

## Felszíni vízbázis ivóvíz tisztítási technológiája

Licskó István\* és Laky Dóra\*

\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (Email: lakydori@gmail.com)

DOI:10.59258/HK.11447



Orbán Veronika emlékére

*Dr. Orbán Veronika élete és hobija a szakmája, a hivatása volt. Az ország legjobb vizes szakembereinek bevonásával egy átfogó víz- és szennyvíztisztítással foglalkozó könyv összeállításán dolgozott, ám 2021-ben, 81 éves korában elhagyott bennünket. A torzón maradt könyv elkészült fejezeteinek közreadásával szeretnénk ezt a tudást megosztani a szakemberekkel, egyben emléket állítani Orbán Verának.*

### Kivonat

A hazai vízkivétel jelentős része felszín alatti vízbázisokból történik; a felszíni vízből származó ivóvíz aránya Magyarországon csupán néhány százalék. Jelen tanulmány áttekinti, hogy a felszíni vizekben jellemzően milyen szennyezőanyagok fordulnak elő, majd bemutatja az azok eltávolítására szolgáló technológiákat. A felszíni vizekben található szilárd állapotú szennyezőanyagok közül először a nagyobb, majd lépésről lépésre az egyre kisebb méretű részecskék eltávolítására kerül sor. A rácsot (gerebet) követően kerül sor a dobszűrésre, majd homokfogókra vezetik a vizet. Rendkívüli szennyezések alkalmával sor kerülhet por alakú aktív szén adagolására, majd a következő technológiai lépés általában a koagulációt és flokkulációt követően a derítés. Ezen technológiák alkalmazásával a kolloid és kvázi-kolloid részecskék vegyszeradagolás segítségével ülepszívő méretűvé alakulnak át, majd ezt követően a derítő műtárgyakban megtörténik eltávolításuk. A következő technológiai lépés a finom fázisszétválasztás, mely során homokszűrőkön vezetik át a derített vizet. A technológiaközi fertőtlenítési lépések (klórgázzal, nátrium-hipoklorittal vagy ózonnal megvalósított fertőtlenítés) folyamán képződő melléktermékek eltávolítása miatt a felszíni-víz tisztítási technológiáknak része kell, hogy legyen a granulált aktív szén adszorpció is. Erre a technológiai lépésre a klórozott szerves melléktermékek, valamint az ózonizálás által fragmentálódott szervesanyagok eltávolítása céljából van szükség. A tanulmányban bemutatásra kerül egy minta-technológiai sor is.

### Kulcsszavak

Felszíni víz, szennyezőanyagok, koaguláció és flokkuláció, derítés, eltávolítási technológiák.

## Treatment technology of surface waters for drinking water supply

### Abstract

The major part of drinking water comes from subsurface water sources in Hungary; the proportion of drinking water originating from surface water sources is only a few percent. The present study reviews the contaminants typically found in surface waters and then presents technologies for their removal. First the solid contaminants have to be removed, where the removal process starts with the bigger particles followed by the smaller ones: after screening, the water goes to drum filter followed by sand trap. In case of extreme pollutions, powdered activated carbon has to be added, followed by coagulation-flocculation and clarification process. During coagulation-flocculation, the colloidal and quasi-colloidal particles are converted to a settleable size by chemical dosing and then removed in the clarification tank. The next technological step is the fine phase separation, where the clarified water is passed through sand filters. Due to the removal of by-products from inter-technological disinfection steps (disinfection with chlorine gas, sodium hypochlorite or ozone), surface-water treatment technologies must also include granular activated carbon adsorption. This technological step is required to remove chlorinated organic by-products as well as organic matter fragmented during ozonation. A sample technology line is also presented in the study.

### Keywords

Surface water, water pollutants, coagulation and flocculation, clarification, treatment technologies.

### BEVEZETÉS

A felszíni vízből származó ivóvíz aránya a nyolcvanas években sem érte el a 15%-ot, napjainkban pedig csupán 5% körüli. A nagymértékű csökkenés oka elsősorban a kilencvenes években bekövetkezett ivóvízfogyasztás csökkenésben keresendő. A Balaton térségében, az Északi-középhegységben, Szolnokon és a Keleti-főcsatorna vizének tisztítására létesített felszíni-víz tisztító üzemek ma is üzemelnek, hiszen az adott térségekben nem állnak rendelkezésre felszín alatti vizek megfelelő mennyiségben és minőségben.

### A FELSZÍNI VIZEKBEN ELŐFORDULÓ SZENNYEZŐANYAGOK

A felszíni vízbázisok körébe tartoznak a tározók, a tavak és a folyók. A felszíni vizekről feltételezhetjük, hogy jelentős oldott oxigén tartalommal rendelkeznek, folyamatos kapcsolatuk van a légtérrel és ennek megfelelően több felszín alatti víztípussal ellentétben nem tartalmaznak metán gázt, kén-hidrogént, agresszív szén-dioxidot, oldott állapotú vas- és mangán vegyületeket, valamint a nyári időszakban – amikor a nitrifikációs folyamatok megfelelő sebességgel lejátsszódhatnak – 0,5 mg/l-nél nagyobb koncentrá-

cióban ammónium ionokat. Mindezek mellett nem szabad azonban megfelekednünk arról, hogy ivóvízellátási céllal létesített tározóinkban éppen a nyári időszakban a fenéklédékben felhalmozódott természetes eredetű szerves anyagok jelenléte miatt felgyorsulnak az anaerob folyamatok és ennek következtében a tározott víz alsó rétegeiben megjelenhet a kén-hidrogén, megnőhet az ammónium ionok, valamint az oldott állapotú vas- és mangán vegyületek koncentrációja.

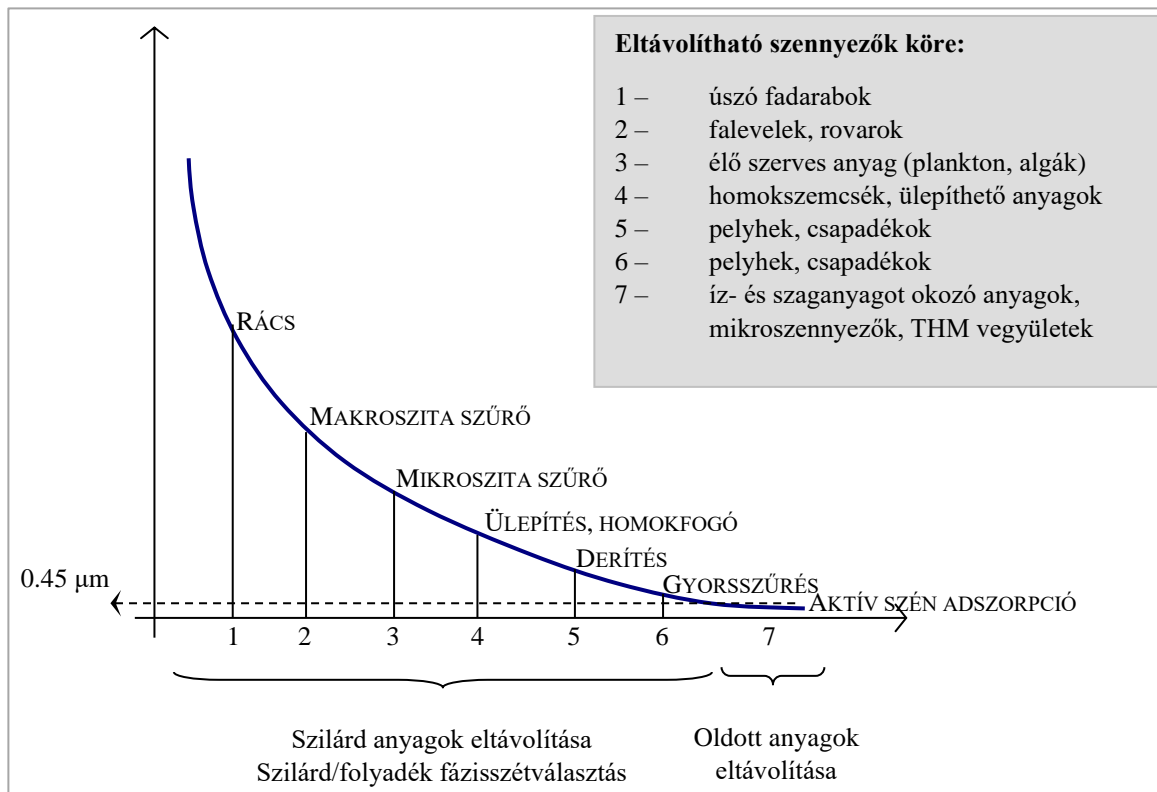
A felszíni vizek tisztításakor elsősorban a következő komponensek eltávolítására van szükség: lebegőanyagok (beleértve az algákat is), mikroorganizmusok, oldott szerves anyagok, íz- és szagrontó anyagok és szerves mikroszennyezők. Időszakosan – az algák jelenléte miatt – algatoxinok is előfordulhatnak egyes vízbázisokban. Téli időszakban, illetve mély tározók alsó rétegeiben időszakosan megjelenhet ammónium ion. Hazai felszíni vizeinkben a szerves mikroszennyezők koncentrációja jelenleg nem közelíti meg az ivóvízszabványban rögzített határértéket, külföldi eredetű folyóink vízében azonban nem zárható ki koncentrációjuk növekedése. A Balatonban, illetve hegyvidéki tározóink vízében megfelelő vízvédelmi, környezetvédelmi intézkedésekkel elkerülhető a szerves mikroszennyezők koncentrációjának növekedése.

Ha a vízkivétel folyókból történik, elsősorban a zavarosság (lebegőanyag és alga), a patogén és nem patogén mikroorganizmusok, a szennyvíz bevezetések szerves anyagai, a humin, lignin és fulvin anyagok, a szerves és

szerves mikroszennyezők, a kőolaj és származékai és az ammónium ionok (elsősorban hideg vizekben) okozhatnak potenciális problémát. Tavak és tározók esetében a potenciális szennyezőanyagok hasonlóak, mint folyókban, azonban a szerves mikroszennyezők kevésbé okoznak gondot. Mély tározókban az előző szennyezőanyagokon kívül a kén-hidrogén okozhat kezelést igénylő problémát elsősorban a tározó mélyebb rétegeiből származó vízben.

### SZILÁRD SZENNYEZŐANYAG TÍPUSOK ÉS ELTÁVOLÍTÁSUKRA ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIAI LÉPÉSEK

Az 1. ábra áttekintést ad a vízkezelés során alkalmazott szilárd/folyadék fázissztávlasztási technológiákról. Az ábrán a teljesség kedvéért szerepel az aktív szén adszorpció is, azonban ez a technológia nem sorolható a szilárd-folyadék fázissztávlasztási technológiák közé, hiszen oldott szerves anyag eltávolítására alkalmas. Általánosságban megállapítható, hogy az első öt technológia elsősorban felszíni vízkezelésben alkalmazott eljárás (a derítés bizonyos esetekben előfordulhat felszín alatti vizek tisztításakor is), melynek célja, hogy a vízben található nagyobb méretű szilárd szennyeződések, vagy a technológia során szilárdra alakított szennyezők jelentős részét eltávolítsuk. Ezeket az eljárásokat soroljuk a durva fázissztávlasztási eljárások közé. Ezután kerülhet csak sor a finom fázissztávlasztásra, a gyorszűrésre, mely mind a felszíni, mind a felszín alatti vizek tisztítási technológiájában megtalálható.



