otthon. A másik csúcs este tapasztalható: hazaérkezünk, mosakszunk, fürdünk, főzünk. Hétvégén a takarítás, nagytakarítás jelenti a nagy vízfogyasztást. A szennyvíztisztító berendezésben figyelembe kell venni ezeket az ingadozásokat. Amikor kicsi a vízhozam, megáll a víz a berendezésben, hiszen nincsen szivattyú, ami kiszivattyúzná a benne lévő vizet, de ez nem is lenne célravezető, hiszen akkor az eleveniszapunk el is tűnne. A másik eset, amikor hirtelen megugrik a befolyó víz mennyisége és benne a szubsztrátterhelés: célszerű nagyobb fokozatra állítani a levegőztetést.

Alkalmazásuk további előnye, hogy megakadályozza az iszapduzzadást. Ez a jelenség akkor tapasztalható, amikor kevés tápanyagot találnak a mikroorganizmusok. Tápanyaghiányos közegben ugyanis a mikrobák hosszú, fonalszerű képződményeket növesztenek, hogy elérjék a tápanyagot. Ez megakadályozza a flokkulációt és a flokkulált iszap szűrését.

Gyenge levegőztetéshez nem lehet nagy iszapterhelést (tápanyagban dús iszapot) választani, mert iszapduzzadáshoz vezet. Kiküszöbölésére azt a megoldást választjuk, hogy legyen olyan zóna, ahol jól érzi magát, és olyan is, ahol éhezhet a mikroba. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy anoxikus és oxikus tereken vezetjük át a tisztítandó szennyvizet és az eleveniszapot. Anoxikus rendszerben fog „éhezni” az iszap, hiszen aerob mikrobák részére ebben a közegben csak a nitrátionokban lévő oxigén jelenthet oxigénforrást. Fontos megjegyezni, hogy a berendezésbe érkező szennyvíz nem tartalmaz nitrátionokat, hiszen az emberi biológiai folyamatok eredménye az ammóniumion. A nitrátok a szennyvízben tevékenykedő mikrobák működései során keletkeznek.

A tisztítás terméke a tisztított szennyvíz, szén-dioxid, valamint egyéb gázok. Másik terméke, ami gondot okoz, a szennyvíziszap. A berendezésben kialakított biológiai egységből a víz az utóülepítőbe folyik át gravitációsan, ahol megtörténik a fázisszétválasztás. Ennek lényege, hogy a szilárd részek lefelé ülepednek, a tiszta víz pedig a felső csonkon folyik el.

Természetesen, ha nem vigyázunk, akkor az utóülepítőben is lehet még biológiai folyamat. Kialakulhatnak anaerob helyek, aminek hatására az iszap elkezd rothadni, metán és egyéb gázok keletkeznek, és az iszap felemelkedik. Jól levegőztetett oxikus térből érkező iszap esetében ilyen probléma nem jelentkezik. Az iszapot célszerű évente kétszer eltávolíttatni és elszállíttatni megfelelő helyre. Az ülepítőben összegyűlő iszap térfogata nagy, mikrobiológiai állománya, fertőzősége, szennyezőanyag-tartalma változatos.

A berendezések zavartalan működése és az elfolyó szennyvíz vállalt minőségének biztosítása céljából kerülni kell a következő anyagok bevezetését a berendezésbe:

- Mérgek és toxikus anyagok.
- Festékek, oldószerek és vegyi permetek.
- Nem oldott savak és lúgok.
- Egyéb vegyi anyagok, mint például előhívószerek, rögzítők stb.

Ügyelni kell a fertőtlenítőszerekre: A szaniterhigiénia fertőtlenítőszereit nagyon körültekintően kell alkalmazni. Nemcsak a háztartásban található vírusokat és baktériumokat pusztítják el, hanem a szennyvíztisztítóban található baktériumokat is, amelyek a tisztító folyamatot végzik.

Ügyelni kell a mértéktelenül gyakori mosásra: A szennyvíztisztítóban végbemenő tisztítási folyamatra kedvezőtlen hatással van a hirtelen, nagy mennyiségű mosószereket és tenzideket (néhány mosógépnyi mennyiség gyors, egymást követő időintervallumon belül) tartalmazó víz.

Ügyelni kell a zsiradékokra: A kémiai tényezőkön kívül nagy mennyiségű állati zsírok és növényi olajok is veszélyt jelentenek a szennyvíztisztító jó működőképességére. Bomlásuk során jelentősen savasítják a szennyvizet, és ezzel a szennyvíztisztító biológiája szempontjából nagyon kedvezőtlen környezetet alakítanak ki.

Ügyelni kell a medencéből kiengedett vízre: Nagy mennyiségű tiszta víz, például úszómedencéből vagy esővízgyűjtő medencéből történő kibocsátása a szennyvíztisztítón keresztül általában a mikro-organizmusok kimosását idézi elő, amivel lehetetlenné válik szennyvíztisztító berendezés működtetése.

