

A szennyvíztechnológiában alkalmazott eljárást igen fontos elkülöníteni - a kifejtésére alapul szolgált - klasszikus ásványflotálástól. A kétségtelenül azonos alapelv ellenére az utóbbinál lényeges a gázbuborék - szilárd szemcse tapadásának, elválasztásának elősegítésére a hidrofóbizáló, habképző és más segédanyagokkal történő beavatkozás.

Ez egyrészt a lebegőanyag (felületi) tulajdonságaitól függő szelektív elválasztást (pl. érc-meddő viszonylatában) tesz lehetővé, ami a szennyvíztechnológiában általában nem szükséges.

A pelyhes csapadék-buborék kapcsolódás eltérő mechanizmusai miatt a segédanyag adagolás legfőbb szór nékülözhető a szennyvíztisztításnál.

Különlegesen szigorú követelmény érvényes azonban itt a flotáló buborékok minél kisebb méretére, mivel:

- A buborékok növekvő fajlagos felülete és száma növeli a pelyhekkel való találkozás valószínűségét, ill. a létrejövő adhézió erősségét
- Nagyobb buborékok felszállósebessége ill. az általuk keltett turbulencia csökkenti ill. lehetetlenné teszi a gravitációs elválasztást
- A pelyhes csapadék csekély mechanikai ellenálló képessége sem engedi meg a jelentősebb energiájú ütközéseket ill. turbulenciát.

A lamináris áramlás felső Reynolds szám határa buborékokra

$$Re_p = \frac{ud}{\nu} = 1.13$$

ahol: d = buborékátmérő
 ν = a közeg kinematikai viszkozitása

Az u buborék felszállósebesség a Re szám tartományának és a 2.5.2.1 pont szerinti képletek megfelelően az ismert Stokes formula (2.101) szerinti. A $Re = 1,13$ határhoz $d = 0,13$ mm buborékméret tartozik. A gyakorlati tapasztalatok szerint a még viszonylag könnyen előállítható 40-70 mikronos buborékmérettartomány a kívánatos.

A pelyhes csapadékok és mikrobuborékok összekapcsolódását többféle mechanizmus szolgálja:

- Adhézió, mely az általában jól nedvesíthető, nem kapilláráktív csapadékpelyhek esetében is létrejön főleg a nagyfelületű érintkezés következtében. Hatékonyágát csökkentik a többértékű amionok.

- Elektrosztatikus vonzás az általában negatív töltésű buborékok mellett pozitív felületi töltésű pelyhekkel föltételez. Befolyásolása általában a folyadékközeg pH-jával lehetséges.

- A fölszálló buborékok mechanikus befogása a pelyhek felületén, üregeiben ill. felületi egyenletlenségeik mentén.

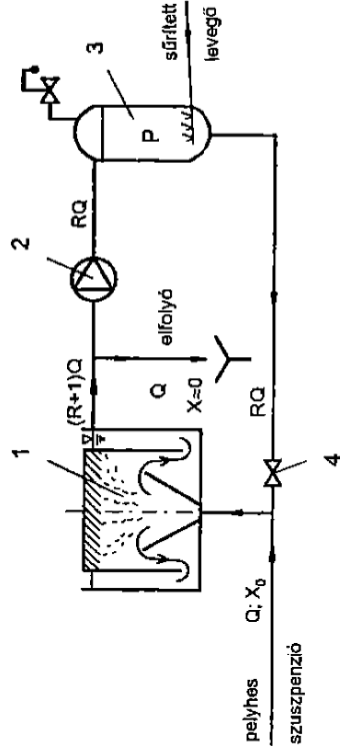
- Pehelyképződés ill. növekedés során buborékok bezárása.

Feltétlenül előnyös az előbbieket alapján, ha a flokuláció és a mikrobuborék kiválás egy térben és egyidejűen történik.

Megfelelő méretű buborékok előállítására még igen finom porúsú statikus légbefúvó elem, vagy a buborékok utólagos mechanikus diszpergálásával sem kielégítő.

A legelterjedtebb megoldás az ún. **oldott levegős flotálás**, melynek gyakorlatban használt leggyakoribb kivitelét a 3.15 kapcsolási ábra mutatja. Az 1 flotáló berendezésről távozó tisztított víz egy RQ részarámát a 2 nagynyomású szivattyúval a 3 feltöltőtartályon áramoltatjuk keresztül. Az R recirkulációs arány jelentése: recirkuláltatott / nyers betáplált térfogatáram. A 3 tartályban $P = 4-6$ bar nyomáson tartott vízbe sűrített levegőt diszpergálnak, melynek egy része beoldódik, feleslege pedig egy lefuvaló szelepen távozik. Az általában karcsú kivitelű, ellenáramú feltöltő tartályban 15-30 perces folyadék tartózkodási idő alatt (O_2 -re és N_2 -re egyaránt) megközelíthető az egyensúlyi oldott gáztartalom. Számítása a Henry törvénnyel lehetséges (2.86 ill. 2.87) azzal az értelemszerű kiegészítéssel, hogy itt a p parciális nyomás helyett a P össznyomás helyettesítendő. Amennyiben a szennyvíz összetétele, főleg jelentősebb sótartalma nem rontja az egyensúlyi viszonyokat, atmoszferikus nyomáson $C_3 = 23 \text{ g/m}^3$ értékkel számolhatunk a nyomás alatti érték pedig a Henry törvény értelmében $P \cdot C_3$ (P itt barban helyettesítendő).

3.15. ábra: Oldott levegős flotálás működési vázlat



szuszpenzió

Az egyensúly megközelítésének mértékét az E_s hatásokkal szokás figyelembevenni, melynek jellegzetes értékei a gyakorlatban 0,7-0,95 között fordulnak elő.

$$E_s = \frac{PC}{PC_s} \quad 3.12$$

ahol: PC = a gyakorlatban elért oldott gáztartalom.

A 3 tartályból elvezetett nyomás alatti vízáramot a 4 expanziós szelepeken (általában különleges kivitelű membránszelep) keresztül $P = 1$ bar atmoszférikus nyomásra hozzuk (helyi nyomás a flotáló vízmélységének megfelelő hidrosztatikai nyomással korrigálandó).

A nyomáskülönbségnek megfelelő oldott gáztartalom a szelep után mikrobuborékok formájában kiválik, majd azonnal találkozik a célszerűen azonos helyre bevezetett pelyhes szennyvízárammal.

Az 1 flotálóberendezésben (álló hengeres tartályberendezés) a bevezető kúpban megfelelően érintkeztetett buborékos ill. pelyhes vízáram sebessége kiegyenlítődik és lecsökken. Innen a közegeknél kisebb sűrűségű a pelyhes buborék aggregátumok fölfelé haladva habréteget képeznek, a tisztított víz pedig alul körszimmetrikusan átbukva a külsőgyűrű térből gravitációsan elfolyik.

Az oldott levegős flotálásakor a kivált buborék méreteire hatással van:

- az expanzió nyomás különbsége (2-3 bar kritikus minimum, előírt célszerűen 4 bartól számíthatunk kicsi, 40-60 mikronos méretekre
- a pH 5-6 alatti értékei előnytelenekek
- a főjószelep áramlási keresztmetszetében 10-50 m/s sebesség tartandó; előírt meredeken nő a buborékméret.

A vákuumos buborékelfállítás alapelve az előzővel azonos. A mikrobuborékok a vákuum alatti flotálóterben szabadulnak föl. Általában külön leltetés nélkül is teljesül az oldott levegőkonzentráció C_s közeli értéke a flotálás előtti spontán érintkeztetés következtében. Az eljárás hátránya, hogy a rendelkezésre álló expanziós nyomáskülönbség 1 bar alatti értéke korlátozza a főszeleppel gázmennyiséget.

Másrészt jelentős beruházási költségtöbblettel jár az egész flotáló berendezés légmentesen zárt, nyomásálló kivitele, valamint a mechanikus

habkötőszerkezet (külső) meghajtása, az elfolyó szennyvíz és habáramok "kiszilipelése", mely általában külön gépeket igényel.

Az elektroflotálás a kezelt víz egyenáramú elektrolízise útján mikrobuborékok formájában főliszabaduló H_2 és O_2 . Az alkalmazott feszültség 5-20 V közötti; a felületi áramsűrűség 100 A/m² körüli érték. A megfelelő vezetőképesség elérése érdekében esetenként a vízhez sav adagolása szükséges.

Az elektródák anyaga elektrolitikus beoldásának ellenálló kivitelű kell legyen. Gyakori megoldás a viszonylag nagy tisztaságú alumínium katód alkalmazása. Ez a használat során folyamatosan beoldódva hidroxidcsapadékmátrixot képez a kolloidok egyidejű koagulálása ill. pelyhesítése mellett (l. 3.1.3.pont). A szerkezetileg egyszerű; jó elválasztást biztosító berendezések alkalmazása csak kisebb egységeknél tekinthető gazdaságosnak a jelentős energia- és fogyó elektródák miatt. Az elektrokémiai buborékképzés előnye, hogy ez eredményezi a legnagyobb diszperzítást. A jellemző buborékméret 5-10 mikron is lehet.