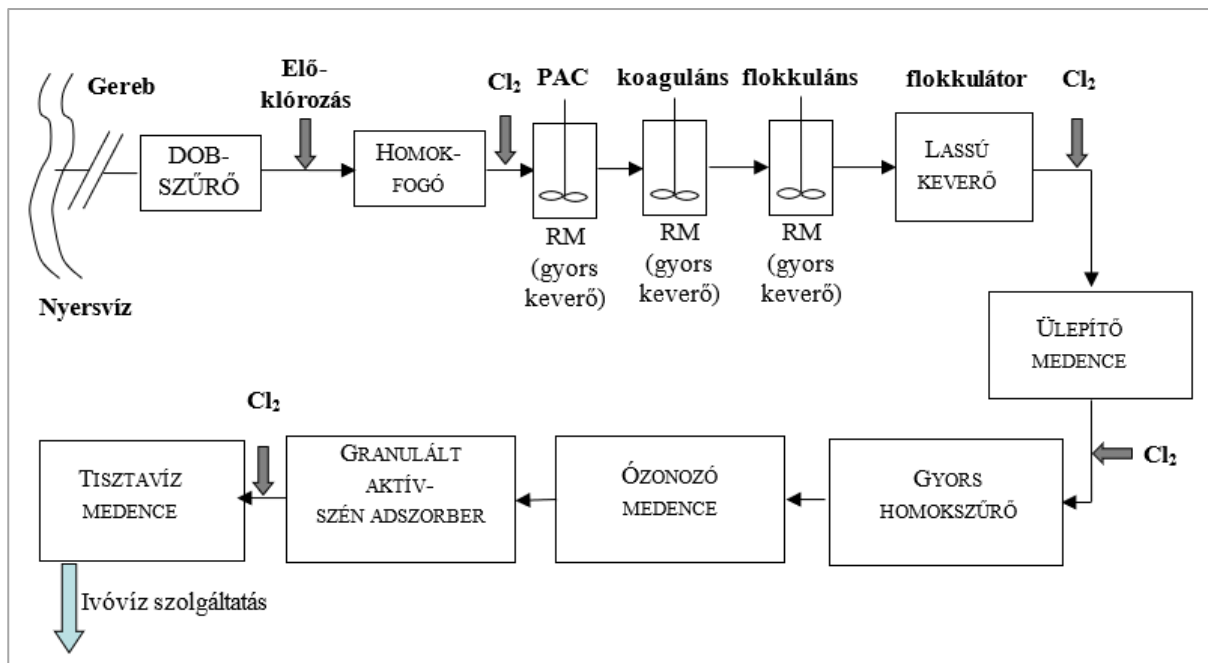
1. ábra. Szilárd/folyadék fázissztávlasztási technológiák áttekintése (Öllös 1987)

Figure 1. Solid / liquid phase separation technologies (Öllös 1987)

## FELSZÍNI-VÍZ TISZTÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK ALAPJAI

A következőkben egy komplex felszíni-víz tisztító üzem folyamatábrája kerül bemutatásra (2. ábra). Természetesen a technológia kialakítása minden esetben a nyersvíz minőségétől függ, de a bemutatásra kerülő technológiai sor jó példája annak, hogy a felszíni víztisztító üzemek általá-

ban milyen technológiai egységeket tartalmaznak. A blokk-sémát követően az egyes technológiai egységek alkalmazásának indoklása, valamint az adott technológia működtetésével kapcsolatos – elsősorban hazai – tapasztalatok kerülnek bemutatásra. Az egyes technológiai egységek alapvető szerepének bemutatásánál ismertetésre kerülnek a leggyakrabban alkalmazott technológiai műtárgyak.



2. ábra. Felszíni-víz tisztító üzem folyamatábrája  
Figure 2. Technological scheme of surface water treatment plant

### Víz kivétel

A felszíni vízbázis jellege alapvetően befolyásolja a vízkivétel helyét és jellegét. Eltérő szempontokat kell figyelembe venni a vízkivételi műtárgy telepítésénél és kialakításánál attól függően, hogy a vízbázis folyó, illetve sekély, vagy mély állóvíz. Folyók esetében kerülni kell a pangó, kis áramlási sebességet biztosító mederrészeket, de sok esetben a sodorvonalba sem telepíthetjük a vízkivételi műtárgyat a hajózás miatt. Rekreációs célra is használt sekély tavak (pl. Balaton) esetében a parttól távol célszerű elhelyezni a vízkivételi egységet, hogy a fürdőtavak vízszennyező hatása kevésbé jelenjen meg a víztisztítási technológiára vezetett vízben. Mélyebb hőmérsékleti rétegzettséggel jellemezhető állóvizeknél a mélység szerinti vízminőség változást célszerű figyelembe venni a vízkivételi műtárgy kialakításánál.

Bár az ivóvízellátásban felhasználásra kerülő felszín alatti vizek kitermelésekor is fontos, hogy hová és hogyan telepítjük az adott vízbázis területén a kutakat, a felszíni vizek esetében a vízkivételi műtárgy helyének megválasztása, valamint kialakításának módja a vízműbe jutó víz minőségét lényegesen nagyobb mértékben befolyásolja. Korábban Magyarországon figyelmen kívül hagyták azt a tényt, hogy nagy folyóknál alapvetően eltérő minőségű víz található a két parton és a sodorvonalban pl. a mellékfolyók vizének nem tökéletes elkeveredése miatt. A vízkivételi műtárgy rossz telepítésének egyik példája a Fővárosi Vízművek Víztisztító Gyáregysége számára tervezett vízkivételi műtárgy a Duna bal partján. A vízkivételi műtárgy közel volt ugyan a víztisztító egységekhez, de vízminőség

szempontjából rendkívül kedvezőtlen helyen alakították ki. A Duna hidraulikai viszonyai miatt ugyanis a Vág, a Nyitra és a Garam folyók vízgyűjtő területéről származó – elsősorban ipari eredetű – szennyezőanyagok lényeges elkeveredés nélkül a Duna bal partján vonulnak le, és több mint 30 évig komoly nehézséget okoztak az említett víztisztító üzem működtetésében.

Domb- és hegyvidéki tározóink egy része ivóvízellátási céllal létesült. A vízkivételi műtárgyak a völgyzáró gátak közelében – ahol a legnagyobb vízmélység (18-22 m) mérhető – létesültek. A vízkivételi műtárgyak általában négy különböző mélységben rendelkeznek vízkivételi lehetőséggel. Ez azért fontos, mert az időszakosan nagy alga egyedszám miatt a felső néhány méteres vízréteg a vízkezelés szempontjából kedvezőtlen vízminőséggel rendelkezik. A nyári időszakban – elsősorban a víz hőmérséklet növekedése miatt – a fenékréteg közelében felgyorsulnak az anaerob viszonyokat erősítő folyamatok, és ennek következtében egyre magasabban elhelyezkedő vízrétegekben jelennek meg az ivóvízszabványban meghatározott határértékeknél nagyobb koncentrációban az oldott állapotú vas, mangán és ammónium vegyületek, valamint a kén-hidrogén. Fentieknek megfelelően a nyári időszakban sem a felső, sem a legalsó vízréteg minősége nem tekinthető kedvezőnek az alkalmazásra kerülő víztisztítási technológia szempontjából. Minél több magasságban (mélységben) van lehetőség a vízkivétel kialakítására, annál nagyobb az esély arra, hogy a legjobb minőségű víz kerüljön a vízkezelési technológia következő egységeibe.

Folyók és sekély tavak vízkivételi műtárgyaiból szivattyúk továbbítják megfelelő csővezetékken a kiemelt felszíni

vizet a víztisztító üzembe. A szivattyúk megválasztásánál figyelembe kell vennünk, hogy a vízigények tág határok között változhatnak, de a víztisztítási technológiára kerülő vízmennyiséget nem célszerű rövid idő alatt nagy mértékben megváltoztatni. Különösen a gyors vízhozamnövelés okozhat nehezen kezelhető vízminőség változást a derítő műtárgy elfolyó vizében. Célszerű frekvencia váltóval felszerelt szivattyúkat alkalmazni a kis lépésekben megvalósítható vízhozam változtatások biztosítása érdekében.

### Durva fázissztétválasztás

A durva fázissztétválasztást megvalósító technológiai egységek közé soroljuk a rácsot, a szitaszűrőt (általában dobszűrőt), a nagyobb méretekkel rendelkező algák eltávolítására alkalmas mikroszűrőt és a homokfogót. Ezen technológiai megoldásokat felszíni vízkezelés során alkalmazzuk, ugyanis a felszín alatti vizeink nem tartalmaznak olyan méretű szennyezőanyagokat, amelyeket ezekkel az eljárásokkal kellene eltávolítanunk.

### Rács

A rács (gereb) a nagyobb átmérőjű, nagyobb térfogatú úszó tárgyak visszatartását hivatott elvégezni. Mindenféle felszíni vízből történő vízkivételnél alkalmazni kell. Feladata a nagyobb méretű úszó, lebegő tárgyak távol tartása a víztisztítási egységektől (pl. fatörzsek, gallyak, halak, mindenféle darabos hulladék). Szilárd anyag visszatartó képessége a pálcaköz függvénye. Többnyire fix beépítésű, kézi tisztítású rács kialakítására kerül sor.