A csapadékvízet célszerű a szennyvízhálózattól elválasztani, mert ez növeli a térfogatáramot, hígítja a szennyvizet, és tápanyagszegény terek alakulnak ki.

Tápanyagszegény térben „éhezik” az iszap, hosszú, fonalszerű képződményeket növesztenek a baktériumok, ami nem jó. Az úszómedencékben található vizet nem szabad ráengedni a berendezésre.

Az AS-VARIOcomp szennyvíztisztító berendezés kezelése és karbantartása

A berendezés kezelési és karbantartási utasításának fejezeteként ki kell térnie a technológiai berendezések és szerkezeti részek karbantartására. Foglalkoznia kell az iszapeltávolítás és – esetleg – -megsemmisítés kérdésével is. A szennyvíztisztító berendezés szakszerű és biztonságos üzemeltetésével kapcsolatos műszaki, technológiai, biztonságtechnikai és közegészségügyi előírásokat, továbbá az egyes tevékenységek gyakorlásának feltételeit üzemeltetési szabályzatban kell meghatározni. Az üzemeltetési szabályzatnak tartalmaznia kell:

1. az üzemeltetésre,
2. a technológiai folyamatokra,
3. az időszakos ellenőrzésekre és a vizsgálatokra, az üzemi adatok rögzítésére és értékelésére,
4. a személyi feltételekre,
5. a biztonságtechnikai, a baleset-elhárítási és egészségvédelmi óvrendszabályokra és előzetes és időszakos egészségügyi vizsgálatokra vonatkozó szabályokat.

Az üzemeltetőnek rendelkezni kell:

1. A berendezésekre vonatkozó dokumentációval.
2. A munkavédelmi és érintésvédelmi bizonylatokkal.
3. A műszaki átadási és üzembe helyezési jegyzőkönyvvel.

Az üzemeltetési szabályzatban leírtak végrehajtását üzemeltetési naplóban kell vezetni. A naplót a kezelő vezeti, és ide feljegyzi például a mintavételeket, az egyéb hivatalos eseményeket.

A bekapcsolást követően rendszeres ellenőrzéseket és a továbbiakban meghatározott tevékenységeket kell elvégezni.

16. táblázat

Karbantartási igények (saját szerkesztés)

Művelet megnevezése	Időintervallum
Légkompresszor működésének ellenőrzése	naponta
A szennyvíztisztító vizuális ellenőrzése	hetente
Üledék körforgásának ellenőrzése és beállítása	havonta
Üledékmentesítés („szippantás”)	6 havonta
Légkompresszor légszűrőjének tisztítása	3 havonta
Levegőztető víztelenítése	3 havonta
Szennyvíztisztító belső részeinek tisztítása	szükség szerint
Kifolyt iszap eltávolítása	szükség szerint
Mintavétel	szükség szerint

Légkompresszor ellenőrzése: Ellenőrizni kell, hogy a légkompresszor működik-e, szokatlanul nem emelkedett-e meg a hangja, vagy nem jelentkeznek-e egyéb meghibásodás jelei.

Vizuális ellenőrzés: A rendszer vizuális ellenőrzése előfeltétele a szennyvíztisztító sikeres üzemeltetésének.

A fedél felnyitását követően a következőket kell ellenőrizni:

Mamutszivattyú működése: A mamutszivattyú egy vízbe merített cső, amelynek alsó végére levegő van vezetve, aminek segítségével megtörténik a fölösleges iszap visszaforgatása és a megtisztított víz szennyvíztisztítóból történő elszívása. Megfelelő működése esetén a víz elfolyik az adott kifolyónyílásokon keresztül. Zavarmentes működés esetén a kifolyónyílások nem lehetnek behordva. Helytelen működésre vonatkozó gyanú esetén a mamutszivattyút meg kell tisztítani.

Levegőztetés működése: A levegőztető megfelelő működése esetén, az aktiváció felszínén finombuborékos réteg alakul ki. Amennyiben ez nem jelentkezik, ellenőrizni kell a légkompresszor működését, szűrőjének eldugulását, az elektromos csatlakozó kábelét.

Kifolyócsőcsonk ellenőrzése: A kifolyócsőcsonkban nem szabad hordaléknak és egyéb szennyeződéseknek előfordulnia. Ennek oka lehet: erős levegőztetés, túl nagy befolyó térfogatáram, túl sok a víz és kevés a biomassa. Amennyiben ezek előfordulnak, meg kell azt tisztítani. A kifolyócsőcsonkban felgyülemlett víz jelenléte a kifolyócső eldugulására utal. Amennyiben ez tapasztalható, meg kell azt tisztítani.