A flotálás legfontosabb teljesítményjellemzői az ülepítéshez hasonlóan a v hidraulikai, és a J lebegőanyag felületi terhelés, kifejezésük is hasonló az ülepítés 3.5-3.8 összefüggéseivel. Az R recirkulációs arány esetenként igen nagy értékű lehet (általában 0,1-3 között), így feltétlenül az egész vízárammal kell a hidraulikai terhelést meghatározni:

$$v = \frac{(R+1)Q}{A} \quad [m/h] \quad 3.13$$

A felületi lebegőanyagterhelés vonatkozásában azonban általában érvényes, hogy X elhanyagolható X_p -hoz képest, így jó közelítést ad a

$$J = \frac{QX_0}{A} \quad 3.14$$

összefüggés. Általában X_0 értékétől függ, hogy a két paraméter közül melyik válik a méretezés kritériumává. Ha X_0 kicsi, akkor v ; ha nagy akkor J értéke korlátozhatja a flotáló teljesítményt. A kritériumok között nem szerepel - az ülepítéssel ellentétben - a tartózkodási idő (ez legfőbbször 15-20 percnél nem több). Bizonyos folyadékter magasságra van szükség a két fázis áramainak zavarmentes elköllöntésére (általában 2-3 m). Nyilvánvaló, hogy az ülepítéshez képest a flotálásnak még egy szabadsági fok a érvényesül, a pelyhek eltávolítására szolgáló buborékáram nagysága.

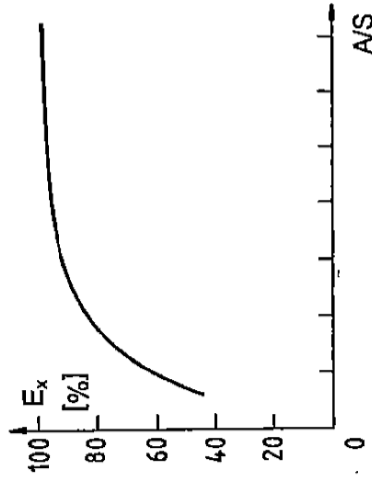
Nyilvánvaló, hogy az ülepítéshez képest a flotálásnak még egy szabadsági foka érvényesül: a pelyhek eltávolítására szolgáló buborékáram nagysága.

Ennek figyelembevételére ellenjert: az A/S levegő / lebegőanyag tömegarány használata. Megjegyzendő, hogy a légbuborékok szerepe az aggregátum sűrűségének csökkentése. A víz sűrűségének eléréséhez elméletileg 0,5-4 Nm³/g lebegőanyag fajlagos érték szükséges. A gyakorlatban ennél jóval több átlagosan 10-20 Nm³/g értékkel kell számolni. A tömegarányok arányával fölírva a 3.12 összetűggs figyelembevételével:

$$\frac{A}{S} = \frac{QRE_s(P-1)}{QX_0} \quad 3.15$$

A számláló értelemszerűen a recirkuláltot; a nevező nyers betáplált áramra vonatkozik. A kifejezés nyilvánvalóan egyszerűsíthető Q-val így mennyiségétől független; csak intenzív paraméterek függvénye lesz. Az A/S arány elsősorban az elválasztás minőségére van hatással. A 3.16 ábrán a (szintén redukált) lebegőanyageltávolítási hatásokkal fennálló kapcsolatot mutatjuk be.

3.16. ábra: A lebegőanyag eltávolítási hatások (A/S) a levegő / lebegőanyag arány függvényében



$$E_x = \frac{X_0 - X}{X_0} \quad 3.16$$

A görbe lefutása jellegzetesen aszimptotikus menetű, és amennyiben:

- az elzeteres koaguláció ill. pelyhesítés sikeres volt,
 - az elválasztás v ill. J álltai nem korlátozott
- elegendően nagy A/S-nél $E_x = 1,0$ értékhez tart.

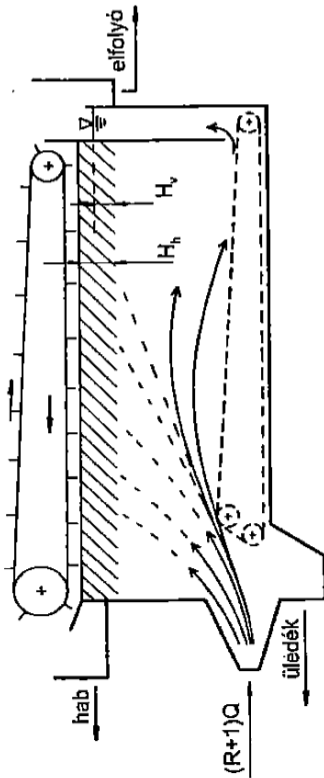
Az elválasztási hatásfokot a gyakorlatban egyéb, pl. szervesanyag (KOI) vagy szerves oldószert extrakt (zsír-olajtartalom) értékkel is szokásos kifejezni a flotálás típusos alkalmazási területének megfelelően. E komponensek oldott, vagy finoman diszpergált frakciói miatt az elérhető hatásfokmaximum 1,0 alatt szokott lenni. Az A/S érték jellemző tartománya 0,01-0,04 közötti.

A berendezések építési forma szerint hengerek, ill. szögletesek. Az előbbire példa a 3.15 ábrán bemutatott vázlat. A hab eltávolítását a tartály tengelyében csapályozott, a Dorr ülepítőkéhez hasonló kotróhidra erősített tolólap végzi. A tartályban sugárirányban elhelyezett keskeny aknába tolja fordulatoként a tolólap a habot, mely a flotáló oldalalát áttörő ferde vezetéken távozik. Ennél előnyösebb megoldásnak tartják, amikor a forgóhiddal iszapkihordó csigát vagy szállítószalagot befoglaló vályú jár körbe. Ez menetirányban kis emelkedésű lejtős "vágóélell" tereli a habot a vályúba. Igen gyakran alkalmaznak a forgóhiddal együtt mozgó fenékkotrót a nem flotálódott, vagy üzemzavar következtében lefelé távozó üledék kihordására.

A másik; igen gyakori berendezés alak a 3.17 ábra szerinti hosszanti átfolyású szögletes flotáló. A hosszúság / szélesség arány tipikusan 2-3 között van. A hab ill. fenéküledék gyűjtésére általában végtelenített láncos-tolólapos szerkezeteket alkalmaznak. Ezen az ábrán mutatjuk be a habréteg elhelyezkedését a vele közlekedőedényszerű összeköttetésben álló (elfolyó) vízfelszínhez képest. A kiemelkedés oka, hogy a vizénél jelentősen kisebb ρ_h sűrűségű hab Archimedes törvénye szerint uszik a folyadékfelszínen:

$$H_h \rho_h = H_v \rho_v \quad 3.17$$

3.17. ábra: Szögletes flotáló berendezés működése az úszó habréteg elhelyezkedésének bemutatásával



Az elfolyó- ill. kotrólapszint állításával tehát mód van a habréteg vastagságának befolyásolására. Növekvő habmagassággal jelentősen fokozható a hab szárazanyagtartalma.

A flotálás legjellegzetesebb alkalmazási területei:

- Élelmezézipar (főleg zsír- és fehérjetartalmú szennyvizek)
- Biológiai iszapok sűrítése
- Fémfeldolgozó, felületkezelő ipar (olajos vizek)

Az elérhető terhelési jellemzők irányadatai

- Felületi terhelés $v = 3-8$ m/h (a J és szennyvíz jellemzőkön túl az alkalmazott A/S aránytól is függően)
- Felületi lebegtetőanyagterhelés $J = 2-12$ kg/m²h
- Hab szárazanyagtartalom $X_h = 3-7$ %/m (főleg J és habrétegmagasság függvényében)

Az eljárás fajlagos energiaigényének jellegzetes adatai (1m³ kezelt vízre):

- Oldott levegős flotálás $R = 0,2$ mellett: 50-160 Wh/m³
- Elektroflotálás: 150-300 Wh/m³

A 3.1 táblázatban néhány; főként zsír- és fehérjetartalmú ipari szennyvíz flotációs tisztításának eredményeit tüntetjük fel. Az iszapsűrítési alkalmazás eredményeit az iszapkezelés fejezeténél ismertetjük.