### Dobszűrő

A gerebet követően – vízminőségtől függően – szükség lehet szitaszűrő (többnyire dobszűrő) alkalmazására. Feladata a vízben található kis sűrűséggel és szélsőséges méretekkel rendelkező szennyező anyagok elválasztása a víztől. Ilyen szennyezések lehetnek pl. a falevelek vagy műanyag fóliák. Két típust különböztetünk meg:

- Folyamatos működtetésű, folyamatos tisztítású, atmoszférikus nyomáson működő dobszűrő (3. ábra)

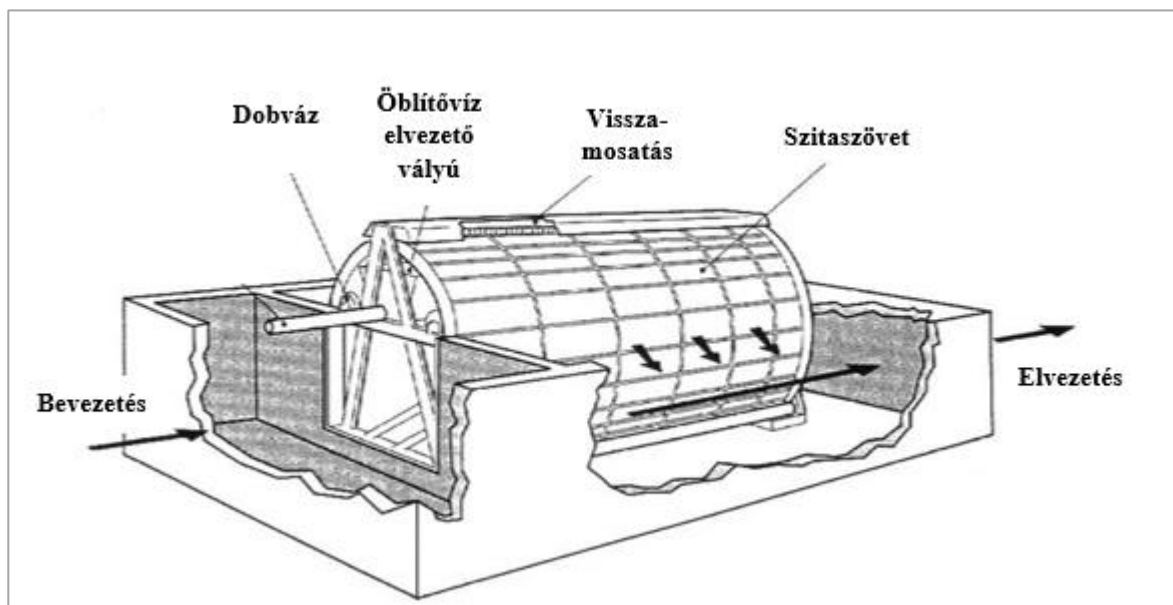
- Zárt, nyomás alatti, szakaszos működésű (minimum két egység) dobszűrő

Az atmoszférikus működtetésű nyitott szitaszűrő tisztítása folyamatosan megoldható vízszűrő alkalmazásával. A nyomás alatti zárt szitaszűrő csak szakaszos üzemeltetéssel működtethető. Ennek megfelelően minimum két egység kialakítása szükséges, ugyanis tisztításához az adott egységet ki kell vonni az üzemeltetésből, a túlnyomást meg kell szüntetni, hogy a szitaszövet tisztítása elvégezhető legyen.

A hetvenes évek elején a vízkezeléssel foglalkozó szakemberek (Pandey és társai 2014) nagyon nagy várakozással tekintettek a mikroszita szűrők (nem tévesztendő össze a mikroszűrő membránokkal) alkalmazása elé, melyek elsődleges feladata az algák visszatartása volt. A gyakorlat azonban azt mutatta, hogy a várakozásokkal ellentétben a mikroszűrők nem alkalmasak a kívánt mértékű alga eltávolításra, és visszamosásuk hatékonysága is elmaradt a várakozásoktól. A beruházási és üzemeltetési költségek nem voltak arányban az eredményekkel, a mikroszűrők széleskörű elterjedésére és alkalmazására sem országosan, sem világszerte nem került sor.

A makroszita szűrő szitaelemének nyílásmérete 0,3-2,5 mm. Az ilyen méretű makroszita bizonyos szuszpendált anyagokat, úszó vagy félig úszó anyagokat, állati vagy növényi hulladékokat, rovarokat, ágot, fűvet stb. tart vissza. A mikroszita szűrő nyílásmérete a 23-65 µm tartományba esik. Az ilyen méretű szitával a nagyon finom szuszpendált anyagok (pl. plankton) távolíthatók el (Öllös 1987).

A 3. ábra egy nyitott makroszita szűrő felépítését és működési elvét mutatja. A dob a tengely alatti felületre merül a vízbe. Forgás közben a lerakódott szennyeződés a szita belső oldalán a vízfelszín fölé kerül, ahonnan aztán az öblítő vízszűrő azt az elvezető vályúba mossa. A dob nyitott vége és a nyersvízbevezető csatorna betonfala között vízzáró csatlakozás szükséges, nehogy a nyersvíz a dobot megkerülhesse (Öllös 1987).



3. ábra. Nyitott makroszita szűrő (Hall és Hyde 1992)  
Figure 3. Open drum filter (Hall and Hyde 1992)

### Előfertőtlenítés

Az előfertőtlenítés ugyan nem tartozik a durva fáziszétválasztási technológiák közé, azonban ebben a fejezetben szükséges említést tenni róla, hiszen a durva fáziszétválasztás műtárgyainak bakteriológiai védelmére szolgál. A dobszűrőt követi az előfertőtlenítés (többnyire előklórozás, de gyakran alkalmaznak ózonos kezelést is), melynek célja annak megakadályozása, hogy nagyszámú mikroorganizmus szaporodjon el a víztisztító műtárgyakon, hiszen felszíni vízkivétel esetében – szemben a mélysegi vizet kezelő technológiákkal – a kitermelt nyersvíz jelentős számban tartalmazhat kórokozó mikroorganizmusokat. A technológia elején végzett klórozás veszélye, hogy a vízben jelen lévő magas szervesanyag koncentráció miatt az egészségre veszélyes THM (trihalo-metán) és AOX (adszorbeálható szerves halogenidek) vegyületek nagy mennyiségben képződnek. Ezek eltávolítását a technológia további lépcsőiben biztosítani kell (pl. aktív szén felületén történő adszorpcióval).

### Homokfogó

Ezután a víz a homokfogóra kerül, ahol a vízkezelés szempontjából nagy sűrűségű (ülepíthető) szemcséket távolítják el a vízből. Alkalmazásának célja a technológia további műtárgyai forgó, mozgó részegységeinek védelme a homok, és homokhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkező anyagok koptató, erodáló hatásától. A homokfogó alkalmazását még a hetvenes években is csaknem minden felszíni-víz tisztító üzem szerves tartozékának tekintették hazai szakmai körökben (Tolnai 2008), kivételt a hegyvidéki tározókra telepített vízművek jelentettek. Így pl. a hetvenes évek elején átadott Balatonszéplaki Vízműben is helyet kapott a homokfogó, teljesen feleslegesen. Egy későbbi rekonstrukció során ezért megszüntetésre is került ez a műtárgy. Kétségtelen tény, hogy a Balatonban nagyon gyakori felkeveredési jelenségek miatt a víztisztító rendszert időnként hirtelen nagy lebegőanyag terhelés éri. Ez a lebegőanyag azonban nagyon kis szemcseméretű, kolloid diszperziót alkot a vízzel, és a homokfogókban, vagy a derítőnek nevezett ülepítőben szokásos tartózkodási idők mellett nem ülepedhet ki a vízből. Az említett tulajdonságokkal rendelkező lebegőanyag dominan-

ciája esetén – ahogy azt a gyakorlat is bizonyította – nem érdemes homokfogót létesíteni, mert a beruházási és az üzemeltetési költségek nincsenek arányban az elérhető tisztítási hatásokkal, vagy a további technológiai egységek kényes (mozgó, forgó) alkotó elemeinek védelmével.

A homokfogó létesítésének szükségességével kapcsolatos szemléletben lényeges változást hozott a nyolcvanas évek elején kiadott, a kezelésre kerülő felszíni víz minőségét is figyelembe vevő műszaki irányelv (MI-10-262-1:1985), mely a homokfogó létesítésének szükségességét a szélsőséges vízjárású, gyakran durva lebegőanyagot is nagy mennyiségben szállító folyókra telepítendő felszíni-víz tisztító üzemekre korlátozza. Ennek az az alapvető oka, hogy a derítő alkalmas mindazon durva lebegőanyag eltávolítására, melyeket a homokfogó hivatott visszatartani. Az említett műszaki irányelv (MI-10-262-1:1985) elkészítésének idején még nem vették figyelembe, hogy a koagulációs – flokkulációs folyamatokat követően a szilárd – folyadék fáziszétválasztás első lépéseként az ülepítés alternatívájaként a flotálás is alkalmazható. Ebben az esetben viszont szinte minden folyóvízre telepített felszíni-víz tisztító üzemben szükséges a homokfogó, mert így a nagy sűrűségű, durva lebegőanyag eltávolítása nem a flotáló egység lebegőanyag eltávolításra kijelölt részében következik be. A flotáló egység kényes részeinek védelme igényli a durva lebegőanyag előzetes eltávolítását.

A homokfogók kialakításukat tekintve hosszanti átfolyásúak. Kialakításra kerülnek levegőztetett homokfogók is, bár alkalmazásuk a felszíni-víz tisztítási technológiákban korlátozott. A levegőztetés során vízbe beoldódó gázok a derítőben jelentős mértékben csökkentik az alumínium- vagy vas(III)-hidroxidok ülepedési sebességét. A homokfogó aljára kiülepedő szilárd anyagot kotró juttatja a zompba, ahonnan felhasználásra, vagy lerakásra elszállítják.

A kiülepedő homokszemcsék különböző átmérőire tartozó ülepedési sebességeket kvarchomok esetében az 1. táblázat mutatja be. Látható, hogy 0,01 mm átmérőjű homokszemcse még alig ülepszik, 0,05 mm-es szemcseméretnél pedig már elfogadható az ülepedési idő (Tolnai 2008).

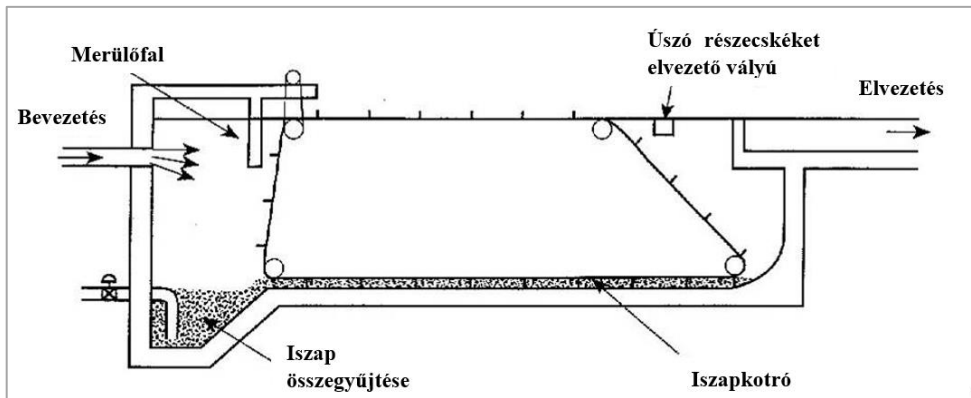
1. táblázat. Az átmérő hatása az ülepedési sebességre 25 °C-on, 2650 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű kvarchomok esetében (Tolnai 2008)

Table 1. The effect of diameter on settling velocity at 25 °C in case of 2650 kg/m<sup>3</sup> density quartz sand (Tolnai 2008)

Szemcseátmérő [mm]	1,0 m függőleges út megtételéhez szükséges idő
1,0	10 s
0,5	19 s
0,1	2,1 min
0,05	2,7 min
0,01	1,8 h
0,005	5,7 h

Míg a nagy sűrűséggel rendelkező szilárd szennyező anyagok megfelelő méretezés esetén kiülepednek a homokfogóban, a víznél kisebb sűrűségű, vízzel nem elegyedő fo-

lyadékok és egyéb anyagok (zsírok, olajok) flotálódnak, és megfelelő eszközökkel lefölozésre kerülnek. A kiülepedő homokot kotró szerkezettel továbbítják a zompba (4. ábra).