Utóülepítő szintjének ellenőrzése: Az utóülepítő felszínén kicsapódott üledék fordulhat elő. A kicsapódott üledék rendszeres, nagy mennyiségű megjelenése az utóülepítőben található iszap nagy mennyiségére utal. Ebben az esetben ellenőrizni kell az iszap szintjét, illetve gondoskodni kell a berendezés szippantásáról. A felúszó üledék utalhat továbbá anaerob bomlásra is. A fejlődő gázok felemelik az iszapot az utóülepítő felszínére. Ebben az esetben növelni kell az iszaprecirkuláció mértékét, vagy utólagosan egy anaerob reaktort kell kialakítani.

Az iszap körforgásának ellenőrzése és beállítása: A szennyvíztisztító helyes működéséhez szükséges, hogy a szennyvíztisztító aktivációs terében optimális mennyiségű úgynevezett aktivált iszap legyen. Az aktivált iszapot olyan mikroorganizmusok alkotják, amelyek a szennyvízben található mikroorganizmusokból „élnek”, és a tulajdonképpeni tisztítóhatást fejtik ki. Tekintettel arra, hogy ezek folyamatosan szaporodnak, egy részüket el kell távolítani az aktivációs térből. Az eltávolítás a víz és iszap aktivációs térből való elszívattyúzásával együtt a mamutszivattyú segítségével automatikusan történik. A felúszott iszap eltávolítása egy merítőeszköz segítségével végezhető.

A biológiai térben található iszap mennyiségét ellenőrizni kell:

- Egy nyélre erősített merőkanál segítségével vizet kell kivenni az aktivációs térből, a vízoszlop közepéből, és azt bele kell önteni az Imhoff-kehelybe vagy literes mérőhengerbe.
- A teli Imhoff-kehelyt (vagy a mérőhengert) egyenes talajra kell állítani, és hagyni kb. 30 percen keresztül pihenni.
- Meg kell figyelni, milyen magasságban alakult ki látható határvonal a víz és a fenéken leülepedett iszap között. A megfigyelés eredménye nyújt tájékoztatást az aktivált iszap koncentrációjáról.

Az eleveniszap optimális koncentrációja: A leülepedett iszap térfogata az Imhoff-kehely térfogatának 1/3–1/2-ét teszi ki, ami azt jelenti, hogy körülbelül ugyanannyi iszap lett eltávolítva, amennyi kialakul.

Az eleveniszap alacsony koncentrációja: A leülepedett iszap térfogata kisebb, mint az Imhoff-kehely térfogatának 1/3-a, ami azt jelenti, hogy több iszap kerül eltávolításra, mint amennyi termelődik, ezért az iszap eltávolítását csökkenteni kell.

Az eleveniszap magas koncentrációja: A leülepedett iszap térfogata nagyobb, mint az Imhoff-kehely térfogatának fele, ami azt jelenti, hogy kevesebb iszap kerül eltávolításra, mint amennyi termelődik, tehát a fölősiszap mennyiségét növelni kell.

Nem alakult ki eleveniszap: Nem alakult ki választóvonal a víz és az iszap között, ami azt jelenti, hogy eddig még nem alakult ki az aktivált iszap (ez a szennyvíztisztító beüzemelését követő körülbelül 4–8 héten belül lehetséges), vagy valamilyen más okból eltávozott (például a szennyvíztisztítóra csatlakoztatott kifolyóba egyszerre kiengedett nagyobb mennyiségű tisztító-szer hatására). Mindkét esetben várjon még további egy hetet, hogy a helyzet nem kezd-e javulni (a koncentráció folyamatosan emelkedni fog).

Az eleveniszap nem ülepedett le 30 perc elteltével: Nem alakult ki választóvonal a víz és az iszap között, az iszap a kúp teljes térfogatában megtalálható. Az iszap túlságosan finom, rossz szedimentációs képességekkel rendelkezik. Ez az állapot idővel, a szennyvíztisztító működése során javulni fog.

Az iszap rossz szedimentációs képessége a szennyvíztisztító helytelen terheléséből is következhet (például édesvíz bevezetésével).

Üledékmentesítés: A szenny és a szennyvizek veszélyes hulladékok, és a velük való bánásmód során a törvényes előírásokkal összhangban kell eljárni. Az üledékek kiszippantását éppen ezért csak olyan cégnél szabad megrendelni, akik megfelelő jogosultságokkal rendelkeznek a hulladékok kezelésére.

A fölősiszap kiszippantása szippantókocsi segítségével, a szívókosár ülepítőtér aljára történő helyezésével történik. Az ülepítőtér a szagzáró fedél kinyitását (kiemelését) követően válik elérhetővé. A fölősiszap megfelelő kiszippantásához a szippantó visszafelé járatásával át kell törni az iszapréteg felső kemény burkolatát, és az ülepítőtér tartalmát össze kell keverni, és csak ezt követően szabad végrehajtani magát a tartályba történő szippantást. A szippantókosár behelyezése előtt kapcsolja ki a légszivattyút!