3.1. Táblázat: Oldottlevegős flotálás eredményei ipari szennyvizeknél

Iparág	Befolyó [g/m ³]			Elfolyó [g/m ³]			Hatásfok [%]		
	Leb.a	Zsír	BOI ₅	Leb	Zsír	BOI ₅	E _z	E _z	E _{BOI}
Margaringyár	5000	3900		200	40		96	96	99
Növényolajgyár	420	500		32	8		92	92	98
Kozmetikai	15000	5400	24500	1800	485	5880	88	91	76
Mosoda	3500	3000		280	475		92	84	
Gyapjút mosó	8700	4650	2820	80	20	270	99	99,6	90
Vágóhíd	7400	3100		710	97		90	97	
Baromfi feldolgozó	1700	330	1100	270	74	86	84	78	92
Állati tetem feldolg.	5400	4600		780	780		95	83	
Textilipar	5100	460	2200	380	40	550	93	91	75
Zselatin előáll.		12300			260			98	

Az Oxigénbevétel

1. Az oldott oxigénkoncentráció hatása

A szennyvíztisztításban résztvevő mikroorganizmák csak vízben oldott állapotú oxigént képesek felvenni ill. a folyamat célja érdekében hasznosítani (anyagcsere tevékenységük fenntartásával szervesanyag ill. redukált nitrogén vegyületek, stb. oxidációja). E körülményekből két alapvető következtetés vonható le:

- Az aerob biológiai szennyvíztisztításnál elengedhetetlen az oxigént gázfázisból (környezeti levegő ritkábban oxigén) vízbe beoldani. Ez általában külön eljárás lépést, ill. berendezéseket igényel. Műveleti alapjait a 2.5.1.pont foglalja össze. Előre hangsúlyozni kell, hogy az oxigénbevétel mind beruházási, mind üzemköltségek tekintetében fontos; az energiafogyasztás szempontjából a tisztítás meghatározó részfolyamata.

- A vízben oldott oxigént (a szennyező komponensekhez hasonlóan) szubsztrátnak kell tekinteni. Ennél fogva érvényesek rá mind a mikrobiális kinetika megállapításai (2.3-2.4 pontok) mind pedig az ezt módosító diffúziós hatások.

A diszpergált sejteteket alkalmazó (pseudeohomogén) rendszereknél az oxigén diffúziós transzportja elhanyagolható mértékben hat a folyamatszebeségre. A gyakorlatban előforduló eljárásoknál viszont vagy makroszkópius sejt-pelyhek (aggregátumok) működnek mint pl. az eleveiszapos tisztításnál, vagy biofilmre merőleges irányú szubsztrát- és termékáramok eredménye a biokonverzió - ez pl. a csepegtetőtestes eljárás esete. E két esetre vonatkozik a 2.25 és 2.26 ábrákon szemléltetett szubsztrát diffúzió - folyamatszebeség összefüggés.

Az ábrából nyilvánvaló a diffúziós úthossz (pehelyméret ill. biofilmvastagság) hatása. A gyakorlat azonban még egyszerűbben kezelhető az (ott S-sel jelölt) oldott oxigénkoncentráció hatása.

A szennyvíztisztítás gyakorlata igen régen bevezette az u.n. kritikus oldott oxigénszint (C_k) fogalmát, mely azt a folyadékfázisban fenntartandó értéket jelenti, amely még nem limitálja az egyéb körülmények által lehetővé tett (pl. az ábrákon B_A -val jelölt) konverzió sebességét.

Az ábrákból világos, hogy ha magfoglalmazható is a gyakorlat számára ilyen határérték (amely felett pl. e görbék a vízszintesbe hajlanak) értékét elsősorban a diffúzió határozza meg. Lényegében tehát C_k (vagy nagyrésze)

koncentrációkülönbség, vagy koncentrációbeseésésként értelmezendő a sejtiréteg diffúziós ellenállásán. A technológiai tervezési gyakorlat a medencében fenntartandó C_k -ra kis tartományban mozgó konstans értékeket javasol - nyilvánvaló ellentétben az előbb bemutatott, vagy egyéb fontos paraméterek hatásával. Kommunális szennyvizek tisztításának tervezéséhez az érvényes német előírás ezt technológiától és terheléstől függetlenül $C_k = 2 \text{ g/m}^3$ -ben adja meg. Kivétel a szimultán denitrifikációt is végző oxidációs árkok esete. Itt a 0,5 g/m^3 kikötését nyilvánvalóan az anoxikus körülmények könnyebb kialakíthatósága indokolja. A vonatkozó magyar műszaki irányelv a szervesanyagterheléssel arányosan 0,5-től 2,5 g/m^3 -ig terjedő értékeket javasol, kisterhelésű nitrifikáló rendszereknél viszont 3 g/m^3 -t. A sokszor ellentmondó számértékeknel fontosabb összefoglalni a C_k -t befolyásoló tényezőket és hatásukat:

- A turbulencia mértéke. Itt fontos előrebocsátani, hogy a szennyvíztisztító medencében C oldott oxigénszintet a folyadék főtömegében tudunk mérni. Ebből az következik, hogy nemcsak az előbbiekből tárgyalt sejtirétegen, hanem a pelylet ill. biofilmet határoló folyadékfilmben is csak diffúzióval; tehát számottevő koncentrációbeseés mellett adódik át oxigén.

A folyadékoldali keverés fokozásával egyaránt csökken:

- Az u.n. külső, vízfilmbeli koncentrációbeseés (a vékonyodó; egyre inkább leszagott filmben; a 2.5.1.3. pontban bemutatott elméletek alapján)
- A belső koncentrációbeseés, a pehelytöredelés miatti diffúziós úthossz rövidülés arányában.

A keverés általános értelemben a folyadékban elmozduló test által (ez természetesen pl. légbuborék is lehet) keltett; majd csökkenő méretű örvényekben nyilvánul meg, és intenzitása fordítottan arányos az u.n. minimális vagy határ-örvénymérettel.

Ez összefüggésben áll a folyadéknak átadott teljesítményszűréséssel (pl. kW/m^3) és a viszkozitással. Az eleveiszap pelylek elvileg a minimális örvénymérettig aprítódnak. A gyakorlatban alkalmazott teljesítményszűréségnél ez ritkán következik be, azaz az erdelt pehelyméret elhanyagolhatóan változik. Irányértékként elfogadható, hogy a teljes diffúziós ellenállás a pehely és a vízfilm között 2:1 arányban oszlik meg.

További befolyásoló tényezők:

- Az oxigén D diffúziós együtthatójának nagysága. Vízben jó közelítéssel csak a hőfoktól függ és ismert nagyságú. Nehezebb meghatározni a sejt rétegre vonatkozó értéket: ez az előbbinek fele-negyedrészre között változik. A diffúziós ellenállás a D reciprokával arányos.

- A szubsztrátkoncentráció és biokonverziójának sebessége. Az eddigiekben olyan esetekkel foglalkoztunk, amelyeknél a biokonverzió oxigénre (közelítően) zérusrendű. Ekkor C_k elhanyagolhatóan kicsi, és a gyakorlatban mérhető értékének oka a diffúziós limitáció, számszerűen pedig egyenlő a koncentrációesések összegével. Nagy szervesanyagterhelésnél, és az ezzel együtt járó nagy S koncentrációnál azonban C_k ezeknek is függvénye. Értéke tehát nem konstans, ehelyett közelítően konstansnak tekinthető az S szubsztrát- és C oxigénkoncentráció hányadosa. Tiszta szubsztrát esetén ez kísérletileg is bizonyítható ill. számítható (pl. giüköz szénforrás esetén 3,4 értéket mutattak ki):

$$\left[\frac{S}{C_k} \right] = \frac{D_s(S)}{D(O)} \quad (+.1)$$

A k (kritikus) indexszel jelzett koncentrációarány fölött lesz (viszonylagos) oxigén limitáció. Mint látjuk, ebben az egyszerű összefüggésben is szerepel mind a szubsztrát (D_s) mind az oxigén (D) diffúziós együtthatója jelezve a fizikai transzportlimitáció egyidejű jelenlétét. A két komponensáram szükséges arányát jelenti az $[S/O]$ [szubsztrát/oxigén] tömegaránya (jelentése a folyamat szempontjából közel áll pl. a BOI reciprokához).

Az eddigiekből az következik, hogy - a kisterhelésű kommunális rendszerektől eltérően - a C_k jelentősen nagyobb lehet az ott használatos (de 2 g/m^3 fölött kétségesen indokolható) konstans értékeknél; azaz:

- jól bontható szubsztrátoknál
- intenzív rendszerben
- nagy szervesanyagterheléssel és
- nagy reaktor szubsztrátkoncentráció mellett a kezelésénél.

Erre példa elsősorban koncentrált (élelmiszer-) ipari szennyvizek esete; kaszkád- vagy többfokozatú rendszerek első reaktoraiiban, vagy közcsatornába bocsátásra dolgozó tisztítóknaál.

2. Az oxigénbeviteli sebesség

Az oxigénbevitel iránti igény mértéke egyrészt a biokonverzió sebességével arányos, és a pontban leírtak szerint számítható.

A művi levegőztetés által biztosítandó oxigénbevitelt (koncentrációváltozási sebesség formájában) a 2.91 szerinti alapszefüggés adja meg:

$$\frac{dC}{dt} = k_a \cdot a \cdot (C_s - C) \quad (+.2)$$

(Amennyiben a 2.92 szerinti kifejezhető $V = A/a$ levegőztetett víztérfogattal szorozzuk az egyenlet mindkét oldalát, oxigén tömegáramot kapunk).