4. ábra. Homokfogó (Hall és Hyde 1992)  
Figure 4. Sand trap (Hall and Hyde 1992)

### Por alakú aktív szén adagolása

A következő technológiai lépés a rendkívüli szennyezések idején alkalmazásra kerülő por alakú aktív szén (PAC) adagolása. A vízbázis vizében átlagos vízminőségi viszonyok mellett jelenlévő szerves anyag eltávolítás részben a koagulációs-flokkulációs folyamatokkal előkészített szilárd-folyadék fázisszétválasztás (derítés és szűrés), részben a granulált aktív szén adszorberen megtörténik. A por alakú aktív szén alkalmazása csak rendkívüli vízszennyezések idején indokolt.

Az adagolást célszerű keverős reaktorban végezni, mechanikus keverést megvalósítva, 100-300 fordulat/min sebességgel, 4-5 perc tartózkodási időre méretezve. A keverő feladata az adszorbensként adagolt aktív szén por tökéletes elkeverése a vízzel. Az aktív szén por adagolására rendkívüli szerves szennyezések esetén kerül sor, hogy tehermentesítsük a granulált aktív szén adszorbent. Az aktív szén szemcséken továbbá a technológia ezen pontjáig képződő THM és AOX vegyületek adszorbeálása is megtörténik. Az aktív szén apoláros tulajdonságokkal rendelkező anyag, ezért vízzel történő elegyítése nem egyszerű. Célszerű kis mennyiségű meleg vízben szuszpendálni, és így adagolni a tisztítandó vízhez; szokásos adagolandó mennyiség a szerves anyag szennyezettség függvényében 10-100 g/m<sup>3</sup>.

A por alakú aktív szénét célszerű a koagulálószer előtt a vízbe juttatni. Tekintettel arra, hogy az aktív szén apoláros, a koaguláns pedig poláros tulajdonságokkal rendelkezik, eltérő jellegű szerves anyagok eltávolítását valósítják meg. Az aktív szén por szemcséinek nagy része a kolloid, kvázi-kolloid mérettartományba sorolható, így víztől való elválasztásukhoz (hatékony ülepítés és szűrés) alumínium- vagy vas(III)-hidroxid pehelybe történő beépülésük feltétlenül szükséges. Ez pedig a leghatékonyabban úgy valósítható meg, ha a koaguláns adagolása előtt juttatjuk az aktív szén port a vízbe. Így biztosíthatjuk, hogy az aktív szén por részecskék úgy jelenjenek meg a koagulánsból képződő alumínium- vagy vas(III)-hidroxid részecskék számára, mintha a felszíni víz természetes lebegőanyagok lennének.

A por alakú aktív szén részecskék adszorpciós kapacitása – ellentétben az adszorberekben alkalmazott granulált aktív szén szemcsékkel – a tisztítási folyamatban nem használható fel 100%-ban. Tapasztalatok szerint az aktív szén por adszorpciós kapacitásának 25-35%-a kihasználatlan marad. Az

aktív szén port is tartalmazó derítő iszap víztisztítási folyamatba történő visszavezetése „friss” aktív szénpor megtakarítást eredményez.

### Koaguláció

A kolloid mérettartományba eső, nehezen ülepsző szennyezők eltávolítása érdekében koagulálószer (többnyire alumínium- vagy vas(III)-sók) adagolása szükséges. A koagulálószer adagolásával a szuszpendált aktív szén részecskék is kiülepszővé válnak. A keverős reaktorban a víz tartózkodási ideje 1-1,5-2 perc, a keverés intenzitása érje el a 100-300 fordulat/perc értéket.

Koagulánsként jelenleg alapvetően három anyagtypust adagolnak: egyszerű alumínium-sót (alumínium-szulfátot), vas(III)-sókat (vas(III)-szulfátot, vagy vas(III)-kloridot), illetve poli-alumínium-sót. Az egyszerű alumínium-só és a vas(III)-só a vízbe jutva hidrolizálnak, melynek következtében a víz pH értéke – a víz pufferkapacitásának függvényében – kisebb vagy nagyobb mértékben csökken. Ezzel szemben a poli-alumínium-sók, melyek részlegesen polimerizált vegyületek, csak nagyon kis mértékben csökkentik a kezelésre kerülő felszíni víz pH értékét. Fentiekből következik, hogy az egyszerű alumínium-sókat és a vas(III)-sókat olyan felszíni vizek tisztításához célszerű felhasználni, melyek pufferkapacitása viszonylag nagy (pl. Balaton, Duna, Tisza), míg a poli-alumínium-sókat a Mátrában kialakított, kis pufferkapacitással rendelkező tározók esetében célszerű alkalmazni.

A koagulánsok pH változtató hatását célszerű figyelembe venni alkalmazásukat megelőzően. Az egyszerű alumínium-sók, valamint a vas(III)-sók pH csökkentő hatása fontos a Balaton vizét használó víztisztító üzemekben, ugyanis a 8,0-nál nagyobb pH-val (és nagy pufferkapacitással) rendelkező Balaton-víz klórral történő fertőtlenítése kevésbé lesz hatékony. Amennyiben a pH értékét hatékonyan csökkentő koagulánsokat alkalmazunk (egyszerű alumínium- és vas(III)-sók), a klórral történő hatékony fertőtlenítéshez szükséges kedvezőbb pH értékek kialakulására lesz lehetőség. A mátrai tározók vizének tisztításakor azonban a hagyományos alumínium-sók és a vas(III)-sók olyan mértékben csökkenthetik a tisztításra kerülő víz pH értékét, mely a vízelosztó hálózatban korróziót eredményez. Ennek megfelelően a mátrai tározók vizének tisztításánál poli-alumínium-sókat célszerű alkalmazni.

### Flokkuláció

A kolloid, kvázi-kolloid mérettartományba sorolható szilárd részecskéket – közöttük az algák egy részét is – magukba záró alumínium- és vas(III)-hidroxid mikropelyhek csak aggregálódásukat követően alkalmasak egyszerű szilárd-folyadék fázisátválasztásra (üleptetés, flotálás, szűrés homokszűrőn). Az aggregálódás (flokkuláció) elősegítése érdekében flokkulálószer adagolására is szükség lehet. A flokkulánsok intenzív, gyors bekeverése a koaguláltatott vízbe a harmadik keverőreaktorban történik. A bekeverő reaktorban a javasolt tartózkodási idő 1-1,5-2 perc, a keverés intenzitása 100-400 fordulat/perc ideális esetben.

A flokkulánsok olyan polimerek, melyek a hosszú szénláncon nagy elektronegativitású elemet (pl. nitrogént) tartalmazó funkciós csoportokkal (pl. -NH, -NH<sub>2</sub>) rendelkeznek. A fém-hidroxid mikropelyhek -OH atomcsoportjai, valamint a nagy elektronegativitású elemet tartalmazó funkciós csoportok között hidrogénhid kötések jönnek létre, és ennek következtében a mikropelyhek lényegében egy hosszú láncra fűződnek fel.

Bár a mikropelyhek aggregálódását a gyors keverés viszszaszorítja, a vizsgálati eredmények (*Rebhun 1990*) és a tapasztalatok azt igazolják, hogy a flokkuláns adagolását gyors keverés közben célszerű megvalósítani. Az 1-1,5 percnél nem hosszabb ideig tartó gyors keverés biztosítja a flokkuláns egyenletes eloszlását a vízben, és lehetővé teszi, hogy a mikropelyhek gyorsan kapcsolatba léphessenek a flokkuláns funkciós csoportjaival. A rövid ideig tartó gyors keverést 15-20 perces lassú keverésnek kell követnie (flokkulátor). A lassú keverésnek az a feladata, hogy a már kialakult pelyhek szétverése nélkül biztosítsa a pelyhek további aggregálódását, növekedését.

A flokkuláció optimális megvalósítását tehát két különböző sebességű, és ennek megfelelően különböző energia-igényű keveréssel biztosíthatjuk. A kétféle keverés segítségével alakulnak ki viszonylag rövid idő alatt a mikropelyhekből az egyszerű szilárd-folyadék fázisátválasztásra alkalmas pelyhek. A kétféle keverést természetesen külön-külön műtárgyban célszerű megvalósítani, és külön műtárgyban kerül sor a szilárd-folyadék fázisátválasztásra is. Alapanyaguk tekintetében a flokkulánsok lehetnek szerves és szervetlen anyagok. A XX. század hatvanas éveinek közepéig csaknem kizárólag a szervetlen anyag alapú aktivált kavasavat alkalmazták. Az említett flokkuláns előállítás és alkalmazása nem volt problémamentes. Instabil jellege miatt (oldott anyag, szilárd állapotú változata nem ismeretes) előállítását követően rövid időn belül fel kellett használni. Nagyon gyakran már az adagoló csővezetékben géjesedett, használhatatlanná téve a vezeték. Más esetekben stabilnak mutatkozott, ilyenkor azonban a pehelynövelő képessége volt minimális. Ezek a kellemetlen tulajdonságai tették indokolttá felváltását szerves polimerekkel, melyek lehetnek természetes és szintetikus termékek.

A természetes eredetű szerves polielektrolitok keményítő-, cellulóz-, vagy alga-alapúak. Előnyük a természetes alapanyag, hátrányuk a viszonylag gyenge hatékonyság. Közülük leggyakrabban alkalmazott a karboxi-metil cellulóz, mely tapéta ragasztóként is ismert.

A szintetikus polielektrolitok alapvetően három csoportba sorolhatók. A kationaktív polielektrolitok vízbe kerülve részleges hidrolízisük következtében pozitív elektromos töltéssel rendelkező funkciós csoportokat tartalmaznak. Ezek a polimerek alkalmasak a víz negatív töltésű kolloid, kvázi-kolloid méretekkkel rendelkező lebegőanyagainak semlegesítésére, ivóvíztisztításban történő alkalmazásukat azonban egészségügyi okokból nem engedélyezték. A kationaktív polimerek monomerjei rákkeltő vegyületek. Ezeknek a monomereknek a polimerizációja nem teljeskörű, így a polimer termékben viszonylag nagy mennyiségű rákkeltő tulajdonságokkal rendelkező monomer található. A kationaktív polimerek azonban széleskörű felhasználásra kerülnek a szennyvíziszap víztelenítésének előkészítésekor.