Ügyelni kell arra, hogy a szippantókosár óvatosan legyen az ülepítőtérbe helyezve, hogy az ne lyukassza ki a tartály fenekét vagy a technológiai válaszfalakat.

A szippantást úgy kell elvégezni, hogy az iszap 60–70%-a legyen kiszippantva, a maradék 30–40% recirkulált iszap a berendezésben marad.

Az iszapanyag kiszippantását követően az ülepítőtérbe töltse azonnal fel tiszta vízzel, és kapcsolja be a légszivattyút! A szennyvíztisztító más tartályaiból nem kell kiszivattyúzni semmilyen folyadékot, csakis az ülepítőtérből.

A légkompresszor légszűrőjének tisztítása: A légkompresszor működését a légszűrőn felgyülemlett por ronthatja, esetleg megakadályozza. A por kifűvésével vagy kiszívásával ezt meg lehet akadályozni.

A levegőztető víztelenítése: A víztelenítés során a lecsapódott vagy egyéb módon a levegőztetőbe jutott víz eltávolítása történik. Óvatosan meg kell nyitni a levegőztetőszelepen található csavart, és hagyni, hogy minden víz kifolyjon, amely a levegőztetőben összegyűlt. Abban a pillanatban, hogy már csak levegő távozik a csővezetékéből, a csavart ismételten jó feszesen vissza kell húzni. A légszivattyú berendezésnek a légtelenítés során működnie kell.

Téli üzemeltetéskor fokozottan figyelni kell a tartályokra, és ha jegesedés látható, a jeget fel kell törni.

A szennyvíztisztító belső részeinek tisztítása: A tartály falainak és a kifolyótartály falainak megtisztítása. Szennyeződések és hordalékok kefével és tiszta vízzel történő leöblítéssel távolíthatók el.

A mamutszivattyúk megtisztítása: A nyílásokon lerakódott üledékek csővezeték tisztítására szolgáló kefével távolíthatók el. Az egyes részeket továbbá le kell öblíteni tiszta vízzel. A mamutszivattyú kifolyójának „könyökcsovét” a kifolyótartályban a megtisztítást megelőzően fölfelé kell fordítani.

A kifolyt iszap eltávolítása: A feltöltőtér szintjéből származó üledéket például nyeles merőkanállal lehet kimerni, amit vissza kell juttatni az előülepítőbe.

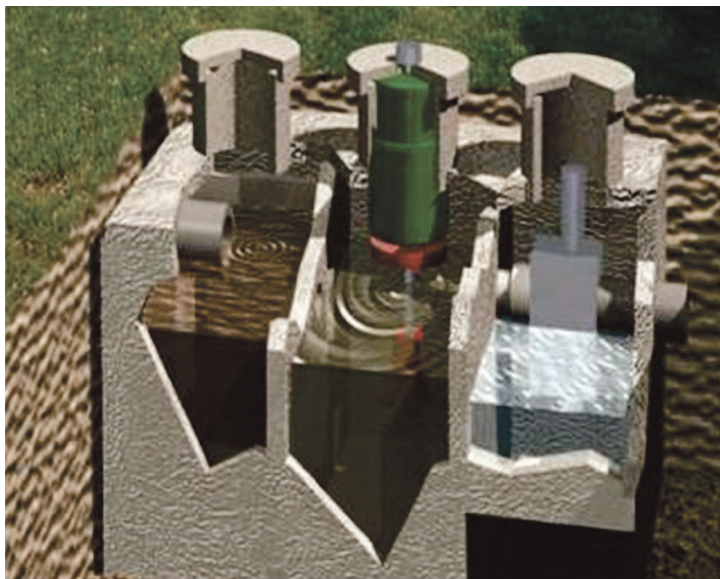
BV-I szennyvíztisztító kisberendezés

A BV-I házi szennyvíztisztító berendezést a csatornaépítés vagy a zárt szennyvíztárolás költségessége hívta életre. Használatával a keletkezési hely közvetlen közelében megtörténik a háztartási szennyvíz megtisztítása úgy, hogy a tisztított víz öntözésre újrahasznosítható vagy alkalmas befogadóba engedhető. Egyszerű szerkezete és alacsony üzemeltetési költsége következtében használata elterjedt. A BV-I szennyvíztisztító a háztartási szennyvizet biológiai úton tisztítja, 95–98% hatásfokkal és nagy megbízhatósággal.

A BV-I szennyvíztisztító technológiai leírása

Szerkezeti kialakítása biztosítja a szennyvíz mennyiségi és minőségi kiegyenlítését, a levegőztető-keverő berendezés a szükséges oxigéntartalmat és az iszap állandó lebegésben tartását, utóülepítő része pedig az állandó, és külön berendezést (iszapszivattyút) nem igénylő iszaprecirkulációt. A BV-I hidraulikus terhelhetősége 1,3 m³/nap, ebből adódóan családi házak, kisebb társasházak, panziók, szállodák, üzemek, irodák kommunális szennyvizeinek tisztítására kiválóan alkalmas.