A +.2 egyenletben C a levegőztetett víz aktuális oldott oxigéntartalma. Biológiai rendszerben fenntartandó értéke az előző pont megfontolásai, egyszerűbben a C_k -hoz való viszonya alapján határozható meg.

Az oxigénbeviteli sebesség számításához, ill. a valós rendszerben érvényesülő hatások vizsgálatához a +.2 egyenletben:

- A zárójeles tag az átadási hajtóerő; ebben ismerni kell a C_s egyensúlyi oldott oxigénszint viselkedését valós medencékben
- Meghatározandó a k_a a bővített átadási együttható, ill. szükség esetén az a fajlagos gáz-folyadék határfelület, amely lehetőséget ad a k_a alakulásának megismerésére a 2.5.1.3.pont elméleti, minőségi megközelítésén túl. E feladatot alapvetően mérés módszertani, és adatértékelési ismereteket igényel.

2.1. Az egyensúlyi oldott oxigénszint alakulása

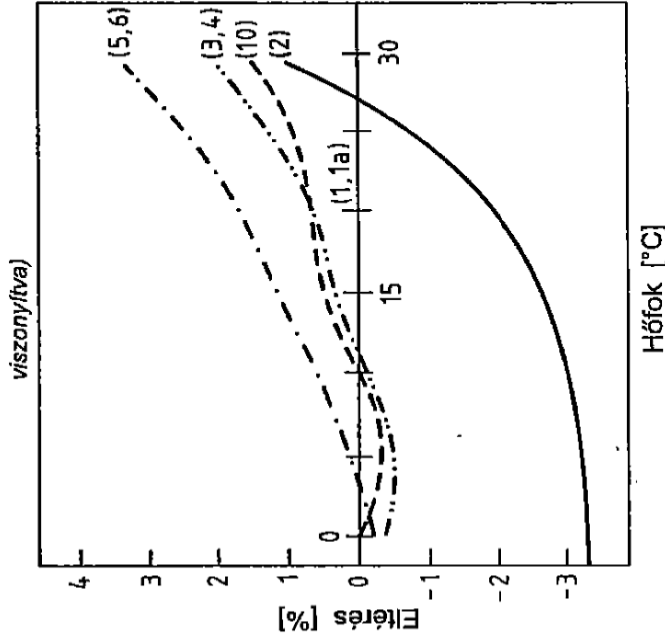
A C_s értékeit a hőfok függvényében táblázatokon szokás megadni. Magyarországon a KGST 1967 évi ajánlása szerinti adatsor használata terjedt el.

A számszerű adatok - annak ellenére, hogy pontosan azonos körülményekre vonatkoznak - számottevő eltérést mutatnak. Az +.1.ábrán bemutatjuk a százalékos különbségeket (az +.1 táblázathoz képest) a gyakorlatban legfontosabb 0-30 °C közötti hőfoktartományra. A 2 sz. görbékét német, a 3-4 jelűek francia, az 5,6 pedig amerikai hivatalos adatok alapján vettük fel.

1. táblázat Egyensúlyi oldott oxigénszintek a hőfok függvényében

t [°C]	mgO ₂ /l	t [°C]	mgO ₂ /l	t [°C]	mgO ₂ /l
0	14.65				
0.5	14.45	10.5	11.14	20.5	8.93
1	14.25	11	11	21	8.84
1.5	14.05	11.5	10.87	21.5	8.75
2	13.88	12	10.75	22	8.67
2.5	13.68	12.5	10.62	22.5	8.58
3	13.49	13	10.5	23	8.5
3.5	13.31	13.5	10.38	23.5	8.42
4	13.13	14	10.26	24	8.33
4.5	12.96	14.5	10.15	24.5	8.25
5	12.79	15	9.03	25	8.18
5.5	12.62	15.5	9.92	25.5	8.1
6	12.46	16	9.82	26	8.02
6.5	12.3	16.5	9.71	26.5	7.95
7	12.14	17	9.61	27	7.87
7.5	11.99	17.5	9.5	27.5	7.8
8	11.84	18	9.4	28	7.72
8.5	11.7	18.5	9.3	28.5	7.65
9	11.55	19	9.21	29	7.58
9.5	11.41	19.5	9.12	29.5	7.51
10	11.27	20	9.02	30	7.44

+1. ábra Egyensúlyi oldott oxigénszintek %-os eltérései (KGST ajánláshoz viszonyítva)



Sokkal súlyosabb hibák forrása, ha figyelmen kívül hagyjuk a C_s táblázatok érvényességének feltételeit; hiszen ez csak

- friss levegő oxigéntartalmával,
- P = 1 bar össznyomáson egyensúlyban levő, és
- tiszta vízre igaz.

Az első feltétel a levegő összetételére y = 0,2095 oxigén móltörtet, az első, és második p = 0,295 bar oxigén parciális nyomást jelent. Könnyen belátható, hogy egy szennyvíztisztító medencében, különösen mélylégbeutóás esetén egyik feltétel sem teljesül.

Ebben az esetben a Henry törvény alapján; célszerűen a 2.88 szerinti alakjának további átalakításával korrekciót kell végezni:

$$C_s = \frac{P}{He} = \frac{P \cdot y}{He} \quad (+.3)$$

Tulajdonképpen ez az összefüggés használandó a tengerszint feletti magassághatásának figyelembevételére, de egyszerűbb közvetlenül használható korrekciós szorzót megadni:

Tengerszint feletti mag. [m]	0	1000	2000	3000
Korrekció	1,0	0,9	0,81	0,72

A harmadik feltétel értelmében a tiszta vízhez képest számottevő eltérést okoz a víz sótartalma, az alábbiak szerint (az egyezményesnek tekintett 10 °C hőfokra):

Sótartalom [kg/m ³]	0	10	20	30	40
C _s [g/m ³]	11,27	10,58	9,93	9,32	8,57

A +.3 összefüggés szerint olyan mértékben kell korrigálni C_s táblázatból vett értékeit, amilyen mértékben eltér P és y az előbbi feltételektől.

A +.2. ábra vázlatán mutatunk be erre egy tipikus példát. A levegőztetés módja a jelenleg leggyakoribb fenékközeli buborékolatás. A légbevezetés helye a nyugalmi felszíntől h₀ = 5 m-re van. (Magyarországon korszerű tervezési gyakorlatban tipikus eset.)

Ez a számítási mód igen szemléletes, hiszen nyilvánvaló, hogy nagyobb $k_L a$ esetén a görbe lefutása meredekebb, azaz a két görbe közötti terület csökken.

A görbe ilyen kiértékelését azonban csak abban az esetben végezhetjük el, ha pontosan ismerjük az oldott oxigénkoncentráció értékét az egyes időpillanatokban. A mérést azonban olyan valós műszerrel végezzük, ami csak a mérőrendszerre jellemző időkésséssel (T) követi a mért érték változását. A mért és a mutatót érték közötti kapcsolatot (a műszert a szabályozástechnikákban használatos fogalmakkal 1. rendű arányos lágnak tekintve) az alábbi egyenlettel írhatjuk le:

$$T \frac{dC_M}{dt} + C_M = C \quad +.5$$

Vegyük észre, hogy ez az egyenlet formailag teljesen azonos alakra hozható a .2-es számúval. Ennek megfelelően C és C_M között hasonló kapcsolat áll fenn, mint C_s és C között, azaz felírhatjuk:

$$T = \int_0^T (C - C_M) dt \quad +.6$$

Így a műszer időkésséssel korrigált $k_L a$ a:

$$\frac{1}{k_L a_1} = \frac{1}{k_L a_M} - T \quad +.7$$

formában kapható. Ez pedig a C_s és C_s görbék közötti területnek felel meg. (T értelemszerűen a C_M és C görbék közötti terület.) Az 1-es index oka, hogy a mérés kiértékelése során a fentiekben kívül még egy korrigezőt kell elvégezni:

Az eddigiekben a mérés során C_s értékét állandónak tekintettük. Valójában azonban a mérés folyamán az +3. ábra felső görbéjének megfelelően változik. Ennek megértéséhez tekintsük a vizsgált reaktort a mérés két szélsőséges pontján, az elején és a végén. A mérés elején, a buborékból fel felé haladtában oxigén oldódik a vízbe, így a vízből történő kitépéskor $C_{s,el} < C_{s0}$. Az átlagos gázoldali koncentráció: $C_{s,av} = (C_{s,el} + C_{s,0})/2$. (A mérés során C_{s0} (azaz $y_{O_2} = 0.2095$ és $p=1$ bar) összetételű levegőt táplálunk be, azonban az oszlopba érve - a korábban már tárgyaltak szerint - a fenéken $C_{s,p}$ -vel kell számolni.) A mérés végén - $t \rightarrow \infty$ időpontban - $C = C_{s,av}$ így már nincs beoldódás a buborékok felszállása közben, azaz ekkor $C_{s,0} = C_{s0}$. Mivel a fenékponton $C_{s,p}$ nem változik, $C_{s,av}$ a mérés elején biztosan kisebb mint a mérés végén, lefutása az +3. ábra szerinti. Fontos, hogy a telítési érték nem C_{s0} , hanem $C_{s,av}$. A korrigált $k_L a$ értéke tehát valójában a C és a $C_{s,av}$ görbék által közrefogott terület reciprokának feleltethető meg.