Amennyiben a vízhez adagolt polimer nem hidrolizál, és nem rendelkezik elektromosan töltött funkciós csoportokkal, nem-ionos polimerrel van dolgunk. Ez a polimer nem tudja a kolloid, kvázi-kolloid mérettartományba sorolható méretekkkel rendelkező lebegőanyagok elektromos töltését megváltoztatni, de tartós kapcsolatot alakít ki az alumínium-, illetve a vas(III)-hidroxidokkal, biztosítva a mikropelyhek nagyon gyors növekedését. Az elektromos töltéssel nem rendelkező nem-ionos polimerek funkciós csoportjai, valamint az alumínium- vagy vas(III)-hidroxidok között hidrogénhid kötések hoznak létre tartós kapcsolatot. A nem-ionos polimerek monomerjei nagyon jó hatásfokkal polimerizálódnak, a termék monomer tartalma elhanyagolhatóan kicsi. A nem-ionos polimerek monomer tartalmára vonatkozóan szigorú határértéket határoztak meg (*Rebhun 1990*), melynek betartását a forgalomba kerülő termékek esetében rendszeresen ellenőrzik.

Az anionaktív polimerek a vízhez adagolva nem hidrolizálnak, és negatív elektromos töltésű funkciós csoportokkal rendelkeznek. Ezek a funkciós csoportok részben elektrosztatikus kötések, részben hidrogénhid kötésekkel létesítenek a pozitív töltésű alumínium- vagy vas(III)-hidroxid mikropelyhekkkel. Az anionaktív polimerek a kationaktívakkal ellentétben önállóan nem képeznek pelyheket, és ennek megfelelően a kolloid, kvázi-kolloid rendszer koaguláltatására önmagukban nem alkalmasak. Az ivóvíztisztításban elsősorban anionaktív polielektrolitokat alkalmaznak. Az anionos polimerek monomer tartalma a hatékony polimerizálás miatt nagyon kicsi. A termék monomer tartalmát szigorú határérték alapján rendszeresen ellenőrzik.

Jelenleg több száz kationos, nem-ionos és anionos polimer található kereskedelmi forgalomban különböző fantázianevekkel. Vannak olyan termékek, melyek optimális pehelynövelő hatásukat enyhén savas pH tartományban fejtik ki, a termékek döntő többsége azonban a  $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,0$  tartományban a leghatékonyabb. Forgalomban vannak olyan polimerek is, melyek a leghatékonyabb pehelynövelő hatásukat 10,0-nél nagyobb pH értékeken fejtik ki. Felszíni-víz tisztításnál mind a nem-ionos, mind az anionos polimerek jó hatásfokkal alkalmazhatók, természetesen azok közül célszerű választani, melyek a  $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,0$  tartományban a leghatékonyabbak.

A három vegyszer (por alakú aktív szén, koaguláns, flokkuláns) adagolása tehát gyors keverés (RM-rapid

mixing) alkalmazásával történik. A kémiai és fizikai-kémiai folyamatok leghatékonyabb megvalósítását biztosító mechanikus gyors vegyszerbekeverő egységek alkalmazása nem gyakori a víztisztító üzemeknél. A többkevesebb hatékonysággal rendelkező vegyszerbekeverő csőreaktorok beépítése jelentős előrelépésnek tekinthető a korábbi állapotokhoz viszonyítva, de még nem tekinthető megfelelő mértékűnek. Magyarországon az említett háromféle anyag kezelendő vízbe adagolása jelenleg az esetek többségében nagyon kezdetleges módon valósul meg, és ennek következtében az adott komponensekből jelentős túladagolás válik szükségessé a megfelelő tisztítási hatás eléréséhez.

### Flokkulátor

Ezt követően flokkulátor (lassú keverő) alkalmazása szükséges, melynek célja a pozitív töltésű nano-részecskével bevont lebegőanyagok, valamint az önmagukkal részben aggregálódott nano-részecskék (mikropelyhek) szilárd-folyadék fázisztválasztásra alkalmas pelyhekké növelése. Az alkalmazott keverési sebesség 4-8 fordulat/perc, a tartózkodási idő 12-18 perc.

A megfelelő hatékonyságú flokkuláció biztosításához a flokkulációt különálló műtárgyban, a flokkulátorban célszerű megvalósítani. A jelenlegi magyarországi gyakorlat azonban nem valósítja meg ezt a műszaki szempontból reális igényt. A derítő medencék egy-egy kijelölt térrészt „nevezik ki” flokkulátornak, melynek – a MÉLYÉPTERV-típusú derítők kivételével – reális alapja nincs. A valódi flokkulátor-tér hiánya az ülepedési képesség csökkenését eredményezi.

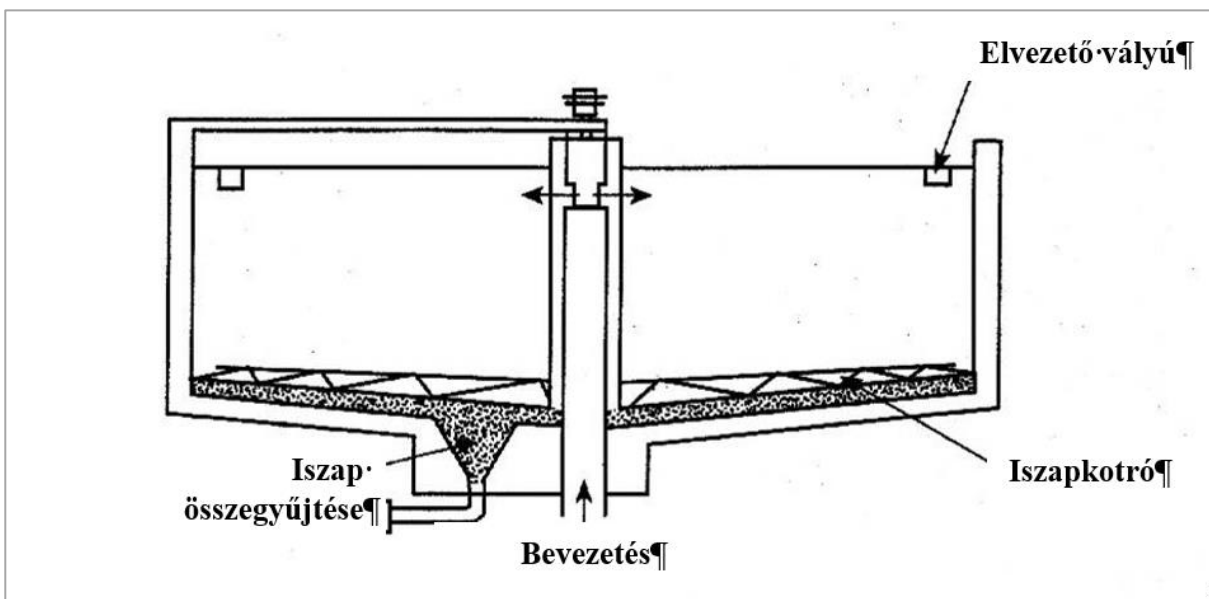
Annak ellenére, hogy a flokkulátornak nem feladata a képződő pelyhek ülepedése, a műtárgy alján jelentős iszapképződésre kerülhet sor. A flokkulátorok tervezésekor ezt a lehetőséget célszerű figyelembe venni, és ennek megfelelően a rendszeres iszapelvtétel lehetőségét biztosítani kell.

### Derítés

A derítés fizikai, kémiai, valamint fizikai-kémiai folyamatok összessége, mely magában foglalja a koaguláció és flokkuláció, bizonyos oldott (elsősorban oldott szerves) anyagok adszorpcióját, a kolloid, kvázi-kolloid méretekkkel rendelkező szilárd anyagok pehelybe zárását, üleptetővé, flotálhatóvá alakítását, az egyszerű szilárd-folyadék fázisztválasztás (üleptetés, flotálás) hatékony megvalósulását. Bonyolult, rendkívül gyorsan végbemenő kémiai, fizikai-kémiai folyamatok hatékony megvalósulása szükséges ahhoz, hogy a szilárd-folyadék fázisztválasztás üleptetés vagy flotálás formájában a megfelelő műtárgyakban bekövetkezzen.

A szűrést megelőző fázisztválasztás Magyarországon kizárólag üleptéssel történik. A flotálást hazánkban ma az ivóvízkezelésben nem alkalmazzák. Mind a hosszanti, mind a függőleges átfolyású üleptítők használata elterjedt Magyarországon. A hosszanti átfolyású üleptítők téglalap alaprajzú műtárgyak, és a homokfogóknál ismertetett elvek alapján működnek. Az 5. ábra egy függőleges átfolyású üleptítőt mutat be: a kör alaprajzú műtárgy középső részén vezetik be a vizet, és a leülepedésre addig kerül sor, amíg a víz a műtárgy szélén elhelyezkedő elvezető vályúba nem jut. Az ábrán bemutatott kialakítás szerint a lassan forgó iszapkotró vezet a zombpba a műtárgy aljára leülepedett szennyeződések.

A hatvanas évektől uralkodóvá vált a kör keresztmetszetű, lebegő iszapfüggőnyt tartalmazó – és ennek megfelelően függőleges átfolyású – módosított Greaver-reaktorok (közismert nevén MÉLYÉPTERV-derítő) létesítése. A MÉLYÉPTERV-típusú derítők egyeduralmát nagy ritkán a VIZITERV tervei alapján készült szintén függőleges átfolyású KORRIDOR-, illetve CYCLOFLOC-típusú derítő színesítette.



5. ábra. Kör keresztmetszetű üleptítő (Hall és Hyde 1992)

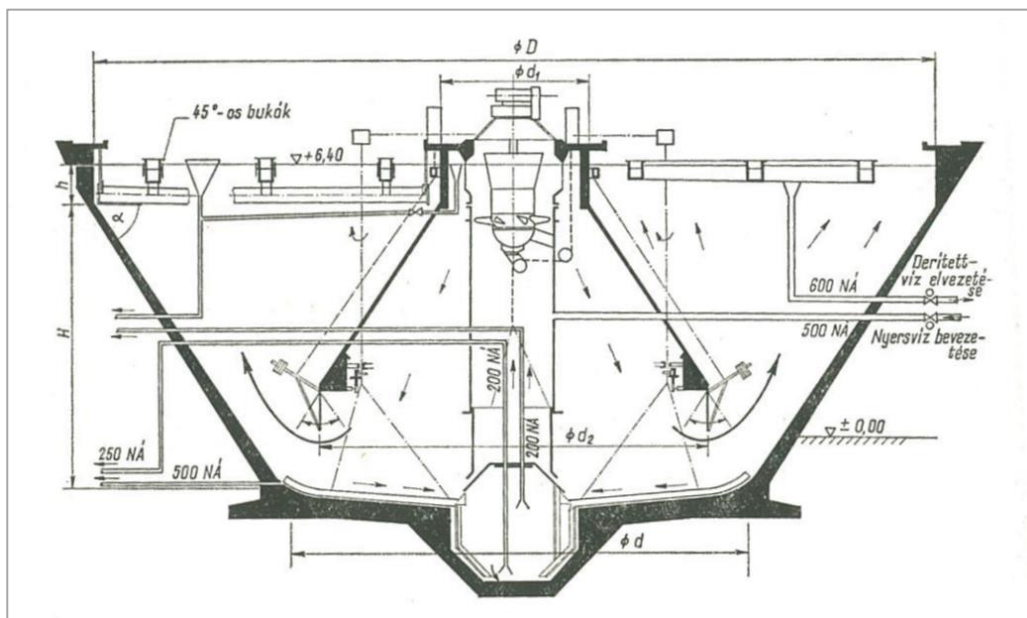
Figure 5. Circular sedimentation tank (Hall and Hyde 1992)



Az említett műtárgyak nem véletlenül kapták az „ülepítő” helyett a „derítő” nevet. A konstruktőrök szándékai szerint a „derítő” többfunkciós műtárgy ellentétben az „ülepítő”-vel. A tervezői elgondolások szerint a derítőben kell lejátszódnia a koaguláció befejező szakaszának és teljes egészében a flokkulációnak, valamint az ülepítésnek. A 6. ábra mutatja be a MÉLYÉPTERV-típusú derítőt. A műtárgy az előzőekben vázolt elvek szerint működik, tehát a műtárgy közepébe vezetik be a nyersvizet, melyhez előzetesen vegyszert (koagulálószer) adagoltak. A lassú keverési fázis ezt követően nem külön reaktorban játszódik le a derítés előtt, hanem magában a derítőben alakították ki a flokkulátor teret a belső csonkakúp alatti pelyhesítő térben, ahol a víz kb. 20-30 percet tartózkodik. A csonkakúpon kívüli térben a tartózkodási idő 2-3 h. Ezen műtárgyak tehát flokkulátorként és ülepítőként funkcionáltak. Az ülepítés hatékonyságát a lebegő iszapfelhő jelenléte intenzifikálta (Öllös 1987).