Működése szagmentes és zajtalan, a kert összképébe beleillik, ezért a lakóházak közvetlen közelében is elhelyezhető. Szippantást csak takarításjelleggel, évi egy alkalommal igényel a kiülepített ásványos jellegű szennyezők és a felúsztatott zsírok eltávolítása végett. A BV-I által megtisztított szennyvíz a hatályos jogszabályokban előírt módon gyökérszórás öntözéssel újrahasznosítható. A BV-I előregyártott vasbeton medencéből és az erre épített technológiai egységből áll. Az előregyártásnak köszönhetően a beépítés helyén gyártás nem történik, csak a vasbeton műtárgy elhelyezése és a technológiai szerelés.



13. ábra

BV-I szennyvíztisztító (www.majoros.hu)

17. táblázat

BV-I szennyvíztisztító műszaki adatai (saját szerkesztés)

Méret	2800 × 1680 × 1800mm
Teljesítmény	180W
Elektromos csatlakozás	230V
Befolyó csatlakozóméret	DN110 PVC cső
Elfolyó csatlakozóméret	DN110 PVC cső
Energiafelhasználás	1 kWh/nap
Hidraulikai terhelhetőség	1,3 m ³ /nap
Tisztítási hatások	KOI _k : 90% BOI _s : 90% Lebegőanyag: 90%
Tisztított szennyvíz elhelyezése	Szikkasztás Gyökérzónás öntözés

A BV-I tisztítási folyamata

A BV-I házi szennyvíztisztító berendezés ún. eleveniszapos technológiával működik. A levegőztető-keverő berendezés mélylevegőztetéssel biztosítja az iszap stabilizálását, és optimális életteret alakít ki a tisztítást végző mikroorganizmusok számára. Alapegysége az előregyártott vasbeton medence, amely levegőztető-keverő berendezéssel és utószűrővel van felszerelve.

A szennyvíz az első, előülepítő vagy ún. anaerob kamrába érkezik, ahol megtörténik a mennyiségi és minőségi kiegyenlítés, valamint az anaerob előrothasztás. Itt történik az ásványos jellegű anyagok (homok) kiülepítése és a zsírok felúsztatása. Az előkezelt szennyvíz a „T” alakú átvezető csövön keresztül halad tovább a levegőztető vagy ún. aerob kamrába. Az átvezető cső alsó szára biztosítja, hogy a továbbáramlás a leghomogénebb rétegből történjen, felső ága pedig az esetleges eldugulás kiküszöbölésére szolgál.

Az aerob kamrában a levegőztető-keverő berendezés biztosítja a szükséges oxigéntartalmat és az iszap állandó lebegésben tartását. A bevitt oxigén mennyisége az Országos Közegészségügyi Intézet mérése szerint 3 g/óra. A levegőztető-keverő berendezés 180 W villamos teljesítménnyel biztosítja az állandó keverést és a levegőbevitelt. Szerkezete rendkívül egyszerű, kopóalkatrészeket (szelepek, dugattyúk) nem tartalmaz, különlegesen korrózióálló. Működése automatikus, állandó kezelést nem igényel.

Az utóülepítőbe kerülő szennyvízből az iszap az alsó, ferde felületekre ülepedik, és visszacsúszik az alsó részen kialakított 300 × 150 mm nyíláson keresztül a levegőztetőtérbe. Ez a kialakítás biztosítja az állandó iszaprecirkulációt külön berendezés (iszapszivattyú) alkalmazása nélkül.

Az utóülepítőben felfelé áramló tisztított víz az utószűrőn keresztül távozik a berendezésből. Az utószűrő kiszűri a még lebegő iszapszemcséket. Az utószűrőn keresztül kiáramló tisztított víz elhelyezésére a lehetőségek:

- gyökérzónás öntözés,
- elszikkasztás.

A BV-I szennyvíztisztító műszaki leírása

A BV-I alapegysége az előregyártott és a telepítés helyére szállított vasbeton medence. Befoglaló méretei: $2,8\text{ m} \times 1,68\text{ m} \times 1,8\text{ m}$. Az előregyárthatóság érdekében a vasbeton medence az alsó síktól $1,15\text{ m}$ -re vízszintesen ketté van osztva. Az alsó medenceelem $1,15\text{ m}$, a felső medenceelem $0,65\text{ m}$ magas. A felső medenceelemen vannak kiképezve a különböző technológiai nyílások, illetve ehhez csatlakoznak a kezelési lehetőséget biztosító dómok és fedlapok.

A medenceelemek anyaga C16-12/k.VZ. beton, $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ osztású, 6 mm vastagságú egysoros hegesztett hálóval megvasalva. A sarkok megerősítése 12 mm átmérőjű betonvassal történik. A dómok és dómfedlapok anyaga azonos betonminőségű a medencével, azonban vasalást nem tartalmaz.