Az $C_{s,av}$ változásából eredő korrigező kiszámításához vezessük be az oxigénkihasználási tényezőt:

$$o = \frac{k_L a \cdot C_{s0} \cdot V}{Q \cdot \rho_{O_2} \cdot y_{O_2}} \quad +.8$$

ahol: Q - a befűjt levegő térfogatárama normál légköri nyomáson [m^3/h]

ρ_{O_2} - az oxigén sűrűsége normál légköri nyomáson [g/m^3]

y_{O_2} - az oxigén móltörtje a befűjt levegőben

V - a víz térfogata [m^3]

C_{s0} - egyensúlyi oxigénkoncentráció a vízben normál légköri nyomáson [g/m^3]

A $k_L a \cdot C_{s0} \cdot V$ szorzat (a nyomástól eltekintve) a V vízterbe maximálisan beoldódni képes oxigén tömegáramnak feleltethető meg, a $Q \cdot \rho_{O_2} \cdot y_{O_2}$ szorzat pedig, a reaktorba befűvott levegőben levő oxigén tömegárama.

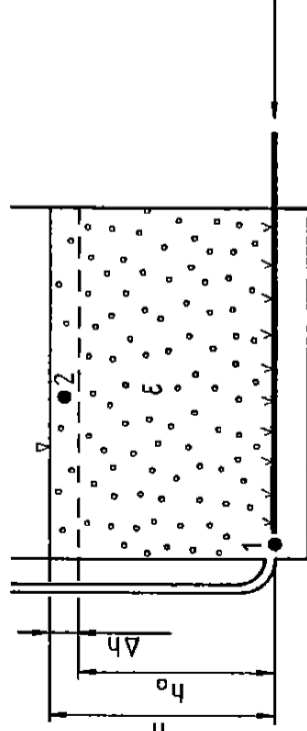
Ezt felhasználva, a levezetést itt mellőzve:

$$k_L a = k_L a_1 \frac{y_{O_2} (P+1) \cdot o - 2}{(y_{O_2} \cdot P + 1) \cdot o - 2} \quad +.9$$

ahol: P - a medence fenekén mért nyomás [bar]

A korrigező kiszámításánál, a gázfázis koncentrációját a fenék és a felszín között lineáris lefutásúnak, a vízfázist pedig $C=0$ koncentrációjúnak feltételeztük. (Az utóbbi egyszerűsítést azért engedhetjük meg, mert a görbe elején, ahol a korrigező számottevő, C értéke még igen kicsi.) A korrigező mértékét a +4. ábra szemlélteti.

+2. ábra Buborékoltatott levegőztető medencében kialakuló gáz- folyadék keverék jellemzők és C_s egyensúlyi oldott oxigénszint szélsőértékeinek 1, 2 helyei



Ilt az 1. pontban a vízzel érintkező levegőre $y = 0,2095$ és $P = 1,5$ bar, tehát a 3 összefüggés alapján a helyi valós C_s a táblázatból vett érték 1,5-szöröse.

A felszínközeli 2.pontban $P = 1,0$ bar, viszont tipikus esetben (porózus, vagy membrános légbefúvóelem) a buborékok oxigén móltörje az eredetiek mintegy 80 %-ára csökken. Ennek következtében a valós C_s értéke itt a táblázatnak 0,8-szorosa. Világos tehát, hogy messze el nem hanyagolható mértékű eltérés van a táblázatok (igen elterjedt) mechanikus használatával kapott C_s értékekhez képest.

Oxigénbeviteli számításokhoz a teljes vízmélységre érvényes átlagértéket kell képezni mind C_s mind pedig C tekintetében.

Elvileg a logaritmikus átlagolás a korrekt, de a gyakorlatban kielégítő a számítani átlag használata. Az átadási hajtóerő (2 egyenlet zárójeles tagja) átlaga hasonlóképpen számítható. Fontos hangsúlyozni, hogy C helyfüggése a medencében igen jelentős lehet a keverés mértéke és a különböző medencealakok miatt.

.2.2. A k_L meghatározása

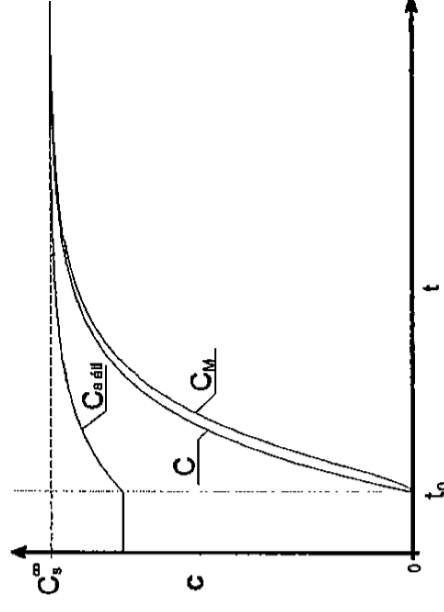
A bővített anyagátadási egyűthatható meghatározására ma már kevés kivételtől eltekintve ún. dinamikus módszereket alkalmaznak. Ezek különböző lehetséges fajtáit a .2.1.2 fejezet foglalja össze.

A k_L a mérése és kiértékelése

A legeiterjedtebben alkalmazott módszer gyakorlati kivitelezése a következő:

1. Na_2SO_3 kis főlösgben történő adagolásával (kb 7.9 kg/kg oldott O_2 a medencében) Co^{2+} ion (általában klorid vagy szulfát formájában), mint katalizátor jelenlétében (ajánlott koncentráció kb. 1,5 g Co/ m^3) a medencében lévő víz oxigénkoncentrációját 0-ra csökkentik. (Az oxigént a szulfít - szulfát átalakulás pillanatszerű reakciója fogyasztja el.)
2. A levegőztetést hirtelen beindítják. Ekkor megkezdődik az oxigén beoldódása, de amíg szabad szulfitt van jelen, az azonnal el is reagál.
3. A szulfitt teljes elreagálása után (egy adott pillanatban, amit gyakorlatilag a mérés t_0 időpontjának tekintünk) megkezdődik az oxigén tényleges fizikai oldódása, ami egyre lassuló ütemben a hőmérséklet, a nyomás, a keveredés és a korábban említett egyéb tényezők által meghatározott egyensúlyi koncentráció (C_s) eléréséig tart. A mérés valójában ennek a koncentráció - idő összefüggésnek a regisztrálását jelenti. A műszer által rajzolt görbe az +3. ábrán a C_M jelű.

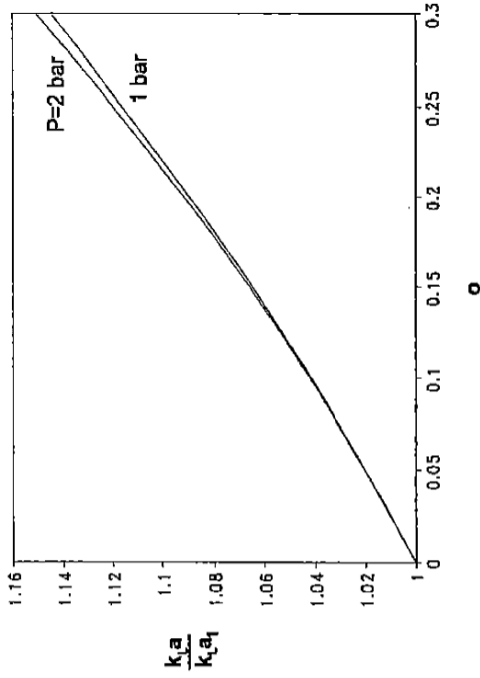
+3. ábra Oxigénkoncentráció - idő görbe a k_L a meghatározás során



Ezt a görbét - első közelítésben - a .2 egyenlet írja le ($C=C_M$ esetén). Ennek megfelelően, (a leveztetést mellőzve) a k_L a megkapható, a C_s és a C_M görbék közötti terület reciprokaként, azaz matematikai alakban:

$$\frac{1}{k_L a_M} = \int_{t_0}^{\infty} (C_s - C_M) dt \quad +.4$$

+4. ábra k_a korrekció az oxigénkihasználtsági tényező (o) függvényében



A k_a kiértékelésére alkalmas ugyan a fent használt integrál, a gyakorlatban azonban az egyszerűbben kivitelezhető félogaritmikus értékelést alkalmazzák. Megoldva a 2. egyenletet:

$$k_{t,a} = \frac{C(\infty) - C(t)}{-\ln \frac{C(\infty) - C(0)}{C(\infty) - C(t)}} \quad +10$$

ahol $C(\infty)$ - a mérés végén beállt érték
 $C(0)$ - a mérés kezdetekor fennálló koncentráció (általában 0)
 $C(t)$ - a t időponthoz tartozó koncentráció
 t - a mérés futó ideje
 t_0 - a mérés kezdetének ideje (célszerűen 0-nak választva)

Azaz a számológépet az idő függvényében felrajzolva egyenest kapunk, melynek meredeksége a k_a . A mérés kiértékelése során ezután a fent leírt két korrekciót kell végrehajtani, egyet a mérőrendszer időkésése, egyet pedig a C_s mérés közbeni változásából eredően.