A lebegő iszapfüggőnyt tartalmazó derítők kör keresztmetszetű ülepítők, melyekben a víz áramlása letről felfelé történik. Működésük lényege, hogy a pelyhek aggregálódása következtében olyan vastagságú iszapfelhő alakul ki,

amelynek a sűrűsége már elég nagy ahhoz, hogy a felfelé tartó vízárammal együtt ne ússzon fel, és ne folyjon el az ülepítőből, azonban az iszapfelhő mennyiségét úgy kell szabályozni, hogy az ne is üledhessen le az ülepítő aljára (7. ábra). A műtárgy aljáról felfelé haladó pelyhek ehhez a lebegő iszapfelhőhöz kapcsolódnak. A lebegő iszapfüggőnyt tartalmazó derítők működését tehát nagymértékben befolyásolják a műtárgyban lejátszódó hidraulikai folyamatok. A viszonylag vastag iszapfelhő (1,5-2 m) kialakítása és stabilizálása, fenntartása csak megfelelő felületi terhelés mellett valósítható meg. Az optimálisnál kisebb vízsebességek az iszapfelhő vékonyodását, elfogyását, a nagyobbak pedig a pelyhek iszapfüggőnyből történő felúszását, az ülepített vízben való megjelenését eredményezik. A stabil iszapfelhő nagy jelentőséggel rendelkezik a lebegőanyagok visszatartása szempontjából: a nem kellő mértékben flokkulált pelyhek a viszonylag sűrű iszapfelhőben kapcsolódnak az ott tartózkodó nagyobb pelyhekhez. A lebegő iszapfüggőny lényegében „megszűri” az áthaladó vizet, visszatartja a lebegőanyag jelentős részét.



6. ábra. MÉLYÉPTERV-típusú derítő (Öllös 1987)  
Figure 6. MÉLYÉPTERV-type clarifier (Öllös 1987)

A felszíni-víz tisztító üzemek beruházási költségeinek csökkentése szempontjából kulcskérdés a derítők (ülepítők) felületi terhelésének nagysága. Adott térfogatú víz egységnyi idő alatt történő átbocsátása esetén a hasznos felület és a felületi terhelés szorzata állandó szám (ez az átbocsátott víz térfogata), tehát nagyobb felületi terheléshez kisebb műtárgy felület, és ennek megfelelően kisebb műtárgy térfogat is tartozik. Ha tehát sikerül olyan kialakítást megvalósítani, amellyel nagyobb felületi terhelés érhető el (és az ülepítés határfoka így is megfelelő), akkor kisebb műtárgyak létesíthetők, csökkenthető a vízmű beruházási költsége. Ez azért fontos, mert a felszíni-víz tisztító üzemekben a legkisebb felületi terheléssel a derítő (ülepítő) műtárgyak rendelkeznek, azaz ezek a kapacitást meghatározó technológiai egységek.

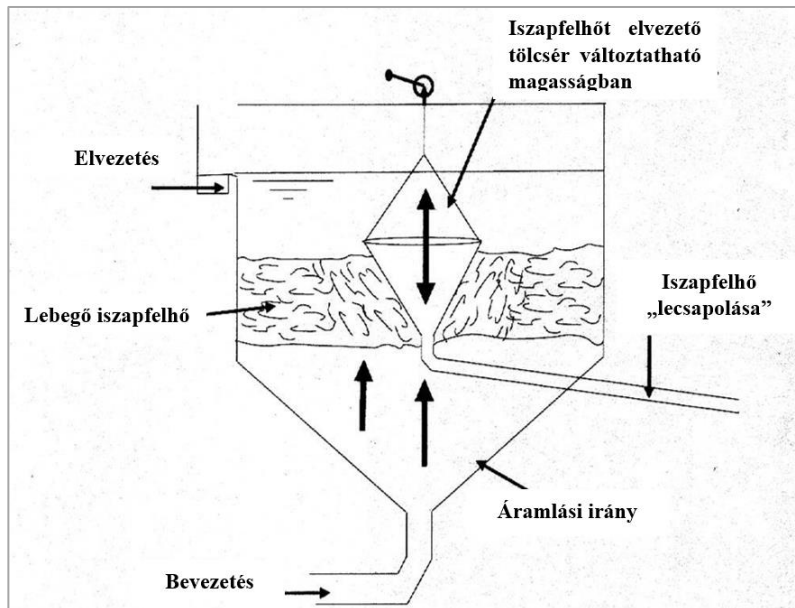
A derítő (ülepítő) műtárgy felületi terhelése közvetett és közvetlen beavatkozásokkal növelhető. A közvetett beavatkozások közé tartozik a koagulánsok és flokkulánsok

adagolásának, valamint bekeverésének megfelelő kialakítása, önálló műtárgyként flokkulátor létesítése. A közvetlen módszerek közé tartozik a koaguláció és flokkuláció során kialakuló pelyhek sűrűségének növelése segédanyag adagolásával (pl. homokpor – CYCLOFLOC-eljárás), vagy a derítő (ülepítő) műtárgyban uralkodó hidraulikai viszonyok az üledés számára kedvező megváltoztatása (pl. lamellák, csökötegek beépítése).

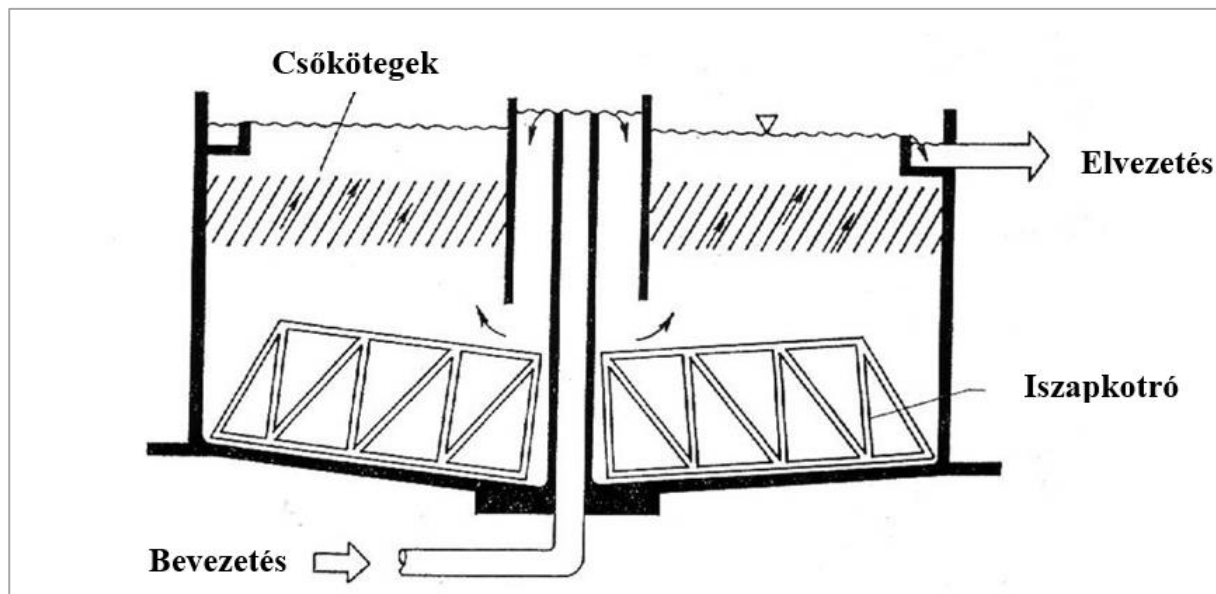
A CYCLOFLOC-eljárás elve az, hogy a kialakuló pelyhekbe nagy sűrűségű adalékanyagot építünk be, és ennek következtében a függőleges áramlású ülepítőben lényegesen nagyobb felületi terhelés (azaz a felfelé áramló víz nagyobb sebessége) érhető el, hiszen a szennyező anyagokat magukba záró pelyhek is a szokásosnál nagyobb sebességgel ülednek. Az eljárás segítségével 5,0-5,5 m/h felületi terhelést lehetett kielégítő ülepített-víz minőség mellett elérni. A szellemes megoldás – az eljárás magyar szabadalom

(Tolnai 2008) – az elérhető nagy felületi terhelés ellenére nem tudott átütő sikert elérni. Ennek egyik oka a viszonylag nagy mennyiségű homok adagolásának nehézsége, a legértékesebb homok-frakció visszaforgatásának megoldatlan-

sága, valamint a segédanyag és a derítőszer egymáshoz viszonyított helyének rossz kiválasztása volt. Problémát jelentett továbbá, hogy különleges gépészeti berendezések kialakítása volt szükséges a homokpor eróziós hatása miatt.



7. ábra. Lebegő iszapfelhős ülepítő (Hall és Hyde 1992)  
Figure 7. Sludge blanket clarifier (Hall and Hyde 1992)



8. ábra. Csőköteges derítő (Hall és Hyde 1992)  
Figure 8. Lamella clarifier (Hall and Hyde 1992)

A fejlett ipari országokban a hatvanas évek végén kezdték alkalmazni az ülepítők teljesítményének növelésére a lamellákat, csőkötegeket (Liczkó 1990). A függőleges átfolyású ülepítők felső harmadába beépített lamellák alapvetően megváltoztatták a műtárgy hidraulikai viszonyait. A lamellák a víz mozgási irányát a normálisnak tekintett függőlegetől 25-30°-kal eltérítik, így azonos áramlási sebesség mellett a víz függőleges irányú sebességkomponense lényegesen kisebb lesz, mint kényszeráramlás nélkül. A lamellák között áramló vízben a lebegőanyagokra (így a pelyhekbe ágyazott lebegőanyagokra is) ható felhajtó erő is kisebb, tehát a szilárd anyagok ülepedése is

nagyobb hatásfokú lesz. Az egymástól néhány cm távolságra elhelyezett lamellák között az ülepedő részecskéknek lényegesen rövidebb utat kell megtenniük, mint a hagyományos ülepítőkben. Tapasztalatok szerint (Tolnai 2008) a lamellák, csőkötegek falára kiülepedett részecskék ismételt felkeveredése csak kis mértékben fordul elő. A lamellakon és a csőkötegek falán lecsúszó pelyhek nagy részének további mozgására az ülepedés jellemző a nemkényszeráramlású víztérben. Tehát az ülepítés lebegőanyag-eltávolító képessége lényegesen növelhető csőkötegek vagy lamellák beépítésével a derítőbe, lehetőséget adva a derítők kapacitásának növelésére.