A szennyvíz bevezetésére vaknyílások vannak kialakítva olyan elrendezésben, hogy a szennyvíztisztító a szennyvízcsatornára hossz tengelyével párhuzamosan vagy merőlegesen is elhelyezhető. A használathoz szükséges vaknyílás(ok) kitörése az alkalmazás helyén történik. Az anaerob és aerob kamrák közötti fal felső részén, a felső medenceelemben kiképezve található a „T” alakú átvezető cső elhelyezésére és rögzítésére való 110 mm átmérőjű lyuk.

Az anaerob kamra tetején található a dómakna helyét biztosító 300 mm átmérőjű kezelőnyílás. A dómakna elhelyezése a berendezés telepítésekor történik. Rögzítés céljából a dómakna medenceelemmel érintkező részét cementhabarccsal vesszük körbe. A fedlap külön rögzítést nem igényel. A „T” alakú átvezető cső mellett elegendő hely marad az időszakos tisztításhoz a szippantócsőnek.

Az anaerob kamra hasznos térfogata $1,8\text{ m}^3$.

Az aerob kamra felső síkján az anaerob kamrával azonos módon van elhelyezve a levegőztető-keverő berendezés helyét biztosító dómakna, amelynek felső síkján vannak kiképezve a tartófeszkek, valamint az elektromos kábel bevezetésére szolgáló horony.

Az aerob és az utóülepítő kamrák közötti fal alsó síkján van kialakítva az iszap-visszáramlást biztosító $300\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ keresztmetszetű nyílás.

Az aerob kamra hasznos térfogata $2,5\text{ m}^3$.

Felső részén van beépítve az utószűrő, amely a felúszó iszap összegyűjtésére szolgál. Az utószűrő elhelyezéséhez gyártáskor egy 110 mm átmérőjű műanyag elemet betonoznak be.

Az utóülepítő tetején van kiképezve a 300 mm átmérőjű nyílás, amelyre a szűrőtisztítást biztosító dómakna kerül. A dómakna rögzítése azonos módon történik az anaerob kamráéval.

Az utóülepítő kamra hasznos térfogata $0,8\text{ m}^3$.

A BV-I szennyvíztisztító összes hasznos térfogata $5,1\text{ m}^3$.

A dómaknák külső átmérője 460 mm , belső átmérője 300 mm , magasságuk 400 mm . Anyaguk azonos minőségű beton, mint a medenceelemek, vasalás nélkül.

A dómfedlapok átmérője 520 mm , vastagsága 80 mm . A levegőztető-keverő berendezést tartó dómakna fedlapjának tengelyvonalában van bebetonozva a levegőbeáramlást biztosító szellőző műanyag idom.

A BV-I szennyvíztisztítót földbe süllyesztve helyezzük el.

A terepszintet $0,0$ szintnek választva a főbb szintadatok az alábbiak:

- Munkagödör fenékszint: $-2,35\text{ m}$
- Kavicságy felső sík: $-2,20\text{ m}$
- Tisztított víz kifolyási fenékszint: $-0,80\text{ m}$
- Szennyvíz befolyási fenékszint: $-0,70\text{ m}$
- Vasbeton medence felső sík: $-0,40\text{ m}$
- Dómfedelek felső síkja: $+0,08\text{ m}$
- Amennyiben a szennyvízcsatorna érkezési mélysége nem $0,70\text{ m}$, akkor a fenti szintadatok az eltéréssel korrigálandók.

A BV-I szennyvíztisztító berendezés telepítése

A BV-I házi szennyvíztisztító alkalmas meglévő vagy új épületek, családi házak, panziók, irodák, üzemek kommunális szennyvízeinek megtisztítására. 1,3 m³/nap mennyiséget meghaladó szennyvíz esetében mód van több berendezés párhuzamos kapcsolású beépítésére is. Telepítési helyét úgy válasszuk meg, hogy a későbbiekben azon csak gyalogosközlekedés lehetséges. A nyers szennyvíz, valamint a tisztított víz vezetékeit árokba kell fektetni.

Alaphelyzetben a szennyvíztisztítóhoz 0,7 m mélyen vezetett szennyvízvezeték csatlakoztatható. Ennél mélyebben vezetett szennyvízvezeték esetén a berendezést is mélyebbre kell elhelyezni, hogy a csatlakozó szennyvízvezeték összetalálkozzon a berendezés beömlőnyílásával. Ekkor a berendezés kezelő dómaknáit a terepszintig meg kell hosszabbítani.

Kedvezőtlen talajviszonyok esetén az oldalfalak biztosításáról gondoskodni kell. A berendezés alapozása normál talajviszonyok esetén vízszintes felületűre kialakított, tömörített, 15 cm vastag kavicságyazat. Kedvezőtlen talajviszonyok esetén a szükséges alapozást az adaptáló tervező határozza meg. A vasbeton műtárgy az előregyártó üzemből tehergépkocsin érkezik, és daru helyezi el a munkagödörben.