Megjegyzendő, hogy a korrekciók sokszor elhanyagolhatók. Így pl. a szennyvíztisztításban gyakran előforduló 40 l/h alatti k_a és az elterjedten használt kézi oxigén elektródok esetén ($T \leq 6$ s) a műszer időkéséséből származó korrekció hatása kisebb 5%-nál. Hasonlóképpen kis hatékonyságú gáz-folyadék érintkeztetés és/vagy sekély medence, ill. az ezzel járó kis oxigénkihasználási

tényező miatt, a második korrekció is sokszor elhagyható. Felületi levegőztetők esetén használata eleve szükségtelen.

2.3. A k_a -ból származtatott jellemzők és alkalmazásuk

A bővített anyagátadási együttható jelentésével és használhatóságával kapcsolatban két kérdés merül föl:

- két paraméter, a k_a anyagátadási együttható és az a fajlagos gáz-folyadék határfeületnagyság szorzata, tehát az igényesebb fejlesztési munkák számára szükséges ezek szétválasztása.
- még mindig sebességi állandó jellegű; nem szemléletes mennyiség, ezért a gyakorlati alkalmazás; levegőztetőrendszer tervezés ill. minősítés számára szükséges belőle konkrétan használható mennyiségek származtatása (pl. oxigén tömegáram). Az első kérdéssel kapcsolatban felmerülő feladat a határfeület meghatározás. A célra közvetlenül alkalmas két módszer csoport a kémiai ill. sugárzásos elven alapul.

A kémiai elvi módszerek reakcióval kísért gázabszorpció során történt anyagátalakulási sebességből indulnak ki. Feltétlenül említendő, hogy az $O_2 \cdot Na_2SO_3$ reagensekkel az ún. szulfitmódszert korábban elterjedten alkalmazták oxigénbeviteli meghatározásra. A módszer hibája, hogy a kémiai reakció a mérendő fizikai átadási sebességet ismeretlen mértékben gyorsítja - ezért eredménye elfogadhatatlan a levegőztelési gyakorlat számára. Határfeületnagyság mérésére olyan körülmények között alkalmas, amikor a reakciósebesség egyedüli befolyásolója az O_2 beviteli sebességnek (azaz a k_a 2.5.1.3.pont szerinti áramlási sebesség meghatározottsága elhanyagolható). Ilyen módon a értéke egyetlen ismeretlenné válik, amelyet a kísérlet megad. A reakciósebesség megkivánt értékéhez és ismeretéhez többek között olyan feltételek szükségesek, mint a 100-200 kg/m³-es a nátriumszulfit sókoncentráció, amely önmagában is jelentősen megváltoztatja a buborékok eredő méretét, így a határfeületnagyságot is. A mérési technika tehát befolyásolja a mérendő rendszert, aminek következtében ez az eljárás nem alkalmazható víz- ill. szennyvíz esetére.

A sugárzásos eljárások alapja az az összefüggés, amely a beeső fény (gamma sugárzás, laser) viszonylagos intenzitáscsökkenése és a sugárútban helytfoglaló fázishatárfeület nagyság között fennáll. Főleg a görbült felületeken történő szóródás okozta sugárzás extinkció és az az összefüggése bonyolult, szűk alkalmazási területekre jó, és csak más módszerekkel kalibrálva ad konkrét

$$OC_{10} = k_L \cdot a \cdot C_{s10} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_i}} \cdot V \quad [g/h; kg/h] \quad +8$$

Látható, hogy ez az érték C = 0 állapotú 10 °C-os, V térfogatú tiszta vízbe bevitt oxigén tömegáramát jelenti.

A négyzetgyökös taggal a k_L hőfokfüggését korrigáljuk (itt érvényesül a k_L 2.93 kifejezés szerinti négyzetgyökös D diffúziós állandó függése).

Viszonylag kicsi a hatása, ha 10 helyett 10 °C-ot választunk egyezményes hőfoknak, hiszen a C_s és k_L hőfok függése ellentétes értelmű. Erre utal a $[k_L \cdot C_s]$ szorzat viszonylagos (10 °C-on egységnek vett) értékeinek csekély változása a hőfok függvényében. Az osztrák és német forrásokból vett értékek különbsége elsősorban a k_L eltérő hőfok-korrekciójának tulajdonítható.

hőfok [°C]	$\frac{(k_L \cdot C_s)_t}{(k_L \cdot C_s)_{10}}$	
	osztrák	német
10	1,0	1,0
15	1,014	1,024
20	1,024	1,037
25	1,033	1,043

Elterjedt ugyanis a k_L (vagy $k_L a$) hőfokfüggését tapasztalati; általában exponenciális összefüggéssel leírni:

$$(k_L a)_{T_2} = (k_L a)_{20} \cdot K^{(T-20)} \quad +9$$

A formula főleg Amerikában használatos, (v.ö. 20 °C viszonyítási hőfok). A K konstans értékeként 1,015-1,04 közötti tartományt adnak meg. Felületi levegőztetők alkalmazásánál 1,024 általában jól használható. Buborek levegőztetésnél, nagyobb h légbefúvási mélység (ill. P medence fenéknormás esetén) a felvevőztetési próba során elkerülhetetlenül $C_v > C_s$ túltelítés alakul ki a medencében (C_v a mérés végére kialakuló összetétel (v.ö. 4. pont)). Ennek oka az atmoszférikusnál nagyobb P össznyomáson beálló 3 összefüggés szerinti egyensúly. A vonatkozó osztrák szabvány szerint a

$$C_v = C_s \cdot \left(1 + \frac{h}{27}\right) \quad +10$$

eredményeket. Ezért, valamint eszközigényes, bonyolult alkalmazása miatt használatát eléggé korlátozott. A legmegbízhatóbb határfelületmérés közvetett; azaz a d buborékméret és az ε gáz térfogattört (gáztérfogat/keveréktérfogat) alapján származtatja az a értékét. A legkézenfekvőbb megoldás a buborékhalmoz fényképezése átlátszó tartályfaon, ill. ablakon keresztül. A pontos léptékű nagytárolón látható buborék vetületi képek mérése és statisztikai kiértékelése szolgáltatja az átlagos; gömbalakra redukált d jellemző méretet. A módszer igen munkaigényes, ezért jelentős fejlesztőmunka folyik gyorsabb műszeres megoldások kialakítására. Sok eredmény ellenére általánosabb elferdésre még egyik módszer sem tett szert.

Az ε meghatározása a gáz-folyadék keverék sűrűségének mérése alapján a legegyszerűbb. Ezt a levegőztetett folyadékot (buborék nélküli) tartalmazó üvegsóval töltendő statikus nyomásmérésre ill. folyadékmagasság (h) és külbírségmérésre (Δh) vezethetjük vissza.

A +2. ábrán bemutatott jelölésekkel:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \quad +5$$

A határfelületmagasság kifejezése ezek után:

$$a = \frac{6 \cdot \varepsilon}{(1 - \varepsilon) \cdot d} \quad +6$$

A k_L anyagátadási tényező ezek után az áramlástan, tartályelrendezési ill. vizjellemzőkkel való korrelálhatósága érdekében egyszerűen a:

$$k_{L\infty} = \frac{k_L a}{a} \quad +7$$

kifejezésből származtatható.

Természetesen mind d mind az a értéke igen fontos információ és az oxigénbeviteli sebesség értékét jelentősen meghatározó mennyiség (v.ö. 2.5.1.2.pont)

3. Az oxigénbevitel gyakorlati mérőszámjai

E célra a $k_L a$ -ból olyan tömegáram (OC), vagy tömegáramsűrűség (OC/V) származtatható, amely egyezményes feltételekre érvényes, és alkalmas mind levegőztetők minősítésére, mind technológiai tervezés céljaira. Az egyezményes hőfok legtöbbször 10 °C (az Egyesült Államokban inkább 20 °C)

összefüggéssel C_v számítható (h a +2. ábrán bemutatott légbefúvási mélység). A képlet átlagnyomás számításán alapul, de nem fejezi ki helyesen a levegőztetési próba végére beálló C_v értékét, amely a +10 kifejezéshez képest mindig kisebb, a túlfújtást méréselő hatások (keveredés, O_2 deszorpció) miatt.

A +8 jelű OC formulába történő behelyettesítésre csak a mérés végén kísérletileg meghatározott, és a medencemélységre átlagolt valós C_v érték alkalmas.