A derítők méretezésének alapja a felületük számítása a maximálisan megengedhető felületi terhelés alapján. A felületi terhelésre a következő irányszámok adhatóak (*Mészáros 1998, Tolnai 2008*):

- Hagyományos derítőknél: 0,4-0,5 mm/s
- Csőköteges derítőknél: 0,8 mm/s

Ebből az adatból számítható a derítő felülete a vízhozam és a felületi terhelés hányadosaként. A felület számítását követően a derítő térfogata számítható a tartózkodási idő alapján, ami 2,0-2,5-3,0 óra.

Gyakorlati tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy a csőkötegek alkalmazásával, valamint a koaguláció és a flokkuláció hatékony megvalósításával a hagyományos derítők felületi terhelésének többszöröse is elérhető megfelelő minőségű (10 mg/l-nél kisebb lebegőanyag tartalom) derített víz biztosítása mellett (*Licskó és Abrahám 1996*). Ennek megfelelően egy kedvező áramlási viszonyokkal rendelkező derítő műtárgyban természetes az 1,0-1,5 mm/s felületi terhelés, de nem ritka a 2,0-3,0 mm/s felületi terheléssel működő, megfelelő vízminőséget biztosító derítő sem.

### Flotálás

Az iparban a szilárd-folyadék fázisszétválasztási feladatok megoldására (érces és szén elválasztása a meddő kőzettől) már a XX. sz. első felében sikerrel alkalmazták a flotálást. A bányából kitermelt anyagot megfelelő szemcseméretűre őrölték, majd felületaktív anyagot tartalmazó vízzel keverték, és néhány bar nyomású gázt (célszerűen levegőt) fúvattak át a rendszeren. A kis méretű gáz (levegő) buborékok a kisebb sűrűségű (vagy a megfelelő felületaktív anyaggal kapcsolatba lépett) értékes anyaggal tartós kapcsolatba léptek, csökkentve azok sűrűségét. A folyamat következtében az értékes anyag a vízfelszínen képződő habba került, a meddő pedig kiüledett a medence aljára. Ez az eljárás különösen a kis és nagy sűrűségű anyagok egymástól történő elválasztására alkalmazható gazdaságosan.

Nagy-Britanniában és a skandináv országokban a hetvenes években kezdték alkalmazni a flotálást felszíni-víz tisztító üzemekben a koagulált - flokkulált rendszerek elválasztására az ülepítés helyett (*Hall és Hyde 1992*). Kezdetben ezt az eljárást olyan nyers vizek esetében tudták megfelelő hatásokkal használni, melyeknek nagyon kicsi volt az ásványi eredetű lebegőanyag tartalma, a vízre nagy mennyiségű alga jelenléte volt jellemző. A kis sűrűségű algákat tartalmazó alumínium- vagy vas(III)-hidroxid pelyheket lényegesen könnyebb flotálni, mint ülepíteni. A vízkezelésben alkalmazott flotáló berendezések nyolcvanas évek végén történt korszerűsítésének eredményeként a skandináv országok tapasztalatai alapján (*Kiuru 1990*) a flotálás már a nagyobb ásványi eredetű lebegőanyag koncentrációk (max. 50 mg/l) esetén is gazdaságosabb fázisszétválasztási eljárásnak számít, mint az ülepítés.

A jelenleg alkalmazott flotáló berendezések felületi terhelése többszöröse a hagyományos ülepítők terhelhetőségének. Bár a flotálók megfelelő üzemeltetéséhez szükséges gépészeti egységek lényegesen összetettebbek, mint az ülepítőké, az azonos teljesítményhez szükséges sokkal kisebb helyigény miatt viszont a beruházási költségek számottevően kisebbek. Ha azonban az üzemeltetési költsé-

geket vizsgáljuk, megállapítható, hogy a flotáló működtetése lényegesen bonyolultabb és költségesebb, mint az ülepítőé. Tekintettel a flotáló nagy felületi terhelésére, biztonságos működtetése lényegesen nagyobb figyelmet és képzetesebb kezelő személyzetet igényel, mint az ülepítőké. Magyarországon az ivóvízkezelési technológiákban jelenleg nem alkalmaznak flotáló berendezéseket.

### Homokszűrő

A derítőkből, vagy flotálókról távozó tisztított víz maradék lebegőanyagainak eltávolítását a homoktöltettel rendelkező szűrő egység végzi el. A maradék lebegőanyag eltávolítására mind lassú-, mind gyorszűrők, valamint membrántechnológiai egységek is alkalmazhatók. Magyarországon csaknem kizárólag gyorszűrők használatára kerül sor, három vízmű telephelyen ultraszűrő membránokat alkalmaznak. A felszíni-víz tisztító üzemek egy részénél – ahol elsősorban nem a lebegőanyag eltávolítás, hanem a szerves anyag koncentráció csökkentése az elsődleges cél – koagulációs szűrőket (rapid koaguláció, kontakt flokkuláció) alkalmaznak, elhagyva a derítőt. A koagulációs szűrő lényegében egyesíti a derítő (flotáló) és a szűrő feladatait.

A felszíni-víz tisztító üzemek többsége Magyarországon a derítést követően nyitott gyorszűrőket alkalmaz a szilárd-folyadék fázisszétválasztás utolsó lépéseként. A lassú-szűrőket Európa több országában széleskörűen alkalmazták, de a felszíni-víz tisztító üzemek többsége nem rendelkezik az adott technológiai egység létesítéséhez szükséges nagy területtel. A gyorszűrők csaknem kizárólagos alkalmazásának további oka a szűrőrétegben kialakuló mikrobiológiai tevékenység ellenőrizhetősége, „kézben tarthatósága”. A rendszeres, 24, 36, vagy 48 óránként megvalósuló szűrőöblítés, valamint a fertőtlenítőszer tartalmazó öblítővíz alkalmazhatósága megfelelő biztosságot ad a nem kívánt mikroorganizmus tevékenység visszaszorítására, megszüntetésére. Az alkalmazott szűrési sebesség 3,0-7,0 m/h között változik a derítőt elhagyó víz lebegőanyag koncentrációjának függvényében. A támréteg (melyben szűrőgyertyákat helyeznek el a zavartalan vízelvétel biztosításához) felett általában 1 m magas szűrőkavics helyezkedik el, melynek méreteloszlása 0,8 mm és 1,5 mm között változik. A szűrőkavics osztályozása nem tökéletes, így 0,8 mm-nél kisebb és 1,5 mm-nél nagyobb méretekkel rendelkező frakciók is jelen vannak a szűrőtöltetben.

A szűrőöblítésnél tisztított vizet és levegőt használnak. A legtöbb felszíni-víz tisztító üzem a szűrőöblítést a legkisebb vízigényű napszakban valósítja meg, azaz az éjszakai órákban. A teljesen automatizált, és az éjszakai órákra időzített szűrőöblítés azzal a kockázattal jár, hogy a folyamat során mutatkozó anomáliákra nem derül fény. A szűrőtöltet egyenletes „átjárhatósága” (vagy annak hiánya) a szűrési folyamatban nem érzékelhető, megfelelő tapasztalattal rendelkezők számára is csak az öblítés során ismerhető fel. Az éjszakai órákban végzett szűrőöblítés megfelelő gyakoriságú szakszerű ellenőrzése ezért nem nélkülözhető.

A koagulációs szűrés egyik fontos jellemzője, hogy az adagolásra kerülő koaguláns mennyisége lényegesen kisebb, mint derítés alkalmazásakor. Koagulációs szűrőt elsősorban olyan felszíni vízbázisok vizének tisztításánál alkalmazhatunk, ahol a lebegőanyag koncentráció kicsi. A

koagulációs szűrő lebegőanyag terhelése ennek megfelelően az adagolt koaguláns és flokkuláns mennyiségének függvénye.

A koagulációs szűrők esetében is fontos követelmény, hogy a koagulánsból képződő fém-hidroxidokkal együtt a lebegőanyag koncentráció lehetőleg ne haladja meg a 10 mg/l értéket. Ez az igény azonban gyakran nem teljesíthető, ezért a koagulációs szűrők öblítésére 24 óránál rövidebb időközökkel kerülhet sor. A koagulációs szűrőkre jutó lebegőanyag koncentráció elsősorban az adagolt koaguláns mennyiség függvénye. Az adagolandó koaguláns mennyisége az eltávolítandó szerves anyag mennyiségétől és minőségétől függ. Tekintettel arra, hogy a felszíni vizekben jelenlévő szerves anyagok mennyisége és minősége vízbázisonként és azon belül akár helyenként is különböző lehet, a hatékony eltávolításhoz szükséges koaguláns dózist minden esetben kísérleti úton kell meghatározni.

Az utóbbi 20-25 évben tavakra és tározókra telepített felszíni-víz tisztító üzemekben egyre gyakrabban alkalmazzák a hagyományos gyorsszűrők és a koagulációs szűrők helyett a membrántechnológia egyszerűbb változatait, a mikroszűrőket és az ultraszűrőket.

A hazai gyakorlatban kevéssé, külföldön azonban gyakran alkalmazzák a derítést (flotálást) és homokszűrést követően a talajvízdúsítást a felszíni-víz tisztítási technológiákban (Tolnai 2008). A talajvízdúsítás lényegesen javítja a víz ízét és szagát. Van példa arra is, hogy a derítés, illetve a flotálás után közvetlenül, szűrés nélkül vezetik a vizet a talajvízdúsító medencékbe, ez utóbbi megoldásnál azonban fennáll a beszivárogtató medencék eltömődésének veszélye. Bár a talajvízdúsítás kedvező hatása a víz minőségére egyértelműnek tűnik, a megvalósítás helyének kijelölése alapos körülmények között igényel. Nem egy esetben előfordult, hogy a nem megfelelő helykijelölés következtében a talajvízdúsítást követően kitermelt víz határértéket meghaladó koncentrációban tartalmazott vas- és mangánvegyületeket, valamint ammónium ionokat. Ezt a kellemtelen következményt feltétlenül el kell kerülni, ezért szükséges a talajvíz dúsításra alkalmazni kívánt terület megfelelő mélységű vizsgálata.