A vasbeton műtárgy telepítési sorrendje a következő:

- Az alsó medenceelem elhelyezése és a vízszintes elhelyezkedés ellenőrzése.
- Az alsó medenceelem kitakarítása az esetlegesen behullott anyagoktól.
- Az illeszkedő felületek nedvesítése és a tömítőanyag elhelyezése.
- A felső medenceelem elhelyezése és az illeszkedés ellenőrzése.
- A dómaknák és a fedlapok elhelyezése.
- A szennyvíz és a tisztított víz vezetékeinek bekötése és tömítése.
- A levegőztető-keverő berendezés elhelyezése, elektromos bekötése.
- Földvisszatöltés, tömörítés.
- Elektromos ellátás: A BV-I elektromos energiaellátását a normál 230 V-s hálózatról biztosítjuk. A hálózathoz csatlakozás szabványos, földelt dugaszoló aljzaton keresztül történik. A BV-I szennyvíztisztító levegőztető-keverő motorjának szakaszos működését a vezérlőegység biztosítja. A vezérlőegység villásdugóval csatlakozik a hálózathoz. A vezérlőegységet és a keverő-levegőztető berendezést $3 \times 1,5$ mm keresztmetszetű kábel köti össze. A kábelt célszerű a csatornavezeték munkaárkában elhelyezni. A keverő-levegőztető berendezés elektromotorja 220 V névleges feszültségű, 180 W teljesítményű, 2800 1/min fordulatszámú, IP 55 védettségű, F szigetelési osztályú. A névleges motoráram 0,8 A.

Beüzemelés

Az építető feladatai közé tartozik:

- a típuserv adaptálása arra jogosult személlyel;
- a szennyvízvezeték kiépítése;
- a munkagödör elkészítése;
- az alapozás;
- a tisztított víz elhelyezéséhez szükséges műtárgyak elkészítése;
- a földvisszatöltés és tereprendezés;
- elektromos csatlakozási lehetőség biztosítása a vezérlőegység elhelyezéséhez.

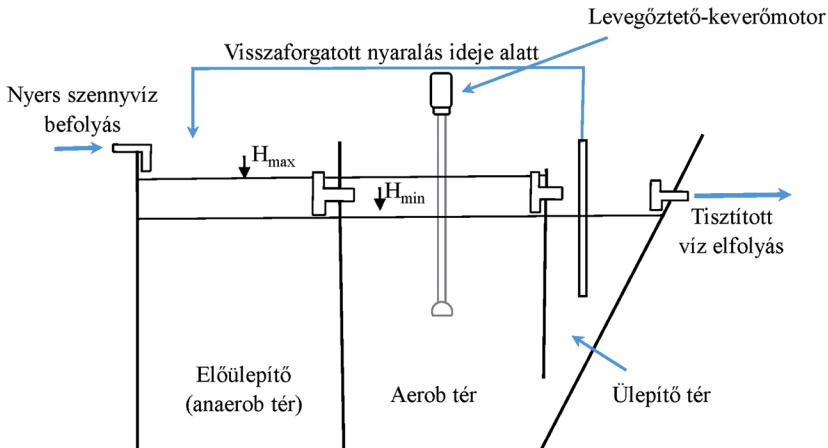
A szállító feladatai:

- a berendezés helyszínre szállítása;
- elhelyezés a munkagödörben;
- elektromos bekötés, beüzemelés.

Adaptálási utasítás: A szennyvíz tisztításával és elhelyezésével kapcsolatos építmények a hatályos jogszabályok szerint építésiengedély-kötelesek. Ennek megfelelően az építtető építésiengedély-kérelmet köteles benyújtani az illetékes elsőfokú építési hatóságnak. A kérelem melléklete az adaptáló tervező által készített engedélyezési tervdokumentáció. A jelen típus engedélyezési terve az építési engedélyeztetési eljárás lefolytatásához szükséges adatokat tartalmazza.

Az adaptáló tervező feladatai:

- beépítési helyszínrajz és kiegészítő műszaki leírás készítése;
- alapozási terv készítése;
- az építtető igénye, valamint a szakhatóságok elvárásainak megfelelő tisztított víz elhelyezésének megtervezése.



14. ábra

A BV-I egyedi biológiai szennyvíztisztító működési elve (a BV-I katalógusa alapján saját szerkesztés)

Üzemeltetési és karbantartási utasítás

A BV-I egyedi berendezés a háztartási szennyvizek tisztítására. Ahhoz, hogy megfelelően működjön és érvényesüljenek tulajdonságai, az üzemeltető, használó részéről be kell tartani a jelen fejezetben foglaltakat.

A szennyvízre vonatkozó előírások: A BV-I csak háztartási szennyvíz tisztítására alkalmas. Megfelelő működése nem garantálható, ha bármilyen ipari tevékenységből származó szennyező anyag terheli.