.3.1. Levegőztetőrendszerek és teljesítményük értékelése

Az oxigénbevitel eleve niszapos rendszereknél kétféle alapelvű berendezéssel biztosítható:

- Buborékos vagy légbefúvós rendszerek. Főleg ezek túlnyomó elterjedtsége miatt konkrétizáltuk az oxigénbevitel egyes ismereteit a buborék-víz rendszerre.
- Az ún. felületi levegőztetők működése annyiban eltérő, hogy a vízből kiszakított cseppeket diszpergálnak a folytonos levegő fázisban. Az oxigénbevitel minden alapvető ismerete alkalmazható rájuk értelemszerű kivételekkel (pl. a mélylégbefúvás miatti túltelítés nyilvánvalóan figyelmen kívül hagyható.) Néhány évtized előtti dinamikus terjedésük erőteljesen visszaszorult.

A levegőztetés színvonalát jellemző talán legfontosabb kritérium az oxigénbevitel energiatípusa:

$$ON = \frac{OC_{10}}{N} \left[\frac{\text{kgO}_2}{\text{kWh}} \right] + 11$$

ahol N [kW] a levegőztetőberendezést működtető villamos teljesítmény. Nagyon fontos kikötés, hogy N -et villamos úton kell meghatározni, hiszen használata csak teljesítmény felvételként felel meg rendelkezésének (kWh számlálással, ennek hiányában feszültség, áram és cosφ mérése útján számítható).

Viszonylag elterjedt, de félrevezető eljárás a levegőztető berendezés, vagy kompresszor mechanikai hajtóteljesítmény igényét megadni. Ez nem tartalmazza a hajtómotor, esetleges áttétel, valamint a gép (kompresszor, esetleg szivattyú) hatásfokát. Különösen légbefúvás esetén gyakori, hogy a rendelkezésre álló kompresszor lényegesen nagyobb a szükségesnél, vagy egyéb fogyasztókat is ellát. Ilyenkor megengedhető a légsűrítés N teljesítményigényének számítása. A légáramot és a sűrítési nyomást mérni kell, ill. az adiabátikus kompresszióra

vonatkozó teljesítményszámítást alkalmazni, a gép és hajtás együttesen mintegy 70-80 % közötti összehatásoknak figyelembevételével.

Az oxigénkihasználási tényező (σ : .2.2.pont) csak buborékos rendszerekre alkalmazható, de jól jellemzi hatékonyságukat. Legtöbb adat 4-5 m vízmélységre áll rendelkezésre. Összehasonlítható értékelésre használható az 1 m bemeletelési mélységre (buborék felszállási úthosszra) vonatkoztatott értéke. (σ/h ; célszerűen %-ban megadva) A hagyományos, durvabuborékos légelesztő rendszereknél ennek értéke nem haladta meg a 2-3 %/fm értéket, az ON ennek megfelelően jellegzetesen 1-2 kg/kWh körül alakult. Ilyen levegőztetőket már nem építenek.

Az utóbbi évtizedben uralkodóvá vált a finombuborékos statikus légelesztők alkalmazása. Ezek anyaga kezdetben szinterezett kerámia, majd műanyag (polietilén, polipropilén) ritkábban fém. A merev szivacszerű test jellemző pórusmérete határozta meg a kibocsátott átlagos buboréknagyságát. Minél kisebb a buborékméret (ill. az oxigénbeviteli hatékonyság) annál nagyobb a porózus test áramlási ellenállása, ill. érzékenysége az eltömődésre. Tisztításuk ill. cseréjük rendszeresen szükséges, ezért sokszor bonyolult és költséges szerkezetekkel szerelték őket, hogy - a medence leírítása nélkül - a légelesztővezetékek egy részével együtt a vízszint fölé legyenek emelhetők.

Lényeges előrelépést jelentett a rugalmas membránok alkalmazása. A membránon készített, igen kis nyílások ugyanis csak levegőoldali túlnyomásra nyílnak ki így a szennyvíz- ill. lebegőanyagoknak visszaáramlása elvileg kizárt (dugulás). Anyaguk öregedése, rugalmasságuk csökkenése némi nyomáscsökkenéshez vezet, ami oxigénbeviteli sebesség csökkenésével is jár. Mind a porózus, mind a membrános elemeket a medencefenéken vezetett légelesztővezetésekre - gyakran gyorsan bontható kötéssel - rögzített típusgyártmányokként forgalmazzák. Ezek kiviteli alakjai egyaránt vízszintes állású:

- körtárcsák, vagy dómok ill.
- csőszerű

megoldással készülnek a gyakorlatban. Az oxigénkihasználási tényező a szokásos $h = 4-5$ m-es légbefúvási mélységnél $\sigma = 3-8$ %/fm között van, míg az ON értéke ennek megfelelően tipikusan 2-5 kg/kWh értékű. E jellemzők jószágát alapvetően a stabilan kis buborékméret biztosításával éri el, de rendkívül fontos hatású tényezők:

a. az elemek fajlagos légtérhelése, melynek legkisebb értékénél legelőnyösebb az üzemiük.

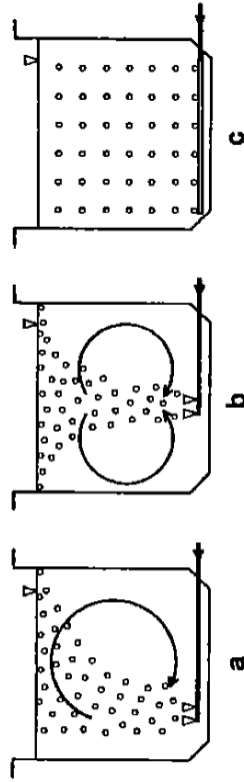
b. a buborékozítás által keltett folyadékmozgás (forgás) hatása a buborékok növekvő felszállósebességére, ill. az ezzel csökkenő határfelületnagyságra (l.+5. ábra a és b esete)

c. a légbefúvás mélysége, melynek növelése csökkenti a teljesítményt

A b pont szerinti oxigénbeviteli sebességet csökkentő hatás a légbefúvók medencefenéken való elrendezésétől függ.

+5. ábra Statikus légbefúvók és elrendezésük a medencében

a: egyirányú vízforgatás; b: szimmetrikus kétirányú forgatás; c: függőleges buborékfelszállás, teljes fenékbortózással



A +5. ábrán látható, hogy asszimmetrikus (a eset; ez a rosszabb) de szimmetrikus kiosztásnál is létrejön a forgás. Nyilvánvaló, hogy ezt minimumra csökkenteni csak igen sűrű elemkiosztással, azaz az a pont feltételének teljesítésével lehet. Ezekre a problémákra adott egyszerre választ a MESSNER cég által bevezetett nagy vízszintes síklapfelületű membránpanel. Ezek szoros elrendezésével a medencefenék közel 100 %-ban is borítható, amely a legelőnyösebb áramképet és oxigénbevitelt eredményezi (+3/c. ábra). A cég a panelfelületre vonatkoztatott $Q/A = 1-14 \text{ Nm}^3/\text{m}^2\text{h}$ légtérhelés tartományt ajánlja. Ennek szális értékeinek mutatjuk be az elérhető méterenkénti oxigénkihasználási tényezőket. E rendkívül hatékony rendszereml már látszik a légbefúvási mélység növelésének egyre előnytelenebb hatása (v.ö. c. pont)

h mélység [m]	2,5	3,5	4,5	5,5
Q/A $1 \text{ Nm}^3/\text{m}^2\text{h}$	12	9,5	8	7
$[\%]$ $14 \text{ Nm}^3/\text{m}^2\text{h}$	8	6	5	4

E rendszerrel jó biztonsággal elérhető ON = 5-6 kg/kWh-os értékei. Mivel azonban az a és b pont értelmében ehhez az egyébként is drága panel elemekből fajlagosan sokra van szükség, a megoldás (a hasonló teljesítményűekkel együtt) igen beruházási költség igényes. A levegőtétés üzemi költségeiben a beruházás amortizációs többlet terhei meghaladhatják az energiamegtakarításból származó nyereséget. Ezért bizonyos; korábban bevált, olcsóbb rendszerek továbbra is gazdaságosan alkalmazhatók. Ezek közös jellemzője a nagyságrenddel kevesebb vagy hiányzó légelesztővezeték-hálózat, nagy nyílásokon képzett durva buborékok, valamint az ezeket tovább aprító folyadékturbulencia.

Ezek közül az első csoport nem alkalmaz külön gépet (szivattyút, keverőt). A folyadékcszállításra is használt mammutszivattyús vagy air lift rendszerek jelentek meg először. Tartósan elterjedni csak a különleges 50-100 m mély aknába telepített "ICI deep shaft" eljárás tudott. Az ON értéke eléri a 3 kg/kWh-t.

Az u.n. statikus keverős levegőtétőknel a nagybuborékos légáramot 0,5-1,5 m hosszú; függőleges csövekbe helyezett áramlásvezető-útköztető elemek diszpergálják, ON = 2,2-2,8 kg/kWh elérése mellett. Az injektoros ill. ejektoros levegőtétők általában merülőszivattyúk által keltett folyadéksebességi energiával szivják be és diszpergálják az esetenként elősűrített levegőt. A legelterjedtebb gépek szivattyúgyárak (FLYGT, EMU) termékei. Viszonylag szerény ON = 1,5-2 kg/kWh energetikai hatékonyságuknál lényegesen többet érnek el a német HÖCHST, ill. BAYER torony-biológia eljárásoknál alkalmazott egyedi gyártású levegőtétők.