A talajvízdúsítást követően a kitermelt víz minőségének (elsősorban szerves anyag koncentrációjának) függvényében sor kerülhet további technológiai lépésekre is. Amennyiben a derítést (flotálást) és szűrést nem követi talajvízdúsítás, a következő technológiai lépések (ózonos kezelés, adszorpció granulált aktív szén felületen) megvalósítása nélkülözhetetlen.

### Ózonozó

Fentieknek megfelelően a következő technológiai egység az ózonozó. Ózont többféle célból alkalmaznak az ivóvíztisztításban. Felszíni vízkivétel esetén alkalmazását indokolhatja, hogy valamilyen ipari jellegű szennyeződés következtében toxikus vegyületeket kell oxidálni, valamint a nagyobb szerves molekulákat kisebbekre bontani (a szervesanyagok szerkezetének megváltoztatása). Tapasztalatok azt mutatják (Öllös 1987), hogy az ózonnal kezelt felszíni vízben jelenlévő, feldarabolódott szerves vegyületek lényegesen nagyobb hatásfokkal távolíthatók el granu-

lált aktív szén adszorbereken, mint az eredeti nagy móltömegű szerves anyagok. Az ózonos kezelés további fontos feladata a felszíni víztisztítás során, hogy a klórral szemben ellenálló mikroorganizmusok (pl. *Giardia*, *Cryptosporidium*) inaktiválását elvégezze. Az ózon – rendkívül erőteljes oxidáló hatása miatt – alkalmas az említett rendkívül veszélyes élősködők elpusztítására.

### Aktív szén adszorpció

Az ózonizálás hatására a nagyméretű szerves vegyületek kisebb vegyületekké oxidálódnak, amelyek a hálózatba jutva mikroorganizmusok táplálékaul szolgálhatnak. Ezért az ózon alkalmazását aktív szén adszorpció követi, ahol ezek a kisebb méretű szerves vegyületek, valamint a vízben előforduló szerves mikroszennyező anyagok adszorbeálódnak. Itt játszódik le továbbá a klór adagolás hatására esetlegesen képződő maradék THM és AOX melléktermékek eltávolítása is.

### Reduktív viszonyok között megjelenő szennyezőanyagok (vas és mangán vegyületek, ammónium ion) eltávolítása

A felszíni vízbázisokban általában oxidatív viszonyok uralkodnak, de időszakosan (elsősorban tározók alsó rétegeiben, nyáron) megjelenhet az oldott állapotú vas és mangán, valamint az ammónium ion. Ammónium ion a téli időszakban megjelenhet folyóvizeinkben, tavainkban is, hiszen alacsony hőmérsékleten a nitrifikáció gátolt, így a nitríté, majd nitráttá átalakulás nem valósul meg. Ezen szennyezőanyagok tehát jellemzően nem jelennek meg felszíni vízbázisainkban, de időszakos jelenlétükkel számolni kell.

A felszíni vízkezelés technológiája a redukált állapotú vas és mangán vegyületek eltávolítására alkalmas, hiszen a technológiáknak része az oxidáció (klórgázzal vagy nátrium-hipoklorittal végzett technológia-közi fertőtlenítés, ózonizálás, esetenként kálium-permanganát adagolás). Ezen oxidálószerke mindegyike alkalmas a vas oxidálására, a felsorolt négy eljárás közül pedig az ózon és a kálium-permanganát a mangán oxidációját is nagy hatékonysággal végrehajtja. Az oxidált vas és mangán vegyületek szilárd állapotúak, így azokat az előzőekben ismertetett szilárd-folyadék fázisátválasztási egységeken hatékonyan el lehet távolítani a vízből. A gyorsszűrési lépést követően koncentrációjuk megbízhatóan határérték alatti lesz.

Ammónium ion megjelenése esetén törésponti klórással, vagy biológiai módszerrel történik az eltávolítás. A felszíni vízkezelésben fertőtlenítési célból adagolt klórgáz vagy nátrium-hipoklorit koncentrációjának töréspontig történő növelésével az ammónium ionok klóraminokká alakulnak. A technológia alkalmazása során azonban számolni kell a klórozott szerves melléktermékek (trihalo-metánok, adszorbeálható szerves halogenidek) megjelenésével, melyek eltávolítása az aktív szén adszorberen történik meg. Amennyiben a vízminőségi jellemzők kedveznek a nitrifikációs folyamatoknak, az ammónium ion eltávolítása biológiai úton is megtörténhet. Ebben az esetben a gyorsszűrőkön, illetve az aktív szén adszorberen kialakuló biofilmben található nitrifikáló baktériumok végzik az ammónium ion átalakítását nitríté vagy nitráttá. Ezek a folyamatok – a korábban már említett, nitrifikáció szempontjából kedvezőtlen hőmérsékleti viszonyok miatt – gátoltak

lehetnek. Problémát okozhat továbbá az is, ha a vízben olyan mennyiségben található fertőtlenítőszer (pl. a technológia-közi fertőtlenítés következtében), ami a nitrifikációt szintén gátolja. Ezekben az esetekben a biológiai módszer helyett a törésponti technológia alkalmazása a célra vezetőbb.

### Utófertőtlenítés

Bár az ózon rendkívül erős oxidálószer, hosszan tartó hatása nincsen, mivel a hálózatba jutva nagyon gyorsan lebomlik, így a hálózati biofilm-képződés megakadályozására nem alkalmas. Ezért mielőtt a víz a tározó medencébe, majd ezt követően a hálózatba jut, utólagos fertőtlenítőszer (klórgáz / nátrium-hipoklorit vagy klór-dioxid) adagolás szükséges. Az alkalmazott fertőtlenítőszernek a hatékonyságát mindaddig meg kell őriznie, míg a víz a legtávolabbi fogyasztóig eljut.

Mint minden víztisztító üzemnek, így a felszíni-víz tisztító üzemeknek is szerves része a tisztított vizet tároló medence, vagy medencék. Mind beruházási, mind üzemeltetési szempontból fontos az átlagos napi vízigényhez viszonyított közvetlenül igénybe vehető tárolótér nagysága. A felszíni-víz tisztító egységeket a folyamatos, üzemszünet nélküli működtetés jellemzi. A derítő és flotáló műtárgyak – szilárd-folyadék fázisszétválasztás hatékonysága tekintetében – optimális működésüket a beindításukat követően derítő esetén több óra, flotáló esetén pedig fél-háromnegyed óra elteltével érik el. Gyakori leállításuk és beindításuk jelentős kiesést eredményezne mennyiségi tekintetben, ha a megfelelő tisztított (derített, flotált) víz minőséghez ragaszkodunk.

Amennyiben a derítő és a flotáló felületi terhelését (pl. a pillanatnyi vízigényekhez igazodva) gyakran változtatjuk, a derített, illetve flotált víz minősége (lebegőanyag koncentrációja) ingadozik, nem tartható a kívánt szinten (<10 mg/l). Törekedni kell arra, hogy az üzemeltetés során lehetőleg azonos, vagy közel azonos vízhozammal működjön a víztisztító üzem a nap 24 órájában. Amennyiben a tisztított víz tárolására alkalmas tárolótér nagysága nem teszi lehetővé a nap 24 órájában a közel azonos hidraulikai terhelés alkalmazását, frekvenciaváltóval ellátott szivattyúk alkalmazása szükséges. A megfelelő frekvencia szabályozás alkalmazásával elérhető, hogy minimális energiavesztéssel és kis lépésekben érjük el a kívánt vízhozamot. A kis lépésekben megvalósított vízhozamváltozás

(növelés és csökkentés egyaránt) biztosíthatja a derítő és flotáló egységek zavartalan működését.

### IRODALOMJEGYZÉK

Hall, T., Hyde, R.A. (1992). Water Treatment Processes and Practices. Water Research Center (WRC), Wallingford, UK.

Kiuru, H.J. (1990). Unit Operations for the Removal of Solids and their Combinations in Water Treatment In: Hahn, H.H. and Klute R. (Eds.): Chemical Water and Wastewater Treatment Springer-Verlag Heidelberg • London • New York • Berlin. doi:10.1007/978-3-642-76093-8\_13

Licskó, I. (1990). Intensification of clarifiers with tube settlers (Experiences in Hungary) in: Proceedings of International Conference on "Modern Methods of Water Treatment" pp. 282-297 Pribram, 22-24. 05. 1990

Licskó, I., Ábrahám, F. (1996). Analiza zjawisk zachodzących w glebokiej koagulacji stosowanej przy uzdatnianiu wód powierzchniowych In: Proceedings of International Conference on "Municipal and Rural Water Supply and Water Quality" Part I. pp. 333-347 4-7 June, 1996. Poznan, Poland

Mészáros G. (1998). Felszín alatti víz tisztítása. Eötvös József Főiskola, Oktatási segédanyag. Műszaki Fakultás, Baja. p. 50.

Öllös G. (1987). Vízellátás. K+F eredmények sorozat. Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Kiadó. Franklin Nyomda Budapest. p. 700.

Pandey, A., Lee, D.-J., Chisti, Y., Soccol C.R. (2014). Biofuels from algae Elsevier, Heidelberg • London • New York • Oxford. p. 338.

Rebhun, M. (1990). Flocc Formation and Breakup in Continuous Flow Flocculation and in Contact Filtration In: Hahn, H.H. and Klute R. (Eds.): Chemical Water and Wastewater Treatment Springer-Verlag Heidelberg • London • New York • Berlin. doi:10.1007/978-3-642-76093-8\_9

Tolnai B. szerk. (2008). Mátyus Sándor nyomán. Víz-ellátás. 3. jubileumi kiadás. A Fővárosi Vízművek Zrt. üzemeltetői ismeretanyaga. General Press Kiadó. p. 862.

MI-10-262-1:1985 – Ivóvízkezelés egységesítése. Telepnyagyságrend, mintatechnológiák és méreisor.

### A SZERZŐK



**LICKSKÓ ISTVÁN CSc**, okl. kémia-fizika szakos középiskolai tanár, környezetvédelmi szakmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék címzetes egyetemi tanára. Fő szakterülete a víztisztítás (koaguláció-flokkuláció, szilárd-folyadék fázisszétválasztás, adszorpció aktív szén felületén, fertőtlenítés, nehézfém eltávolítás), a kémiai szennyvíztisztítás (foszfor és nehézfém eltávolítás), vízminőség-értékelés. A Magyar Hidrológiai Társaság, a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, a Budapesti és Pest Megyei Mérnöki Kamara és a Magyar Kémikusok Egyesülete, valamint a Hidrológiai Közlöny és a Hírsatorna szerkesztőbizottságainak tagja. Benedek Pál díjas.



**LAKY DÓRA PhD**, okl. építőmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék egyetemi docense. Fő szakterülete a víztisztítás, ezen belül főként felszín alatti vizek tisztítási technológiáival foglalkozik (arzenmentesítés, vas- és mangántalanítás, melléktermékek képződésének problémaköre). A Magyar Hidrológiai Társaság és a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, valamint a Hírsatorna szerkesztőbizottságának tagja.