Ugyancsak károsíthatja az ún. eleveniszapot, ha agresszív háztartási vegyszerek (hipó, sósav, vízkőoldó stb.) nagy mennyiségben, egyszerre kerülnek a szennyvízbe.

Lecsökkenti a berendezés hatásfokát, ha szilárd hulladék kerül nagy mennyiségben (például konyhamalacból) a szennyvízbe. Védjük a környezetet, ha a sütésnél használt zsiradék maradékát a szilárd hulladék közé helyezzük el.

Nem kerülhet a szennyvízbe olyan toxikus anyag (például amatőr fényképezésnél használt vegyszerek), amelyek károsíthatják az eleveniszapot vagy a szennyvíztisztítón áthaladva a környezetet.

A berendezés az alábbi szennyvízminőségi paraméterekig működik az előírásoknak megfelelően:

KOI 450 mg/l
BOI 225 mg/l
Lebegőanyag 300 mg/l

A szennyvíztisztító automatikus működésű, csak időszakos beavatkozást igényel kezelése. Havonta egyszer szükséges ellenőrizni az utószűrő állapotát. Amennyiben a függőleges helyzetű utószűrőt körülvevő víz szintje magasabb, mint az utószűrő belsejében levő vízszint, az utószűrő el van tömődve, tisztítása szükséges a következők szerint:

- Az utóülepítő kamra dőmfedelét emeljük le, és helyezzük a talajra!
- Dugjuk be a locsolótömlőt az utószűrő belsejébe, és erős vízszugárral mossuk az utószűrő palástját legalább 10 percig!
- A dőmfedelelet helyezzük vissza!

Ezzel a szűrőtisztítás befejeződött, a berendezés ismét működik.

Évente egy alkalommal szükséges a berendezés szippantása. Ennek végrehajtása a következőképpen történik:

- Feszültségmentesítsük a rendszert!
- A középso, motortartó dóm fedelét emeljük le!
- Húzzuk szét a kábelcsatlakozót!
- Emeljük ki a levegőztető-keverő berendezést, a levegőztető tengelyével fölfelé állítsuk a talajra, és tisztítsuk meg a levegőztetőtengelyt a ráakódott szennyeződésektől! A levegőztetőtengely végén lévő négyágú fúvóka lecsavarható, és ellenőrizhető a csőtengely furata. Amennyiben a furat el van tömődve, sűrített levegős fúvatással vagy drót áthúzásával kitisztítandó.
- Emeljük le az előülepítő kamra dőmfedlapját is!
- Szippantsuk ki az előülepítőben lévő szennyvizet! Ügyeljünk arra, hogy a felszínen összegyűlt zsírréteget is eltávolítsuk!
- Hasonlóképpen szippantsuk ki a levegőztetőkamra tartalmát! Az alsó összeköttetés miatt ezzel eltávolítjuk az utóülepítő kamra tartalmát is.
- Helyezzük vissza a levegőztető-keverő berendezést, ügyelve arra, hogy lábai az e célra kialakított fészkekbe kerüljenek vissza, majd csatlakoztassuk a kábelt!
- Ellenőrizzük, hogy a levegőztetőgomba nincs-e eltömődve, ha igen, vízszugárral tegyük szabaddá a levegő útját!
- Helyezzük vissza a dőmfedlapokat!
- A hálózati csatlakozót dugjuk az aljzatba, ezzel a berendezést újraindítottuk.

Egyéb előírások:

- A dőmfedlapok eltávolításának ideje alatt tartsuk távol a gyermekeket a szennyvíztisztítótól!
- A szennyvíztisztító és 2 m-es körzete csak személyközlekedésre alkalmas.
- A szennyvíztisztítón végzett munkálatok után alapos tisztálkodás szükséges.

[This page intentionally left blank]

Tisztítani kell a csatornázatlan településeken keletkező szennyvizet a befogadó víztest terhelésének csökkentése és a közegészségügyi kockázatok elkerülése érdekében. Az egyedi szennyvízkezelés tervezési módszertana és az üzemeltetéshez kapcsolódó összefüggések régóta ismertek; az alkalmazás azonban nem elterjedt. A könyv célja, hogy megismertesse az olvasót az egyedi szennyvíztisztítás kérdésével és annak különlegességeivel. Bemutatjuk az általános szennyvíztisztítási koncepciókat és műveleteket, a decentralizált szennyvízkezelés jogi hátterét, amelyet az egyes szennyvíztisztító egységek széles és színes kínálata követ. Ezenkívül az olvasónak lehetősége van, hogy betekintést nyerjen a numerikus modellezésbe is. Reméljük, hogy nemcsak a hallgatók, hanem a tervező és üzemeltető mérnökök, valamint a szennyvízkezelés iránt érdeklődők is hasznos információkat találnak e kiadványban.