A felületi levegőtétők legrégebbi típusa a vízszintes tengelyű kivitel (u.n. Kessener kefe) csekély hatékonysága és sok üzemi probléma miatt már gyakorlatilag nem alkalmazzzák; főleg régi oxidációs árkoknál láthatók.

A függőleges tengelyű rotorok közül az u.n. lassújáratiúak terjedtek el Európában. Ezek forgórésze leginkább szivóoldallal lefelé fordított centrífugálszivattyú járókerékre emlékeztet. Forgatásakor a felszivott vizet sugánnyan enyhén felfelé szórja szét. A kerékátmérő mintegy 3 m-ig terjed, melyhez közel 100 kW hajtóteljesítmény szükséges. Csak a legnagyobb egységek képesek 4-5 m körüli medence mélység esetén megfelelő átkeverést biztosítani. A keverés javítására szokás a rotor alatt függőleges szivócsövet elhelyezni, mely azonban mintegy 10 %-kal rontja az ON egyébként legfeljebb

2,0 kg/kWh értékét. Nagy előnyük, hogy tartószerkezet nélkül; uszókra szerelve is telepíthetők (így esetleg élővizek fellevegőztetését is végezhetik).

A gyorsjáratú felületi levegőztetők főleg az Egyesült Államokban terjedtek el. A fordulatszámkénti hajtómű elmaradása miatt olcsóbbak, könnyebbek (általában úszós kivitelűek), de energiafajlagosuk még a lassújáratú rotorokénál is gyengébb (ON = 1,2-2 kg/kWh).

A felületi levegőztetők gyors térhódítása után (amit kétségtelen egyszerűségük, tipizált egységgyártmány jellegük segít) jelentős mértékben visszaszorultak a bonyolultabb, beruházás igényesebb buborékoltatott levegőztetőkkel szemben (főleg nagyobb telepeknél). Ennek fő okai - egyben a kétféle rendszer összehasonlításban mértékadó szempontok:

- Fajlagos energiaigényük lényegesen nagyobb (l. előbbi ON értékek)
- Nehezebb biztosítani a - különösen az egyre gyakoribb 5-7 m mély - medencék egyenletes átkeverését
- A környezetre a finom permet, aeroszol kibocsátás révén bűz ill. esetleges fertőzésveszély miatt ártalmasabbak.
- Mérsékeltgövi telek során jobban elősegítik a medencék befagyását. A légbefúváshoz használt fúvók által megvalósított adiabatikus sűrítés viszont a szokásos nyomásoknál 90 °C körüli kilépő léghőfokot okoz.

4. Az oxigénbevitel tervezési, alkalmazástechnikai alapjai.

Levegőztető berendezések tervezése lényegében az egyezményes OC10 érték átszámítását igényli az OI biológiai oxigénigényre:

$$OI = OC_{10} \cdot \frac{\beta \cdot (C_s - C)}{C_{s10}} \cdot \vartheta \cdot \alpha \quad +12$$

ahol:

- C az eleveniszapos medencében fenntartandó oldott oxigénszint. Erről ill. u.n. kritikus, vagy minimális értékeiről az .1. pontban írtunk. Értéke a biokonverziós folyamat követelményeinek függvényében választható. Tervezéshez azonban ha egyébként nem is szükséges, biztosítani kell legalább C = 2 g/m³ elérésének lehetőségét, az iszapfelfúvódás kivédésére.

$$\vartheta = \frac{(k_L a)_t}{(k_L a)_{10}} \quad +13$$

a ϑ a 10 °C-os egyezményes hőfok, és az ezáltal mértékadó üzemi t hőfok elérésének hatását számszerűsíti. Gyakorlati számítása a +8 kifejezés szerinti D diffúziós állandó; vagy a +9 szerinti tapasztalati, exponenciális összefüggés alapján lehetséges.

$$\beta = \frac{(C_s)_{sz}}{C_s} \quad +14$$

- a (C_s)_{sz} szennyvizben mérhető oxigén oldhatóság viszonyát fejezi ki a tiszta vízéhez (C_s) képest.

Mint a .2.1. pontban láttuk az α értékeit az egységnyi jelentősebb sótartalom térítheti el, ami biológiai tisztításra kerülő szennyvizeknel nem tipikus.

A β tényező 1,0 fölötti értékei nem ismeretesek; előfordulási tartománya 0,7-0,98 között van. Kommunális szennyvizek esetén 0,95 biztonságos közelítés; esetenként hatását el is hanyagolják ($\beta = 1$). A .2. pontban közölt, tengerszint feletti magasság hatását mutató táblázat adatait is β meghatározásánál kell szükség szerint használni, annak ellenére, hogy a C_s-t csökkentő ok nem vízszennyezettség hanem pontosan ismert fizikai paraméter (nyomás).

$$\alpha = \frac{(k_L a)_{sz}}{k_L a} \quad +15$$

ahol (k_La)_{sz} szennyvízre vonatkozik; figyelembevéve azt a fontos tapasztalatot, hogy azonos szennyvízösszetétel egyes üzemi, vagy konstrukciós feltételek között jelentősen eltérő α értékeket alakíthat ki.

A fontosabb hatású tényezők:

- Felületi levegőztetőkre α jellemző tartománya 0,6-1,2 közötti, míg buborékoltatott rendszerekre kisebb; 0,4-0,8 közötti
- Erősebb turbulenciát keltő levegőztetőrendszerek α -ja (injektoros, mechanikai keverést alkalmazó kivétel) nagyobb a statikus légbefúváshoz képest.
- Különösen alacsony a tisztavizes OC próba tekintetében igen hatékony membrános, ill. pórusos légbefúvó elemek α értéke. Ezekre fellelhetően a nyílás- ill. pórus elfőmódés következtében - 0,11-0,79 közötti értékeket is mértek (biológiai rendszerben a távozó gáz összetételének meghatározásából). A membránok öregedése sok kísérlet átlagaként 3,5 év után 20 %-os α csökkenést eredményez.

- A szennyező komponensek tekintetében jelentős α növelő hatása van a növekvő sókoncentrációknak és felületaktívanyag tartalomnak.

- Nitrifikáló eleveiszapos rendszerekben α értéke nagyobb, mint a csak szervesanyageltávolítást végzőknél.

Természetesen a nyers szennyvízben szélsőségsébb α értékek mérhetők, mint a tisztított (elvileg $\alpha = 1,0$ -hez közelítő) vízben. néhány tipikus példa különféle eredetű szennyvizek α értékeire; felületi levegőztetés esetén:

	Befolyó	Elfolyó
Kommunális	0,8	1,0
Fehérített papír gyártása	0,8-2	0,9
Tömény gyógyszeripari víz	2,0	0,8
Tömény műszálgártási víz	2,5	1,2

Levegőztető rendszerek vezérlésére elterjedt az oldott oxigénszint bemenőjeléről történő számítógépes folyamatiirányítás. A fúvók leggyakrabban térfogatkiszorításos elven működnek, így szabályozásuk végezhető:

- lefúvatással, visszakeringetéssel vagy fújtással (a legkevésbé gazdaságosan)
- változtatható fordulatszámú hajtással, vagy pólusváltós motorral, ill. több gép közül egyesek lekapcsolásával (sokkal hatékonyabb).

Turbofúvókat nagyobb telepeknél, 5000 Nm³/h légmennyiség fölött alkalmaznak; itt a vezérléstechnológiai állítás viszonylagosan jó hatásokkal változtatja a légszállítást.

Felületi levegőztetők esetén a működő gépszám ill. az üzemi vízszint (bemerülés) változtatásával oldják meg a vezérlést, amely egyben hajtómotortelhelés változást is okoz.

Hosszanti átfolyású medencékben - a terhelés áramlásirányú folyamatos csökkenése miatt, amit a visszakeveredés csak kisebb mértékben egyenlített ki - szokásos a légbefúvóelemek ritkuló kiosztása (a befolyástól a kilépésig 25-40 % -kal csökkentett darabszám)

Különleges eljárások; mint az egy időben jelentősen terjedni kezdett tisztító oxigén, vagy oxigénben dúsított levegő alkalmazása, vagy szelektíven áteresztő

membránfelületen keresztül történő gáz-folyadék érintkeztetés a belátható jövőben nem kerül jelentősebb volumenű alkalmazásra. A membrán gázpermeációjának jelentős a perspektívája a szövettenyészetek egyelőre kisméretű fermentoraiban, a szennyvíztisztítás területén pedig a fejlesztés alatt álló intenzív, immobilizált sejtes utónitrifikáló reaktornál. Ezek közös jellemzője, hogy a buborékos oxigénbevitellel járó folyadékturbulencia káros hatású.